ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

УДК 256.18(268.45)

ШАВЫКИН

АНАТОЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА (НА ПРИМЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ)

Специальность 25.00.28 - «океанология»

Диссертация на соискание ученой степени

доктора географических наук

Мурманск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ 2
ВВЕДЕНИЕ 9
Актуальность темы исследования 9
Степень разработанности темы исследования 11
Цели и задачи исследования 13
Научная новизна исследования 15
Теоретическая и практическая значимость работы 16
Методология и методы исследования 18
Положения, выносимые на защиту 19
Степень достоверности и апробация результатов исследования 20
Публикации 21
Благодарности 21
Основное содержание работы 22
ГЛАВА 1 ИСТОЧНИКИ И ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ МОРЯ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ 23
1.1 Описание экосистемы Баренцева моря 24
1.2 Месторождения на шельфе Западной Арктике и планы их освоения 29
1.3 Основные этапы экологического сопровождения освоения шельфовых проектов 34
1.4 Основные источники и факторы воздействия на морские экосистемы при освоении месторождений углеводородов на шельфе 40
1.5 Проблемы экологического сопровождения нефтегазовых проектов на арктическом шельфе 44
ГЛАВА 2 ОБЩАЯ СХЕМА ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ И ЕГО ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ 53
2.1 Схема экологического сопровождения проекта и определение экологического мониторинга 53
2.2 Общие подходы к государственному экологическому мониторингу морей арктического шельфа 57
2.2.1 Всесторонний анализ природной среды 58
2.2.2 Концепция ассимиляционной емкости морских экосистем 62
2.2.3 Государственный экологический мониторинг Баренцева моря 63
2.2.4 Экологический кризис планеты. Необходимость государственного экологического мониторинга по схеме Ю.А. Израэля 64
2.3 Опыт экологического мониторинга при освоении российского шельфа 66
2.3.1 Структура, цели и задачи экологического мониторинга в районах освоения нефтегазовых месторождений (С.А. Патин) 67

2.3.2 Система экологической безопасности и комплексного мониторинга при освоении месторождений на арктическом шельфе (О.Я. Сочнев).....70
2.3.3 Методология информационного обеспечения мониторинга окружающей среды (С.Л. Дженюк) 72
2.3.4 Опыт производственного экологического мониторинга ОАО «ЛУКОЙЛ» на Северном Каспии.....74
2.3.5 Комплексный многоуровневый мониторинг морской среды Института океанологии РАН 76
2.3.6 Нормативные документы ОАО «Газпром» по производственному экологическому мониторингу.....77
2.3.7 Информационные технологии в системах экологического мониторинга.....78
2.3.8 Мониторинг по рекомендациям Арктического Совета.....81
2.3.9 Проблема выбора репрезентативных точек, как основа закладки сети экологического мониторинга (А.Н. Ласточкин) 81
2.3.10 Производственный экологический мониторинг, выполняемый при освоении месторождений сахалинского шельфа 83
2.3.11 Производственный экологический мониторинг в районе месторождения Д-6 в Балтийском море.....84
2.4 Инженерно-экологические изыскания на шельфе - составная часть производственного экологического мониторинга 86
2.5 Базы данных в экологическом мониторинге.....89
2.5.1 База данных, как составная часть экологического мониторинга 89
2.5.2 Картографическая база данных Штокмановского проекта.....90
2.5.3 Применение картографической базы данных и её развитие на различных этапах освоения Штокмановского месторождения 93

ГЛАВА 3 МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО СУДОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В ВОДЕ ДЛЯ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ 98

3.1 Необходимость измерения хлорофилла фитопланктона в воде в непрерывном режиме 99
3.2 Особенности флуориметрического метода непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде 101
3.3 Технические средства для непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде 104
3.4 Методика судового контактного непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде 107
3.4.1 Учет влияния растворённого органического вещества 107
3.4.2 Учёт влияния освещенности и видового состава планктона 111
3.4.3 Оценка погрешности результатов непрерывного флуориметрического измерения хлорофилла в воде 117

3.5 Основные положения методики непрерывного измерения концентрации хлорофилла в воде в проточном режиме 119
3.6 Проверка работоспособности метода непрерывного судового измерения хлорофилла фитопланктона в воде.....122
3.6.1 Характеристики пространственной изменчивости хлорофилла фитопланктона, температуры и солености поверхностного слоя южной части Баренцева моря 122
3.6.2 Особенности изменчивости концентрации хлорофилла в приповерхностном слое Таганрогского залива.....129
ГЛАВА 4 АВИАМОНИТОРИНГ ОРНИТОФАУНЫ – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШЕЛЬФА 135
4.1 Необходимость и важность мониторинга морских птиц Баренцевоморского региона.....135
4.2 Методы и объемы исследования морских птиц на акватории Баренцева моря и вдоль его побережья.....136
4.3 Методические вопросы наблюдения авифауны в открытых районах моря с борта самолета-лаборатории.....138
4.4 Оценка численности птиц в открытой части Баренцева моря по авианаблюдениям. Сравнение с численностью гнездовых пар.....143
4.4.1 Результаты авиаучета и оценки численности морских птиц 144
4.4.2 Обсуждение результатов расчетов численности.....149
4.5 Оценка численности морских птиц в восточной части Печорского моря по результатам авианаблюдений 150
4.6 Анализ результатов расчетов для Печорского моря и рекомендации по совершенствованию авиаучета орнитофауны.....155
4.6.1 Анализ методики проведения авианаблюдений и алгоритма расчета общей численности птиц 155
4.6.2 Предложения по организации авиамониторинговых наблюдений морских птиц на примере Печорского моря 160
4.7 Вертолетные исследования распределения морских птиц вдоль побережий Баренцева моря и в Белом море 161
4.7.1 Распределение птиц на побережье Кольского полуострова и на острове Колгуев в позднелетний период 2003 г.....161
4.7.2 Половозрастная структура эндемичной беломорской популяции обыкновенной гаги 165
4.8 Рекомендации по проведению мониторинга морской орнитофауны в Баренцевоморском регионе.....167
4.8.1 Основные направления и общий подход к организации экологического мониторинга морских птиц в Баренцевоморском регионе 168

4.8.2 Основные задачи и принципы организации производственного экологического мониторинга морских птиц в Баренцевоморском регионе и других арктических морях.....174

ГЛАВА 5 ОЦЕНКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОТУ..... 176

5.1 Сейсмоакустические исследования и связанные с этим экологические проблемы (близкодействующее гидроакустическое воздействие) 177

5.2 Расчет зон воздействия от сейсмоакустических исследований (пример для мелководного участка).....187

5.3 Численный расчет амплитуды первой волны на мелководье (пример для участка в Тазовской губе).....190

5.4 Обоснование доли гибели зоопланктона и бентоса (пример для участка в Тазовской губе).....193

5.5 Результаты расчета параметров зон, в которых гибнут гидробионты. Оценка ущерба 196

5.6 Современный уровень исследований воздействия антропогенного подводного шума на морских рыб и млекопитающих 198

5.6.1 Общие сведения о критериях акустического воздействия.....198

5.6.2 Виды морских млекопитающих и рыб, которые могут подвергнуться воздействию антропогенного шума в Баренцевом и Карском морях.....200

5.6.3 Критические уровни звука, вызывающие негативные изменения в поведении морских млекопитающих и рыб 203

5.6.4 Критические уровни звука и зоны акустического воздействия для рыб.....205

5.6.5 Итоговые значения критических уровней звука для морских млекопитающих и рыб 208

5.7 Анализ возможного гидроакустического воздействия на морскую биоту объектов 1-й фазы освоения Штокмановского месторождения 210

5.7.1 Общее описание подводного добычного комплекса Штокмановского месторождения.....210

5.7.2 Оценка размеров зон гидроакустического воздействия на морскую биоту работ по строительству и эксплуатации морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ.....212

ГЛАВА 6 ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ ВЗВЕСИ НА БИОТУ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТАХ НА ШЕЛЬФЕ 219

6.1 Взвесь, как фактор воздействия на среду при освоении шельфа.....220

6.2 Размеры зон распространения минеральной взвеси и времени их существования222

6.3 Вопросы гибели гидробионтов от действия минеральной взвеси 229

6.4 Влияние засыпки грунтом на выживаемость зообентосных организмов 239

6.5 Распространение взвеси при укладке подводного газопровода Штокмановского месторождения 243

6.6 Распространение взвеси и ее воздействие на биоту при дноуглубительных работах в Кольском заливе 250
6.6.1 Исходные данные и используемые модели 251
6.6.2 Результаты моделирования для дноуглубительных работ и оценки воздействия на биоту 252
6.6.3 Результаты моделирования для дампинга и оценка воздействия на биоту....256
6.7 Оценки воздействия взвеси на биоту в общей схеме эколого-океанологического сопровождения освоения шельфа....260

ГЛАВА 7 РАЗРАБОТКА КАРТ УЯЗВИМОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ И МОРСКИХ ЗОН ОТ НЕФТИ.... 262

7.1 Проблема нефтяного загрязнения морей Арктики 263
7.2 Поведение нефти в воде при разливе, её воздействие на биоту и окружающую среду 265
7.3 Существующие методики построения карт уязвимости....268
7.3.1 Обзор существующих методик построения карт уязвимости 268
7.3.2 Анализ российских разработок карт уязвимости....270
7.3.3 Рекомендации международных организаций и разработки зарубежных стран273
7.4 Нормативные документы РФ в отношении карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти....275
7.5 Картосхемы уязвимости от нефти различных участков акватории восточной части Баренцева моря....280
7.6 Предлагаемая методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти....285
7.6.1 Основные положения предлагаемой методики построения карт уязвимости 285
7.6.2 Подготовка карт уязвимости Кольского залива от нефти по предлагаемой методике 292
7.7 Нерешенные проблемы и предложения по разработке российской методики построения карт уязвимости от нефти 297

ГЛАВА 8 КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОСИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА КАК ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА 302

8.1 Общие положения 302
8.2 Определения основных понятий 305
8.3 Проблемы экологического мониторинга морской природной среды....308
8.4 Цель и задачи концепции экосистемного мониторинга....309
8.5 Основные положения, лежащие в основе концепции 310
8.6 Сфера действий концепции экосистемного мониторинга 312
8.7 Общая схема концепции экосистемного мониторинга 312
8.8 Механизм реализации концепции экосистемного мониторинга....313

8.8.1 Полнота выполнения работ и постоянное совершенствование государственного экологического мониторинга 314
8.8.2 Непрерывность эколого-океанологического сопровождения проекта освоения месторождения 316
8.8.3 Накопление и обработка эколого-океанологической информации по морской природной среде и биоте 317
8.8.4 Пополнение единой информационной базы данных экологического мониторинга и доступ к ней 324
8.8.5 Учет максимально возможных негативных последствий при разработке программ экологического мониторинга и мероприятий по охране окружающей среды 327
8.8.6 Оптимизация мониторинговых измерений 329
8.8.7 Использование последних достижений науки и техники при выполнении работ в рамках экосистемного мониторинга 331
8.8.8 Объединение усилий и координация мониторинговых работ, проводимых государством и частными компаниями 332
8.8.9 Периодичность контроля корректности оценок воздействия проектов и всей антропогенной деятельности на экосистемы морей 332
8.8.10 Международное сотрудничество и обмен данными 333
8.8.11 Анализ изменений в экосистеме районов и морей в целом от воздействия проекта 333
8.9 Ожидаемый социально-экономический эффект 334
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 337
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 342

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А ПЕРЕЧЕНЬ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ ПРОЕКТОВ, В КОТОРЫХ ПРИНИМАЛ УЧАСТИЕ АВТОР ДИССЕРТАЦИИ 6

ПРИЛОЖЕНИЕ Б СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОБЩИЕ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ ПРОЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 13

ПРИЛОЖЕНИЕ В АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЙ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА ОАО «ГАЗПРОМ» ВРД 39-1.13-081-2003 ... 16

ПРИЛОЖЕНИЕ Г ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОЯСНЕНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ИЗМЕРЕНИИ ХЛОРОФИЛЛА В ВОДЕ 23

ПРИЛОЖЕНИЕ Д МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ ПТИЦ, ИХ ЧИСЛЕННОСТИ И ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ..... 39

ПРИЛОЖЕНИЕ Е ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО МЕТОДИКАМ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА НА ГИДРОБИОНТЫ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТАКИХ РАСЧЕТОВ..... 50

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж УСЛОВИЯ В РАЙОНАХ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗВЕСИ НА БИОТУ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ..... 86

ПРИЛОЖЕНИЕ И ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕННЫХ КАРТОСХЕМ УЯЗВИМОСТИ ОТ НЕФТИ ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНОВ АРКТИКИ И ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТАКИХ КАРТ 111

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Освоение нефтегазовых ресурсов арктического шельфа – важная народнохозяйственная задача, особенно в связи со снижением запасов углеводородов на суше. При этом с учетом большой уязвимости арктических морей сохранение целостности морских экосистем Арктики приобретает первостепенное значение. Эта проблема должна решаться в рамках экологического сопровождения разработки месторождений шельфа.

Экологическое сопровождение проекта хозяйственной деятельности – различные виды работ по обеспечению экологической безопасности при реализации проекта, минимизации экологического ущерба и охране окружающей среды на всех этапах осуществления проекта (предпроектной и проектной стадиях, этапах строительства объекта, его эксплуатации и ликвидации). Задачи экологического сопровождения любого проекта: 1) обоснование возможности его реализации с экологической точки зрения на основе процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), 2) проведение экологического мониторинга и контроля, 3) разработка и осуществление мероприятий по охране окружающей среды (ООС). *Эколого-океанологическое сопровождение* – часть общего экологического сопровождения, главным образом, связанная с морской биотой и морской средой.

Первая из указанных задач экологического сопровождения решается в рамках процедуры ОВОС. Основные факторы воздействующие на морскую биоту: гидроакустическое воздействие (на всех этапах проекта), взвесь (на этапах строительства и обустройства месторождения), и нефть (при ее разливах). Практика выполнения ОВОС различных шельфовых проектов показала, что существует много нерешенных проблем в этой сфере, в том числе и недостаточно разработаны методы экологического сопровождения. Это касается методов оценки воздействия на биоту подводного шума от крупнотоннажных судов, пневмоисточников … и воздействия взвеси при гидротехнических работах. Имеются проблемы в от-

ношении аварийных разливов нефти. Так, в России не решен вопрос разработки карт уязвимости от нефти для прибрежных и морских акваторий и использования таких карт при ликвидации разливов нефти (ЛРН). При этом картосхемы распределения всех экологических групп (от бактериопланктона до морских млекопитающих и птиц) и их уязвимость к основным видам антропогенного воздействия (не только нефти) должны быть представлены как графический материал результатов инженерно-экологических изысканий [СП 47.13330.2012, 2012], это также требует единой (пока отсутствующей) российской методики построения таких карт.

Экологический мониторинг (государственный экологический мониторинг, производственный экологический мониторинг и контроль) лежит в основе процедуры ОВОС, разработки мероприятий по охране окружающей среды и всего эколого-океанологического сопровождения любого проекта. Без достаточно полной информации экологического мониторинга на всех стадиях проекта невозможны: оценки его воздействия на окружающую среду, корректные расчеты ущербов биоресурсам и размеров компенсационных выплат за неустранимое негативное воздействие, разработка адекватных мероприятий по охране окружающей среды. Вместе с тем в научном обосновании методологии экологического мониторинга, в частности, непрерывных измерений многих гидробиологических параметров, практике проведения и использовании результатов таких измерений, имеется ряд серьезных нерешенных проблем. Это касается многих методов таких измерений почти всех экологических групп (начиная от первичного звена трофической цепи – фитопланктона, до ее высших звеньев – морских млекопитающих и птиц).

В рыночных условиях государственный экологический мониторинг как правило проводят государственные организации или частные по заказу государства, а инженерно-экологические изыскания (ИЭИ) и производственный экологический мониторинг (ПЭМ) – различные организации по заказам частных компании. При этом комплексный, системный подход к экологическому мониторингу при освоении шельфа может быть реализован только совместными усилиями частных компаний и государства. Это должна быть координация и интеграция

усилий этих субъектов. Но сейчас все такие работы разобщены, а собираемые данные об экосистеме морей накапливается в различных базах данных, не связанных между собой.

Таким образом, все вышеизложенное показывает, что разработка многих теоретических и практических вопросов эколого-океанологического сопровождения освоения шельфовых месторождений является актуальной и важной для фундаментальной и прикладной океанологии.

Степень разработанности темы исследования

Первая обобщающая монография по ОВОС освоения шельфовых арктических месторождений была подготовлена в ММБИ [Научно-методические…, 1997]. Полно и подробно общие подходы к решению проблем экологического сопровождения освоения шельфа, в том числе в Арктике, изложен также в ряде других отечественных монографиях [Патин, 1997, 2001; Матишов и др., 2001а; Борисов и др., 2001; Денисов, 2002] в диссертационных работах [Сочнев, 1998; Курапов, 2006; Сочнева, 2005; Рабкина, 2005]. Там описаны источники и факторы действующие на морские экосистемы при освоении месторождений шельфа. Анализ обобщающих публикаций свидетельствует, что из всего перечня источников и факторов можно указать наиболее значимые, которые играют ключевую роль в экологическом сопровождении нефтегазового освоения арктического шельфа. Во многом эти факторы недостаточно исследованы. При безаварийных ситуациях в их число входят – *гидроакустическое воздействие* (близкодействующее – от сейсмоакустических исследований; дальнодействующее – от крупнотоннажных судов) и *воздействие взвеси* (действие на нектон облаков взвеси и засыпка донных организмов грунтом и осаждаемой взвесью), при авариях – *действие нефти*.

В ходе экологического мониторинга редко используются методы непрерывного горизонтального профилирования ряда важных параметров – полей распределения планктона (в том числе фитопланктона) и других океанологических параметров. Отсутствие спутниковой информации по хлорофиллу (из-за сложных погодных условий, а в Арктике – из-за малой высоты солнца) не позволяет полу-

чать характеристики площадного распределения этого важного параметра, хотя его измерение предусмотрено нормативными документами [РД 51-01-11-85, 1986; СП 47.13330.2012, 2012] и рекомендуется многими специалистами для экологического мониторинга [Патин, 1997; 2001]. Спутниковые данные по концентрации хлорофилла требуют верификации по судовым наблюдениям [Методические рекомендации…, 1989] – по результатам горизонтального и вертикального профилирования.

Специалистами России и Норвегии проведена большая работа по исследованию птиц Баренцева и других морей Арктики [Краснов и др., 1995; Краснов и др., 2002; Состояние популяций…, 2003; Ecosystem Barents Sea, 2009; The Barents Sea, 2011; Гаврило, 2011; Птицы северных…, 2013; и др.]. Однако корректное и полное описание численности и видовой структуры орнитофауны на акватории этих морей, ее сезонное распределение отсутствуют. Нет и полных требований и рекомендаций по систематическому учету птиц. Это отрицательно сказывается на подготовке ОВОС и разделов охраны окружающей среды проектов освоения месторождений. Не делались оценки общей численности птиц над акваториями арктических морей, хотя были выполнены авианаблюдения орнитофауны в Баренцевом и Печорском морях.

Имеется много публикаций, посвященных влиянию сейсмоакустических исследований (САИ) на биоту [Матишов 1991; Муравейко и др., 1991; Векилов, Полонский, 2000; Moriyasu et al.,2004; Семенов, 2006; и др.]. Но методы адекватной оценки такого воздействия разработаны не в полном объеме. Часто при исследованиях на малых глубинах не учитывалось воздействие дна и поверхности воды на распределение поля акустического давления от пневмоисточников (ПИ), что искажает зону воздействия. В ОВОС проектов почти не учитываются воздействие шума судов на морских рыб и млекопитающих (исключение – работы по освоению сахалинского шельфа).

Распространению взвеси при гидротехнических работах, ее воздействию на биоту также посвящено много работ [Айбулатов, Артюхин, 1993; Патин, 2001;

Wilber, Clark, 2001; Literature review, 2003; …]. Но в расчетах ущерба от при этом не учитывалось время воздействия взвеси на биоту.

Проблема разливов нефти в морских условиях многопланова и обширна [Патин, 2001, 2008; Мансуров и др., 2004; Техника и технологии…, 2008; Oil spill science…, 2011]. Для их ликвидации важное значение имеют карты уязвимости прибрежных и морских зон. Разработаны различные варианты методики построения таких карт [IMO et al., 2012; SFT, 2004; Новиков, 2006; Offringa, Lahr, 2007; Погребов, 2010; WWF, 2012; …]. Эти вопросы исследованы в ряде диссертаций [Блиновская, 2010; Омар, 2005]. Однако для арктических морей нет разномасштабных карт уязвимости акваторий от нефти, нет и единой российской методики построения таких карт и карт уязвимости групп биоты к основным антропогенным воздействиям.

Опыт экологического мониторинга при освоении шельфа обощается во многих публикациях: Ю.А. Израэль [1979; 1984], [Научно методические…, 1997], О.Я. Сочнев [1998], С.А. Патин [1997; 2001], Матишов и др. [2001], С.Л. Дженюк [2001], В.В. Денисов [2002], Л.И. Лобковский и др. [2005], Н.А. Айбулатов [2005], Савиных и др., [2007], А.П. Хаустов, М.М. Редина [2008] и др.; защищены докторские и кандидатские диссертации [Дженюк, 2002; Субботина, 2005]. Вместе с тем, как показал опыт выполнения ОВОС проектов в арктических морях, в России отсутствуют необходимые исходные данные (или их очень мало) о чувствительности/уязвимости биоты к основным антропогенным воздействиям, многие нормативы допустимых нагрузок на биоту… то есть отсутствует всесторонний анализ природной среды, о котором писал Ю.А. Израэль [1979; 1984].

Данная диссертация направлена в том числе на восполнение указанных пробелов в области эколого-океанологического сопровождения освоения шельфа.

Цели и задачи исследования

Цель исследования: разработка теоретических основ и обоснование практических решений по эколого-океанологическому сопровождению хозяйственного освоения шельфа.

Задачи:

1. Выявить и обобщить основные проблемы эколого-океанологического сопровождения проектов освоения месторождений нефти и газа на арктическом шельфе, определить направления решения этих проблем.

2. Представить общую схему эколого-океанологического сопровождения проектов, проанализировать российский опыт экологического мониторинга морей.

3. Разработать контактный флуориметрический метод непрерывного судового измерения хлорофилла фитопланктона в воде в приповерхностном горизонте; сформулировать основные положения такой методики измерений.

4. Проанализировать подход (метод Н.Г. Челинцева) по оценке общей численности птиц на обширных акваториях Баренцева моря, основанный на выборочных авианаблюдениях, и сравнить полученные этим методом оценки с результатами наблюдений гнездовых пар. Сформулировать основные задачи и рекомендации по методологии мониторинга авифауны в Баренцевоморском регионе. Провести авиаучеты орнитофауны в прибрежных районах моря.

5. Усовершенствовать метод оценки воздействия на гидробионты сейсмоакустических исследований, проводимых на мелководье арктических морей; оценить зоны гидроакустического воздействия судов и строительства при освоении Штокмановского газоконденсатного месторождения.

6. Оценить воздействие на биоту минеральной взвеси при гидротехнических работах на шельфе, сформулировать рекомендации по учету этого воздействия, в том числе при сильных приливно-отливных течениях.

7. Разработать методику построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от разливов нефти (как одного из видов антропогенного воздействия); построить сезонные картосхемы уязвимости биоты восточной части Баренцева моря и карты уязвимости/чувствительности Кольского залива.

8. Сформулировать концепцию комплексного экосистемного мониторинга как основы эколого-океанологического сопровождения хозяйственного освоения шельфа.

Научная новизна исследования

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные автором лично или совместно с коллегами, позволили разработать новые и усовершенствовать существующие методы мониторинга и оценки основных антропогенных воздействий на морскую среду и биоту, что необходимо для эколого-океанологического сопровождения проектов хозяйственного освоения шельфа.

1. Впервые для крупного арктического проекта освоения шельфового месторождения (Штокмановского ГКМ) создана картографическая база данных для экологического сопровождения проекта, которая может быть использована и для природоохранных целей.

2. Разработан метод непрерывного измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в приповерхностном горизонте, учитывающий основные факторы влияющие на измерения – растворенного органического вещества, освещенности, видового состава фитопланктона. Впервые для отдельных районов Баренцева и Азовского морей для приповерхностного горизонта с разрешением в несколько десятков метров одновременного контактно измерены концентрации хлорофилла, температура и соленость.

3. На основе метода Н.Г. Челинцева (до этого метод использовался только на суше) впервые по данным авиаучета сделаны оценки общей численности наиболее массовых видов птиц на большей части акватории Баренцева моря. Показано, что метод учета в колониях не дает общей численности птиц в регионе. Проведены авиаучеты морских и водоплавающих птиц вдоль побережья Кольского полуострова и о-ва Колгуев, в Белом море.

4. Впервые показано, что при оценке воздействия на биоту сейсмоакустических исследований на малых глубинах необходимо учитывать интерференционные явления и отражение акустических волн от дна и поверхности воды. Впервые для Баренцева моря получены оценки зон гидроакустического воздействия при работах по обустройству Штокмановского месторождения.

5. Сформулированы научно обоснованные рекомендации по количественной оценке воздействия чистой минеральной взвеси на гидробионты, учитываю-

щие время такого воздействия. Впервые показано, что воздействие взвеси на планктон может отсутствовать при гидротехнических работах в заливах и районах с сильным приливно-отливным течением.

6. Разработана методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. На ее основе построены мелкомасштабные сезонные картосхемы уязвимости биоты от нефти восточной части Баренцева моря и разномасштабные сезонные карты уязвимости Кольского залива. Выявлены районы «относительной» (по отдельным сезонам) и «абсолютной» (в целом за год) интегральной уязвимости.

7. Сформулирована концепция комплексного экосистемного мониторинга, который является базовой основой эколого-океанологического сопровождения хозяйственного освоения континентального шельфа.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработаны теоретико-методологические основы и практические решения по эколого-океанологическому сопровождению хозяйственного освоения континентального шельфа

Картографическая база данных Штокмановского проекта должна использоваться для экологического сопровождения этого проекта при его продолжении (моделирования процессов в районе воздействия, разработки программ и проведения инженерно-экологических изысканий и производственного экологического мониторинга) и может служить аналогом баз экологических данных подобных мега проектов.

Методика непрерывного флуориметрического измерения хлорофилла в воде может быть использована в различных гидробиологических исследований для изучения мелкомасштабного горизонтального распределении хлорофилла в приповерхностном слое. Эта информация применима для калибровки спутниковых снимков и может использоваться в ходе инженерно-экологических изысканий.

Результаты расчета численности птиц на обширных акваториях Печорского и Баренцева морей важны для ретроспективного анализа учета морской орнито-

фауны в этих районах. Выводы о возможности использования метода Н.Г. Челинцева для расчета общей численности птиц над большими акваториями и рекомендации по совершенствованию авианаблюдений орнитофауны необходимы для организации ее мониторинга.

Разработанные методы расчета поля акустического давления от группы ПИ были использованы при экологическом сопровождении сейсмоакустических исследований – при подготовке ОВОС и размеров ущербов от таких работ на мелководье арктических морей. Эти методы могут и должны применяться и далее в аналогичных условиях. Оценки зон гидроакустического воздействия при освоении Штокмановского месторождения дают отправную точку для планирования дальнейших исследований в этом направлении.

Выводы и рекомендации по учету воздействия взвеси имеют важное значение для анализа влияния этого фактора на экосистему морей при гидротехнических работах и для расчетов ущербов рыбным запасам. Эти рекомендации были использованы для ОВОС ряда проектов в Кольском заливе.

Предложенная методика построения карт уязвимости от нефти прибрежных и морских зон может служить основой для обсуждения и принятия единой российской методики разработки таких карт. Подобные карты необходимы для планов ликвидации разливов нефти и природоохранных целей. Разработанные картосхемы уязвимости биоты акватории Баренцева моря, разномасштабные сезонные карты уязвимости Кольского залива могут использоваться для принятия природоохранных мер, что уже сделано Всемирным фондом природы (WWF-Россия). Методика может применяться для построения карт уязвимости от других антропогенных воздействий (подводного шума, взвеси…), что важно с учетом требований СП 47.13330.2012 [2012].

Реализация положений концепции экосистемного мониторинга позволит получать необходимый комплексный объем информации об окружающей природной среде для ОВОС и разработки мероприятий по охране природной среды, более строго обосновывать возможность (или невозможность) осуществления

проектов освоения месторождений на арктическом шельфе, а приморским регионам проводить обоснованную природоохранной политики.

Методология и методы исследования

Методологическую и теоретическую основу исследований составили научные труды отечественных и зарубежных исследователей в области экологии морских экосистем, в том числе экологического мониторинга морских экосистем, океанологии, гидрооптики и флуориметриии, труды по учету объектов животного мира, токсикологии взвеси и нефти, по построению карт уязвимости морей. Это работы Г.Г. Матишова, С.А. Патина, Ю.А. Израэля, Ю.В. Краснова, О.Я. Сочнева, В.В. Денисова, С.Л. Дженюка, В.М. Муравейко, С.А. Соколовой, Н.А. Айбулатова, Г.С. Карабашева, Н.Г. Челинцева, Л.О. Белопольского, В.Б. Погребова, Я.Ю. Блиновской, А.И. Веденева, доклады группы авторов IMO/IPIECA и другие работы.

Флуориметрический метод непрерывного измерения хлорофилла в воде разработан на основе теоретического анализа и экспериментального учета основных влияющих факторов. Для оценки численности птиц по результатам их авианаблюдений на обширных акваториях использовался статистический метод, предложенный Н.Г. Челинцевым. Методы распространения акустического сигнала в водной среде разработаны на основе известных исходных положений, их анализа, дальнейшего обобщения и развития с учетом сформулированных обоснованных теоретических предпосылок. Для учета влияния взвеси на биоту использовались результаты лабораторных экспериментов с тестовыми объектами. При расчетах и построении карт уязвимости применялась ГИС-технология и метод экспертных оценок.

В работе использованы также методы математического моделирования, методы статистического и спектрального анализа, методы сравнения и аналогий, обобщения, системного анализа.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся теоретико-методологические основы и практические решения по эколого-океанологическому сопровождению хозяйственного освоения континентального шельфа:

1. Метод построения картографических баз данных при эколого-океанологическом сопровождении проектов хозяйственного освоения континентального шельфа на примере разработки базы данных для Штокмановского проекта.

2. Метод непрерывного судового измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде, учитывающая основные факторы, влияющие на отношение концентрация хлорофилла/интенсивность его флуоресценции.

3. Оценка общей численности массовых видов птиц на большей части акватории Баренцева и Печорского морей и рекомендации по совершенствованию авиаучетов.

4. Метод учета поля гидроакустического давления, формируемого за счет интерференционных явлений, в том числе при отражении волн от границ водной толщи (дна и поверхности воды) при сейсмоакустических исследованиях, проводимых на небольших глубинах (до 10 м)

5. Модифицированный метод оценки воздействия на биоту гидротехнических работ, учитывающий продолжительность данного воздействия и включающий в себя рекомендации по количественным дозам воздействия чистой минеральной взвеси на биоту. Доказательство отсутствия воздействия данной взвеси на зоопланктон в районе таких работ при сильных приливно-отливных течениях.

6. Метод расчета разномасштабных сезонных карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти и построение соответствующих сезонных картосхем уязвимости от нефти биоты Баренцева моря и сезонных разномасштабных карт уязвимости акватории Кольского залива.

7. Концепция комплексного экосистемного мониторинга морских экосистем при хозяйственном освоении шельфа.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность полученных результатов базируется, в первую очередь, на использовании стандартных методов обработки данных и общепринятых теоретических положениях.

Проточный флуориметр калибровался по стандартному экстрактному спектрофотометрическому методу и в последующем проводилось сравнение полученных результатов измерения концентрации хлорофилла фитопланктона с данными этого спектрофотометрического метода в других точках.

Достоверность результатов расчета общей численности птиц основывается на корректности проверенного и признанного метода Н.Г Челинцева.

Разработанный метод воздействия пневмоисточников на компоненты экосистемы при сейсмоакустических исследованиях на малых глубинах базируется на более строгих, чем ранее, подходах. Оценки влияния шума судов на биоту теоретически обоснованы, но требуют уточнения с использованием реальных данных о шумности судов.

В основу рекомендаций по воздействию взвеси на биоту положены экспериментальные данные с тестовыми объектами; использовавшиеся при этом выборки статистически обеспечены. Отсутствие воздействия взвеси на планктон в Кольском заливе при сильных приливно-отливных течениях основано на модельных расчетах и данных, полученных на тестовых объектах.

Для построения карт уязвимости использовались обобщённые достоверные данные распределения биоты; полученные результаты согласуются с теоретическими представлениями и уточняют их.

Основные положения диссертации докладывались на международных конференциях «Нефть и газ арктического шельфа» (г. Мурманск, 2002, 2004, 2006, 2008 гг.), RAO (г. Санкт-Петербург, 2003, 2005, 2007, 2009 гг.), на международной конференции в Ростове-на-Дону (2008 г.), на российско-норвежских семинарах (2004, 2006, 2007 гг. – в Мурманске, 2005 г. – в Москве, в РАН), на заседании российско-норвежской рабочей группы по работам в Арктике (2006, г. Ставангер, Норвегия), на международных конференциях проводимых ММБИ (1995–2010 гг.)

и Полярным НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (2009 г.), на мурманских региональных конференциях (2010–2014 гг.). Результаты разработки карт уязвимости морей от нефти обсуждались на семинарах рабочей группы Всемирного фонда природы в г. Мурманске, Москве и Санкт-Петербурге (2008, 2009, 2010, 2011 гг.), на международных конференциях «Шельф России – 2013» (г. Москва, 2013 г.), «ЭкоПечора 2014» (г. Нарьян-Мар), ROOGD-2014 (ОАО «ВНИИГАЗ), конференции РГО (г. Москва, 2014 г.), «Освоение Арктики: шаг за шагом–2014» (г. Мурманск, 2014 г.) в Комитете по экологии и охраны окружающей среды Мурманской ОблДумы (2012, 2015 гг.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 95 работ, в том числе 17 статей в журналах, входящих в список ВАК, в совместной монографии «Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения» [Шавыкин, Ильин, 2010], более чем в десяти разделах (главах) нескольких монографий, в материалах конференций и других публикациях. Полный список работ представлен в автореферате. Результаты разработок автора представлены также в научно-технических отчетах по хоздоговорам с нефтегазовыми компаниямти (Приложение А), при выполнении которых автор диссертации был ответственным исполнителем, зам. руководителя или руководителем работ.

Благодарности

Автор благодарит за помощь и ценные советы в период подготовки диссертации академика РАН Г.Г. Матишова, а также коллег из Мурманского морского биологического института КНЦ РАН д.б.н. Ю.В. Краснова, д.г.н. С.Л. Дженюка, д.г.н. В.В. Денисова, д.б.н В.С. Зензерова, д.б.н. Г.М. Воскобойникова, д.б.н. П.Р. Макаревича, к.г.н. Г.В. Ильина, к.б.н. А.Д. Чинарину, Ю.И. Ивакину, сотрудников лаборатории инженерной экологии А.Н. Карнатова, П.С. Ващенко, О.П. Калинка, Г.Н. Духно, а также д.г.н. С.В. Бердникова (ЮНЦ РАН), д.т.н. О.Ю. Корнеева (ОАО «Севморгео»), д.г.-м.н. А.Е. Рыбалко (ОАО «СЕВМОРГЕО»),

д.б.н. В.В. Погребова (ЗАО «Экопроект»), д.г.н. М.Б. Шилина (РГГМУ), сотрудников ЗАО «ЭКОПРОЕКТ».

Совместная работа с д.б.н. Ю.В. Красновым, д.ф.-м.н. А.К. Клеванным, д.ф.-м.н. В.В. Калинчуком, д.г.н. В.Д. Бойцовым, д.г.н. В.И. Чернооком, к.ф.-м.н. А.И. Веденевым, к.ф.-м.н. К.В. Авиловым, к.г.н. Г.В. Ильиным, к.ф.-м.н. О.Е. Архиповой, к.б.н. М.В. Гаврило, к.г.н. В.В. Сапрыгиным, к.б.н. С.А. Соколовой позволила решить ряд проблем и сформулировать, в том числе, положения, выносимые на защиту. Разработка карт уязвимости выполнена при финансовой поддержке Всемирного фонда природы (WWF-Россия) и содействии сотрудников WWF О.К. Суткайтиса, В.Г. Краснопольского, А.Ю. Книжникова, а также при поддержке ВОО «Русское географическое общество».

Основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и восьми приложений. Рукопись содержит 581 страницу текста (из них 184 – приложения), 75 таблиц (в том числе 47 в приложениях), 134 рисунка (в том числе 38 в приложениях). Список литературы включает 639 названий (из них только в приложениях – 117), в том числе 242 – на иностранных языках.

ГЛАВА 1 ИСТОЧНИКИ И ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ МОРЯ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ

В главе описывается экосистема Баренцева моря (§ 1.1), для которого, но не только для него, в дальнейшем ведется последующее рассмотрение. Представлены общие сведения о месторождениях углеводородов (УВ) на шельфе Западной Арктики (§ 1.2). Описаны основные этапы экологического сопровождения освоения месторождений углеводородов (§ 1.3). На основе работ С.А. Патина [1997; 2001] и ММБИ [Научно-методические …, 1997] приведена информация об основных источниках и факторах воздействия на морские экосистемы при подобных работах (§ 1.4).

Обсуждаются общие проблемы экологического сопровождения нефтегазовых проектов в Арктике (§ 1.5). Они даны на основе публикаций, в подготовке которых автор настоящей диссертации принимал самое непосредственное участие [Матишов и др., 2003; Краснов и др., 2004 ; Краснов и др., 2004c; Матишов и др., 2004; Матишов и др., 2004a; Жигульский и др., 2005; Матишов и др., 2005a; Матишов и др., 2005b; Шавыкин и др., 2006; Шавыкин и др., 2008; Матишов и др., 2006; Плотицына и др., 2006; Ярыгин и др., 2006; Макаревич, Шавыкин, 2008; Матишов и др., 2008; Матишов и др., 2008a; Матишов и др., 2008b ; Шавыкин и др., 2010b**].**

В Приложении А перечислены наиболее значимые проекты по эколого-океанологическому сопровождениюю проектов освоения арктического шельфа, в том числе по инженерно-экологическим изысканиям, оценкам воздействия на окружающую среду при освоении месторождений шельфа Арктики, разработкам программ производственного экологического мониторинга и другим . Эти отчеты по хоздоговорам подготовлены специалистами ММБИ КНЦ РАН при непосредственном участии автора настоящей диссертации – в качестве руководителя работы (или заместителя руководителя) и исполнителя той или иной ее части.

1.1 Описание экосистемы Баренцева моря

Описание экосистемы Баренцева моря приведено по монографии [Шавыкин, Ильин, 2010]. Для Карского моря и других, более восточных арктических морей, характерен относительно больший ледовый покров и более длительный ледовый период, более низкие температуры воды и воздуха в течение всего года, значительный сток пресных речных вод, меньшая биологическая продуктивность. В целом экосистемы арктических морей из-за указанных условий обладают значительно более низкой способностью к биологическому самоочищению и потому более уязвимы от антропогенного воздействия.

Условия функционирования баренцевоморской экосистемы. Баренцево море представляет собой шельфовый мелководный водоем, средняя глубина которого 230 м. Наиболее мелководна юго-восточная часть - Печорское море. Максимальные глубины (примерно 400 м) соответствуют Центральному желобу - впадине, расположенной в центральной части Баренцева моря. От Арктического бассейна и соседних арктических морей водоем отделен архипелагами. С запада - открыт для свободного водообмена с другими морями. Система желобов в мелководном рельефе определяет направленность основных ветвей течений в южной и северной частях моря (рисунок 1.1).

По многообразию взаимосвязей абиотической и биотической компонентов, обширности географических границ, баренцевоморская экосистема является большой морской экосистемой (БМЭ) [Large Marine ..., 1990; Matishov, Denisov, 2000; Matishov et al., 2003]. Поступающая теплая атлантическая вода формирует климатические условия водной среды бассейна, переносит биогенные соли и бореальные виды пелагических организмов: микроводоросли, зоопланктон, включая икру и личинки рыб и бентосных беспозвоночных. Адвекция атлантических вод создает предпосылки высокой биологической продуктивности баренцевоморской БМЭ. Зимняя вертикальная конвекция определяет благоприятный режим вентиляции водной толщи и обеспечивает кислородом глубинные слои [Жизнь и условия ..., 1985]. Важным системообразующим компонентом является ледовый по-

кров, определяющий сезонность сукцессии пелагических биоценозов на акватории открытого моря.

Морской лед и окружающая его водная масса могут идентифицироваться как локальная экосистема. В ней создаются специфические условия – галоклин и распресненный слой вод, граница раздела твердой и жидкой фазы, и биологические условия – смешение пелагических и криоценозов. Сезонная динамика кромки льда обеспечивает перманентное продвижение с апреля по сентябрь продуктивной весенней фазы сукцессии в обогащенные биогенами северные области.

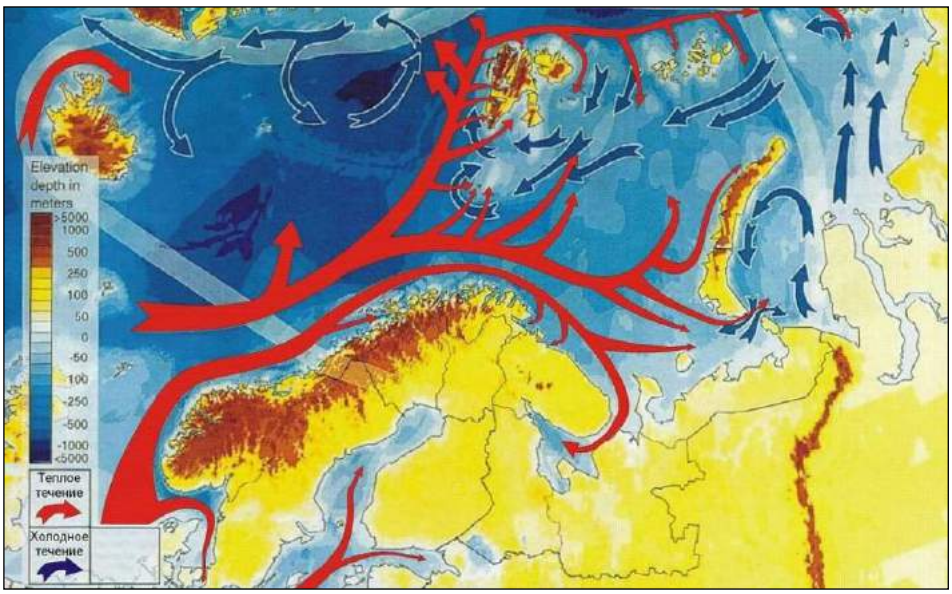


Рисунок 1.1 – Схема переноса теплых атлантических и холодных арктических вод в Баренцевом море [Matishov, Denisov, 2000]

Важным функциональным звеном баренцевоморской БМЭ является взаимодействие генетически разнородных водных масс, что образует фронтальные разделы различного пространственно-временного масштаба. Наиболее значим и экологически важен так называемый полярный фронт и полярная фронтальная зона (ПФЗ), относящаяся к типу квазистационарных климатических фронтов [Агеноров, 1944; Федоров, 1983; Ожигин, 1989]. В зоне полярного фронта за счет гидродинамических процессов поддерживаются высокие биопродуктивность и биоразнообразие, создается кормовая база для крупных популяций морских птиц и млекопитающих. На участках дна в районе ПФЗ повышены биопродуктивность и обилие донной фауны [Ильин, 1989; Комплексное управление … , 2006].

Структура баренцевоморской экосистемы. Различия системообразующих факторов позволяют выделить в пространственной структуре БМЭ в качестве крупных структурных модулей несколько локальных экосистем: пелагиали, донные (бентические), атлантических и арктических вод, фронтальных зон, морских льдов и ледовой кромки, прибрежные (в т.ч. крупных губ и заливов). Эти экосистемы не имеют четко очерченных пространственно-временных границ в соответствии с изменением границ действия системообразующих признаков.

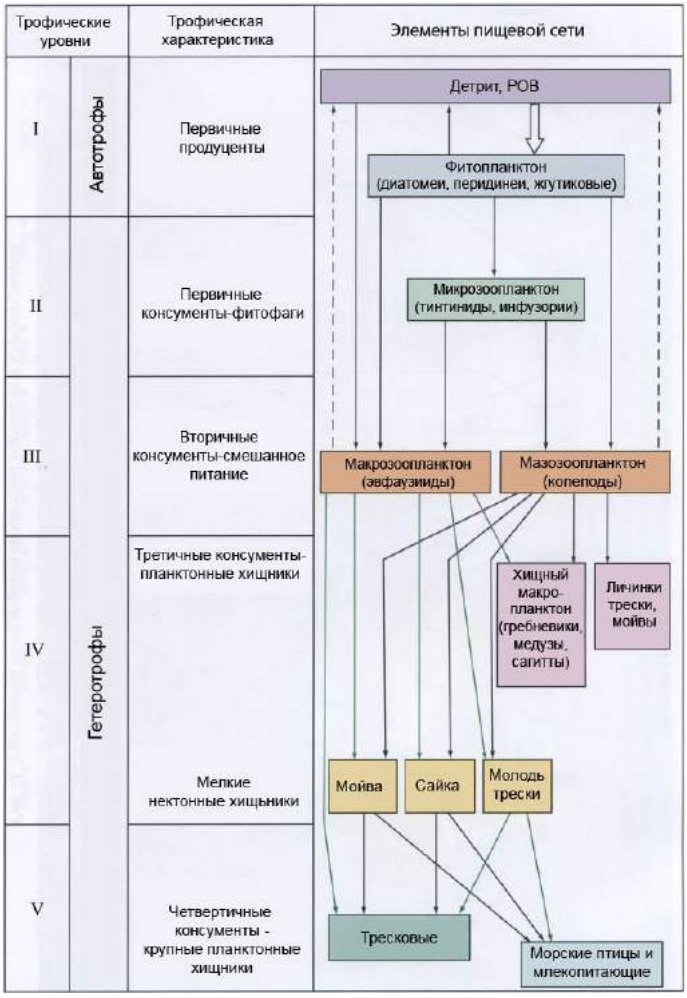


Рисунок 1.2 – Блок-схема пелагической пищевой цепи в пелагиали Баренцева моря [Макаревич, Дружкова, 2007]

Функциональная (трофическая) структура баренцевоморской БМЭ представлена на блок-схеме пищевой сети (рисунок 1.2) и на упрощенной модели пищевой сети (рисунок 1.3). Основу пищевой пирамиды (автотрофы) и второй ее уровень (зоопланктон) создают организмы бореальной и арктической биогеографических групп. В пелагиали выделено пять трофических уровней, последовательно связывающих автотрофов и гетеротрофов и обеспечивающих передачу энергии по пелагической пищевой сети.

На модели (рисунок 1.3) показаны трофические связи между животными разных трофических уровней. Ихтиофауна представлена типичными видами основных экологических групп: пелагическими планктофагами (молодь разных видов, мойва, сайка), донно-пелагическими хищниками (треска, пикша), донными хищниками (камбаловые, зубатки).

Биотическая структура экосистемы. В пелагиали Баренцева моря зарегистрировано 307 видов *микроводорослей,* более 200 видов *зоопланктона*. Оценить современное состояние *ихтиопланктона* Баренцева моря невозможно из-за отсутствия за последние 15 лет целенаправленных ихтиопланктонных исследований. В Баренцевом море отмечено 182 вида и подвида *рыб* (постоянно обитает или проводит здесь часть жизненного цикла не более 126 видов и подвидов) [Карамушко, 2008].

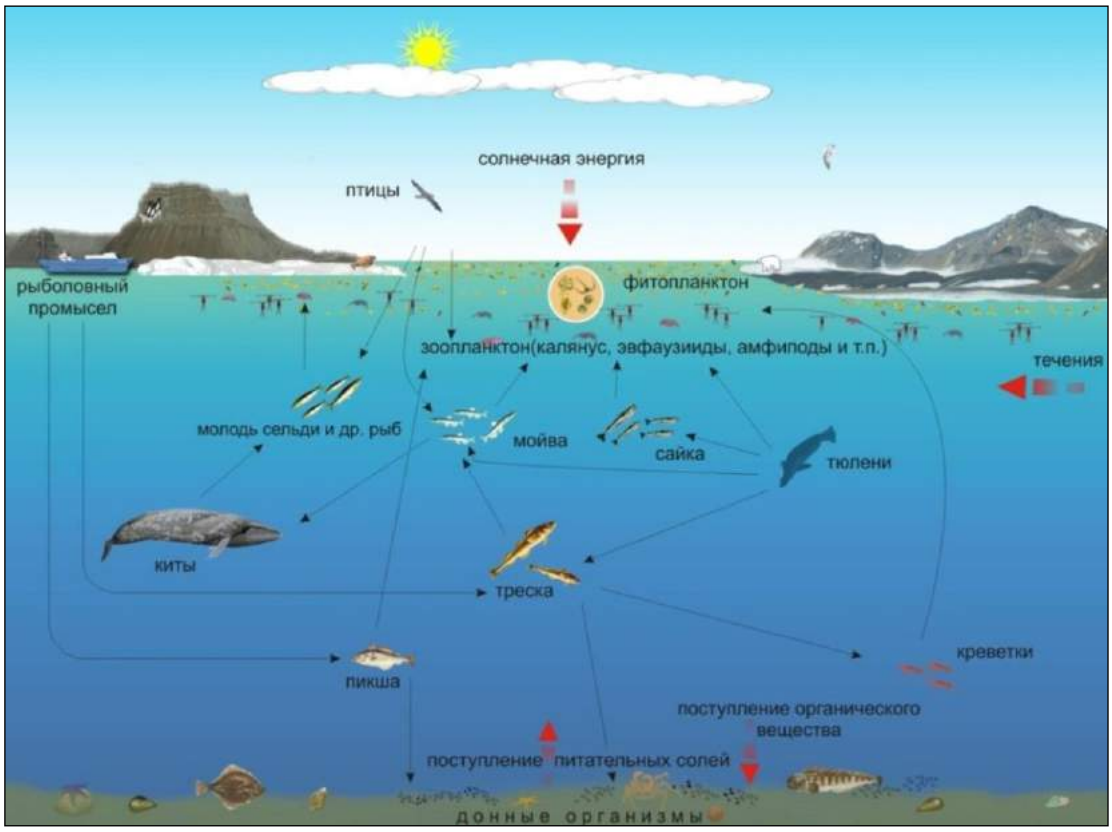


Рисунок 1.3 – Упрощенная модель пищевой сети Баренцева моря [Комплексное управление … , 2006]

Только 21 вид и подвид имеют промысловый статус (наиболее важны треска, пикша, сайда, мойва, синяя и пятнистая зубатки, камбала-ерш, морская камбала, гренландский черный палтус) [Матишов и др., 2007]. *Бентофауна* баренцевоморской БМЭ насчитывает примерно 2500 свободноживущих и прикрепленных видов [List ..., 2001; Денисенко, 2007]. Преобладают иглокожие, двустворчатые моллюски, полихеты и ракообразные [Матишов и др., 2007].

На акватории моря обитает примерно 20 видов *морских млекопитающих*. Большинство из них являются редкими или охраняемыми и занесены в Красные

книги (см. далее главу 2). В открытых районах бассейна регулярно встречается 16 видов *морских колониальных птиц.* Основу авифауны открытых районов моря составляют два вида морских птиц — глупыш и моевка [Краснов, Николаева, 1996]. *Морские водоплавающие птицы* - это в основном морские утки, обитающие в узкой прибрежной зоне моря. Максимальные их скопления характерны для Печорского моря.

Распространение основных биотических компонентов экосистемы моря имеет ряд особенностей и сезонных закономерностей. Максимальное обилие зоо-, фито-, ихтиопланктона, бентоса, рыб, птиц и морских млекопитающих приурочена главным образом к прибрежным и прикромочным районам. Более подробное описание распределения биотических компонентов и всей экосистемы Баренцева моря приведено в работах [Научно-методические …, 1997; Ecosystem Barents …, 2009; Шавыкин, Ильин, 2010; The Barents Sea, 2011 и др. работы].

Антропогенное загрязнение морской среды обусловлено, главным образом, дальними переносами в атмосфере, океане и стоками рек. Другими, постоянно возрастающими антропогенными факторами, являются морской транспорт и добыча нефти и газа на шельфе. Баренцево море может быть квалифицировано как чистый морской регион. Вариации содержания поллютантов в воде и донных осадках, связанные с превышением ПДК, временами отмечаются на участках полярного гидрофронта и прибрежной зоны. В основном, это нефтепродукты и некоторые тяжелые металлы [Химические процессы …, 1997; Environmental Status …, 2003; Матишов, Ильин, 2006].

Функционирование экосистемы. Баренцевоморская экосистема, как и экосистемы других бореальных и арктических морей, характеризуется сезонной цикличностью стадий сукцессии. Наиболее динамичная смена сукцессионных стадий происходит в весенне-летний период — от середины марта до сентября, что обеспечивается климатической периодичностью поступления световой энергии в экосистему. Начало массового развития микроводорослей связано со стратификацией водной толщи и с формированием пикноклина в верхних слоях воды [Ильин, 1991]. В сентябре–октябре в разных участках БМЭ начинается стадия покоя.

Положение криосистемы в течение весны и лета смещается вместе с кромкой льдов на север, увеличивая зону высокой продуктивности экосистемы в целом. В узкой полосе (20–50 км) у кромки льда создается высокая концентрация организмов всех трофических уровней, что делает этот участок экосистемы уязвимым при разливе нефти в продуктивный период года. Важное условие пластичности баренцевоморской БМЭ - эта экосистема развивается по типу пограничной (или смешанной) между бореальной (атлантической) и арктической системами [Матишов и др., 2007].

1.2 Месторождения на шельфе Западной Арктике и планы их освоения

Ресурсы и запасы углеводородов на месторождениях шельфа Арктики. Суммарная оценка для отдельных извлекаемых ресурсов УВ континентальных окраин Северного ледовитого океана составляет порядка 110 млрд т, в том числе рентабельных – более 30 млрд т. Это превышает запасы континентальных окраин каждого из океанов Земли [Павленко, 2010].

По данным Минприроды РФ, извлекаемые ресурсы ***российского шельфа*** превышают 100 млрд т у.т., из них 41.77 % приходится на шельф Баренцева и 33.46 % на шельф Карского морей. При наметившейся тенденции истощения материковых запасов нефти и газа эти регионы к 2020-2030 гг. станут новой ресурсной базой УВ России [Глухарева, 2011]. Российские акватории Западной Арктики содержат 43.1 % запасов жидких УВ и 91.3 % запасов газа всего шельфа Арктики (рисунок 1.4). По уровню начальных извлекаемых запасов УВ арктические моря заметно превосходят и остальные моря России – рисунок 1.5 [Павленко, 2010].

На шельфе западных арктических морей России сконцентрированы крупнейшие УВ запасы. Среди газоносных выделяются Штокмановское, Ледовое, Русановское и Ленинградское газоконденсатные, Лудловское газовое месторождения (рисунок 1.6).

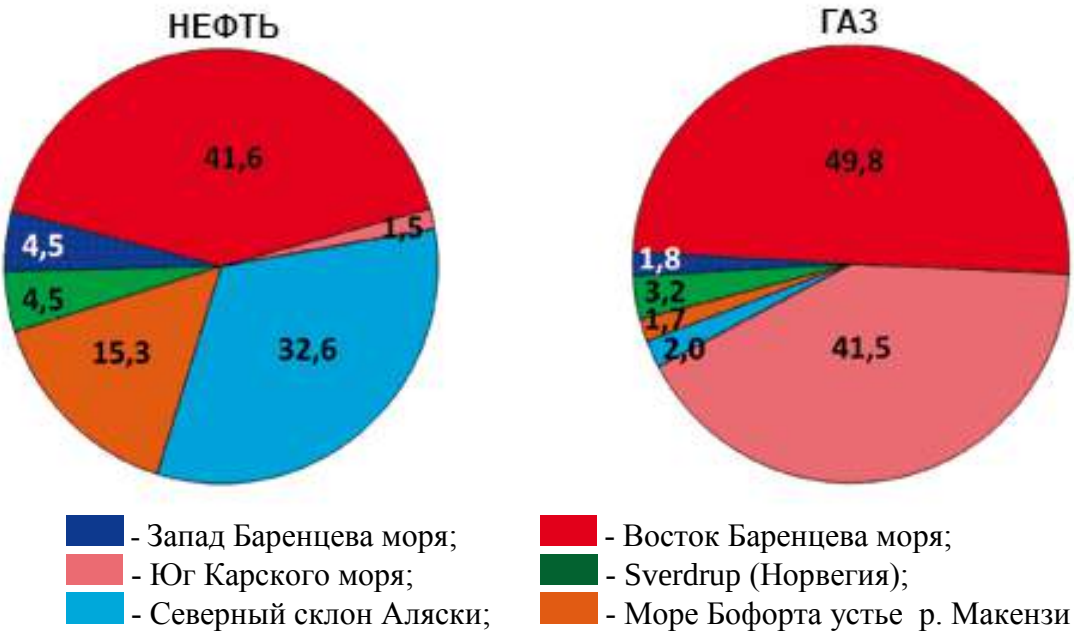


Рисунок 1.4 – Распределение запасов нефти и газа (%) на шельфе Арктики [Богоявленский, Богоявленский, 2011]

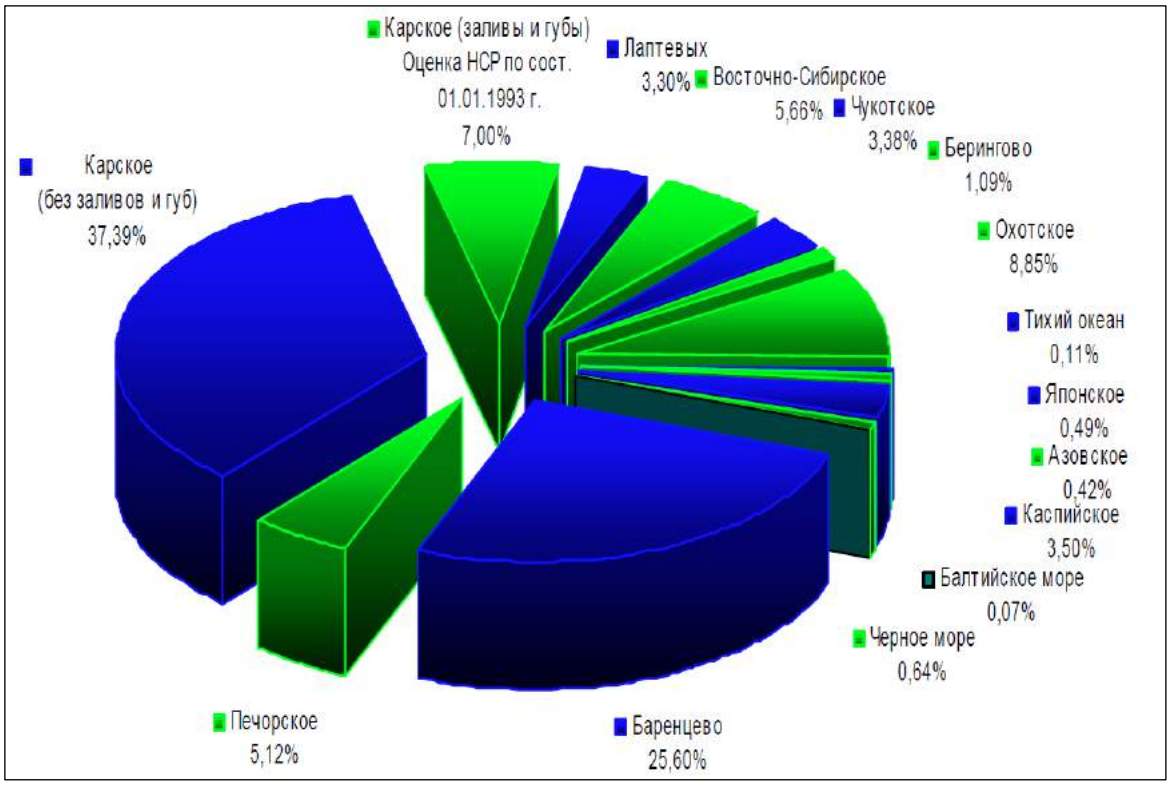


Рисунок 1.5 – Распределение начальных суммарных ресурсов углеводородов в недрах морей России

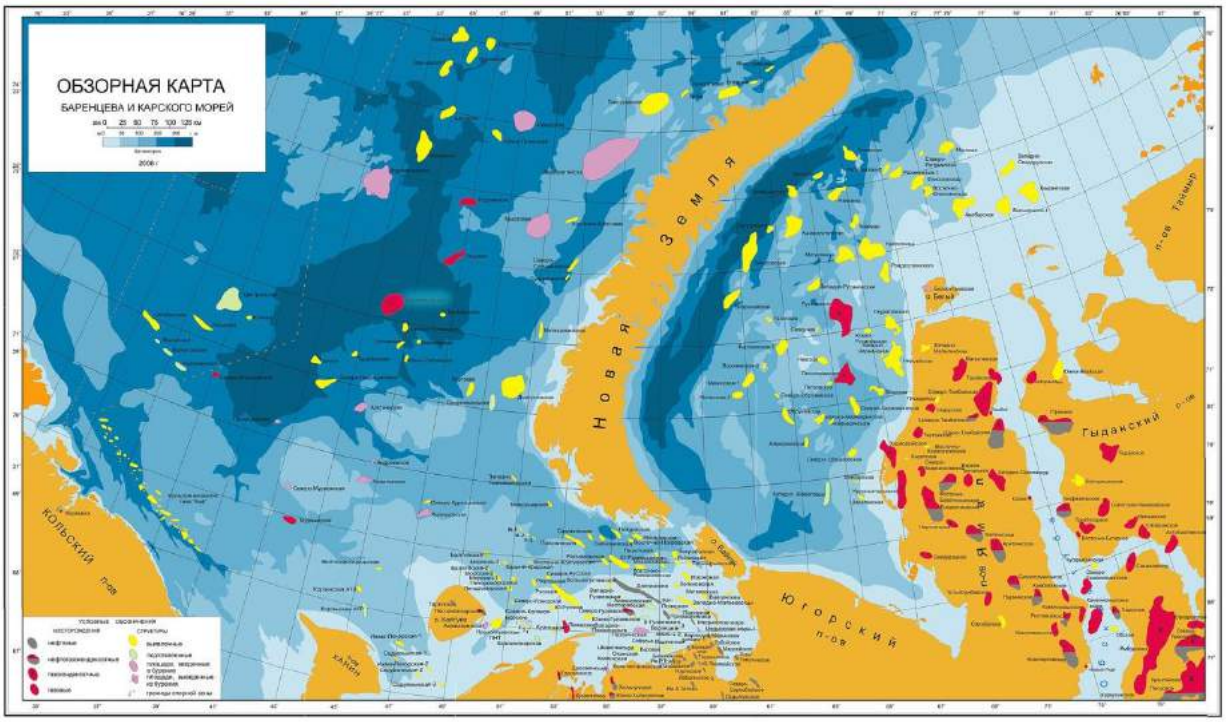


Рисунок 1.6 – Обзорная карта месторождений углеводородов в Баренцевом и Карском морях [Кольские карты 2006-2012, 2006]

Их разведанные балансовые запасы промышленных категорий А+В+С1 составляют свыше 3 млрд т нефти и конденсата, а также более 4 трлн куб. м газа, включая 3,8 трлн м3 уникального по запасам Штокмановского газоконденсатного месторождения [Глухарева, 2011]. В настоящее время в Арктике ведется добыча только на 11 морских арктических месторождениях: на Северном Склоне Аляски в море Бофорта (9), в норвежском секторе Баренцева моря (1), в Карском море в Тазовской губе (1) [Богоявленский, Богоявленский, 2011].

Баренцевоморский регион является преимущественно газоносным. Начальные суммарные извлекаемые ресурсы УВ Баренцева моря оцениваются в 22.7 млрд т у.т., из них газообразные – в 21.6 трлн м^3, нефть и конденсат – 1.1 млрд т.

Начальные суммарные извлекаемые ресурсы Печорского моря оцениваются в 4.9 млрд т у.т. В структуре ресурсов жидкие УВ составляют 2.2 млрд т, газообразные – 2.7 трлн м^3 [Белонин, Прищепа, 2006 , цит. по Глухарева, 2011]. Начальные суммарные извлекаемые ресурсы нефти Баренцева (российский сектор) и Печорского морей представляют всего 9 % разведанных запасов. Разведанные балансовые запасы по категориям C_1+C_2 нефти Приразломного месторождения в Печорском море составляют 295 млн т, извлекаемые – 75.3 млн т [Глухарева,

2011]. Нефтяные и газовые месторождения, а также терминалы Запада Российской Арктики показаны на рисунке 1.7.

Месторождения п-ва Ямал и прилегающего шельфа Карского моря имеют стратегическое значение для перспектив добычи газа в России и промышленного освоения региона. Здесь открыто 11 газоносных и 15 нефтегазоносных месторождений. По предварительной оценке, разведанные запасы газа по категориям $A+B+C_1+C_2$ составляют примерно 16 трлн м^3. Перспективные (C_3) и прогнозные (D_3) ресурсы газа составляют около 22 трлн м^3, запасы конденсата промышленных категорий $A+B+C_1$ оцениваются в 230.7 млн т, нефти – в 291.8 млн т. Запасы газа по категориям $A+B+C_1+C_2$ крупнейшего Бованенковского месторождения оцениваются в 4.9 трлн м^3. Начальные запасы Харасавейского, Крузенштернского и Южно-Тамбейского месторождений – 3.3 трлн м^3 [Глухарева, 2011].

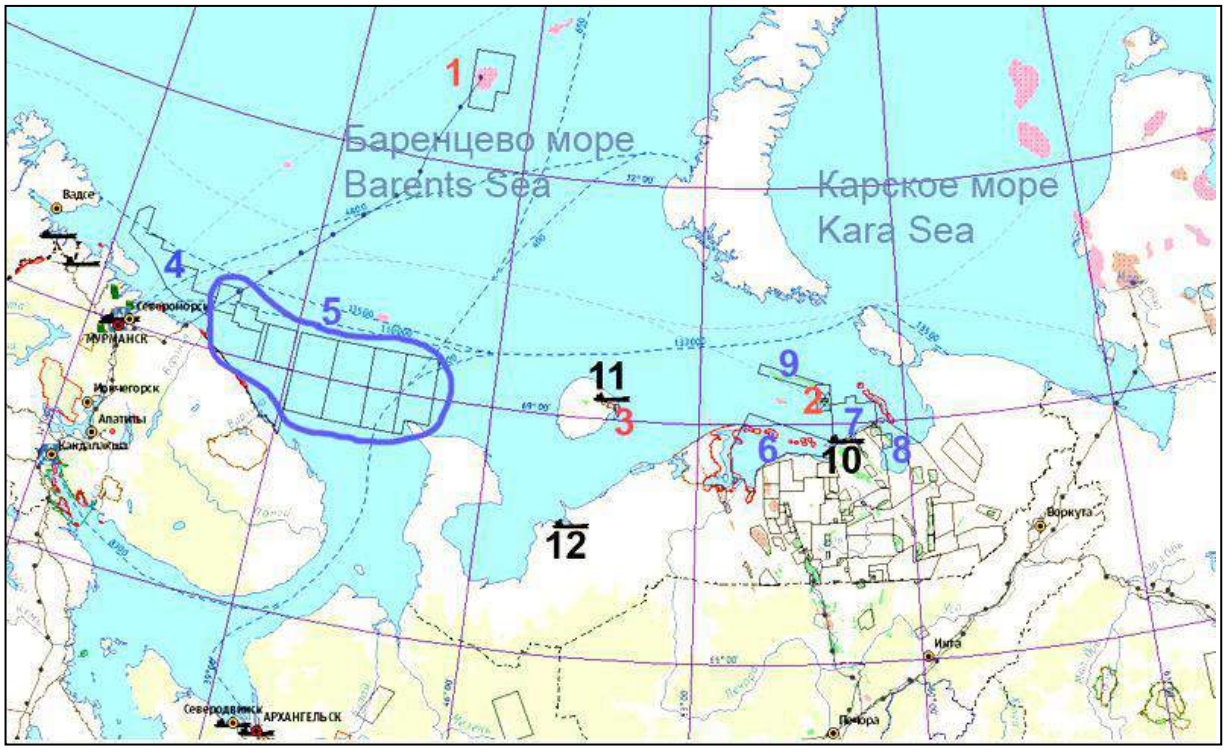


Рисунок 1.7 – Нефтяные и газовые месторождения и терминалы Запада Российской Арктики: 1 – Штокмановское газоконденсатное месторождение; 2 – Приразломное нефтяное месторождение; 3 – Песчаноозерское нефтяное и газоконденсатное месторождение; 4 – Рыбачинский блок углеводородов; 5 – Кольский блок углеводородов; 6 – Углеводород-ный блок западной части Печорского моря; 7 – Медынско-Варандейский блок нефти и газа; 8 – Варандей-Адзвинская нефтяная структура; 9 – Долгинский блок углеводородов; 10 – терминал Варандей; 11 – терминал Колгуев; 12 – терминал Индига [Глухарева, 2011]

В регионе п-ва Ямал и прилегающего шельфа ОАО «Газпром» планирует перспективную ежегодную добычу газа на уровне 310-360 млрд $м^3$. Данные объемы сопоставимы с сегодняшними газовыми поставками ОАО «Газпром» на национальный рынок и составляют половину общих объемов добычи газа в России. На полуострове Ямал строится завод по производству СПГ. Согласно «Концепции государственной программы по изучению и освоению континентального шельфа Российской Федерации», при активном сценарии развития ежегодная добыча газа в России с вовлечением в разработку новых открытых и перспективных месторождений на шельфе может достичь 150 млрд $м^3$ в 2020 г., значительную часть которой обеспечат регионы Запада Арктики, включая Баренцево, Печорское и Карское моря [Pavlenko, Glukhareva, 2010, цит. по Глухарева, 2011].

Освоение одного шельфового арктического месторождения в России уже ведется. Это Юрхаровское газоконденсатное месторождение под дном Тазовской губы. Добыча проводится ООО «Новатек-Юрхаровнефтегаз» с 2002 г. наклонными скважинами [Богоявленский, Богоявленский, 2011]. В декабре 2013 г. началась первая добыча нефти на арктическом шельфе России (Приразломное месторождение). Штокмановский проект являлся наиболее перспективным с точки зрения развития добычи и транспортировки газа. Но сроки его постоянно переносятся.

Важной проблемой освоения арктического шельфа, как отмечает В.И. Павленко [2010], остается низкая изученность Северного ледовитого океана (рисунок 1.8), что не позволяет достаточно достоверно оценить реальные запасы УВ в недрах. На наиболее изученных участках шельфа Баренцева моря плотность сейсмических наблюдений редко превышает 1 км на 1 $км^2$ площади. Для сравнения, в Северном море плотность сейсмических профилей превышает 4 км/$км^2$, а количество скважин – около 500 на перспективной площади 457 $км^2$ [Павленко, 2010].

В целом шельф России – самый крупный в обозримой перспективе объект добычи УВ сырья. Нефтегазовый потенциал шельфа арктических морей России в состоянии обеспечить внутренние и экспортные потребности страны в течение сотни лет [Павленко, 2010]. *Учитывая эти перспективы, антропогенная нагрузка на экосистему арктических морей будет возрастать. Поэтому вопросы экологи-*

ческой безопасности, корректности оценки воздействий, проблема охраны окружающей среды Арктики приобретает все большее значение.

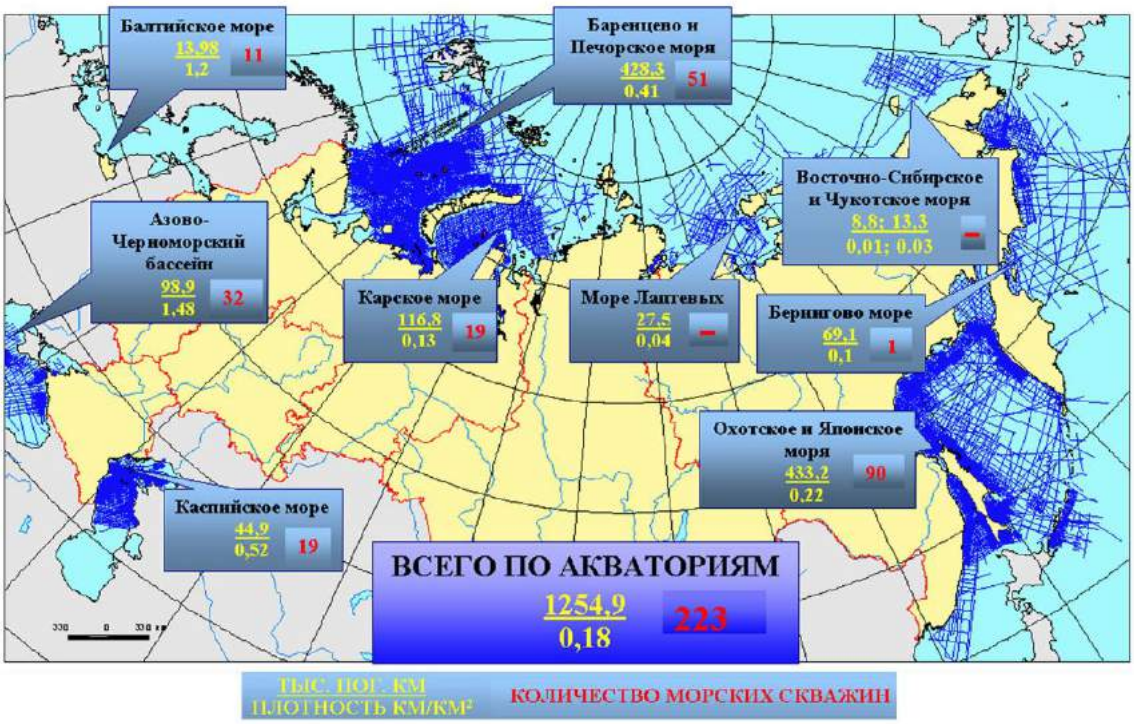


Рисунок 1.8 – Сейсмическая изученность континентального шельфа России

1.3 Основные этапы экологического сопровождения освоения шельфовых проектов

Вопросы экологического обоснования хозяйственной деятельности изложены в «Инструкции по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности» [РФ. Правительство. Инструкция по экологическому …, 1995] и в ряде других нормативных документов. Вместе с тем, учитывая более широкий спектр экологических проблем, связанных с хозяйственной деятельностью, все чаще говорят о более широком понятии – об экологическом сопровождении хозяйственной деятельности. В последнее время в России появилось несколько различных работ и публикаций, в которых в той или иной степени анализируется в целом все этапы экологического сопровождения хозяйственной деятельности, в том числе на шельфе [Говорушко, 2003; Лещинский и др., 2006; Оценка воздействия … , 2008]. Хотя следует отметить, что собственно для хозяйственной деятельности на шельфе таких работ явно недостаточно.

Сопровождение хозяйственной деятельности должно осуществляться на всех ее стадиях. Оно включает три вида деятельности: оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологическую экспертизу и экологический аудит [Говорушко, 2003, с. 5]. В совместной российско-германской монографии дается следующее определение: «экологическое сопровождение проектов – многокомпонентный процесс, включающий в себя оценку воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду, разработку и реализацию мер по защите окружающей среды и компенсации ее негативных изменений, экологическую экспертизу проектных решений и контроль их исполнения на практике» [Оценка воздействия … , 2008, с. 7]. На наш взгляд здесь нет основного базового элемента, на чем строится вся процедура ОВОС и мероприятия по охране окружающей среды – отсутствует экологический мониторинг.

Экологическое сопровождение хозяйственной деятельности (ЭСХД) предполагает различные работы, как хозяйствующего субъекта, так и независимых от него различных контролирующих органов, которые напрямую не указаны в приведенных определениях. Мы даем более широкую трактовку ЭСХД, включающую все виды экологической деятельности при реализации проекта.

Экологическое сопровождение проекта хозяйственной деятельности – различные виды работ по обеспечению экологической безопасности при реализации проекта, минимизации экологического ущерба и охране окружающей среды на всех этапах осуществления проекта (предпроектной и проектной стадиях, этапах строительства объекта, его эксплуатации и ликвидации). Задачи экологического сопровождения любого проекта: 1) обоснование возможности его реализации с экологической точки зрения на основе процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), 2) проведение экологического мониторинга и контроля, 3) разработка и осуществление мероприятий по охране окружающей среды (ООС). *Эколого-океанологическое сопровождение* – часть общего экологического сопровождения и, главным образом, связано с морской биотой и морской средой.

Такое сопровождение включает:

– деятельность *хозяйствующего субъекта* (в том числе привлекаемых им подрядчиков) включает три основных этапа: 1) получение необходимых исходных данных для ОВОС и обоснования проведения мероприятий по охране окружающей среды, 2) собственно обоснование таких мероприятий, 3) их реализацию. Для этого проводят инженерно-экологические изыскания (ИЭИ), оценку воздействия на окружающую среду планируемого проекта, разрабатывают мероприятия по охране окружающей среды, выполняют производственный экологический мониторинг (ПЭМ), производственный экологический контроль (ПЭК), экологический менеджмент, ОВОС действующего проекта. Последнее – с учетом предлагаемой далее концепции экосистемного мониторинга (глава 8).

– деятельность *контролирующих органов* (государственных органов, общественных природоохранных организаций, саморегулируемых организаций) как составная часть экологического сопровождения конкретного проекта предполагает как контрольные функции (государственная экологическая экспертиза, общественная экологическая экспертиза, экологический аудит, государственный экологический мониторинг) с учетом всестороннего анализа окружающей природной среды районов воздействия, так и проведение собственно всестороннего анализа окружающей природной среды в полном объеме. Содержание всестороннего анализа ОПС подробно рассмотрено далее в главе 2.

«Целью экологического сопровождения проектов является создание условий, при которых в идеале отрицательные последствия воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду будут отсутствовать, а на практике минимизированы до уровня, позволяющего говорить об экологической безопасности реализации инвестиционного намерения» [Там же].

Эти виды деятельности в рамках шельфовых проектов связаны с различными компонентами окружающей среды, в том числе с атмосферными процессами, геологической средой, морской средой. В последнем случае можно говорить об эколого-океанологическом сопровождении освоения месторождений нефти и газа на шельфе, в нашем случае – на арктическом. В диссертации рассмотрены два основных вида деятельности, входящих в эколого-океанологическое сопровождение

проектов: ОВОС и экологический мониторинг. Они связанны с процессами воздействия на морскую окружающую среду и биоту в ней (гидроакустическое воздействие и воздействие взвеси на морских организмов, уязвимость биоты от нефти) и мониторингом морской среды и морской биоты. При этом экологический мониторинг рассматривается нами в более широком плане – как экосистемный мониторинг на всем жизненном цикле проекта и является базовой основой всего экологического сопровождения хозяйственной деятельности на всех этапах проекта от его начала до полного завершения.

Этапы освоения шельфовых месторождений. При разработке нефтегазовых месторождений на шельфе, собственно освоение месторождения включает несколько этапов: 1) поисковые (научно-исследовательские) работы, 2) поисковое, разведочное и эксплуатационное бурение, 3) обустройство месторождения, 4) эксплуатация месторождения, 5) ликвидация надводных и подводных сооружений месторождения и консервация объекта. Эта последовательность представлена в таблице 1.1 [Оценка воздействия … , 2008, стр. 13].

Второй этап, кроме поисковых работ, включает также различные виды инженерных изысканий [СНиП 11-02-96, 1996; с середины 2013 – СП 47.13330.2012, 2012], в ходе которых проводятся исследования окружающей природной среды, необходимых для проектирования и ОВОС. Его можно назвать периодом инженерных изысканий.

Место инженерно-экологических изысканий и ОВОС в экологическом сопровождении. Примерная последовательность этапов реализации проекта хозяйственной деятельности от составления декларации о намерениях (ДОН) до ликвидации объекта и соответствующие им процедуры экологического сопровождения представлены на следующей схеме.

Существуют подробные нормативные документы [РД 51-01-11-85, 1986; СНиП 11-02-96, 1996; СП 11-102-97, 1997; СП 47.13330.2012, 2012], в которых изложены требования к этапам и содержанию инженерно-экологических изысканий (ИЭИ). Требования к экологическому мониторингу, изложенные в последнем СП рассмотрены далее в главе 3. Материалы ИЭИ должны обеспечивать разработку

Декларации (ходатайства) о намерениях, разделов «Оценка воздействия на окружающую среду» (ОВОС) на стадии обоснований инвестиций и «Охрана окружающей среды» в проекте строительства [РД 51-01-11-85, 1986] и именно для подготовки этих документов, в первую очередь, используются результаты ИЭИ.

Таблица 1.1 – Этапы экологического сопровождения инвестиционного процесса

<table>
<tr><th>Этапы инвестиционного процесса</th><th colspan="2">Экологическое сопровождение намечаемой деятельности</th></tr>
<tr><td rowspan="7">1.Формирование и предварительное согласование инвестиционного замысла</td><td colspan="2">1.1. Формирование идеи намечаемой деятельности и составление инвестиционного замысла</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.2. Предварительная оценка воздействия на окружающую среду</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.3. Составление и подача заявления о намерениях в орган власти</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.4. Предварительный анализ заявления о намерениях органом власти</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.5. Согласование заявления о намерениях с контролирующими ведомствами, информирование общественности и местного населения</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.6. Принятие решения о принципиальной допустимости или недопустимости намечаемой деятельности и дальнейшем порядке ее реализации</td></tr>
<tr><td colspan="2">1.7. Разработка технического задания на ОВОС при проведении работ по обоснованию инвестиций и (или) разработке технико-экономического обоснования (проекта)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2. Проведение специфических работ по ОВОС, необходимых для выбора места размещения намечаемой деятельности и определения экологических ограничений для принятия проектных решений</td><td colspan="2">2.1. Проведение инженерно-экологических изысканий и выполнение работ по ОВОС</td></tr>
<tr><td colspan="2">2.2. Согласование намечаемой деятельности после выполнения ОВОС и выбор места ее размещения</td></tr>
<tr><td colspan="2">2.3. Предварительное согласование участка для намечаемой деятельности</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3. Разработка и согласование проектной документации</td><td colspan="2">3.1. Оценка воздействия на окружающую среду с учетом принимаемых проектных решений и планируемых природоохранных мероприятий при разработке проекта (ТЭО или утверждаемой части рабочего проекта)</td></tr>
<tr><td colspan="2">3.2. Государственная экспертиза проектной документации</td></tr>
<tr><td>Для объектов, подлежащих ГЭЭ</td><td>Для объектов, не включенных в список объектов ГЭЭ</td></tr>
<tr><td>3.2.1. Государственная экологическая экспертиза проектной документации</td><td>3.2.2. Экологический аудит проектной документации</td></tr>
<tr><td colspan="3">3.3. Предоставление земельного участка для размещения объекта</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4. Реализация намечаемой деятельности</td><td colspan="2">4.1. Реализация всех предусмотренных проектом технологических решений и специальных мероприятий, ориентированных на защиту и восстановление окружающей среды</td></tr>
<tr><td colspan="2">4.2. Экологический мониторинг деятельности в период строительства и эксплуатации объекта</td></tr>
</table>

Цель инженерно-экологических изысканий. ИЭИ выполняются для экологического обоснования строительства и иной хозяйственной деятельности с целью предотвращения, снижения или ликвидации неблагоприятных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения [СП 11-102-97, 1997].

По действующему Положению об ОВОС [РФ. Правительство. Положение об оценке …, 2000], а также учитывая принятый в 2004 году Градостроительный кодекс [РФ. Законы. Градостроительный …, 2004] и в 2008 г. Постановление Правительства № 87 [РФ. Правительство. Положение о составе разделов …, 2008] схема предпректной и проектной стадий экологического сопровождения проектов выглядит следующим образом – рисунок 1.9.

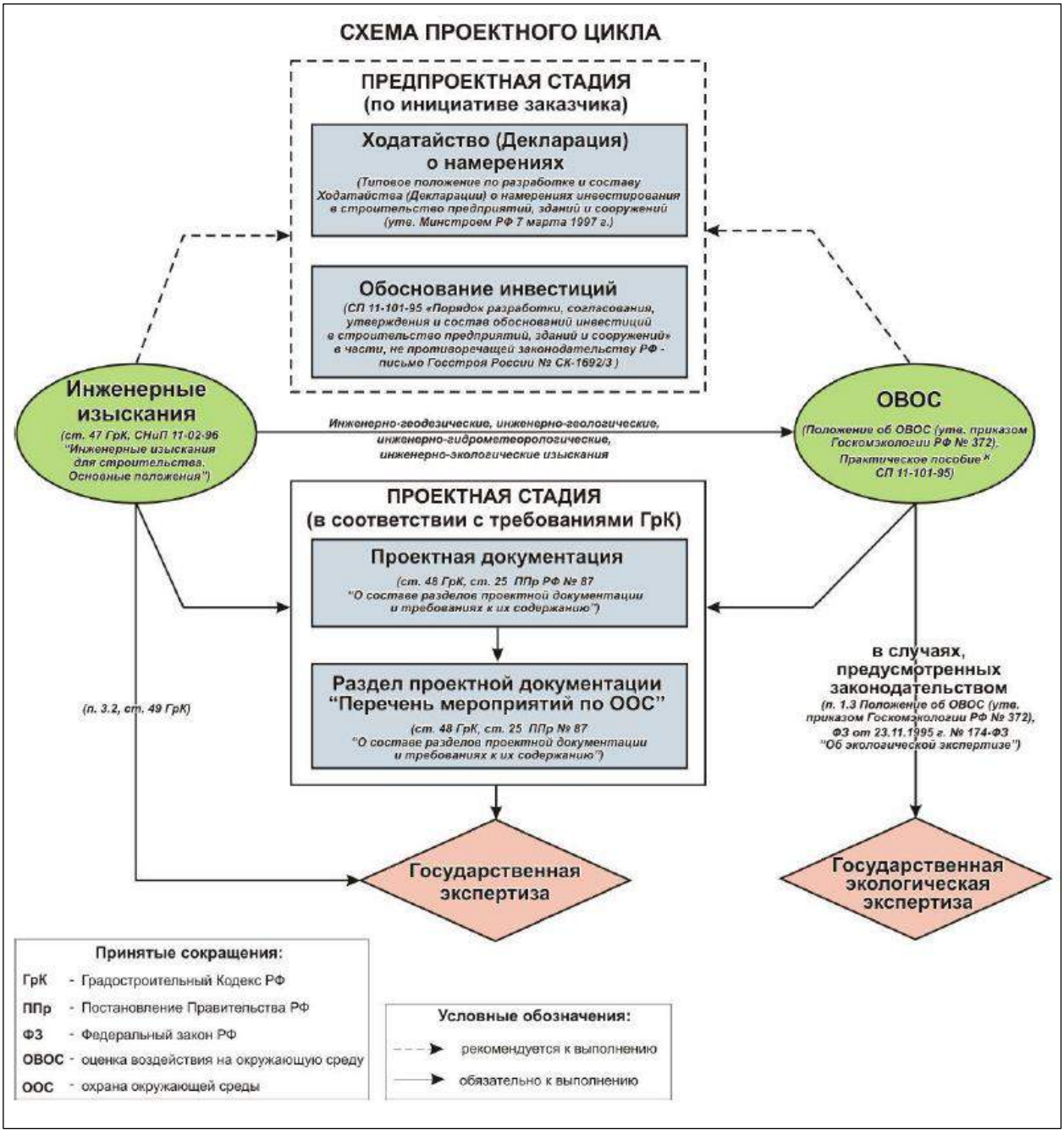


Рисунок 1.9 – Схема проектного цикла [Регламент выполнения работ, 2008]

Указанные выше документы достаточно четко регламентируют содержание, временной объем и сроки работ в рамках ИЭИ. Вместе с тем, излагаемые в них

требования и рекомендации относятся ко всем проектам безотносительно их расположения. Почти единственный документ, регламентирующий до 2013 г. экологическое сопровождение проектов освоения шельфа морей – РД 51-01-11-85 «Экологические исследования при инженерных изысканиях на континентальном шельфе» [РД 51-01-11-85, 1986].

Задачи ИЭИ любого проекта различаются для разных стадий этапов экологического сопровождения: для разработки прединвестиционной документации, для обоснования инвестиций, для обоснования проектной документации [СНиП 11-02-96, 1996; СП 11-102-97, 1997]. Именно ориентируясь на эти документы, действовавшие до середины 2013 г., мы и проводили инженерно-экологические изыскания. Начиная с 01.07.2013 введен в действие новый документ по проведению ИЭИ, в том числе на шельфе: «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СП 47.13330.2012» [СП 47.13330.2012, 2012]. Подробно о нем говорится далее в главе 2 (§ 2.4).

Этапы, задачи и содержание ОВОС. Согласно действующему Положению [РФ. Правительство. Положение об оценке …, 2000] «ОВОС - процесс, способствующий принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействий». Материалы ОВОС должны основываться, в том числе, на результатах ИЭИ. Сам процесс ОВОС может включать несколько этапов (см. рисунок 1.9)и несколько раз проходить госэкспертизу.

1.4 Основные источники и факторы воздействия на морские экосистемы при освоении месторождений углеводородов на шельфе

Основные источники и факторы воздействия на экосистему. Существует много публикаций, в которых с разной степенью подробности описаны источники и факторы воздействия на окружающую природную среду при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе. Наиболее полно и подробно – в рабо-

тах [Научно-методические …, 1997; Патин, 1997; 2001; 2004; Гусейнов и др., 2003]. Изложение, представленное ниже, основано на материалах [Патин, 2001]. С.А. Патин выделяет пять периодов освоения морских нефтегазовых месторождений. Каждый сопровождается своим набором деятельности и факторов воздействия на окружающую среду, главные из которых приведены в таблице 1.2 и на рисунке 1.10. Это воздействие носит комплексный характер и проявляется в форме физических, химических и биологических нарушений в водной толще, на дне, на берегу и частично в атмосфере.

Таблица 1.2 – Этапы, виды деятельности и факторы экологического воздействиям на разных этапах освоения морских нефтегазовых месторождений [Патин, 2001] с добавлениями и уточнениями (*выделены курсивом*)

Этап		Вид деятельности	Тип и характер воздействия на экосистему
1.	Геолого-геофизические изыскания и	Сейсмические съемки	Помехи рыболовству и другим пользователям, *акустическое* воздействие на организмы и биоресурсы *от пневмоисточников*
	инженерно-экологические изыскания	Оценка стратиграфии дна (отбор проб грунта и кернов, поверхностное бурение)	Нарушения на морском дне, повышение мутности воды, технологические сбросы
2.	Разведочно-поисковые буровые работы	Операции с передвижными буровыми установками, проходка глубоких скважин Опробование скважин	Отчуждение акваторий, нарушения на дне, сбросы буровых и других отходов, повышение мутности воды, выбросы в атмосферу, *аварийные ситуации*
3.	Подготовка и обустройство месторождения	Установка стационарных платформ, *подводных добычных комплексов*, прокладка трубопроводов, судоходство, строительство береговых терминалов и др.	Помехи рыболовству, нарушения на дне, повышение мутности воды, загрязнения с судов, *акустическое воздействие от крупнотоннажных судов, аварийные ситуации*
4.	Эксплуатация месторождения	Буровые, технологические, транспортные и другие операции	Отчуждение акваторий, сбросы буровых отходов и пластовых вод, повышение мутности воды, аварийные разливы и выбросы, помехи рыболовству и другим пользователям, *акустическое воздействие от судов*
5.	Завершение и ликвидация	Демонтаж платформ и трубопроводов, консервация скважин и другие операции	Взрывные работы, нарушения на дне и в толще воды, отчуждение акваторий, *повышение мутности воды, акустическое воздействие*

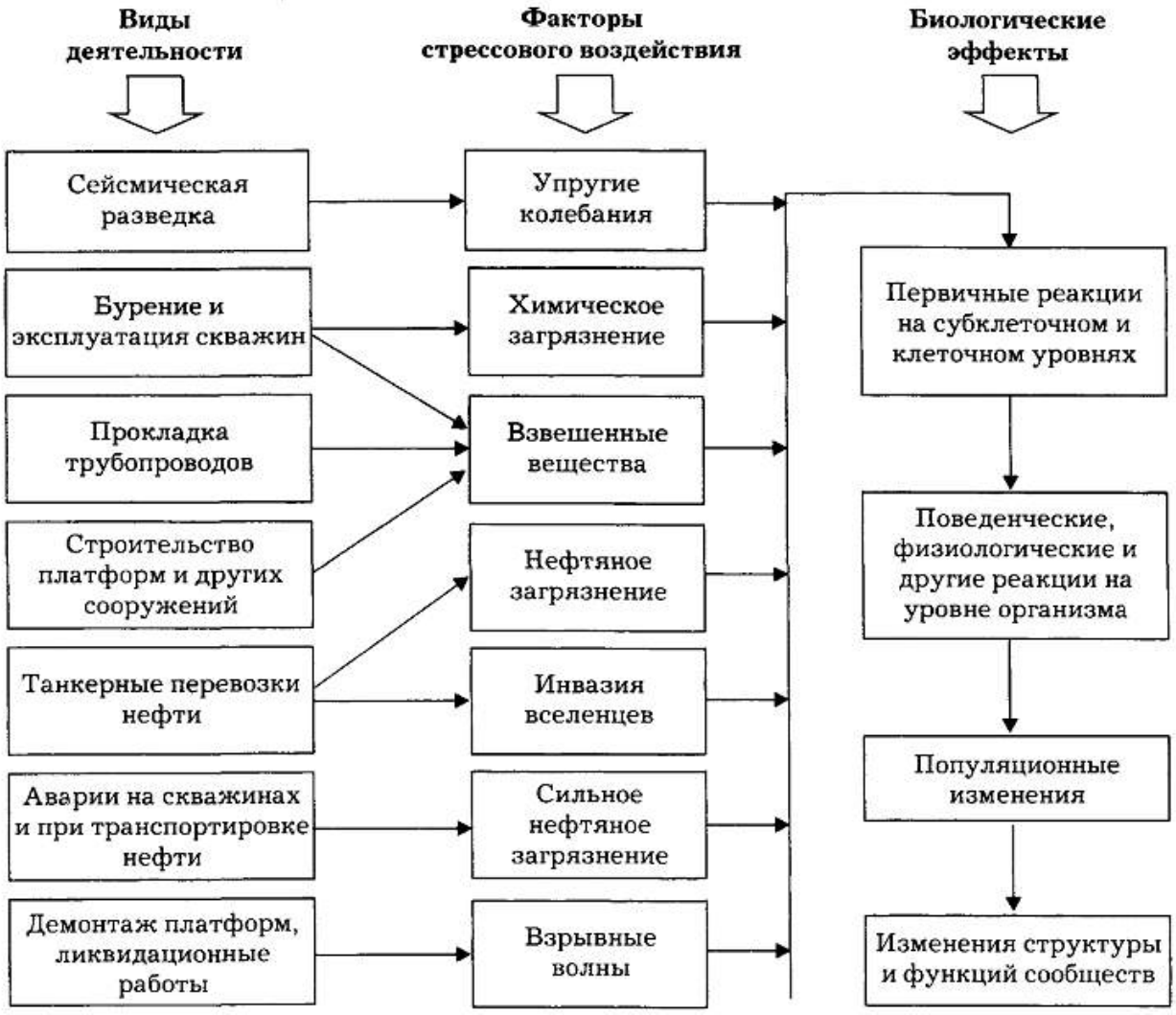


Рисунок 1.10 – Характер, структура и последовательность биологических откликов при разных видах воздействия на морские экосистемы в процессе освоения нефтегазовых месторождений на шельфе [Патин, 2001]

Экологические последствия добычи нефти и газа на шельфе обычно связывают с работами на нефтяных платформах. Сейчас на шельфе Мирового океана действует более 6 000 крупных стационарных платформ, извлекая каждую треть добываемой в мире тонну нефти, часто сбрасывая в море жидкие и твердые отходы. Но операции на платформах не исчерпывают все виды деятельности морской нефтегазовой индустрии и ее последствия.

Из перечисленных на рисунке 1.10 факторов воздействия минимальным для арктических морей является, вероятно, инвазия вселенцев, поскольку низке температуры воды в определенной степени являются барьером для вселенцев из более теплых районов морового океана.

Химическое загрязнение также существенно уменьшается, хотя и не становится нулевым в связи с принимаемыми запретительными мерами (запрет сброса в море буровых растворов и шлама, полученного при бурении скважин с использование растворов на нефтяной основе, запрет на сброс в морскую среду веществ не утвержденных в установленном порядке перечням, на нефтяной основе, рекомендации по закачке пластовых вод в нагнетательные скважины и ряд других – [ГОСТ Р 53241-2008, 2009]. ***Поэтому основными факторами антропогенного воздействия в данном случае являются упругие колебания при сейсмоакустических исследованиях и шум крупнотоннажных судов, взвешенные вещества при гидротехнических работах, нефтяное загрязнение при аварийных разливах.***

Масштабы нефтепромысловых работ и воздействий от них [Патин, 2001]. О масштабах региональных нефтепромысловых работ можно судить по известным данным для Северного моря [OSPAR, 2000], где пробурено около 4 000 скважин, установлено более 500 платформ и других стационарных сооружений, а общая протяженность подводных трубопроводов приближается к 10 тыс. км. Так, общий объем буровых шламов, аккумулированных сейчас в донных осадках этого региона, оценивается от 1 до 1.5 млн т [OSPAR, 2000]. Сходная ситуация и на континентальном шельфе США [MMS, 1995].

При реализации крупных проектов, как и планируется в арктических морях, неизбежны экологические *нарушения в толще воды и на дне в первую очередь* за счет работ непосредственно на дне моря (бурение, выравнивание дна, прокладка трубопроводов), и за счет загрязнения с платформ и судов (сброс не до конца очищенных отработанного шлама, буровых растворов, пластовых вод) и других воздействий на всех этапах освоения месторождений. Наибольшая интенсивность таких антропогенных воздействий наблюдается на стадии подготовки и обустройства месторождений, когда строительство, монтажные и буровые работы в море и на побережье сопровождаются интенсивным судоходством. Так, в период обустройства и эксплуатации Штокмановского месторождения на шельфе Баренцева моря по проектным разработкам должны были быть задействованы более двух де-

сятков типов судов общей численностью более 150 единиц [Патин, 2001]. Это должно вызвать существенное *гидроакустическое воздействие на экосистему моря* (см. главу 5), возможно большее, чем сейсмоакустические исследования.

Одним из основных факторов воздействия на морскую среду и индикатором экологического неблагополучия является *нефтяное загрязнение*, которое постоянно сопутствует морским нефтепромыслам. Но их вклад в глобальный поток нефти в океан относительно мал. По оценке экспертов [GESAMP, 1993; Etkin et al., 1999], он не превышает 1.3-1.6 % (50-80 тыс. т), что значительно меньше всех остальных природных и техногенных источников поступления нефти в морскую среду. Но на региональном уровне, например, в Северном море (где длительное время сбрасывались нефтесодержащие буровые растворы и шламы) этот вклад может достигать 20 % [Патин, 1997]. В последние 10-15 лет наметилась тенденция к снижению нефтяного загрязнения морской среды. И главным источником нефтяного и *в целом химического загрязнения* становятся не полностью очищенные (хотя и соответствующие нормативам) пластовые воды и отходы буровых работ, эпизодические крупные аварии нефтяных танкеров [Патин, 2001]. Однако, в любом случае, *аварийные разливы нефти* в арктических морях представляют наибольшую опасность и угрозу экосистеме всей Арктики.

Характер, масштаб и степень опасности различных антропогенных воздействий при добыче нефти и газа на шельфе даны С.А. Патиным (см. таблицу Б.1 в Приложении Б). Количественную шкалу воздействий и градация экологических последствий при разных видах морской деятельности см. в таблицах Б.2 –и Б.3).

1.5 Проблемы экологического сопровождения нефтегазовых проектов на арктическом шельфе

В последние годы наблюдается активизация деятельности, связанная с освоением шельфа арктических морей: растут танкерные перевозки нефти, резко активизировалась сейсморазведка в Баренцевом и Карском морях, проводятся инженерно-экологические и другие инженерные изыскания. В 2013 г. начала работу платформа «Приразломная», в 2012 – 2013 гг. компанией «НК “Роснефть”» ак-

тивно проводились экологически исследования на лицензионных участках в Баренцевом и Карском морях. Все это и актуализирует проблемы экологического сопровождения (обеспечения) освоения шельфа Арктики.

Эти проблемы в первую очередь связаны с оценками экологических последствий освоения нефтегазовых месторождений в арктических морях. Как правило, такие проблемы должны быть детально рассмотрены, проанализированы и в основном решены или минимизированы в ходе экологического сопровождения каждого конкретного проекта. При этом по соответствующим методикам оценивается ущерб, если воздействие значимо. Цель экологического сопровождения – найти баланс между нефтегазовым освоением шельфа и традиционным морским промысловым хозяйством, сохранив биоресурсы и биоразнообразие, а также свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду [Кривонос, 2010].

На основании опыта участия автора диссертации в работах по экологическому сопровождению проектов освоения арктического шельфа можно сформулировать основные проблемы в этой сфере. Они поднимались в различных публикациях при участии соискателя, указанных в начале этой главы.

Перечислим основные на наш взгляд проблемы, носящие как фундаментальный, так и прикладной характер, которые в определенной мере рассмотрены в настоящей диссертации. При этом мы не касаемся таких важных и не до конца решенных вопросов воздействия освоения шельфовых месторождений на атмосферный воздух (а через него на всю экосистему) и воздействия на геологическую среду.

1. **Отсутствуют всесторонний анализ природной среды шельфовых районов, основанный на результатах экологического мониторинга и фундаментальных исследований и не проводится в полном объеме государственный экологический мониторинг арктической среды.** Программы ИЭИ и ЭМ, материалы ООС и ОВОС должны основываться на уже в определенной степени известных данных государственного экологического мониторинга шельфовых акваторий и дополнять и уточнять их. Нефтегазовые компании не в состоянии провести исследования в районах воздействия в полном объеме так как это требует

достаточно продолжительного периода наблюдений. Но часто (почти всегда) данные государственного ЭМ отсутствуют, соответственно нет и подготовленного на их основе всестороннего анализа природной среды. Как отмечалось в материалах к заседанию «Круглого стола» в Совете Федерации РФ, «одним из ключевых элементов системы экологической безопасности выступает мониторинг, но до настоящего времени на шельфе Баренцева моря полноценная система экологического мониторинга как регулярных и скоординированных наблюдений не действует. Последние 15 лет государственная система мониторинга окружающей среды реализуется практически исключительно в части государственного мониторинга водных биоресурсов (системы регулярных наблюдений за распределением, численностью и воспроизводством водных биоресурсов, а также за средой их обитания), осуществляемого в тесной координации с норвежской стороной» [Исправников и др., 2010]. Так, для Баренцева моря фактически мало или нет данных по сезонному распределению морских и водоплавающих птиц, морских млекопитающих, ихтиопланктону. Проводимые нефтегазовыми компаниями в рамках ИЭИ исследования в целом ограничены в объеме. С учетом необходимости представить для ОВОС межгодовую изменчивость этих и всех остальных основных компонентов ОПС, собрать в рамках ИЭИ объем информации необходимый для корректного описания среды и биоты не представляется возможным.

О необходимости организации систематического мониторинга морских экосистем и закреплению этого в нормативно-правовых актах говорится во многих публикациях, посвященных экологической безопасности работ на шельфе [Израэль, 1979, 1984; Дженюк, 2002; 2005; Кривонос, 2010; Иванова, 2011].

Проблема всестороннего анализа ОПС и экологического мониторинга рассмотрена в настоящей работе более детально в главах 2 и 8. В последней главе представлена предлагаемая концепция экосистемного мониторинга.

2. Отсутствует единая и непротиворечивая нормативная база для экологического сопровождения морских проектов. Следствием нечеткой государственной экологической политики является недостаточная разработанность, декларативность и противоречивость законодательных и нормативно-методических

документов, определяющих содержание и последовательность работ по экологическому сопровождению морских нефтегазовых проектов. Ситуацию осложняет тот факт, что большинство, если не все, *руководящие документы не адаптированы к морским условиям (работам на шельфе)* [Кривонос, 2010]. *Понятийный аппарат во многих документах не согласован между собой.* В частности, в различных публикациях, но самое главное - в государственных и ведомственных нормативно-правовых документах используются не связанные между собой понятия: «единая государственная система экологического мониторинга», «производственный экологический контроль и мониторинг», «экологический мониторинг», «производственный экологический мониторинг», «производственный мониторинг», «локальный экологический мониторинг», «экологический контроль», «экосистемный мониторинг», «экосистемный морской мониторинг»…) [Патин, 1997; 2001; Красный и др., 1998; Матишов и др., 2001b; Денисов, 2002; Дженюк, 2002; 2005; Ярыгин и др., 2004; Путов, 2009; Кривонос, 2010; Лобковский и др., 2005; Исправников и др., 2010; Дмитриев и др., 2008 и др. публикации]. Эти вопросы мониторинга рассмотрены далее в главе 2.

3. **В ходе инженерно-экологических изысканий и экологического мониторинга редко или совсем не используются методики непрерывного измерения (горизонтального профилирования) ряда параметров**, в частности, зоопланктона, фитопланктона, океанографических и других океанологических параметров, хотя существующая приборная база позволяет проводить непрерывные измерения [Левашов, 2010]. Такая ситуация во многом связана, *во-первых*, со слабой технической базой привлекаемых к этим работам НИИ и других организаций, *во-вторых*, с непониманием Заказчиком (нефтегазовыми компаниями) того, каков в целом необходим объем собираемой информации (следует отметить, что требования к объему такой информации не отражено в нормативных документах в отношении ИЭИ и ЭМ для шельфовых проектов) и, *в-третьих*, со стремлением нередко удешевить выполнение ИЭИ и программы ЭМ (ПЭМ). В диссертации рассмотрены вопросы измерения одного из важных параметров среды – концентрация хлорофилла фитопланктона. До последнего времени концентрация хлорофил-

ла в воде если измерялась, то на отдельных станциях и горизонтах, или проводились большей частью качественные оценки ее вертикального или горизонтального распределения (последнее – крайне редко) на основе флуориметрических измерений. Это объясняется отсутствием методических разработок, позволяющих с минимальной погрешностью по флуоресценции хлорофилла определять его концентрацию в воде. Вопросы непрерывного судового измерения одного из важных экосистемных параметров – хлорофилла фитопланктона – рассмотрены в главе 3.

В отношении измерения концентрации хлорофилла а воде необходимо отметить следующее. Этот параметр является одним из важных, характеризующих состояние фитопланктона – первичного звена трофической цепи. Хлорофилл а входит в перечень обязательных для гидробиологических исследований при ИЭИ на шельфе [РД 51-01-11-85, 1986; СП 47.13330.2012, 2012]. Измерение концентрации хлорофилла и получаемые при этом результаты входят во многие программы и отчеты, связанные с экологическим сопровождением нефтегазовых проектов на шельфе: 1) в программы ИЭИ и предстроительного мониторинга - информационного обеспечения рационального освоения углеводородных ресурсов на перспективных участках прибрежно-шельфовой зоны Карского моря [Николаев и др., 2006], 2) в ОВОС проектов на шельфе Сахалина и Баренцева моря [Сахалин Энерджи …, 1997; СВАРОГ, 2012], 3) в программы экологического мониторинга морских нефтегазовых проектов [Nord Stream AG, 2012]. Кроме того, данные, полученные в ходе непрерывных судовых измерений концентрации хлорофилла а, используются для калибровки спутниковых снимков распределения концентрации хлорофилла в море [Шавыкин и др., 2010], что в свою очередь может и должно использоваться для оценки общей экологической обстановки в районе воздействия проекта

4. **Часто в ОВОС проектов освоения месторождений отсутствует или не всегда корректна оценка гидроакустического воздействия на экосистему моря**. Возрастающая *акустическая нагрузка на морскую среду* (сейсморазведка, бурение, добыча нефти и газа, их интенсивная транспортировка) приводит к изменению поведения морских млекопитающих [Richardson et al., 1995; Southall et al.,

2007; др. работы], других компонент экосистемы, как в морской среде, так и в воздушной и, возможно, на берегу. «Промышленная деятельность создаёт шумовое загрязнение (периодическое, как сейсмическое, и постоянное вследствие транспортировки и повседневной деятельности) в регионах, где раньше его не было» [Рекомендации Рабочей …, 2013]. При этом расчеты ущерба (например, от сейсмоакустических исследований) часто выполняются по очень упрощенным схемам и не отражают реального воздействия на биоту: при расчетах зоны воздействия группы пневмоисточников (ПИ) принимается, что негативное действие на планктон от ПИ распространяется равномерно в пределах цилиндрического объема [Семенов, 2006], или цилиндрического объема с концевыми полусферами [Семенов и др., 2004]. Тем самым не учитывается влияние поверхности вода-воздух, и кроме того, на мелководье не учитывается границы раздела вода-дно. Кроме того, проведение опытов с конкретными ПИ, но без детального описания конкретного эксперимента для каждого ПИ и возникающего при этом гидроакустического давления, распространяющегося на расстоянии большем 1 м от ПИ [Муравейко и др., 1992; Муравейко и др., 1994] во многом обесценивает такие эксперименты, так как изменения конструкции ПИ, их мощности, замена одного типа ПИ на другой не позволяет использовать эти данные в дальнейшем. В целом, воздействие САИ и морского шума биоту существует [Шрейдер, Шрейдер, 2000; Moriyasu et al.,2004; Southall et al., 2007; др. работы], хотя многое в этой области до сих пор противоречиво. Детально этот вопрос рассмотрен в главе 5

До сих пор не ясны многие физиологические механизмы акустического воздействия на морских млекопитающих, птиц, планктон, ихтиофауну. Требуется давать оценки воздействий и ущерба от САИ и от шума крупнотоннажных судов на ОПС, с тем, чтобы были проведены соответствующие компенсационные мероприятия. Отсутствие исследований и оценок в этом направлении может, в конечном счете, привести к тому, что, например, в Баренцевом море будет много добывающих платформ, подводных добычных комплексов, много различных судов, но будут блокированы пути миграции морских млекопитающих, или даже морские млекопитающие почти полностью будут вытеснены за пределы Баренцева моря.

5. **Ведомственный подход искажает суть экологических обоснований проектов, что наглядно проявлялось при расчетах ущерба от действия взвеси на биоту.** Несмотря на декларируемое равенство всех видов хозяйственной деятельности перед законом, сохраняется приоритетное право рыбохозяйственных органов, а не независимых незаинтересованных экспертов, на определение ущербов от нефтегазовой деятельности. До середины 2012 г. действовала «Временная методика оценки ущербов рыбным запасам…» [РФ. Правительство. Временная методика …, 1990]. В этой методике не учитывались системные компенсирующие факторы реального взаимодействия антропогенных факторов и биоты в Больших морских экосистемах (БМЭ). Многие коэффициенты в этой методике устарели или просто отсутствовали. Кроме того, при расчете ущерба рыбным запасам, часто использовались оценка гибели зоопланктона по значениям концентрации взвеси, равной ПДК взвеси для шельфовых морей (10 мг/л): РОССЕЛЬХОЗНАДЗОР рекомендовал использовать значения доли гибели планктона без учета времени воздействия на него. Аналогичного подхода придерживался ГОСНИОРХ. Все это не отвечало современным представлениям по этой проблеме [Шавыкин и др., 2011, 2011a] и не позволяло проводить корректные оценки ущербов. Такой подход часто приводил к многократному необоснованному завышению ущерба, который оплачивает инвестор проекта (см. главу 6).

6. Отсутствует полная готовность соответствующих российских организаций к ликвидации разливов нефти в Арктике. В ходе реализации проекта «Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефти прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей)» [Отчёт по х/д. Подготовка карт…, 2010b; Демонстрационные и пилотные .., 2011] были сделаны следующие выводы [Саркова, 2010]:

«- Действующее российское законодательство не только не обеспечивает, но и во многих случаях противодействует созданию в России эффективной национальной системы реагирования на разливы нефти в море. Следовательно, в случае крупного разлива нефти национальная система реагирования в Российской

Федерации не сможет работать как единая скоординированная система, что может привести к катастрофическим последствиям.

- Отсутствуют методики и руководящие документы для расчета риска и планирования операций по ЛРН с учетом арктических условий, нет унифицированных методик построения карт экологической чувствительности, отсутствуют специальные программы разработок в области создания и тестирования новых технологий ЛРН, пригодных для применения в условиях Арктики…

- Технические возможности государственных специализированных аварийно-спасательных служб, предназначенных для реагирования на разливы нефти, на сегодняшний день не отвечают потребностям в обеспечении экологической безопасности акваторий и прибрежных районов при транспортировке нефти по судоходным путям арктических морей».

При общих проблемах и трудностях готовности России к ЛРН в арктических условиях (проблемы ликвидации разливов нефти в ледовых условиях, недостаток технических средств, трудности доставки необходимого оборудования к месту разлива, проблемы моделирования разливов нефти в море, в том числе в ледовых условиях и ряда других) укажем на одну, относящуюся напрямую к теме диссертации. В России фактически нет корректных карт уязвимости берегов и прибрежных акваторий от разливов нефти даже для Баренцева моря и отсутствует единая методика построения таких карт. Карты уязвимости морских акваторий, входящие в планы ЛРН часто носят во многом формальный характер и вряд ли пригодны для целей ЛРН. Хотя давно существуют рекомендации международных организаций [IMO, IPIECA, 1994; 2000]. Имеются и немало отечественных разработок по этому вопросу [Погребов, 2010 и перечень работ В.Б. Погребова там же; Новиков, 2004, 2006, 2013; Шавыкин, Ильин, 2010; Блиновская, 2004; 2004а; 2005, 2005а, 2006; и др. работы]. (Подробно вопрос рассмотрен в главе 7).

7. Нет четкого обоснование объемов ИЭИ и ЭМ – отсутствуют критерии количества собираемой информации (количества станций, их расположения и измеряемых параметров) [Шавыкин и др., 2008]. Согласно требованиям [СНиП 11-02-96, 1996; СП 11-102-97, 1997; СП 47.13330.2012, 2012], предусматривается

получение необходимой информации о среде и биоте до начала строительства, причем такой информации, которая позволила бы в дальнейшем подготовить ОВОС от намечаемой хозяйственной деятельности и легла бы в основу планируемого экологического мониторинга. Во всех программах ИЭИ для шельфа перечень измеряемых параметров с одной стороны достаточно обширен (возможно, излишне), а с другой, как нам представляется, не является достаточным в некоторых отношениях. Отсутствуют четкое обоснование, почему определенный параметр должен быть включен в состав наблюдений конкретных ИЭИ и ЭМ [Кривонос, 2010]. Следует отметить, что в ряде фундаментальных отечественных работ даются рекомендации по включению тех или иных параметров в программы работ для разных этапов освоения месторождений [Патин, 1997; 2001]. Существуют и международные рекомендации [Guidelines for monitoring …, 1989].

Сейчас выбор параметров и объема измерений в рамках ИЭИ и ЭМ (ПЭМ) строится только на опыте исследователей и с учетом финансовых возможностей инвестора проекта. Отсутствие результатов государственного экологического мониторинга приводит к тому, что при недостаточном финансировании ИЭИ со стороны инвестора, многие важные параметры о среде и биоте оказываются вне исследований в рамках ИЭИ или изучаются недостаточно. В результате при согласовании технических заданий на выполнение ИЭИ, ОВОС, разработки программ экологического мониторинга существует неопределенность и в некоторой степени произвол в определении необходимого объема работ (как правило, особенно при выполнении ИЭИ стороны исходят просто из доступного финансирования или сроков выполнения работ, а не из научно обоснованного объема работ).

Дополнительно можно указать и на следующий момент, напрямую связанный с предыдущим пунктом. Отсутствие должных требований к объему информации по орнитофауне, собираемой в ходе ИЭИ, не позволяет в ОВОС получить корректные оценки воздействия на этот важный компонент экосистемы, в том числе при разливах нефти [Краснов и др., 2004]. Вопросы учета морских и водоплавающих птиц рассмотрены в главе 4.

ГЛАВА 2 ОБЩАЯ СХЕМА ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ И ЕГО ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

2.1 Схема экологического сопровождения проекта и определение экологического мониторинга

При реализации любого хозяйственного проекта по строительству, в том числе проекта освоения месторождения на шельфе, все оценки воздействия на окружающую среду и экологической ситуации в районе воздействия проекта основываются на результатах наблюдений и исследований компонентов экосистемы (в том числе техногенных компонентов, если таковые имеются в этом районе). Эти исследования, проводимые относительно регулярно, представляют собой экологический мониторинг. Результаты, полученные в ходе этого мониторинга и его частного случая – инженерно-экологических изысканий, используются для подготовки проектной документации и предваряющих ее документов [СП 47.13330.2012, 2012]: ОВОС, мероприятий по охране окружающей среды, программы производственного экологического мониторинга (ПЭМ). Таким образом, в основе экологического сопровождения любого проекта лежит экологический мониторинг выполняемый частными компаниями и государственными организациями (ГЭМ). Только на основе этих данных о состоянии окружающей среды и биоты, состоянии техногенных объектов, источников и факторов воздействия возможны реальные оценки воздействия на окружающую среду и оценки компенсационных выплат за ущерб, разработка мероприятий по охране окружающей среды. Собираемая в большом количестве в ходе этого экологического мониторинга информации должна накапливаться в соответствующих базах данных (БД). Общая схема существующего положения дел согласно действующим нормативно-правовым документам представлена в таблице 2.1 (верхняя часть таблицы). В нижней ее половине указаны наши наиболее важные предложения по экосистемному мониторингу (ЭсМ), обоснование которых дается в главе 8.

Таблица 2.1 –Основные работы по экологическому сопровождению проекта на различных этапах освоения месторождения на шельфе

<table>
<tr><th></th><th>Ис-пол-нит.</th><th colspan="5">Основные работы
на различных этапах освоения месторождения</th></tr>
<tr><td rowspan="8">Существующее положение</td><td rowspan="5">Государственные организации</td><td colspan="5">Разработка и ведение Государственного фонда данных государственного экологического мониторинга (ГФДГЭМ)</td></tr>
<tr><td colspan="5">Подготовка и корректировка планов ЛРН регионального и федерального уровня</td></tr>
<tr><td colspan="5">Разработка и совершенствование методик расчета ущерба</td></tr>
<tr><td colspan="5">Разработка и совершенствование нормативов сбросов, выбросов, размещения отходов</td></tr>
<tr><td colspan="2">Проведение Государственной экологической экспертизы (ГЭЭ) проектной документации,
в том числе: ОВОС,
Мероприятий по ООС, плана ЛРН</td><td colspan="3">Осуществление Государственного экологического контроля (ГЭК), государственного экологического надзора (ГЭН), учет объектов воздействия</td></tr>
<tr><td colspan="5">Проведение государственного экологического мониторинга (ГЭМ)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Компания-оператор проекта</td><td colspan="2">Подготовка плана ЛРН</td><td colspan="3">Периодическая корректировка плана ЛРН</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подготовка программ Производствен-ного экологического мониторинга (ПЭМ) и Производственного экологического контроля (ПЭК)</td><td>Выполнение ПЭМ района воздействия, ПЭК</td><td>Выполнение ПЭМ района воздействия, ПЭК</td><td>То же</td></tr>
<tr><td>Проведение Инженерно-экологических изысканий (ИЭИ)</td><td>Подготовка ОВОС, Мероприятий по ООС</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">Этапы освоения месторождения</td><td colspan="2">I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Предстроительный этап (обоснование проекта, подготовка проектной документации)</td><td>Строительство</td><td>Эксплуатация</td><td>Ликвидация</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Предложения по совершенствованию</td><td rowspan="3">Компания-оператор проекта</td><td>—</td><td>—</td><td>Проведение ПЭМ 2х рай-нов возд-ей-ствия, ПЭК</td><td>Проведение ПЭМ 2х рай-нов воздей-ствия, ПЭК</td><td>То же</td></tr>
<tr><td>—</td><td>—</td><td>Уточнение ОВОС и мер-тий по ООС</td><td>Уточнение ОВОС и мер-тий по ООС</td><td>То же</td></tr>
<tr><td colspan="5">Подготовка по единой методике и периодическая корректировка карт уязвимости районов воздействия для планов ЛРН проекта</td></tr>
<tr><td colspan="2">Разработка Информационной базы экологических
данных проекта (ИБЭДп)</td><td colspan="3">Ведение и пополнение Информационной базы экологических
данных проекта (ИБЭДп)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Государственные организации</td><td colspan="5">Всесторонний анализ морской природной среды и биоты</td></tr>
<tr><td colspan="5">Оценка и корректировка ассимиляционной емкости моря</td></tr>
<tr><td colspan="5">Разработка отсутствующих нормативов сбросов, выбросов, размещения отходов…</td></tr>
<tr><td colspan="5">Периодическое проведение СЭО
для морских пространств (отдельных морей)</td></tr>
<tr><td colspan="5">Разработка по единой методике карт уязвимости от нефти для планов ЛРН федерального и регионального уровней</td></tr>
<tr><td colspan="5">Разработка и ведение Единой информационной базы данных экологического мониторинга морей (ЕИБДЭМм) как составной части ГФДГЭМ</td></tr>
</table>

Понятие экологический мониторинг раскрывается во многих законах и нормативных актах. Так в Законе «Об охране окружающей среды» [РФ. Законы. Об охране …, 2002] до текста в редакции от 19.07.2011 присутствовало понятие экологического мониторинга: *«мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) - комплексная* ***система наблюдений*** *за состоянием окружающей среды,* ***оценки и прогноза изменений*** *состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов»* [Там же]. Начиная с редакции от 21.11.2011 [Там же] указанное понятие в тексте отсутствует и остается только определение государственного экологического мониторинга (ГЭМ). В действующей редакции этого закона от 12.04.2014 [Там же]: «*государственный экологический мониторинг (государственный мониторинг окружающей среды) - комплексные* ***наблюдения*** *за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями,* ***оценка*** *и* ***прогноз*** *изменений состояния окружающей среды».* (Для уточнения: в Законе РФ «О гидрометеорологической службе» в редакции от 21.11.2011 [РФ. Законы. О гидрометеорологической…, 1998] определение мониторинга схожее, но под мониторингом понимаются «долгосрочные наблюдения…»).

С государственным экологическим мониторингом связано понятие «производственный контроль (производственный экологический контроль)», определение которому также дается в статье 1 Закона «Об охране окружающей среды»: «*контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль) - система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды»* [РФ. Законы. Об охране …, 2002]. Из отсутствия в законе понятия «экологический мониторинг» можно сделать вывод, что в России существует только государственный экологический мониторинг, нет экологического мониторинга, проводимого другими, частными организациями и компаниями (выполняемого по соб-

ственной инициативе и при этом не связанными при постановке задач, финансировании и отчетности перед государственными органами, отвечающими за охрану окружающей природной среды).

По закону «Об охране окружающей среды» хозяйствующие субъекты в отношении охраны окружающей природной среды проводят только производственный экологический контроль. На наш взгляд такой подход не совсем правильный. Тем более, что в соответствии с этим же законом охрана окружающей среды - не только деятельность госорганов, но и всех юридических и физических лиц (статья 1). Здесь следует согласиться с С.К. Монаховым, который дает этому нововведению (исключению термина «экологический мониторинг» из текста закона) «негативную оценку, так как из-за этого “повисает в воздухе” экологический мониторинг, осуществляемый хозяйствующими субъектами (чаще всего его называют производственным, реже - локальным или объектным)» [Монахов, 2012, с. 77]. Отметим, что в различных нормативных документах, принятых Правительством РФ [РФ. Правительство. Положение о составе разделов …, 2008; СП 47.13330.2012, 2012] напрямую говорится именно о производственном экологическом мониторинге.

Фактически в действующем законе не до конца проработано использование различных понятий, закон не жестко коррелирует с понятийным аппаратом других нормативно-правовых актов. Все это неизбежно может вести к различным правовым коллизиям и сказываться на выполнении требований закона, в данном случае в части охраны окружающей среды.

К сожалению, однозначного и общепринятого понятия мониторинг и экологический мониторинг в РФ нет. В «Экологической энциклопедии» [Баринбойм, 2011] мониторинг определяется как «*постоянное или регулярное наблюдение за объектами или процессами, направленное на регистрацию изменений их определенных характеристик во времени и пространстве»*. Нечетко дается и определение экологического мониторинга в этой энциклопедии: «*Экологический мониторинг – система слежения за процессами, происходящими в окружающей среде,*

экосистемах, популяциях и организмах (включая человека) под влиянием изменения среды обитания» [Экологический мониторинг, 2013].

Далее мы будем исходить из того, что любой экологический мониторинг, не только государственный, это *комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка, прогноз изменений состояния окружающей среды* ***и оценка прогнозируемого состояния***. Следуя Израэлю Ю.А. [1979, с. 10; 1984] мы добавляем в это определение блок «оценка прогнозируемого состояния», поскольку без этого сам прогноз теряет смысл, поскольку без этого не ясно его качество. Это такой же подход, как и при проведении измерений любого экологического параметра или при исследованиях. Это - общее метрологическое требование представления результатов измерений, а экологический мониторинг и построен на измерениях тех или иных параметров. Кроме того, без такой оценки прогнозируемого состояния невозможен и ОВОС, который в определенной степени является прогнозом изменения состояния окружающей среды от антропогенных воздействий, построенным на результатах экологического мониторинга.

2.2 Общие подходы к государственному экологическому мониторингу морей арктического шельфа

Общий подход к экологическому мониторингу (ЭМ) предложенный в работах Ю.А. Израэля [1979, 1984], может быть положен в основу экосистемного мониторинга. Такой экологический мониторинг предусматривает: 1) *выявление и анализ конкретных антропогенных источников и факторов* воздействия на природную среду, обусловленных различными проектами (уже реализованными и планируемыми к реализации); 2) *всесторонний анализ окружающей природной среды в районах возможного воздействия;* 3) *собственно экологический мониторинг природных объектов и процессов*, которые подвергаются воздействию, *и техногенных объектов*, функционирование которых и обуславливает такое негативное воздействие. Результатом работ по всестороннему анализу природной сре-

ды (ВАПС) должно быть научное обоснование комплексного мониторинга окружающей среды [Израэль, 1984, с. 37], и «результаты уже первого этапа ВАПС используются для усовершенствования мониторинга, схем расчетов, моделирования, постановки различных экспериментов» [Израэль, 1984, с. 47].

Структура мониторинга антропогенных изменений окружающей природной среды (ОПС) в районе возможного воздействия должна включать следующие основные блоки [Израэль, 1979, с. 155, 158]: 1) наблюдение за источниками и факторами, воздействующими на ОПС, и за компонентами ОПС, подвергающимися прямому или косвенному воздействию; 2) оценку фактического состояния ОПС; 3) прогноз состояния природной среды; 4) оценку прогнозируемого состояния.

2.2.1 Всесторонний анализ природной среды

При всех различных подходах к экологическому мониторингу и в первую очередь к государственному экологическому мониторингу (ГЭМ) важным является всесторонний анализ окружающей природной среды (ВАПС), как основа всего последующего экологического мониторинга [Израэль, 1979, 1984]. ВАПС требует знания источников и объектов загрязнения, видов воздействия от них и реакций биоты на эти воздействия. Без этого фактически невозможно дать оценку воздействия того или иного хозяйственного проекта на окружающую среду. То, что заложено во ВАПС и на чем основывается экологический мониторинг и ОВОС (исходные данные для ОВОС и экологического мониторинга) - все это может быть реализовано только, как правило, государственными организациями. Рассмотрим очень кратко, основываясь на работах Ю.А. Израэля [1979, 1984] основные составляющие всестороннего анализа природной среды.

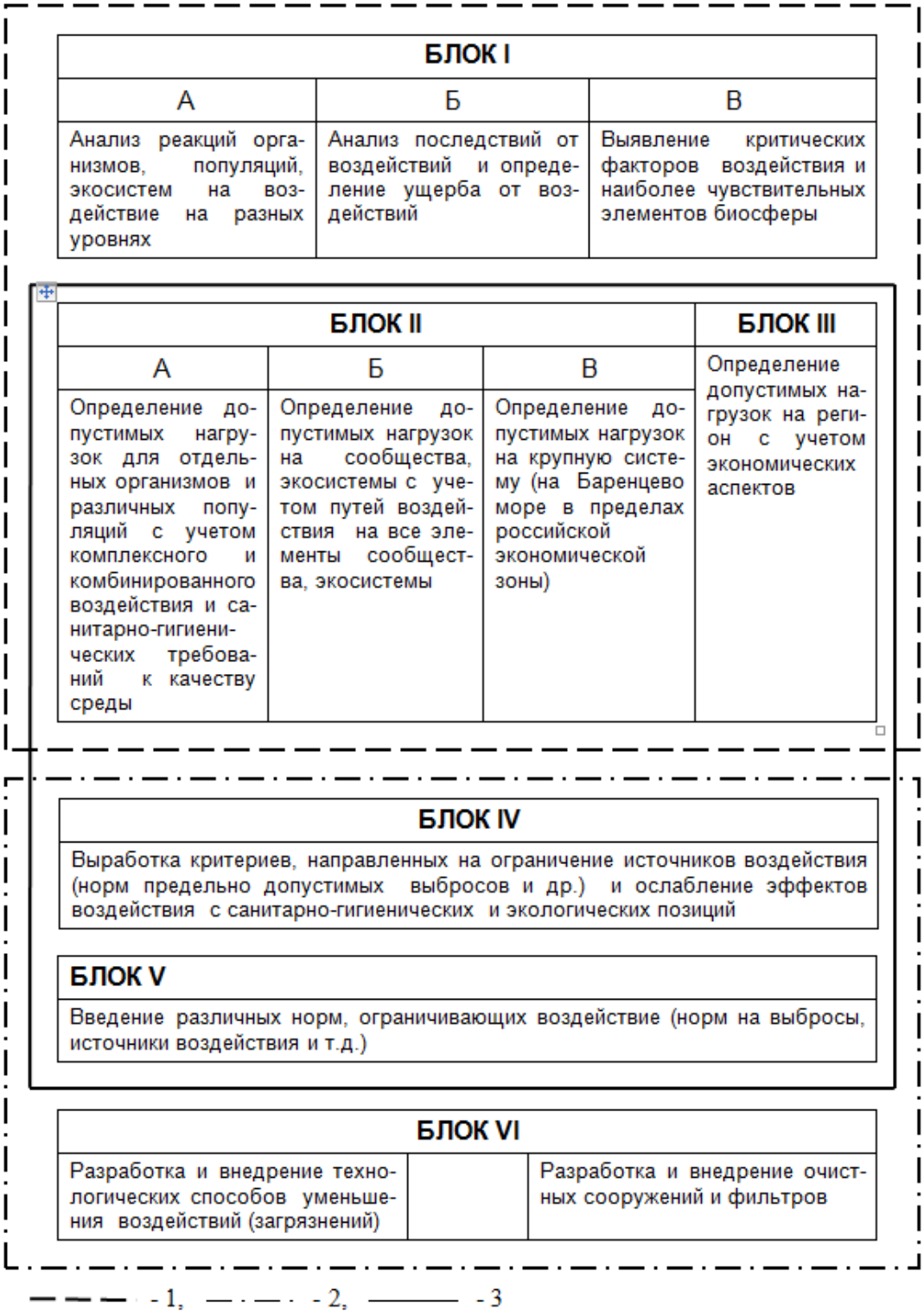
«Разработка подходов ВАПС должна включать изучение зависимостей "доза - эффект", "доза - ответная реакция" в различных экспериментах, изучение вопроса пороговости воздействия различных факторов и влияния многосредных загрязнителей, развитие методов оценки реакции сложных экологических систем на изменения в состоянии природной среды. Важнейшим элементом должны стать

поиски критериев допустимой нагрузки на ОПС, выявление критических звеньев в биосфере, определяющих такие нагрузки» [Израэль, 1979, с. 32-33].

«Первый этап - анализ эффектов воздействия (рисунок 2.1, блок I) различных факторов на природную среду (на различных уровнях). Этап включает анализ реакций организмов, популяций, экологических систем на множественные воздействия в различных средах (рисунок 2.1, блок IA), анализ последствий от воздействий (изменение состояния, болезни, гибель отдельных организмов популяций, экосистем) и определение различных видов ущерба от воздействия (рисунок 2.1, блок IБ), выявление критических факторов воздействия (или комбинации нескольких факторов) и наиболее чувствительных элементов биосферы (с точки зрения последствий воздействия) (рисунок 2.1, блок IB). ВАПС основывается на системе данных, полученных с помощью первичного мониторинга и в результате математического моделирования, лабораторных и натурных экспериментов» [Там же, с. 33-34].

Второй этап - определение допустимых экологических воздействий и нагрузок (рисунок 2.1, блок II) на отдельные организмы «и различные популяции с учетом комплексного и комбинированного воздействия (рисунок 2.1, блок IIA), определение допустимых нагрузок на сообщества, экосистему с учетом множественных путей воздей-ствия одновременно на все элементы сообщества или экосистемы (рисунок 2.1, блок IIБ), а также определение допустимых нагрузок на крупную систему» [Там же, с. 34], в нашем случае – это Баренцево море (рисунок 2.1, блок IIB) и другие арктические моря. Должен быть решен вопрос: какую интенсивность (или интеграл от интенсивности во времени и в пространстве) воздействующего фактора может перенести данная экосистема в пределах допустимого состояния (в пределах экологического резерва).

«Третий этап (рисунок 2.1, блок III) – определение с эколого-экономических позиций допустимых нагрузок на регион (в нашем случае – на арктические моря – А.А.Ш) с учетом различных экономических аспектов, в том числе с учетом соотношений затраты-выгоды» [Там же, с. 36].



Блоки: I – анализ эффектов воздействия, II - III – определение допустимых экологических воздействий и нагрузок, IV - V – выработки и введения критериев и норм, ограничивающих воздействие, выбросы загрязнений и т.д., VI – осуществление технических мер, направленных на ограничение воздействий (загрязнений и др.)

Рисунок 2.1 ─ Блок-схемы всестороннего анализа природной среды Баренцева моря (1), экологического нормирования (2) и их связь с блоком стратегии регулирования природной среды (3) [Израэль, 1979 с небольшими изменениями и дополнениями]

«Экологическое регулирование антропогенных воздействий должно начинаться с определения допустимых воздействий и нагрузок на экосистемы и природную среду на различных уровнях. Поэтому следующим шагом (***четвертый этап***) в процессе нормирования является выработка критериев, направленных на ограничение источников воздействия <…> и ослабление эффектов воздействия (рисунок 2.1, блок IV). <…>. Последним этапом нормирования (***пятый этап*** всестороннего анализа) является введение норм на выбросы, источники воздействия, базирующихся на указанных выше критериях, реализация описанного подхода (рисунок 2.1, блок V). В свою очередь стратегия регулирования качества природной среды включает выработку критериев и введение норм, ограничивающих различные антропогенные воздействия (с учетом экономических аспектов). Введение таких норм тесно связано и с разработкой различных технических приемов по ограничению загрязнений и других воздействий (рисунок 2.1, блок VI) на последнем ***шестом этапе»*** [Там же, с. 36-37].

Таким образом, до начала освоения месторождений на шельфе арктических морей необходимо иметь четкие ответы на все перечисленные выше вопросы, и сделано это должно быть по заказу государства, а не нефтедобывающих компаний, которые занимаются отдельными проектами. На данный момент многие такие вопросы не решены, хотя освоение месторождений («Приразломное», месторождения на по-ве Ямал, месторождения на берегу Печорского моря…) уже началось, и возрастает морская транспортировка нефтепродуктов.

Именно на основе результатов указанного выше анализа нефтегазовые компании должны строить свои оценки по воздействию на окружающую среду (ОВОС) и программы производственного экологического мониторинга (ПЭМ). На наш взгляд, все перечисленное в блоках I – V (рисунок 2.1) является прерогативой государственных органов или организаций и компаний, выполняющих работы по заказу государства. В противном случае мы будем иметь ситуации аналогичные первой фазе Штокмановского проекта, когда, учитывая удаленность ШГКМ от берега, проектировщик не закладывает никаких ограничений на выброс загрязняющих веществ в атмосферу, так как вблизи нет никаких населенных пунктов, и

это соответствует действующим нормативным требованиям, поскольку нет нормативов и ограничений на выбросы в атмосферу в морских условиях. Нет и ограничений по шумности судов, хотя при обустройстве месторождения и транспортировки сжиженного природного газа газовозами этот шум может существенно влиять на морских млекопитающих и рыб [Richardson et al., 1995; Southall et al., 2007].

Принципиальный момент в этой схеме всестороннего анализа ОПС состоит в следующем. Указанное в блоках (рисунок 2.1) может быть сделано только в результате длительных систематических исследований, которые никак не будут проведены при подготовке отдельно взятого, пусть даже крупного проекта по освоению шельфового месторождения. Все это прерогатива государства.

2.2.2 Концепция ассимиляционной емкости морских экосистем

Понятие критического или допустимого антропогенного воздействия на морские экосистемы в целом тесно связано с понятием экологического резерва океана и определяет подходы к экологическому нормированию антропогенного воздействия на биосферу в целом. В этом случае важнейшее значение приобретает концепция ассимиляционной емкости Мирового океана или отдельных морей, введенная в работах [Израэль, Цыбань, 1983, 1984].

«Ассимиляционная емкость морской среды (Am_i) по данному загрязняющему веществу i (или сумме загрязняющих веществ Am_s) - это максимальная динамическая вместимость такого количества загрязняющих веществ (в пересчете на всю зону или на единицу объема среды с m-ой морской экосистемой), которое может быть за единицу времени разрушено, накоплено, трансформировано (в результате биологических или химических превращений) и выведено за счет процессов седиментации, диффузии или любого другого процесса переноса за пределы объема экосистемы без нарушения ее нормального функционирования» [Израэль, Цыбань, 1989, с. 487]. Ассимиляционная емкость (Am) имеет размерность потока вещества – массы, отнесенной к единице времени.

Величина *Am* зависит от многих природных и антропогенных факторов Следует отметить, что учитывая более суровые условия арктических морей (низкие температуры воздуха и воды, лед, длительная полярная ночь…) все процессы самоочищения в них замедлены, и *Am* арктических морей должна быть существенно меньше других морей, расположенных южнее.

Насколько известно, работ по оценке ассимиляционной емкости арктических морей не делалось. Отсутствие таких оценок ставит под угрозу экосистемы этих морей с началом освоения их нефтегазовых ресурсов, так как мы вторгаемся в среду, не зная четких и ясных последствий своих действий.

Таким образом, необходимо провести работы по всестороннему анализу природной среды арктических морей, в первую очередь Баренцева и Карского морей, с тем, чтобы оценить последствия совокупности крупномасштабных проектов освоения месторождений на шельфе этих морей. Необходимо сделать стратегическую экологическую оценку (СЭО) освоения нефтегазовых месторождений арктических морей. Пока это не сделано, так же как отсутствуют оценки ассимиляционной емкости морей, не установлены конечные оценки анализа реакций организмов биоты, популяций экосистем на антропогенные воздействия (рисунок 2.1, блок I), определение допустимых нагрузок на них (рисунок 2.1, блок II), а также утверждение норм допустимых выбросов, сбросов (рисунок 2.1, блок IV). А без этого для отдельных проектов фактически невозможны корректные расчеты и оценки в рамках ОВОС, адекватные процедуры ПЭК, ПЭМ, а также мероприятия по охране окружающей среды.

2.2.3 Государственный экологический мониторинг Баренцева моря

Рядом российских нормативно-правовых актов - Водным кодексом РФ [РФ. Законы. Водный …, 2006], законом РФ «Об охране окружающей среды» [РФ. Законы. Об охране …, 2002], Положением «Об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» [РФ. Правительство. Положение об осуществлении …, 2007] и «Положением о государственном экологическом мониторинге…» [РФ. Правительство. Положение о государственном …, 2013] предусмотрено про-

ведение государственного экологического мониторинга водных объектов, в том числе – Баренцева моря и других арктических морей. Однако в настоящее время такой комплексный мониторинг по всем требуемым параметрам для всей российской части Баренцева моря, отсутствует. Выполняется только мониторинг водных биологических ресурсов и частично среды их обитания: оценка состояния запасов водных биологических ресурсов (рыб), прогноз их возможного вылова в Северной Атлантике, в том числе в Баренцевом море, (ПИНРО по заказу ФАР РФ) и мониторинг состояния геологической среды в Баренцевом море (ФГУПП «Севморгео» и ДПР «Моргео» по заказу ФАН РФ) [Информационный бюллетень, 2005, 2006, 2007, 2008]. С учетом изложенного выше об общем подходе к экологическому мониторингу, существующего мониторинга явно недостаточно для начала освоения месторождений углеводородов на шельфе Баренцева моря и других морей российской Арктики.

Необходимо также отметить, один факт, относящийся в целом к экологическому мониторингу в России и не только морей. «Система экологического мониторинга источников загрязнения в РФ с 2000 г. отсутствует, в 1991–1999 гг. этот вид экологического мониторинга выполняли территориальные органы Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ (с 1996 г. – Госкомитета по охране окружающей среды РФ)» [Экологический мониторинг, 2013].

2.2.4 Экологический кризис планеты. Необходимость государственного экологического мониторинга по схеме Ю.А. Израэля

В настоящее время человечество стоит перед решением серьезной проблемы – проблемой перехода к устойчивому развитию. «… Переход к устойчивому развитию с целью предотвращения биосферной катастрофы – задача, по своей грандиозности превосходящая все, когда-либо приходилось преодолевать на своем пути нациям и народам» [Данилов-Данильян и др., 2005, с. 139]. Приведем несколько авторитетных мнений по этой проблеме.

«Современная экономика является суперприсваивающей в отношении потребления ресурсов. Это привело к неустойчивому природопользования и глобальным экологическим проблемам» [Лосев и др., 2008]. «Рыночная экономика, в которой главной целью является рост и прибыль, стала механизмом разрушения биосферы, механизмом утраты благ и услуг экосистем в результате выхода за пределы несущей емкости глобальной экосистемы» [Лосев и др., 2009].

В материалах к докладу «GEO 5. Глобальная экологическая перспектива» обнародованном накануне встречи на высшем уровне в 2012 г. в Рио-де-Жанейро «Rio+20» (Июнь, 2012) говорится: «Наблюдаемые в настоящее время изменения в земной системе носят беспрецедентный характер в истории человечества. Усилия по замедлению скорости изменений или уменьшению их масштаба, включая повышение ресурсоэффективности и меры по смягчению последствий, позволили добиться умеренных успехов, но не ликвидации последствий пагубных изменений в окружающей среде. Ни масштабы, ни скорость этих изменений за последние пять лет не уменьшились» [GEO 5, 2012].

Подобные выводы делаются и на конференциях в России. В рекомендациях Круглого стола № 2 «Экология как сфера глобального взаимодействия» (III Невский международный экологический конгресс) отмечается: «Природа уже ощущает на себе резко усилившееся деструктивное антропогенное, главным образом, техногенное давление, что неизбежно ведет к ее истощению и приближению к экологическому кризису. < ··· > Объем допустимого воздействия на биосферу в целом превышен в несколько раз. < ··· > Все это приведёт к тому, что через 30 - 50 лет начнется необратимый процесс, который на рубеже XXI-XXII веков обернется глобальной экологической катастрофой» [Экология как сфера …, 2010].

Таких заключений, сделанных на различных достаточно высоких уровнях, можно привести очень много. Главное в подходе к проведению экологического мониторинга при освоении арктического шельфа состоит в следующем. Освоение любых ресурсов Земли, в рассматриваемом нами случае – нефти и газа на шельфе – ведется в рыночной экономике, как правило, частными компаниями, в том числе акционерными обществами. В России только две частные компании имеют право

осваивать месторождения на арктическом шельфе ОАО «Газпром» и ОАО «НК «Роснефть» (государство владеет более 50 % акций в этих компаниях). Главная цель любой частной компании независимо от формы собственности – получение прибыли. Поэтому нефтегазовые компании по определению объективно заинтересованы в минимизации расходов на экологию и будут проводить и, как правило, стремятся проводить такие исследования в минимальном объеме. Именно поэтому, **всесторонний анализ окружающей арктической среды и, соответственно, все исследования, о которых говорилось в начале этого параграфа - учет допустимых нагрузок на экосистему, критериев и норм на сборы и выбросы** (рисунок 2.1, за исключением, блока VI), - все это **может быть сделано только государством,** то есть государственными организациями или по госзаказу и при финансировании из госбюджета.

2.3 Опыт экологического мониторинга при освоении российского шельфа

К научно-методическим разработкам методологии экологического мониторинга компаний в первую очередь относятся работы: О.Я. Сочнева [Сочнев, 1997; 1998; Матишов и др., 2001b], С.А. Патина [1997, 2001], С.Л. Дженюка [2001, 2002; 2004, 2005], группы специалистов ИО РАН во главе с Л.И. Лобковским [Лобковский и др., 2005; 2007; Лобковский, Ковачев, 2013], В.П. Савиных, Крапивина В.Ф., И.И. Потапова [Савиных и др., 2007; …..], специалистов на Дальнем Востоке [Красный и др., 1998; Алексеев и др., 2005], В.Б. Погребова и М.Б. Шилина [2001], А.П. Хаустова и М.М. Рединой [2008, 2014] и работы ряда других авторов. Рассмотрим кратко некоторые из этих работ. Здесь и далее, как уже отмечалось, мы будем различать два основных вида экологического мониторинга – **государственный экологический мониторинг (ГЭМ)** - согласно закону РФ «Об охране окружающей среды» [РФ. Законы. Об охране …, 2002, статьи 1 и 63] и **производственный экологический мониторинг (ПЭМ)** – в соответствии со сводом правил [СП 47.13330.2012, 2012, п. 8.4.23] и Постановлением Правительства РФ № 87 [РФ. Правительство. Положение о составе разделов …, 2008]. (Мы

не рассматриваем геодинамический мониторинг, являющийся важным элементом ГЭМ и ПЭМ, т. к. это отдельная большая проблема). Согласно последнему документу «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» проектной документации для проектов освоения шельфа должен содержать «программу производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения **всех компонентов** (выделено – А.А.Ш.) экосистемы при строительстве и эксплуатации объекта, а также при авариях» [Там же, ст. 25 и 40]. Детальные требования к ПЭМ на шельфе изложены в [СП 47.13330.2012, 2012, п. 8.4.23; 8.5.2; 8.5.3].

2.3.1 Структура, цели и задачи экологического мониторинга в районах освоения нефтегазовых месторождений (С.А. Патин)

В монографиях по этому вопросу С.А. Патин выделяется три основных типа мониторинга: 1) фоновый мониторинг интактных (нетронутых) районов, 2) региональный мониторинг «обзорного» типа, 3) мониторинг районов локального воздействия [Патин, 1997; 2001]. При этом не разделяются ГЭМ и мониторинг, проводимый компаний, выполняющей соответствующий проект (ПЭМ), хотя из хода изложения в основном ясно, что мониторинг районов локального воздействия проводится компаниями, занимающимися разработкой месторождений, а региональный мониторинг «обзорного» типа – это уже может быть государственный экологический мониторинг.

В монографиях [Патин, 1997, 2001] приводится общая структура мониторинговых наблюдений различных уровней, что предусматривает ряд обязательных этапов ЭМ (рисунок 2.2). На наш взгляд здесь следует добавить в перечень критериев «Физические» критерии и нормы (акустическое воздействие, электромагнитное, механическое…). Причем эта схема в большей степени относится именно *к локальному мониторингу компаний* (ПЭМ). Кроме того, без критериев качества и норм (рисунок 2.2) такой мониторинг теряет смысл, а указанные критерии и нормы, в том числе для арктических районов (уже отмечалось в п. 2.2.1 выше), могут быть разработаны только в результате всестороннего анализа морской природной среды.

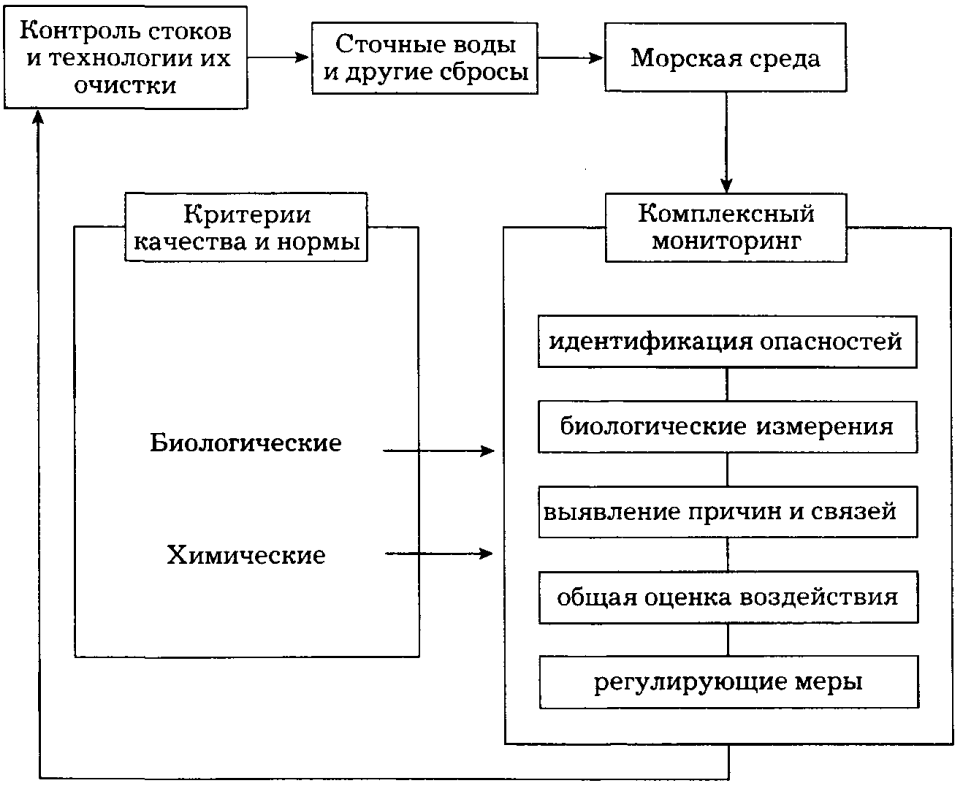


Рисунок 2.2 — Роль и место экологического мониторинга в системе контроля и управления качеством морской среды [Патин, 2001, с. 206]

Основная цель *мониторинга локальных воздействий* в районах прямого влияния деятельности по освоению месторождений – оценка экологической ситуации и последствий хозяйственной деятельности в районах техногенного воздействия, выявление зон и эффектов нарушения биотических и абиотических характеристик морской среды, а также контроль за соблюдением природоохранных норм и требований. Такой мониторинг наиболее эффективен при использовании оперативных схем полевых съемок [Патин, 2001, с. 221].

Экологический мониторинг в районах воздействия освоения месторождений, как отмечает С.А. Патин, следует сочетать с экологическими наблюдениями в рамках единых региональных программ комплексного мониторинга (в нашей терминологии фактически сочетать ГЭМ и ПЭМ). Перечень различных показателей ЭМ для локального мониторинга приведен в таблице 2.2, хотя, и это отмечает С.А. Патин, в районах морских нефтепромыслов чаще всего предпочтение отдается комплексному анализу донных осадков и бентосных сообществ.

Таблица 2.2 – Ключевые (+++), дополнительные (++) и фоновые показатели для мониторинга экологической ситуации в районах буровых (БР), промысловых (ПР) и строительных (СР) работ при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе [Патин, 2001, с. 210]

Объекты, биотопы, группы биоты	Регистрируемые показатели	БР	ПР	СР
Удаляемые отходы:				
буровые растворы	Химический состав, объемы сброса, токсичность (LC50 за 96 ч)	+++*	–	–
шламы	Объемы сброса, содержание нефти	+++*	–	–
пластовые воды	Химический состав, объемы сброса, токсичность (LC50 за 96 ч)	–	+++*	–
Водная толща	Нефтяные пленки	++*	+++*	++
	Прозрачность	+++*	+++*	+++*
	Взвешенное вещество	+++*	+++*	+++*
	Температура, соленость, течения	+*	+*	+*
	pH	+	+*	+
	Растворенный кислород	++*	++*	++
	БПК	++*	++*	++*
	Биогенные элементы	+	+	+
	Органическое вещество	+	++*	++
	Хлорофилл	+	+	+
	Углеводороды нефти	++*	++*	++*
	Тяжелые металлы	+	++*	+
	Барий	+	+	+
	Хлорорганические вещества	+	+	+
Поверхностный микрослой	Нефть, НУ, ПАУ, тяжелые металлы, токсичность (биотестирование)	+	++*	+
Донные осадки	Морфология дна, динамика наносов	+++*	+++*	+++*
	Гранулометрический состав	++*	+++*	++
	Органическое вещество	+	++*	++
	Углеводороды нефти	++*	+++*	++*
	Тяжелые металлы	+	++*	++*
	Барий	++*	+++*	+
	Радионуклиды	+	++	+
	Токсичность (биотестирование)	+	++*	+
Планктон:				
бактериопланктон	Биомасса, численность, показатели нефтеокисляющих бактерий	+	++*	+
фитопланктон	Биомасса, численность, видовой состав, видовое разнообразие, доминирование	+	+	+
зоопланктон	Биомасса, численность, видовой состав, видовое разнообразие, доминирование	+	++*	+
ихтиопланктон	Видовой состав, биомасса, численность, морфологические аномалии	+*	++*	+
Нектон:				
молодь рыб	Видовой состав, численность, физиологическое состояние	+	+	+
промысловая ихтиофауна	Численность, биомасса, видовой состав, распределение, миграции	+	++*	++
Бентос				
макробентос	Биомасса, численность, видовой состав, индикаторные виды и др.	++*	+++*	++*
двустворчатые моллюски	Накопление ПАУ и тяжелых металлов, признаки стресса и патологии	++*	++*	+
донные рыбы	Сублетальные эффекты, накопление ПАУ и тяжелых металлов, нефтяные запахи и привкусы	+	++*	+
Морские млекопитающие	Численность, структура популяций, поведение, миграции	+	++*	++
Орнитофауна	Видовой состав, численность, миграции, состояние гнездовий и др.	+	++	+

Примечания:

+++ ключевые показатели, существенное изменение которых в результате техногенных воздействий и их надежная регистрация на фоне природной изменчивости не вызывают сомнений;

++ дополнительные показатели, изменение которых под влиянием воздействий возможно, однако выявление и надежная регистрация таких изменений вызывают сомнение;

+ фоновые (сопутствующие) показатели, изменение которых под влиянием техногенных воздействий исключено либо не поддается регистрации.

* Показатели, рекомендуемые для включения в программы мониторинга.

Но с учетом Постановления Правительства РФ № 87 [РФ. Правительство. Положение о составе разделов …, 2008] и СП 47.13330.2012 [2012] практически все показатели, перечисленные в этой таблице, должны включаться в перечень, измерение которых необходимо предусмотреть в ПЭМ на шельфе. «Несмотря на давнюю историю экологических исследований в районах освоения УВ месторождений на шельфе многих стран, методология экологического мониторинга применительно к оценке последствий этой деятельности разработана недостаточно» [Патин, 2001, с 208]. Это ведет к снижению эффективности мониторинга.

Региональный мониторинг трактуется С.А. Патиным [2001, с. 217] как инструмент отслеживания эффектов и последствий от всех видов деятельности на шельфе, что собственно, заложено в основу известных региональных систем мониторинга, например Северного и Балтийского морей [HELCOM, 1996; ICES, 2000, цит. по Патин, 2001]. Приводится одна из возможных схем такого мониторинга [Патин, 2001, с. 217].

При этом подчеркивается, что мониторинг экосистемного уровня должен не просто описывать те или иные изменения в морских экосистемах, а выявлять и отслеживать эти изменения (в первую очередь долговременные) в их причинно-следственной связи с климатом и деятельностью человека, который, уже влияет на климат. Без такой целевой установки, как подчеркивает С.А. Патин, региональный ЭМ перестает существовать и «растворяется» в традиционных направлениях океанологии, экологии, климатологии и др. дисциплинах, которые давно исследуют океан и биосферу.

2.3.2 Система экологической безопасности и комплексного мониторинга при освоении месторождений на арктическом шельфе (О.Я. Сочнев)

В ряде публикаций **О.Я. Сочневым** разработаны основы концепции Системы экологической безопасности и комплексного мониторинга (СЭБМ) при нефтегазодобыче на шельфе арктических морей, обобщённые в его монографиях и докторской диссертации [Сочнев, 1997; 1998; Матишов и др., 2001b].

Следует отметить, что это были одни из первых подобных работ для арктического шельфа. Концепция, заложенная в разработанную СЭБМ, заключается в принципиальной возможности совмещения комплексного экологического мониторинга ОПС с операциями по контролю технического состояния морских сооружений при обустройстве и эксплуатации месторождений [Матишов и др., 2001b, с. 167].

В качестве информационной основы СЭБМ предложено использовать двухкомпонентную геоэкоинформационную систему (ГЭИС), включающую информационно-измерительную систему (ИИС – система сбора, хранения, обработки и представления первичной информации) и обрабатывающую информационную систему (ОИС – система накопления, анализа и интерпретации информации и ее передачи по каналам связи) [Матишов и др., 2001b, с. 168]. Определены *цели комплексного экологического мониторинга* [Матишов и др., 2001b, с. 169].

В основе программы экологического мониторинга (режим измерений, сетка станций, измеряемые параметры) лежит подход, максимально опирающийся на международную практику подобных исследований [Guidelines for monitoring …, 1989]. Измеряются метеорологические и океанографические параметры, концентрация углеводородов и металлов, а также биологические параметры (зообентос, рыбы, ракообразные, мидии), исследование деградации УВ, выполняется описательная седиментология.

Режимы мониторинга на различных этапах обустройства и эксплуатации месторождения [Матишов и др., 2001b, табл. 21, с. 171] определены следующим образом: на самой первой стадии - стадии геологических и геофизических работ – многолетние комплексные экологические исследования, а начиная с поисково-оценочных работ – от 1 года до 3-х лет.

Сетка станций выбирается согласно рекомендациям [Guidelines for monitoring …, 1989]: по двум взаимно перпендикулярным осям с увеличивающимся расстоянием между станциями по мере удаления от платформы или точки бурения.

Как отмечается в рассматриваемой концепции [Матишов и др., 2001b, с. 181], первым важным этапом создания СБЭМ должно стать развертывание ИИС.

В качестве составляющих компонентов ИИС в СБЭМ предполагается использовать комплексы аппаратуры размещаемые на ИИС, самолетах-лабораториях и вертолетах, подводных аппаратах (ПА) и подводных лодках (ПЛ), автоматических буйковых станциях (АБС) , ледостойких платформах, береговых стационарных исследовательских базах.

2.3.3 Методология информационного обеспечения мониторинга окружающей среды (С.Л. Дженюк)

Важные разработки в части информационного обеспечения экологического мониторинга арктических морей, включая формирование баз экологических данных, сделаны С.Л. Дженюком [Дженюк, 2002; Матишов и др., 2001; Дженюк 2005; 2012 и др. его публикации]. Им сформулирован единый информационный подход к данным мониторинга ОПС как реализации периодически коррелированных случайных процессов, обладающих инерционностью [Дженюк, 2001; 2002]. С позиций информационной концепции мониторинг ОПС представляет собой информационную систему сбора, обработки, интерпретации и распределения данных, организованную в соответствии с запросами потребителей (рисунок 2.3). Источниками информации наряду с материалами наблюдений могут быть фондовые материалы, результаты расчетов, экспертные оценки. Организация и проведение мониторинга на всех этапах должна сопровождаться анализом информационного обеспечений.

С.Л. Дженюк разделяет два подхода к экологическому мониторингу: 1) мониторинг экосистем в биосферных заповедниках и на других выделенных полигонах, что необходимо для глобальных оценок устойчивости биосферы и получения данных для с равнения с ситуацией на территориях подвергнутых антропогенному воздействию, 2) решение прикладных задач по охране окружающей среды, что требует организации мониторинга в местах, где антропогенное воздействие становится наиболее опасным [Дженюк, 2001, с. 59].

Важным и ценным утверждением, сформулированным С.Л. Дженюком, является предложение о снятии ограничений на распространение информации об

окружающей среде: «…Любые ограничения на распространение информации об окружающей среде, связанные с ее коммерческой ценностью, следует признать неправомерными и не достигающими своей цели… Для государственных служб мониторинга следует считать обязательной немедленную передачу информации любым потребителям из числа юридических и физических лиц-налогоплательщиков по их запросам, поскольку она уже оплачена основным заказчиком» [Дженюк, 2001]. Важным представляется также и предложение по созданию региональных эколого-информационных систем и требований к ним, в том числе на примере таких систем для Кольского залива и европейского Севера России [Дженюк, 2001, п. 6.4.3].

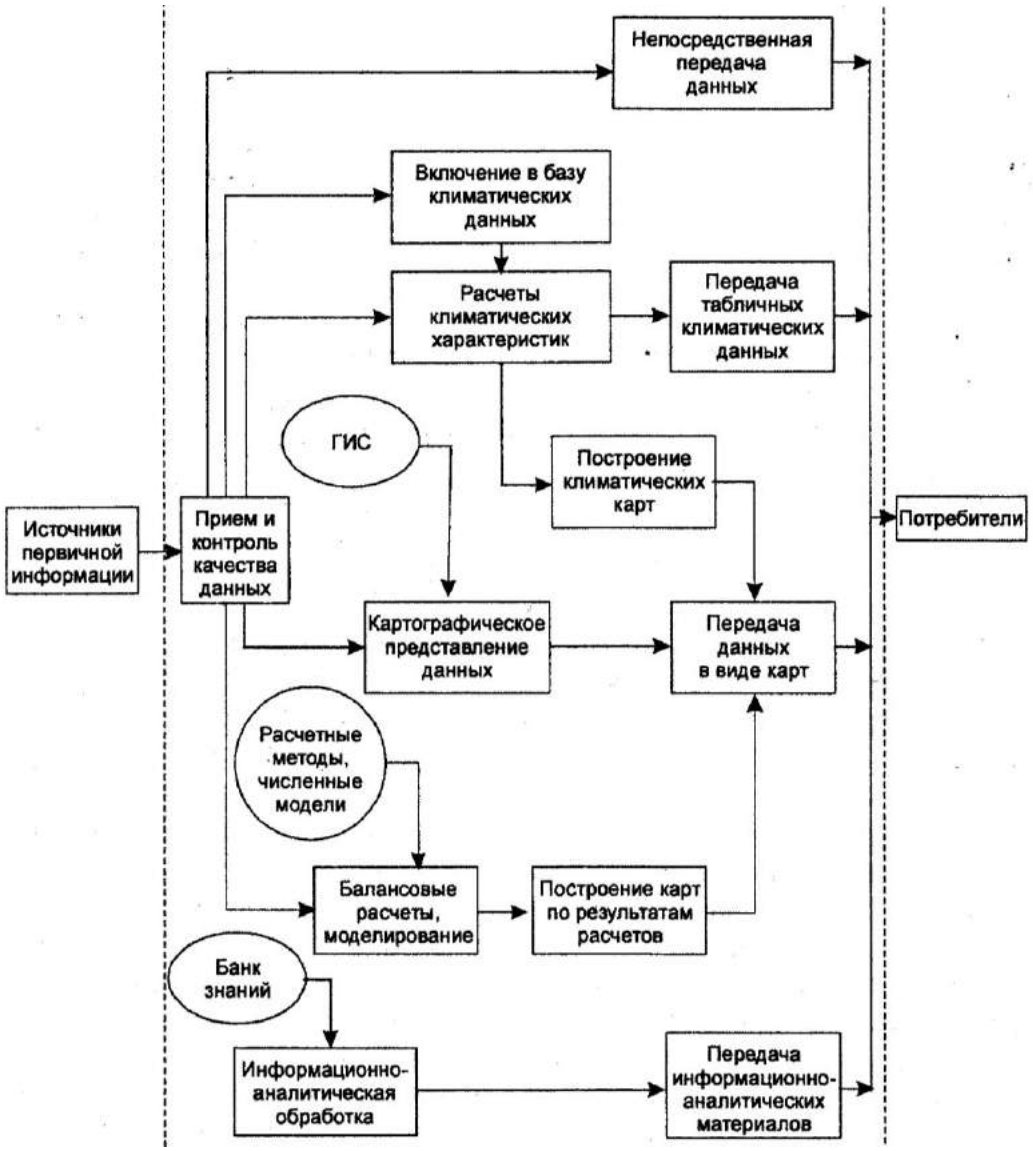


Рисунок 2.3 ─ Структура эколого-информационной системы и организация прохождения данных (штриховыми линиями ограничена область функционирования системы) [Дженюк, 2001, с. 196; 2004, с. 60]

2.3.4 Опыт производственного экологического мониторинга ОАО «ЛУКОЙЛ» на Северном Каспии

Рассмотрим одну из нескольких реализованных ПЭМ - программу компании ОАО НК «ЛУКОЙЛ» на Северном Каспии [Программа производственного .., 2002]. Она была разработана по заказу ООО "ЛУКОЙЛ-Астраханьморнефть", под научным руководством С.А. Патина (д.б.н., профессор, г.н.с. ВНИРО) и С.К. Монахова (к.г.н., директор Каспийского морск. НИЦ Росгидромета). ***Цель ПЭМ*** - информационное обеспечение охраны окружающей среды северной части Каспийского моря на всех этапах нефтегазодобывающей деятельности «НК "ЛУКОЙЛ"».

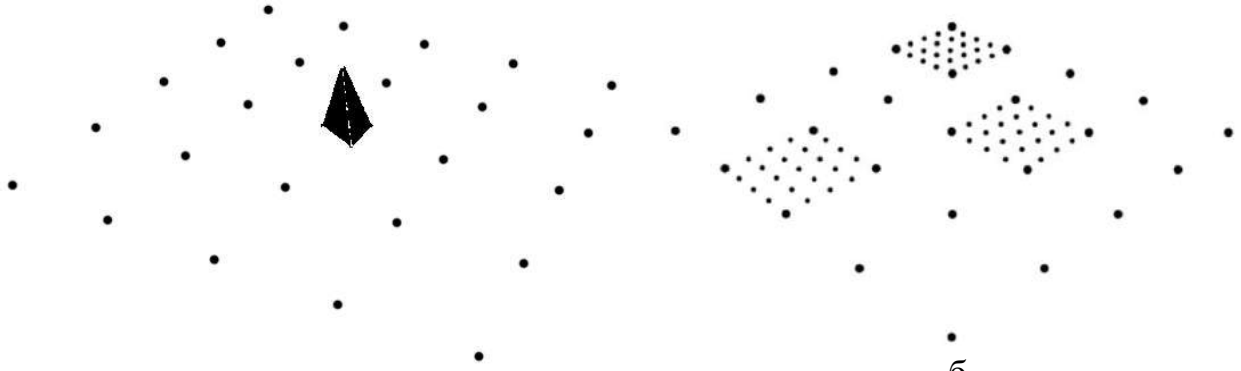
Центральная задача ПЭМ - оценка фактического воздействия нефтегазодобывающей деятельности на окружающую среду, особенно, на биологические (живые) ресурсы, являющиеся объектом рыболовства.

Пространственное размещение сетки станций. Поскольку морская среда Северного Каспия отличается высокой пространственной неоднородностью, то был сделан вывод, что это исключает применение распространенной технологии ЭМ, основанной на сравнительном анализе состояния морской среды на удаленных друг от друга «фоновом» и «импактном» полигонах. Было и принято решение проводить наблюдения на «вложенных» друг в друга полигонах различного уровня, т.к. различие между ними обусловлено главным образом различными природными условиями, чем различной антропогенной нагрузкой (рисунок 2.4).

Составной частью ПЭМ является непрерывное гидрологическое зондирование со стационарных сооружений и спутниковый мониторинг. В рамках ПЭМ сводный перечень включает 13 групп контролируемых параметров, а каждая группа – до 2-х десятков параметров.

Общая схема и структура ПЭМ программы представлена на рисунке 2.5. В качестве самостоятельного направления выделяется эколого-рыбохозяйственный мониторинг (рисунок 2.5),что предусмотрено документом [Специальные экологические …, 1998] и обусловлено тем, что приоритетной природоохранной задачей при осуществлении нефтегазодобывающей деятельности в северной части Кас-

пийского моря является сохранение его биологических ресурсов и рыбохозяйственного потенциала.

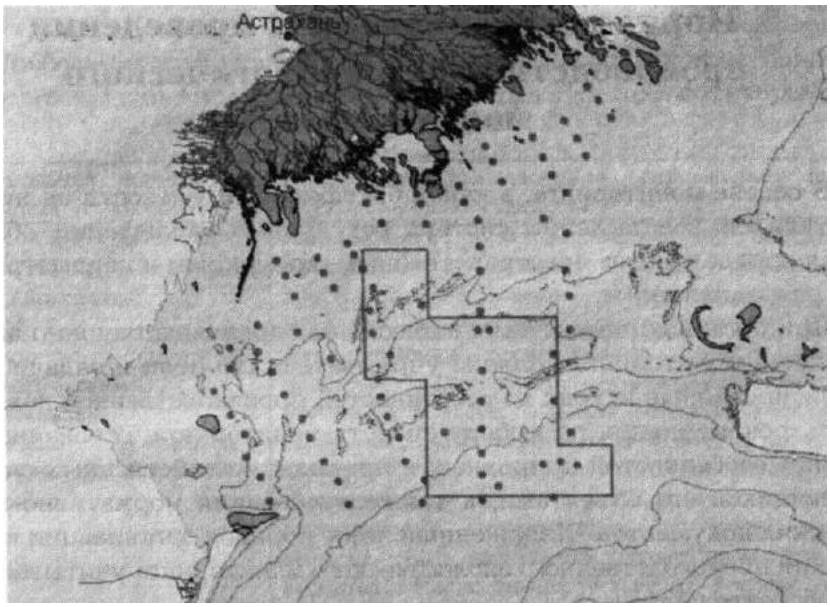


а

Полигон I уровня;
$\Delta_{ст}$ = 100-500 м, N = 25, 2 раза/мес. (I и III декады), 1 раз мес. (III декада), кратковременные изменения

б

Полигон II уровня:
$\Delta_{ст}$ = 1-5 миль, N = 25, 5-6 раз/год, сезонная и годовая изменчивость



В

Станции III уровня,
$\Delta_{ст}$ = 5-10 миль на разрезе,
$\Delta_{раз}$ = 10-20 миль,
N = 70,
2-4 раза в год,
годовая изменчивость

N – число станций, $\Delta_{ст}$ - расстояние между станциями или разрезами

Рисунок 2.4 ─ Схемы расположения станций на полигонах I и II уровней (а и б) и схема расположения лицензионного участка и станций мониторинга полигона III (в) на акватории Сев. Каспия [Программа производственного .., 2002]

Рисунок 2.5 ─ Структура ПЭМ ОАО «ЛУКОЙЛ» на Северном Каспии [Программа производственного .., 2002, с. 58]

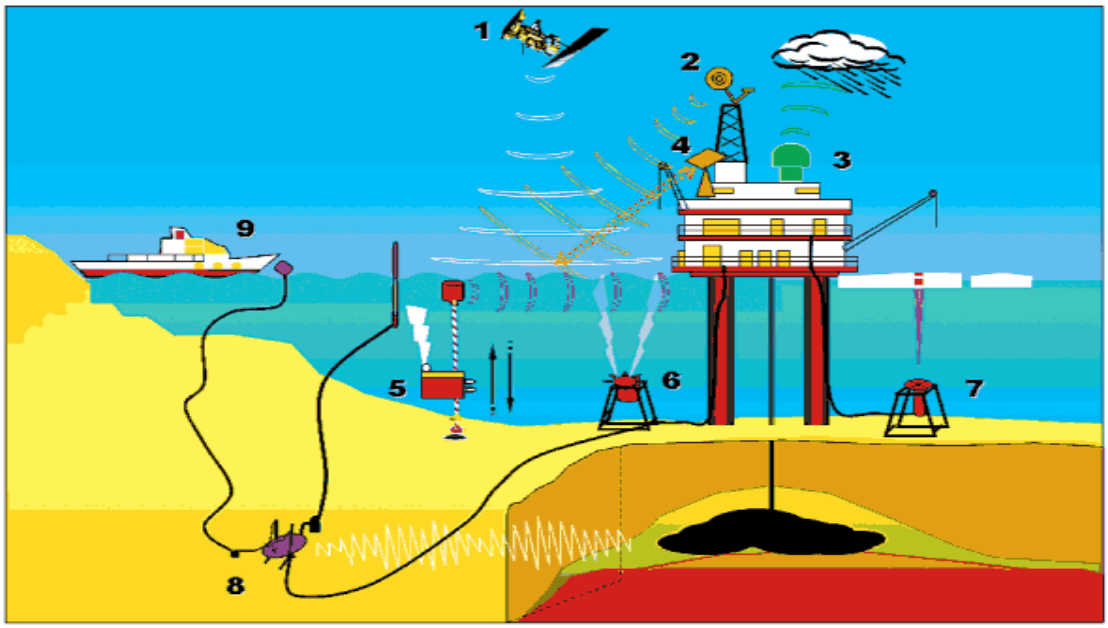
2.3.5 Комплексный многоуровневый мониторинг морской среды Института океанологии РАН

Проблемы геоэкологического мониторинга морских нефтегазовых акваторий рассмотрены в работах специалистов ИО РАН [Лобковский и др., 2005, 2007; Лобковский, Ковачев, 2013 и др. публикации этих авторов]. Система экологического мониторинга должна иметь многоуровневую структуру [Лобковский, Ковачев, 2013, с. 25] (см. рисунок 2.6)

Основная задача оперативного экологического мониторинга заключается в контроле за возможными техногенными загрязнениями. Данные длительного мониторинга используются для отслеживания состояния ключевых экологических параметров и для выделения антропогенных факторов на фоне естественных природных трендов.

Технический комплекс многоуровневого экологического мониторинга должен согласно предложениям [Там же, с. 26] включать следующие подсистемы:

- гидрометеорологического мониторинга;
- мониторинга присутствия нефтяных загрязнений в морской среде;
- геодинамического мониторинга;
- мониторинга состояния объектов недропользования с судна;
- спутникового мониторинга;
- информационного обеспечения.



1 – искусственные спутники дистанционного зондирования Земли; 2 – радиолокатор кругового обзора; метеостанция; 4 – лидарный комплекс; 5 – подводный профилирующий зонд; 6 – измеритель волнения и уровня моря; 7 – сонар толщины морского льда; 8 – сейсмическая станция подсистемы геодинамического мониторинга; 9 – судовой комплекс мониторинга морской акватории. Измерители 2-4 устанавливаются непосредственно на платформе, а измерители 6-7 – на дне

Рисунок 2.6 — Многоуровневая структура измерительных средств системы экологического мониторинга для нефтедобывающих платформ на морском шельфе [Там же, с. 26]

Функционирование информационной подсистемы должно осуществляться в двух режимах: оперативном — on-line и в режиме получения обобщенной информации» [Лобковский и др., 2007].

2.3.6 Нормативные документы ОАО «Газпром» по производственному экологическому мониторингу

Основные требования к правилам проектирования систем производственного экологического мониторинга (ПЭМ) на объектах газовой промышленности изложены в документе ОАО «Газпром» [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003]. Спроектиро-

ванная и реализованная по этим правилам система ПЭМ предполагает выполнение экологического мониторинга на объектах ОАО «Газпром», в том числе (хотя в нем это не оговорено специально), при освоении шельфовых месторождений. Анализ этого документа [Приложение В] показывает следующее:

1) В этом документе говорится об оценке и прогнозе состояния окружающей природной среды (п. 4.1.1), состоянии и загрязнении компонентов природной среды (п. 4.1.3), о состоянии контролируемой природной среды (п. 4.2.5), о состоянии окружающей среды (п. 4.3.1), но само содержание всего документа предполагает мониторинг только абиотических факторов природной среды (п.4.3.4).
2) Нет четкого требования об определении зоны воздействия от проектируемого / эксплуатируемого объекта и мониторинга в этой зоне.
3) Нет требования полного описания состояния ОПС в районе воздействия, в том числе с использованием математических моделей (есть частично, но без учета биоты).

В целом, нам представляется, что в ОАО «Газпром» необходимо разработать специальный документ по проектированию систем ПЭМ при освоении месторождений на шельфе (актуализировать указанный документ для шельфовых проектов по аналогии с тем, как был актуализирован СНиП 11-02-96 по инженерным изысканиям до СП 47.13339.2012 – см. § 2.4 далее), с тем, чтобы учесть последний опыт создания таких систем именно для шельфовых районов.

2.3.7 Информационные технологии в системах экологического мониторинга

Разработка принципиально нового подхода к экологическому мониторингу представлено в ряде работ **В.П. Савиных, В.Ф. Крапивина, И.И. Потапова и других авторов.** Здесь мы приводим основные идеи этих авторов из ряда публикаций. Одной из последних является монография [Савиных и др., 2007], в которой приведены ссылки на предшествующие работы этих и других специалистов, работающих в этом направлении. Основная идея такого подхода, как указывает

Н.А. Назарян [2011], состоит в создании информационных технологий, которые бы позволяли строить ряды моделей в условиях отрывочной и искаженной информации о происходящих в природе процессах. При этом используются ГИС-системы, которые обеспечивают обработку географических данных, связь с базами данных и символическое представление изучаемой территории. Происходит расширение ГИС до ГИМС (по схеме ГИМС = ГИС + Модель), что изменяет функции пользовательского интерфейса компьютерных картографических систем, включая прогнозные оценки на основе априорных сценариев изменения условий функционирования подсистем окружающей среды. Получаемые по результатам измерения параметры подсистем могут использоваться и для оценки коэффициентов моделей, и непосредственно для прогнозной оценки по методике эволюционной технологии [Савиных и др., 2007, с. 26-27].

Классическая методика проведения измерений ориентирована на заранее заданную фиксацию объема выборки результатов измерений N, после чего осуществляется обработка данных. *Методика последовательного анализа*, представляемая в обсуждаемых работах, не разделяет эти этапы, а чередует их, обеспечивая, таким образом, возможность организации адаптивного режима обработки данных, принятия решения, в том числе по режиму проведения измерений. То есть обработка данных осуществляется после каждого измерения [Крапивин и др., 1997, с. 17]. В то время как в классическом случае такая обработки выполняется на завершающем этапе эксперимента. Одна из более поздних схем такого эксперимента показана на рисунке 2.7.

«Для конкретного объекта мониторинга создается модель, описывающая это взаимодействие и функционирование различных уровней пространственно-временной иерархии всей совокупности процессов в окружающей среде, влияющих по предварительным оценкам на состояние объекта. Модель охватывает характерные для данной территории процессы природного и антропогенного характера и в начале своей разработки опирается на существующую информационную базу. Структура модели ориентируется на адаптационный режим ее использова-

ния с последующими проверками ее адекватности путем сравнения измеренных и рассчитанных состояний изучаемой системы» [Савиных и др., 2008].

Обозначения: Δ – интегральная или предметная оценка расхождения результатов моделирования с экспериментальными измерениями; Δ_i – допустимый уровень расходимости для оценки Δ; ИСМГЭ – Имитационная система для мезомасштабного гидрофизического эксперимента

Рисунок 2.7 ─ Принципиальная схема организации гидрофизического эксперимента с использованием адаптивного режима моделирования [Крапивин, Кондратьев, 2002, цит. по Савиных и др., 2007, с. 89]

В зависимости от степени расхождения этих данных проводится коррекция либо модели, либо режима измерений (частота измерений во времени и размещение измерений в пространстве).

Важными основными принципами этой технологии информационного мониторинга (ГИМС-технологии) являются [Савиных и др., 2008, стр. 118]:

- Объединение, интеграция и координация уже существующих государственных, ведомственных и отраслевых систем сбора первичной информации об окружающей среде на единой организационной и научно-методической основе.
- Оптимизация материальных и финансовых затрат на создание, функционирование и совершенствование системы контроля окружающей среды.

- Согласование и совместимость информационных потоков в системе на основе применения единой координатно-временной системы , использования единой системы классификации, кодирования, форматов и структуры данных.
- Централизация доступа к информации через международные информационные сети с максимальным расширением списка пользователей.
- Обеспечение межрегионального характера национального геоинформационного мониторинга, не зависящего от несовпадения границ регионов с границами экосистемы.

2.3.8 Мониторинг по рекомендациям Арктического Совета

Принципы организации и проведения мониторинга изложены в Руководстве ***Арктического Совета*** [Руководство по проведению …, 2002]. Подчеркивается, что необходимо отличать воздействие от проводимых работ от действия других факторов. Особо указывается наличие исчерпывающего перечня экологических ресурсов, на которые могут оказать воздействие нефтегазовые работы. Здесь изложены почти все необходимые требования, но их конкретизация недостаточна для того, что бы руководствоваться только ими при разработке программ ПЭМ.

2.3.9 Проблема выбора репрезентативных точек, как основа закладки сети экологического мониторинга (А.Н. Ласточкин)

Одной из важнейших задач планирования и выполнения любого экологического мониторинга – определение расположения точек (станций) и периодичности выполнения наблюдений на них, так как необходимо иметь репрезентативные данные, в наибольшей степени охватывающие пространственно-временную изменчивость исследуемых параметров экосистемы [Дмитриев и др., 2008].

При этом именно выбор пространственного расположения станций для измерения мониторинговых параметров имеет первостепенное значение при организации экологического мониторинга (ГЭМ и ИЭИ, ПЭМ). Эта проблема в настоящее время не решена и во многих программах ПЭМ, ГЭМ даже не обсуждается.

Однако для отдельных составляющих мониторинга уже имеются соответствующие решения, хотя они в полной мере, к сожалению, не реализуются. Речь идет о выборе репрезентативных точек мониторинга на земной поверхности (в нашем случае – точек донных станций) как основы закладки сети мониторинга. Решение этой задачи представлено А.Н. Ласточкиным в монографиях [Ласточкин, 2002, 2011] и в соответствующих разделах учебника по прикладной экологии [Дмитриев и др., 2008]. Краткое описание такого подхода сводится к следующему [Дмитриев и др., 2008, с. 191-197].

Обычно наблюдения и измерения различных экологических параметров осуществляются в произвольных или условно (по геометрически правильной сети) устанавливаемых точках… Вопрос выбора таких точек, это - не чисто технический вопрос, относящийся не только к методике проведения исследований, но и к теории, «поскольку он связан с решением проблем о границах экотопов (геокомплексов и геокомпонентов), их однородности и первичности в познании их местоположений относительно изучения их вещества, динамики и функционирования» [Там же]. А.Н Ласточкин пишет, что совершенно недопустимо считать требуемую в специальных инструкциях технологию проведения экологических исследований в рамках геологической съемки по квадратной сети наблюдений, практически полностью игнорирующую делимость и структуру как природной, так и антропогенной составляющих ландшафтно-геоэкологической оболочки (ЛГО). «Такой формальный подход даже при существенном сгущении сети опробования, увеличении мощности и технологической оснащенности аналитической базы, но игнорирующий дифференциацию окружающей среды и многообразие экотопов не может обеспечить эффективность экологических изысканий и картографирования» [Дмитриев и др., 2008, с. 191].

Измерения экологических параметров часто делаются в произвольно устанавливаемых точках. Не получил широкого распространения метод случайного выбора, во многом аналогичный предыдущему, поскольку все эти наблюдения не связаны со структурой исследуемого пространства. В качестве репрезентативных

точек не следует использовать геометрические центры экотопов (геокомплексов), так называемые ядра типичности [Там же, с. 191-192].

Подробно обоснование выбора станций отбора донных проб дается в указанных его работах, в том числе в [Дмитриев и др., 2008, § 10.3, с. 313-320]. В качестве репрезентативных характерных точек в рельефе дна должны выбираться точки, которые образуются в результате пересечения каркасных линий двух взаимно-перпендикулярных систем структурной координатной сети и других характерных линий ландшафтно-геоэкологической оболочки.

2.3.10 Производственный экологический мониторинг, выполняемый при освоении месторождений сахалинского шельфа

На шельфе о. Сахалин реализуются крупные проекты по добыче углеводородов. В рамках этих проектов («Сахалин – 1, 2») реализуются Программы производственного экологического мониторинга [Охрана природы …, 2001]. Основной задачей производственного экологического мониторинга являлось обеспечение контроля за параметрами выбросов и сбросов загрязняющих веществ, техническим состоянием и соблюдением правил эксплуатации оборудования и устройств, работа которых связана с воздействием на окружающую природную среду. Также в программу производственного экологического мониторинга входили исследования качества морской среды в контрольном створе платформы «Моликпак» и СПБУ «Сахалинская». [Предложения по организации …, 2001]. Ведутся разработки по созданию единой системы государственного мониторинга сахалинского шельфа [Красный и др., 1998; Красный, Храмушин, 2001] и комплексной системы обеспечения безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений Сахалина [Алексеев и др., 2005].

Одна из нерешенных проблем – утилизации попутного газа [Кириллов, 2012]. В докладе В.В. Кириллова отмечаются многие положительные моменты: в рамках проекта «Сахалин-2» осуществляется программа экологического мониторинга и сохранения биоразнообразия, в ходе проектов «Сахалин -1» и «Сахалин-2» реализуется программа защиты серых китов, и другие программы [Там же].

Проблемы и перспективы экологического мониторинга, сопровождающего геологоразведочные работы на шельфе о. Сахалин, проводимых в рамках проектов освоения сахалинского шельфа (проекты «Сахалин – 3, 4, 5»), рассмотрены в статье А.В. Гаврилевского [2009]. Констатируется, что мониторинг позволяет получать регулярную достоверную информацию о состоянии экосистем и принимать эффективные и адекватные природоохранные меры.

2.3.11 Производственный экологический мониторинг в районе месторождения Д-6 в Балтийском море

Морское нефтяное месторождение «Кравцовское» (Д-6) – самое крупное на континентальном шельфе России в юго-восточной Балтике. Его разработку ведет ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». Расстояние от МЛСП Д-6 до Куршской косы – 22.5 км, до ближайшего порта Пионерский – 46 км. В 2003 году была разработана Программа производственного экологического мониторинга месторождения Д-6. В реализации программы задействованы около 8 научных организаций [Обзор результатов …, 2005; 2006; 2007; 2008].

По своему функциональному назначению, масштабу и длительности наблюдений мониторинг подразделяется на локальный и региональный. *Локальный мониторинг* проводится вблизи морской ледостойкой платформы (МЛСП), *региональный* охватывает восточную часть российской исключительной экономической зоны моря в юго-восточной Балтике. В рамках регионального мониторинга осуществляется *интактный мониторинг* береговой и прибрежно-морской зоны Куршской косы. Особое внимание уделяется загрязнению морской среды нефтепродуктами (НП).

Всего проводится наблюдение более чем за 50-тью различными параметрами среды и биоты. Самое важное значение для экологического мониторинга Кравцовского месторождения имеют условия функционирования прибрежных биоценозов, а также режим течений и донных наносов, особенно вблизи МЛСП Д-6 и ООПТ и являются ключевыми объектами для всего мониторинга. Ключевым звеном мониторинга побережья были орнитологические наблюдения. Из

биологических показателей наиболее важными являются донные сообщества. Мониторинг прибрежно-морской и береговой зоны включал в себя оценку уровня загрязнения нефтепродуктами прибрежного мелководья (от уреза воды до глубины 10 м) и выявление как естественного (фонового) содержания нефтепродуктов в пляжевых наносах, так и оценку уровня их нефтемазутного загрязнения.

Точки локального мониторинга были определены по рекомендации ХЕЛКОМ 18/2 «О разработке и использовании морского дна», согласно которой пробы грунта на анализ должны отбираться на расстоянии 100, 500 и 1000 м по обе стороны от нефтяной платформы вдоль по преобладающему течению и перпендикулярно ему. Интактным районом вблизи месторождения Д-6 является Куршская коса (российско-литовский природно-культурный объект всемирного наследия ЮНЕСКО). Охранная зона Национального парка «Куршская коса» помимо суши включает в себя акваторию Балтийского моря, прилегающую к берегу. В пространственном отношении район интактного мониторинга является частью района регионального мониторинга.

Спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения поверхности моря основан на анализе радиолокационных изображений спутников ENVISAT и RADARSAT, на основе которых выполняется прогноз дрейфа обнаруженных нефтяных пятен.

Все первичные результаты мониторинговых наблюдений поступают в отдел экологии ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть», который выполняет функции центра сбора данных и управления мониторингом (обеспечивает сбор, накопление и архивирование информации, информационный поиск и доступ к архивной информации; ведет оперативный анализ текущей экологической обстановки и обеспечивает информационное взаимодействие системы производственного экологического мониторинга ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» с государственными и общественными территориальными, региональными, федеральными и международными органами) [Обзор результатов …, 2005; 2006; 2007; 2008].

Результаты полевых наблюдений накапливаются в базе данных, которая служит основой для специализированной геоинформационной системы ГИС

«ЭКОМОРНЕФТЬ». Работы по организации данных выполняются ООО «Морское венчурное бюро» и Центром геоинформационных технологий РАН, входящем в структуру Государственного геологического музея им. Вернадского РАН (ГГМ РАН, Москва). С целью прогноза экологических последствий проводятся работы по математическому моделированию морской экосистемы.

2.4 Инженерно-экологические изыскания на шельфе - составная часть производственного экологического мониторинга

В настоящее время в России действует новый свод правил, которые регламентируют проведение инженерных изысканий, в том числе инженерно-экологических – «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СП 47.13330.2012» [СП 47.13330.2012, 2012] (введены в действие с 01.07.2013). Раздел 8 этого документа полностью посвящен инженерно-экологическим изысканиям (ИЭИ), в том числе – на континентальном шельфе, что сделано в России впервые. До этого ИЭИ на шельфе фактически никак не регламентировались, хотя требования к другим инженерным изысканиям (без ИЭИ) были прописаны в СП 11-114-2004 [СП 11-114-2004, 2004], а требования к ИЭИ оставались без изменения [СНиП 11-02-96, 1996].

«Инженерно-экологические изыскания выполняют для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей среды под влиянием техногенной нагрузки для экологического обоснования строительства и иной хозяйственной деятельности для обеспечения благоприятных условий жизни населения, обеспечения безопасности зданий, сооружений, территории и континентального шельфа и предотвращения, снижения или ликвидации неблагоприятных воздействий на окружающую среду» [СП 47.13330.2012, 2012, п. 8.1.1]. ИЭИ выполняют с разными целями и задачами, а также в разном объеме в зависимости от вида разрабатываемой документации. ИЭИ проводятся для:

- обоснования подготовки документов территориального планирования;
- подготовки документации по планировке территории и подготовке проектной документации для оценки и принятия решений относительно площадки нового строительства или выбора варианта трассы;

- подготовки проектной документации.

Результаты ИЭИ каждого этапа представляются в виде отчетов, которые содержат следующие основные разделы (курсивом выделены разделы, имеющие разные требования на разных этапах ИЭИ, в скобках указаны разделы, появляющиеся на 2-м или 3-м этапах ИЭИ):

1. *Введение.*
2. Изученность экологических условий.
3. Краткая характеристика природных и техногенных условий.
4. Данные о животном и растительном мире (в тексте для первого этапа - Почвенно-растительные условия):
5. Хозяйственное использование территории.
6. Социально-экономические условия.
7. Объекты культурного наследия.
8. *Современное экологическое состояние района изысканий.*
9. Особо охраняемые природные территории и другие экологические ограничения природопользования (на 3-м этапе).
10. *Предварительный прогноз возможных неблагоприятных изменений природной и техногенной среды (*прогноз возможных неблагоприятных последствий – для 3-го этапа*).*
11. Анализ возможных непрогнозируемых последствий строительства и эксплуатации объекта (при возможных залповых и аварийных выбросах и сбросах загрязняющих веществ и др. – 2-й и 3-й этапы).
12. Предложения к программе экологического мониторинга (2-й и 3-й этапы).
13. Рекомендации и предложения по предотвращению и снижению неблагоприятных техногенных последствий, восстановлению и оздоровлению природной среды.
14. *Заключение.*
15. *Графические приложения к обоснованию схемы.*

Можно отметить несколько важных положений в новом СП. «В состав картографического материала включают тематические картосхемы, содержащие информацию о распределении и уязвимости к основным видам антропогенных воздействий: бактериопланктона, фитопланктона и фотосинтетических пигментов, зоопланктона, ихтиопланктона, макробентоса, ихтиофауны, птиц и млекопитающих…» [Там же, п. 8.4.12]. Таким образом, картографический материал должен содержать, не только карты основных экологических групп биоты, но и карты

распределения фотосинтетических пигментов. (О методике судового измерения хлорофилла речь пойдет в главе 3 диссертации).

«В итоге составляют комплексную карту уязвимости природных комплексов (экосистем) к основным ожидаемым видам антропогенного воздействия, содержащую сведения о границах и характере выявленных природоохранных ограничений природопользования, а также предложения к программе производственного экологического контроля» [Там же, п. 8.4.12]. Соответственно, требуется методика построения указанных карт уязвимости. Эта методика вполне может быть единой как для планов ЛРН (уязвимости от нефти при ее разливе), так и для целей ИЭИ. Но следует для каждого вида воздействия (воздействия шума судов, сейсмоакустических исследований, взвеси, различных химических веществ, забора воды…) разработать свои коэффициенты уязвимости для основных наиболее важных компонентов экосистемы района воздействия (см. далее главу 7).

В пункте 8.4.23 перечислено, что должны содержать предложения по **производственному экологическому мониторингу**:

- «виды мониторинга (гидрогеологический и гидрологический, атмосферного воздуха, почвенно-геохимический, фитомониторинг, мониторинг обитателей наземной и водной среды);
- перечень наблюдаемых параметров;
- расположение пунктов наблюдения в пространстве;
- методику проведения всех видов наблюдений;
- частоту, временной режим и продолжительность наблюдений;
- нормативно-техническое обеспечение наблюдений».

Исследования экологических условий континентального шельфа, территориального моря и внутренних морских вод должны «как правило, содержать (пункт 8.4.24):

- *определение температуры, солености* (минерализации) в столбе от дна до поверхности, *прозрачности вод, скорости и направления ветра, относительной и абсолютной влажности воздуха, температуры воздуха*;
- *подводную видеосъемку участков дна*, на которых ожидается наиболее существенное воздействие на макробентос (фито- и зообентос);
- *отбор и подготовку*

- проб воды для проведения гидрохимических анализов;
- проб воды, донных отложений и гидробионтов (макрозообентос, ихтиофауна) для определения содержания загрязняющих веществ;
- проб донных отложений для определения их состава, физических и физико-химических свойств, а также содержания органического углерода;
- проб на определение качественных и количественных показателей состояния

  бактериопланктона,
  фитопланктона (включая показатели продукционно-деструкционных процессов, содержание фотосинтетических пигментов),
  зоопланктона,
  ихтиопланктона,
  макробентоса (зоо- и фитобентос);

- *анализ проб воды на определение гидрохимических показателей*;
- судовые (и при необходимости - береговые) *орнитологические и териологические наблюдения*, а также в случаях, когда количественные оценки имеют значение для проектных решений, авианаблюдения;
- *ихтиологические исследования* (акустическая съемка, траления, сетепостановки и т.д.)» при условии, что они дополняют имеющиеся данные.

В целом эта актуализированная версия «Свода правил инженерных изысканий для строительства» в части ИЭИ, хотя и требуют, на наш взгляд, дальнейшей доработки, закладывают хорошую основу для выполнения ОВОС, разработки Мероприятий по охране окружающей среды, а так же разработки и выполнения программ ПЭМ в районах воздействия.

2.5 Базы данных в экологическом мониторинге

2.5.1 База данных, как составная часть экологического мониторинга

Как следует из приведенных примеров организации и проведения ПЭМ и требований законов и постановлений по проведению ГЭМ, важнейшей составной частью экологического мониторинга являются базы данных, собираемых в ходе мониторинга. При этом на современном этапе развития вычислительной техники

и ГИС-систем наиболее оптимальным является использование в системах мониторинга картографических баз данных. По Баренцеву морю, другим арктическим и южным морям России базы океанографических и гидробиологических данных изданы усилиями ММБИ КНЦ РАН, ЮНЦ РАН совместно с лабораторией климата океана Национального центра океанографических данных НОАА (США) [Матишов и др., 2013]. Мы не будем подробно останавливаться на этом вопросе. Отметим только, что информационные ресурсы о состоянии природной среды активно развиваются как за рубежом, так и в России [Вязилов, 2001; Савиных и др., 2007, § 1.7]. В России также активно ведутся работы по созданию **Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)** - системы информации, интегрирующей действующие в РФ технологии производства наблюдений, сбора, обработки, накопления и распространения информации об обстановке в Мировом океане. ЕСИМО предназначена для информационной поддержки морской деятельности на федеральном, региональном и ведомственном уровнях. [Единая государственная …, 2014].

2.5.2 Картографическая база данных Штокмановского проекта

Далее рассмотрен возможный вариант создания такой базы для Штокмановского проекта [Отчет по х/д. Создание картографической …, 2007; Архипова и др., 2008; 2009], разработанный совместно специалистами ММБИ КНЦ РАН (г. Мурманск) и Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону) по заказу ЗАО «Севморнефтегаз», руководитель проекта – А.А. Шавыкин.

В течение уже достаточно длительного времени проводились работы по подготовке к началу добычи газа на ШГКМ, в том числе - по экологическому сопровождению всего проекта. В настоящее время выполнение проекта частично приостановлен, но, судя по всему, рано или поздно он будет реализован. В середине 1990-х гг. была выполнена оценка воздействия освоения Штокмановского проекта на окружающую среду (головная организация - Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН). В 2003, 2005 - 2007 гг. ММБИ и рядом других организаций были проведены инженерно-экологические изыскания в районе

Штокмановского ГКМ и трасс проектируемых подводных газопроводов. В 2005 и 2006 – 2007, 2009-2010 гг. вновь были выполнены работы по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС). За все это время собран большой объем экологической информации о среде и биоте, однако до последнего времени эта информация находилась в разрозненном виде [Научно-методические ..., 1997; Ярыгин и др., 2004] и была очевидна актуальность ее систематизации и объединения в единую базу данных для комплексного использования.

Структура картографической базы данных (КБД). В основу создания КБД положены следующие принципы:

- интегрированная система должна обладать модульностью и гибкостью для развития и совершенствования и разрабатываться как открытая и наращиваемая система;
- должно быть обеспечено максимальное использование стандартных и общепринятых подходов и средств реализации.

Основные программные средства, на основе которых реализована КБД, ориентированы на два программных продукта: географическую информационную систему ArcGis Desktop (компании ESRI) и СУБД Access (компании Microsoft).

Структура КБД представлена на рисунке 2.8. На первом этапе в КБД вошли результаты инженерно-экологических изысканий 2003 - 2006 гг. К сожалению компания «Штокман Девелопмент АГ» не продолжила разработку и наполнение этой базы, так и оставив ее в ООО «Севморнефтегаз», по заказу которой она первоначально и создавалась.

Модель базы данных состояния экосистемы района Баренцева моря. БД представляет собой централизованное хранилище данных и представлена в формате, позволяющем интегрировать его в ГИС. Характеристики измеренных параметров позволяют показать картину экологического состояния и давать оценку антропогенного воздействия на исследуемый район. При необходимости может быть представлена изученность выделенного района - что, когда и в каком объеме было исследовано в этом районе.

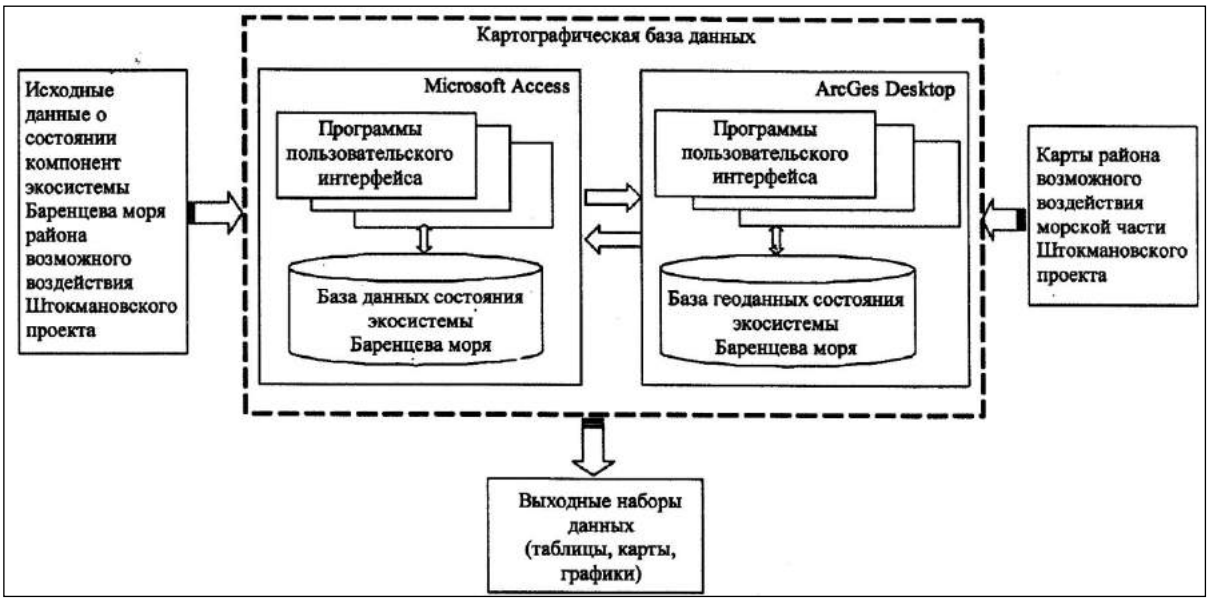


Рисунок 2.8 ─ Структура картографической базы данных состояния экосистемы Баренцева моря для морской части Штокмановского проекта [Архипова и др., 2009; Отчет по х/д. Создание картографической …, 2007]

В предметной области выделены основные объекты: **«рейсы», «станции», «результаты исследований».** К основным объектам структуры БД относятся результаты исследований. Информация о результатах исследований состоит из двух частей. Это информация о методиках проведения исследований или наблюдений и информация о полученных результатах. *Информация о методиках выполнения измерений, средствах измерения и используемом оборудовании* - это данные о методиках и фиксируемых условиях проведения исследований (наблюдений), инструментах и оборудовании, используемых при проведении соответствующих исследований, характеристиках этих технических средств. *Информация об измерениях* включает в себя название измеренной величины, единицы измерения, измеренное значение и погрешность результатов измерения.

Пользовательское приложение для управления базой данных. Пользовательское приложение является управляющей программой, выполняющей функции получения, визуализации и редактирования данных. Все программные модули и база данных объединяются единой оболочкой. Основные функции описываемой **Системы**: работа с данными, визуализация данных, работа с внешними источниками.

ГИС заданного района Баренцева моря. Базовым компонентом построенной ГИС являются географические (пространственные) данные результатов экологических исследований в заданном районе Баренцева моря, представленные в виде цифровых данных о пространственных объектах и включающие сведения об их местоположении (координаты) и свойствах (тип исследования), пространственных и непространственных атрибутах (характеристики исследований). ГИС включает в себя единую картографическую основу исследуемого района Баренцева моря, разработанную на базе карт различного масштаба.

Разработанная ГИС основана на использовании базы географических данных (база геоданных) и БД состояния экосистемы района Штокмановского ГКМ в виде совокупности связанных таблиц формата MS Access. База геоданных включает информацию по всем измерениям в виде векторных слоев карты.

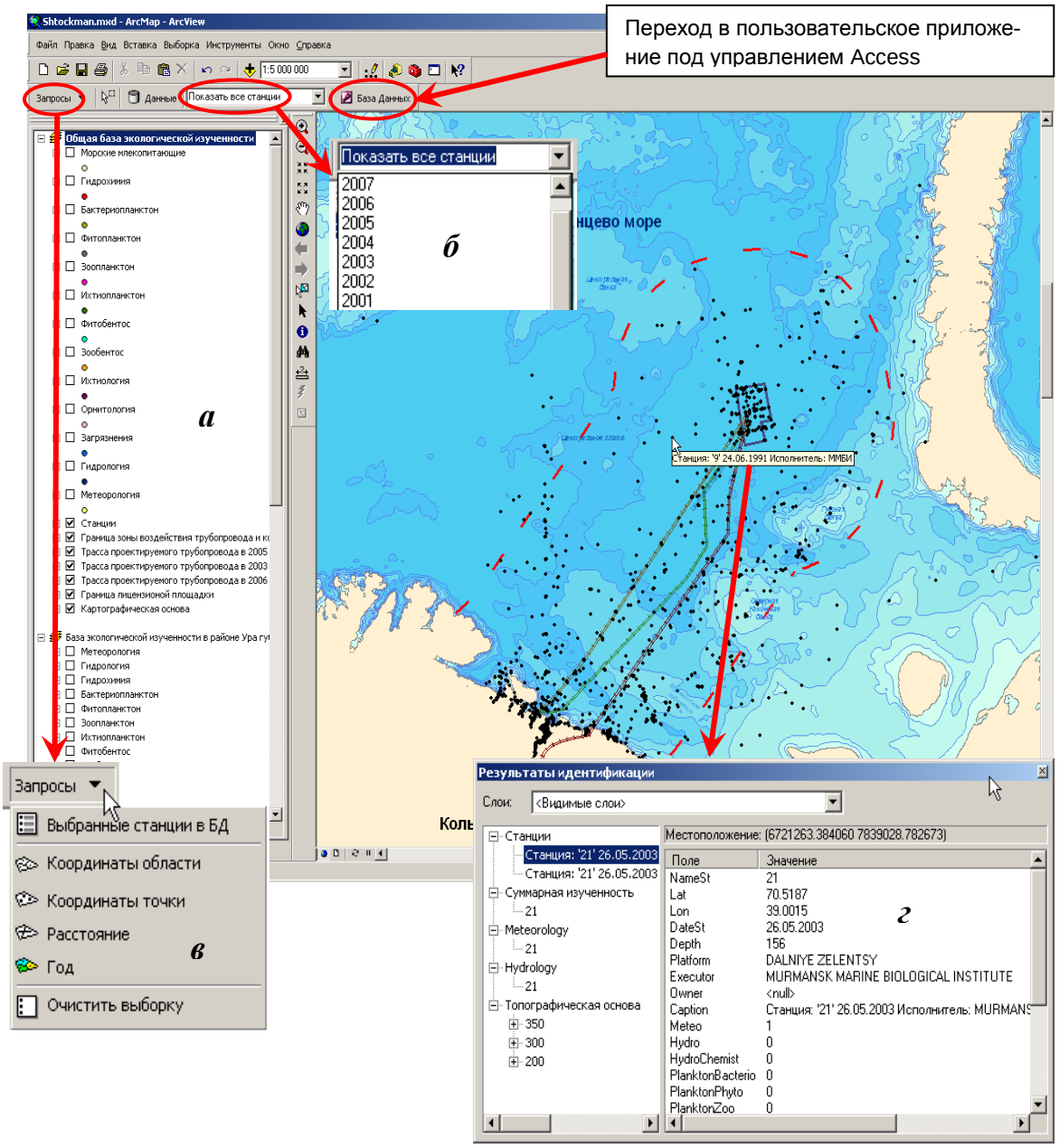
ГИС дает возможность просмотра содержания обеих компонент пространственной базы данных ГИС-составляющей проекта: графической (тематические слои) и атрибутивной (таблицы базы данных состояния экосистемы). Для этих целей в среде ГИС разработан комплекс программных модулей для взаимодействия между ГИС и базой данных состояния экосистемы. В ГИС включены дополнительные модули для формирования запросов к базе данных, позволяющие производить выборку необходимой информации по типам исследований, проведенных в заданном районе, оценивать состояние экологической изученности района, осуществлять доступ к основной базе данных состояния экосистемы Баренцева моря с вводом результатов запросов в виде карт, таблиц и диаграмм (рисунок 2.9).

2.5.3 Применение картографической базы данных и её развитие на различных этапах освоения Штокмановского месторождения

В целях обеспечения комплексного экологического мониторинга и контроля на всех этапах реализации Штокмановского проекта выделяются следующие стадии проведения ПЭМ [Ярыгин и др., 2004]:

- предстроительная;
- стадия строительства;
- стадия эксплуатации;

– стадия ликвидации.



а - главное окно ГИС: содержит тематические слои по всем основным объектам и базам данных состояния экосистемы – все виды проводимых измерений по годам и географические слои, полученные на основе карт разного масштаба; ***б*** и ***в*** – пример пользовательского интерфейса разработанных модулей: ***б*** – запрос по базе данных для отражения на карте информации по годам или всех измерений; ***в***- формирование запросов к базе данных; ***г*** – пример работы собственных функций ArcGIS – подсказки на карте и идентификация объекта с выводом информации по интересующей станции

Рисунок 2.9 ― Вид пользовательского интерфейса геоинформационной системы (программный комплекс ArcGIS Desktop): [Архипова и др., 2009; Отчет по х/д. Создание картографической …, 2007]

Создание системы ПЭМ должно обеспечить решение следующих задач [Ярыгин и др., 2004]:

- комплексный анализ и оценка экологической обстановки на территории/акватории в зоне влияния объектов Штокмановского проекта путем контроля:
  - источников воздействия на природные среды,
  - состояния и уровней загрязнения компонентов природной среды,
  - опасных природных процессов,
  - уровней загрязнения природной среды при аварийных ситуациях;
- выявление тенденций и прогноз развития экологической ситуации на основе результатов про ведения ПЭМ на предстроительной стадии, стадии строительства и стадии эксплуатации;
- обеспечение информационной поддержки принятия экологически обоснованных управленческих решений при реализации Штокмановского проекта.

Реализация принципов комплексности, преемственности и информационного единства обеспечивается поэтапным созданием системы ПЭМ Штокмановского проекта (рисунок 2.10А). *На предстроительной стадии* базы данных (оптимально – картографические базы данных) должны наполняться информацией о фоновом состоянии компонентов природной среды на территории/акватории размещения объектов Штокмановского проекта. Основными источниками информации служат результаты ИЭИ и фондовые данные, а при реализации концепции экосистемного мониторинга (см. далее) – все экологические данные, собираемые в районе воздействия проекта. *На стадии строительства* объектов Штокмановского проекта (рисунок 2.10Б) продолжается сбор данных о состоянии компонентов природной среды на территории/акватории строительства объектов Штокмановского проекта, а также об источниках выбросов, сбросов, отходов строительства. На данном этапе создаются элементы информационно-измерительной сети и информационно-управляющей подсистемы ПЭМ (Центр строительного мониторинга). При *эксплуатации* создается действующая система ПЭМ, включает функциональные подсистемы: информационно-измерительную сеть (ИИС), информационно-управляющую подсистему, подсистему передачи данных (рисунок 2.10В). Исходной информационной базой функционирующей системы ПЭМ являются результаты предстроительного и строительного экологического монито-

ринга. Для функционирования системы ПЭМ на этой стадии в эксплуатационной организации создается подразделение ПЭМ в составе природоохранной службы.

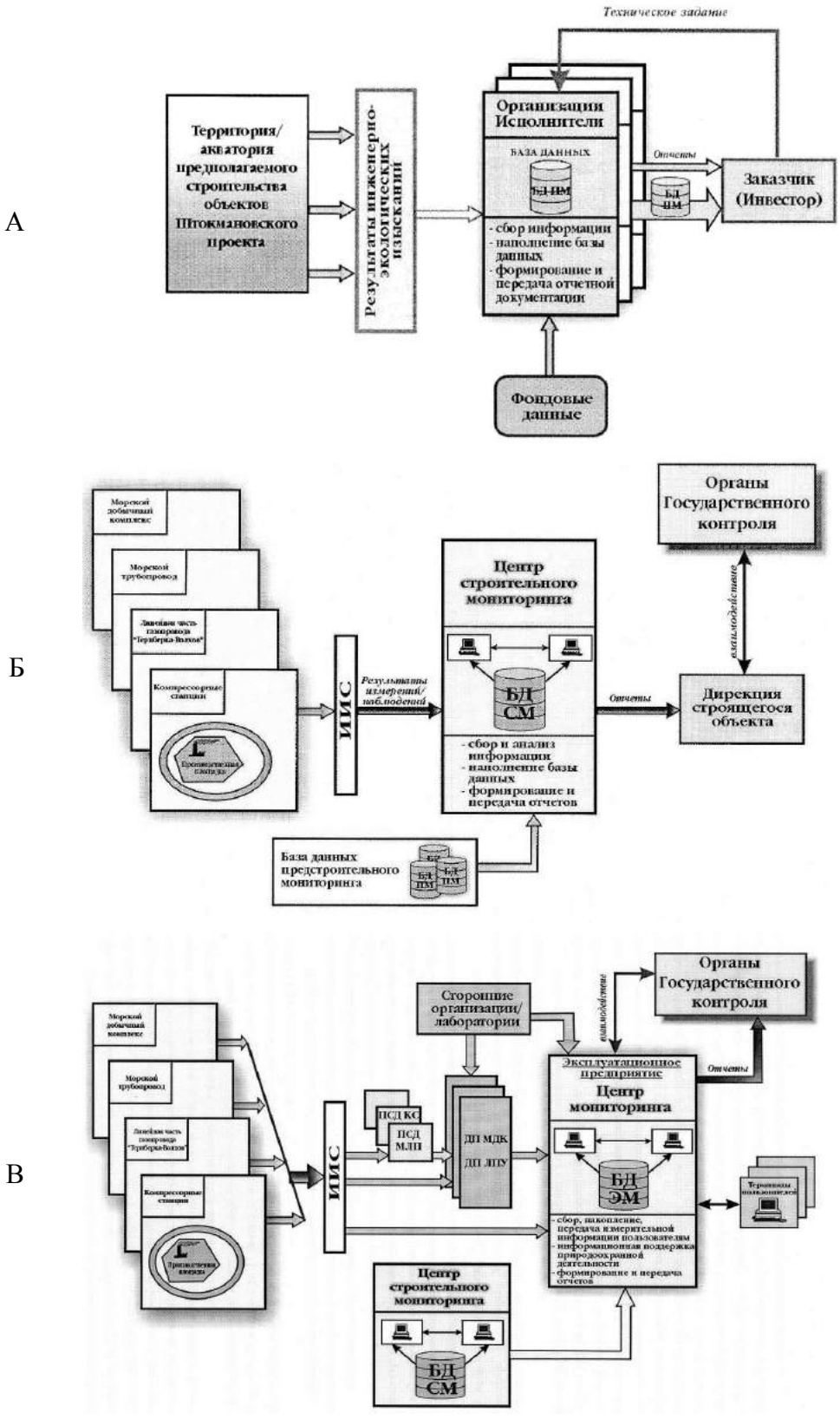
Одним из основных компонентов ПЭМ должна стать картографическая база данных. Уже на предстроительной стадии использование КБД как одного из главных элементов ПЭМ позволит решать ряд задач экологического сопровождения Штокмановского проекта:

- Оценивать полноту имеющейся информации о состоянии окружающей среды района строительства и района возможного воздействия Штокмановского проекта.
- Решать вопросы проведения дополнительных исследований о состоянии окружающей среды района воздействия Штокмановского проекта.
- Более оперативно решать вопросы по уточнению оценок воздействия на окружающую среду, так как вся собранная информация по состоянию окружающей среды находится не в разобщённом виде, а в виде единой базы данных, сопряжённой с ГИС. В частности уточнение расчетов по ущербу рыбным запасам.

Структура системы поддержки и развития КБД должна обеспечивать возможность ее поэтапного наращивания и модернизации. На строительной стадии предполагается включение КБД в систему комплексного мониторинга.

Наконец, дальнейшее развитие системы предполагает разработку отдельных модулей для оценки и прогнозирования экологической обстановки в районе Штокмановского ГКМ и по трассе трубопровода на основе КБД. Причем состав и функции модулей определяются требованиями и пожеланиями Заказчика. В частности КБД может быть дополнена модулями для мониторинга и прогнозирования, модулями моделирования распространения взвеси, пластовой воды и другими.

Для полного использования в рамках ГИС-технологий всех возможностей созданной картографической базы данных необходимо внести в КБД набор карт с различными масштабами и детализацией. Все это позволит оперативно ставить задачи по текущему и перспективному экологическому сопровождению Штокмановского проекта.



А – этап инженерно-экологических изысканий (предстроительный этап), Б – этап строительства, В – этап эксплуатации месторождения

Рисунок 2.10 ─ Схема организации экологического мониторинга на этапах освоения месторождения [Ярыгин и др., 2004]

ГЛАВА 3 МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО СУДОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В ВОДЕ ДЛЯ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ

Задачи настоящего этапа исследований:

1). Разработать контактный флуориметрический метод непрерывного измерения концентрации хлорофилла (КХ) фитопланктона в воде (метода горизонтального профилирования приповерхностного слоя).

2). Исследоватье пространственно-временных характеристик полей хлорофилла для приповерхностного горизонта акваторий нескольких морей.

Основы метода были заложены при подготовки кандидатской диссертации [Шавыкин, 1990], хотя сам метод в рамках кандидатской диссертации не был разработан. Упор в настоящем исследовании сделан на разработку основных положений методики, ее проверку и получение характеристик полей КХ в различных морях. Анализируются результаты распределения концентрации хлорофилла в приповерхностном горизонте, температуры и солености воды для двух морей (Баренцева и Азовского), хотя подобные результаты были нами получены также для Белого и Балтийского морей и изложены в соответствующих публикациях.

Перечень публикации автора по вопросу, изложенному в этой главе. Автором опубликовано большое количество работ в период с 1982 по 2010 год: [Шавыкин и др., 1982; Шавыкин, 1983; Лапшин и др., 1985; А.с. № 1193544, 1985; Шавыкин и др., 1985; Шавыкин, Иванов,1986; А.с. № 1315877, 1987; А.с. № 1352292, 1987; Короткевич и др., 1987; Шавыкин и др., 1987; Рыжов и др., 1987; Шавыкин, Рыжов, 1989; А.с. № 1496459, 1989; А.с. № I473518, 1990; Шавыкин, 1992; Шавыкин и др., 1994; Шавыкин, 1994; Шавыкин, 1995; Амбросимов и др., 1995; Патент № 2031399; Шавыкин, 1995a; Шавыкин 1995b; Shavykin, Fischer, 1996; Shavykin et al., 1996; Шавыкин, 1997; Шавыкин, Бойцов, 1997; Шавыкин, Коваленко, 2007; Шавыкин и др., 2010].

3.1 Необходимость измерения хлорофилла фитопланктона в воде в непрерывном режиме

Параметры фитопланктона - видовой и количественный состав, концентрация хлорофиллов (КХ) - одни из важных при описании морской экосистемы районов возможного воздействия. Без этих параметров невозможно математическое моделирование экосистемы, на основе них рассчитывается ущерб рыбным запасам от различных работ. Возможно, также, что фитопланктон при большой концентрации играет важную роль в осаждении нефти на дно (так называемые «морские сопли») при разливах нефти.

Измерения концентрации хлорофилла предписываются рядом нормативных документов. Согласно Постановлению Правительства [РФ. Правительство. Положение о составе разделов …, 2008] в Перечне мероприятий по охране окружающей среды (раздел 8 в части объектов капитального строительства –статья 2, раздел 7 в части линейных объектов – статья 38) должна быть программа производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения **всех компонентов экосистемы** при строительстве и эксплуатации объекта (линейного объекта), а также при авариях. Фитопланктон – важнейший компонент экосистемы, первичное звено трофической цепи, и по концентрации хлорофилла можно судить о развитии фитопланктона. Кроме того СП 47.13330.2012 [2012, п. 8.4.24] (а ранее [РД 51-01-11-85, 1986] –для инженерно-экологических изысканий) определяет, что исследования экологических условий континентального шельфа: программы производственного экологического мониторинга (ПЭМ) и инженерно-экологических изысканий (ИЭИ), как правило, должны содержать отбор проб для определения качественных и количественных показателей фитопланктона (… **включая содержание фотосинтетических пигментов**). Необходимость измерения КХ в ходе инженерно-экологических изысканий и производственного экологического мониторинга указывается и в ряде публикаций [Патин, 2001].

Результаты непрерывных измерений КХ (с малой дискретностью) в поверхностном слое могут быть положены в основу разработки математических моделей пространственного распределения КХ и проверки результатов моделирования,

что необходимо для построения моделей экосистем районов воздействия проектов хозяйственной деятельности.

Данные о пространственно-временном количественном распределении фитопланктона (в том числе получаемые по результатам непрерывных судовых и дистанционных наблюдений) важны для различных аспектов ОВОС: для уточнения временных границ цветения фитопланктона, определения концентрации фитопланктона и, соответственно, учета этой информации в расчетах гибели рыб-фитофагов. Последнее необходимо для расчетов ущербов от сейсмоакустических исследований и аналогичных расчетов ущербов от воздействия взвеси при гидротехнических работах.

При исследованиях экологических условий на шельфе (это особенно важно для арктических морей) необходимо использовать данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) –спутниковые и самолетные. Корректную картину распределения хлорофилла фитопланктона по результатам ДЗЗ можно получить только после калибровки используемого дистанционного метода по результатам судовых измерений: путем сравнения спутниковых / самолетных данных с результатами судовых наблюдений. Причем последние должны давать значения концентрации хлорофилла не в отдельных точках (на станциях), а на протяженных участках, так как спутниковые данные о полях хлорофилла фитопланктона сами имеют разрешение от нескольких десятков метров до нескольких сот метров. Судовые непрерывные измерения КХ особенно важны из-за часто наблюдаемой сильной пятнистости полей хлорофилла, когда измерения в отдельных точках не характеризуют участок в несколько сот метров. Кроме того, для интерпретации ДДЗ по КХ важно иметь судовые результаты и горизонтального профилирования, и вертикального зондирования. Последние в настоящее время достаточно хорошо отработаны, а результаты горизонтального профилирования используются редко из-за не разработанности судовых методов. Предлагаемый метод в определенной степени ликвидирует этот пробел.

3.2 Особенности флуориметрического метода непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде

Наиболее перспективным экспрессным методом для изучения пространственно-временной изменчивости полей фитопланктона в естественных водоёмах является измерение концентрации хлорофилла (КХ) фитопланктона по интенсивности нативной флуоресценции хлорофилла (ИНФХ) фитопланктона. При этом возможно проводить измерение полей с использованием погружных зондирующих и буксируемых флуориметров [Карабашев, 1987], проточных флуориметров [Лила, Ханаев, 1983; Loftus, Seliger, 1975; Lorenzen, 1966], на дискретных пробах отбираемых с различных горизонтов глубины [Herbland, Voitures, 1977; Шавыкин, Иванов, 1986]. Наибольшее распространение к настоящему времени получают погружные флуориметры. Для изучения поверхностного водного слоя незаменимы проточные флуориметры.

Использование ИНФХ для измерения концентрации хлорофилла требует решения ряда методических вопросов. Это обусловлено тем, что измеряется интенсивность флуоресценции не раствора, а взвеси живых клеток фитопланктона. Должно быть принято во внимание следующее:

1). *Флуоресценция водной системы*, в которой взвешены клетки фитопланктона. При флуориметрических измерениях нативного хлорофилла необходимо учитывать флуоресценцию водной системы, в которой взвешены клетки фитопланктона [Карабашев, Зангалис, 1971; Herbland, 1978; Карабашев, 1987]. Одним из способов снижения влияния фона или даже полной ликвидации его влияния является выбор вторичного светофильтра, который пропускает излучение соответствующее ИНФХ, но не пропускает интенсивность флуоресценции растворенного органического вещества (ИФ РОВ) [Карабашев, 1987]. Однако наши собственные измерения [Шавыкин и др., 1987], показали, что полностью от этого фона ИФ растворенной огранки в воде, в которой взвешены клетки фитопланктона, так избавиться не удается. Такой подход мало эффективен для вод внутренних водоемов и внутренних морей, для которых ИФ РОВ в десятки раз больше чем для морских [Шавыкин и др., 1987]. Часто при содержании хлорофилла около 10

мкг/л ИФ РОВ может составлять до 50 % от общей измеряемой в красной области интенсивности флуоресценции пробы. Поэтому, в общем случае, учет фона (ИФ РОВ) обязателен при количественном определении КХ по ИНФХ.

Это осуществляется несколькими способами. *Первый:* путем измерения интенсивности флуоресценции фильтрата в красной области спектра, соответствующей области измерения ИНФХ. Но такой подход неприемлем для непрерывных измерений в проточном режиме. *Второй* –косвенный: ИФ РОВ измеряется в синей части спектра и пересчитывается для красной. Поэтому для непрерывных измерений целесообразно иметь одновременно два канала –один для измерения в полосе ИНФХ, другой – для измерения ИФ РОВ.

2). *Световое облучение*, влияющее на отношение ИНФХ/КХ [Карабашев, 1987; Loftus, Seliger, 1975]. По данным [Loftus, Seliger, 1975], такие изменения могут достигать 8-крат при сравнении ночного и дневного отношений ИНФХ/КХ: с ростом освещенности ИНФХ уменьшается, если КХ остается постоянной. На связь между КХ и ИНФХ влияет «световая предыстория» клеток фитопланктона и их последующая световая обработка [Loftus, Seliger, 1975].

3). *Дисперсность флуоресцирующих частиц*, требующая соответствующего режима измерения ИНФХ [Шавыкин и др., 1985; Карабашев, 1987].

4). *Видовой состав клеток фитопланктона*, степень их минерального питания, др. факторы также оказывающие влияние на отношение ИНФХ/КХ [Kiefer, 1973; Strickland, Parsons, 1972]. Это приводит в натурных условиях (при постоянных освещенности, ИФ РОВ, дисперсности) к погрешности в несколько десятков процентов при измерении в небольшом районе, где видовой состав примерно постоянен, и к значительным погрешностям для измерений на больших акваториях.

Вопросы измерения КХ по ИНФХ рассматривались в ряде работ. В обобщённом виде они представлены в таблице 3.1.

На основании накопленного опыта и опубликованных данных можно сделать такое заключения об особенностях измерения КХ в воде по ИНФХ.

Таблица 3.1 –Основные особенности флуориметрического метода непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде

Фактор, обуславливающий погрешность	**Диапазон значений погрешности**	**Зависимость погрешности от внешнего фактора**	**Пути уменьшения значения погрешности**	**Погрешность после учёта фактора**	**Работы, в которых обсуждаются указанные факторы**
1. Фон водной системы – флуоресценция РОВ	От нескольких процентов до нескольких сот процентов	Зависит от соотношения между КХ и РОВ (между ИНФХ и ИФ РОВ)	Измерять ИФ РОВ и вычитать её из ИНФХ прямым или косвенным методом	Несколько процентов	[Карабашев, Зангалис, 1971; Шавыкин, 1983]
2. Внешнее световое облучение	От +700 % (если относить ИНФХ к дневному уровню) до -90 % (если относить ИНФХ к ночному уровню)	ИНФХ уменьшается с ростом внешнего светового облучения	а). Выполнять измерения ИНФХ при постоянном уровне световой облучённости (например, ночью) б). Вводить поправку с учётом вида ИНФХ = f (E)	Несколько процентов Несколько десятков процентов	[Карабашев, Соловьёв, 1976; Loftus, Seliger, 1975] [Strass, 1990]
3. Видовой состав фитопланктона	До 400─500 %, если относить max значение ИНФХ/КХ к min	Зависит от изменчивости видового состава в районе исследования	Путём периодической градуировки прибора	Несколько десятков процентов	[Strickland, Parsons, 1972]
4. Дисперсность флуоресцирующих частиц	Несколько десятков процентов	Зависит от размеров клеток фитопланктона, от концентрации клеток	Усреднять ИНФХ в ходе выполнения измерений	max ─ несколько десятков процентов	[Карабашев, 1987; Шавыкин и др., 1985]
5. Минеральное питание клеток фитопланктона	+300...400 % от уровня обычного состояния	С уменьшением содержания биогенных элементов в воде ИНФХ растёт	Вводить соответствующие поправки, измеряя концентрацию биогенных элементов	max ─ несколько десятков процентов (учёт затруднён)	[Kiefer, 1973]
6. Изменчивость спектров возбужд. и флуоресценции	Плюс ─ минус несколько десятков процентов	Зависят от температуры, видового состава фитопланктона...	Учёт вряд ли возможен	учёт пока затруднён	[Бункин и др., 1984]

Существует несколько факторов, влияющих на связь между ИНФХ и КХ, в силу которых погрешность определения КХ может быть порядка нескольких сот и даже тысяч процентов, если эти факторы при измерениях ИНФХ не учитываются.

К факторам, учет которых обязателен и возможен уже в настоящее время, относятся: а) фон водной системы – интенсивность флуоресценции РОВ; б) внешняя освещенность флуориметрируемого объема (клеток фитопланктона) в момент измерения или перед ним; в) дисперсность флуоресцирующих частиц.

1). *Учет фона ─ ИФ РОВ* можно проводить а) путем непосредственного измерения этой величины на специально получаемом фильтрате (дискретные измерения), или б) путем пересчета ИФ РОВ, измеренной в синей области (без получения фильтрата), на диапазон измерения ИНФХ (непрерывные измерения).

2). Учет влияния освещенности на отношение ИНХ/КХ: целесообразно одновременно с измерениями ИНФХ in situ или в потоке проводить и измерения внешней освещенности. Определив далее зависимость между ИНФХ/КХ и освещенностью, следует вводить соответствующую поправку.

3). *Дисперсность флуоресцирующих частиц* при измерениях ИНФХ необходимо учитывать, проводя усреднение (временное и/или по объему).

4). *Видовой состав клеток* фитопланктона, их возраст, минеральное питание клеток, температура воды в меньшей степени влияют на отношение ИНФХ/КХ. Ввиду сложности учета этих факторов и их небольшого вклада в общую погрешность измерения (при исследованиях на не очень больших акватория) эти факторы можно пока не учитывать или выполнять относительно частый отбор градуировочных проб.

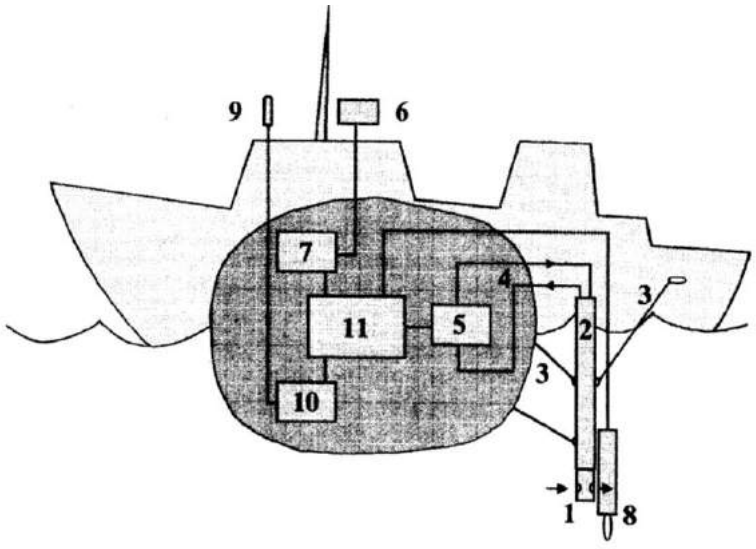
3.3 Технические средства для непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде

Состав гидрооптического комплекса на базе флуориметра **«Квант-7».** В этом параграфе описан состав флуориметрического комплекса, который использовался при исследованиях в Баренцевом море в 1993 г. (рисунок 3.1):

- двухканальный флуориметр «Квант-7» с проточными кюветами;
- безнасосная проточная система подачи воды к флуориметру;

- персональная ЭВМ IBM PC 386;
- измеритель облученности поверхности моря HIQ-2;
- измеритель температуры и электропроводности воды ЭПТ-65;
- спутниковая навигационная система GPS RAYSTAR-900.

Этот комплекс использовался как при измерениях в Баренцевом море, так и при проверке работоспособности методики в других морях (Белом, Балтийском, Азовском). Подробное описание компонентов комплекса приведено в Приложении Г.1. Для реализации описываемой методики с применением судового флуориметра с проточными кюветами могут использоваться другие составные элементы всего комплекса. Вместо гидродинамической (безнасосной) системы подачи воды может использоваться насосная (навесная или стационарная). Пример стационарной насосной системы – [А.с. № 1352292, 1987]. Непременным остается требование корректного определения параметров системы прокачки: времени задержки и разрешающей способности. При работе в открытых районах морей и океанов в районах с очень низким содержанием РОВ может использоваться одноканальный флуориметр.



1 – насадка заборного устройства; 2 – штанга; 3 – тросы крепления штанги к борту судна; 4 – подающий и отводящий шланги системы прокачки; 5 – флуориметр «Квант-7»; 6 – датчик гидроквантометра; 7 – регистрирующий прибор гидроквантометра; 8 – измеритель температуры и электропроводности воды; 9 – антенна спутниковой навигационной системы; 10 – блок обработки спутниковой навигационной системы; 11 – компьютер

Рисунок 3.1 – Схема судового гидрооптического комплекса для измерения концентрации хлорофилла в воде [Шавыкин, 1995; 1997]

Измерения параметров водной среды выполняются с дискретностью в несколько десятков метров и/или несколько секунд – десятков секунд, поэтому принципиально важным является применение спутниковой навигационной системы типа GPS, позволяющей непрерывно регистрировать маршрут (координаты) и скорость судна.

Двухканальный флуориметр «Квант-7». Флуориметр «Квант-7» в определенной степени уникален [Флуориметр «Квант-7», 1989; А.с. № 1496459, 1989]: выпускаемые за рубежом проточные полевые флуориметры являются в основном одноканальными приборами. Это во многом затрудняет реализацию предлагаемой методики или любой другой, в которой используется два канала. Как отмечалось выше, при определенных обстоятельствах (большое содержание в воде РОВ) только использование двух каналов позволяет реализовать флуориметрическую методику экспрессного измерения КХ в воде. Правда, имеется опыт, когда используются (для других целей) два флуориметра [Cullen, Renger, 1979], но такой подход - редкость. Первый канал флуориметра был настроен на измерение интенсивности in vivo флуоресценции хлорофилла фитопланктона (ИНФХ). Возбуждение флуоресценции осуществлялось через стеклянный светофильтр СЗС-22 в полосе 400–500 нм. Интенсивность флуоресценции регистрировалась через вторичный светофильтр КС-17 (излучение большее 660 нм). По 2-му каналу флуориметра проводилось измерение интенсивности флуоресценции РОВ (ИФ РОВ); первичный светофильтр: УФС-6 (полоса: 320-380 нм), вторичный состоит из двух светофильтров: СЗС-22 и ЖС-17 (полоса: 480–500 нм) [Карабашев, 1987].

Измерение концентрации хлорофиллов экстрактным спектрофотометрическим методом. Чтобы рассчитать градуировочное уравнение $C_{хл} = f(F_{хл})$, для ряда проб измеряли $F_{хл}$, при этом анализируемая вода отбиралась в стеклянную емкость, фитопланктон из нее осаждался на мембранный фильтр (ВЛАДИПОР № 5, диаметр – 60 мм, размер пор – 0.5 мкм или подобных фильтров со схожими характеристиками). Концентрация хлорофиллов определялась по ГОСТ 17.1.04.02-90, $BaCO_3$ не применялся. Объем фильтруемой воды – 1.5-4 л. Объем экстракта – 5-10 мл. Измерения выполнялись на спектрофотометре СФ-46. Градуировочные уравнения $C_{хл} = f(F_{хл})$ рассчитывали методом наименьших квадратов ($C_{хл}$ – концентрация хлорофилла а).

3.4 Методика судового контактного непрерывного измерения хлорофилла фитопланктона в воде

3.4.1 Учет влияния растворённого органического вещества

В этом параграфе изложен подход, реализованный в октябре 1992 г. в ходе экспедиции в Гданьском заливе Балтийского моря. На его основе можно учитывать влияние ИФ РОВ, если оно имеет место. Подробное изложение всех результатов полученных в Гданьском заливе приведено в работах [Шавыкин и др., 1994; Shavykin et al., 1996; Shavykin, Fischer, 1996].

Замечания по «влиянию» освещенности на результаты работы в Гданьском заливе в октябре 1992 года. Чтобы выявить влияние освещенности и учесть его, параллельно с отбором проб, по которым градуировался флуориметр, измерялась и облученность поверхности моря (рисунок 3.2).

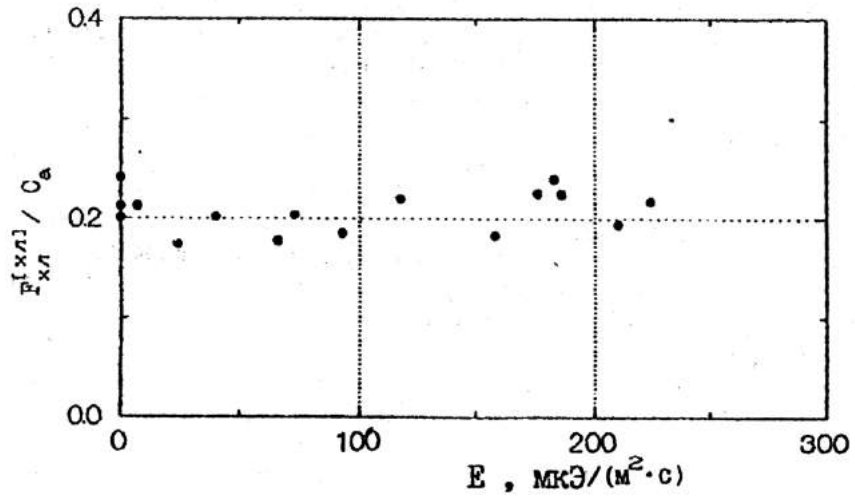


Рисунок 3.2 – Результаты параллельных измерений отношения ИНФХ/КХ и внешней облученности E [Шавыкин и др., 1994, Shavykin, Fischer, 1996; Шавыкин, 1997]

Видно, что отношение ИНФХ/КХ практически не зависит от облученности, и нет необходимости в данном случае вносить поправку на нее при пересчете ИНФХ в КХ. Возможно, это связано с особенностями используемой установки и видового состава фитопланктона. Измеряемая вода с горизонта 2.5 м проходит по прозрачному шлангу длиной 20 м. Шланг в свою очередь размещен в металлической трубе длиной 5 м, далее шланг идет по палубе судна (4–5 м), а оставшиеся 10 м шланга проходят по лаборатории, которая освещена несколькими лампами нака-

ливания. Это и сняло влияние внешнего света на отношение ИНФХ /КХ. Вместе с тем, следует иметь в виду, что при других, хотя и сходных условиях измерения влияние облученности может проявиться достаточно сильно.

Модель измерения без учета влияния освещенности. При измерении ИНФХ по первому каналу (сигнал F1) вклад в F1 вносит и ИФ РОВ, что не позволяет (при большой изменчивости концентрации РОВ в воде) достаточно точно определять КХ непосредственно по значению F1. Принимается также, что в сигнал, измеряемый по каждому каналу, вносит вклад и рассеяние водой – молекулярное и комбинационное [Паркер, 1972]. С учетом этого:

$$F1 = F_{пр}^{[хл]} = F_{хл}^{[хл]} + S_{дв}^{[хл]} + F_{ров}^{[хл]} \quad (3.1)$$

$$F2 = F_{пр}^{[ров]} = 0 + S_{дв}^{[ров]} + F_{ров}^{[ров]}, \quad (3.2)$$

где:

[хл] – канал, настроенный на измерение интенсивности флуоресценции нативного (in vivo) хлорофилла;

[ров] – канал, настроенный на измерение интенсивности флуоресценции растворенного органического вещества;

$F_{пр}^{[хл]}$, $F_{пр}^{[ров]}$ – интенсивность флуоресценции пробы, измеренная по соответствующему каналу;

$F_{хл}^{[хл]}$ – интенсивность in vivo флуоресценции хлорофилла фитопланктона, иначе в тексте мы обозначаем ее как ИНФХ;

$S_{дв}^{[хл]}$, $S_{дв}^{[ров]}$ – интенсивность света, рассеянного дистиллированной водой по соответствующему каналу;

$F_{ров}^{[хл]}$, $F_{ров}^{[ров]}$ – интенсивность флуоресценции растворенного органического вещества соответственно по каналам измерения хлорофилла и РОВ (последняя величина обозначается как ИФ РОВ).

Определение вклада рассеяния воды в результаты измерений. Мы предполагаем, что используя чистую, дистиллированную воду можно измерить $S_{дв}^{[хл]}$ и $S_{дв}^{[ров]}$, причем это будет суммарное рассеяние света – молекулярное и комбинационное для канала [ров] и комбинационное рассеяние для канала [хл]. Кроме того, в измеряемый сигнал $S_{дв}^{[хл]}$ и $S_{дв}^{[ров]}$ включаются и возможное различное паразитное рассеяние в приборе. Для этого в проточные кюветы через короткие шланги заливается дистиллированная вода, для которой проводились измерения. Всего было выполнено 9 измерений. Значения $S_{дв}^{[хл]}$ и $S_{дв}^{[ров]}$ изменялись соответ-

ственно от 0.36 до 0.40 и от 0.09 до 0.14 (отн. ед.). Минимальное значение получено для воды, очищенной с помощью аппарата Compact Milli-Q Plus Water System фирмы «Millipore» (США). Даже бидистиллят в ряду проб дистиллированной воды не давал минимального значения. Для постоянных $S_{дв}^{[хл]}$ и $S_{дв}^{[ров]}$ приняты минимальные значения, полученные на пробах, обработанных аппаратом этой фирмы:

$$S_{дв}^{[хл]} = 0.355 \ \text{(отн.ед.)}, \quad S_{дв}^{[ров]} = 0.089 \ \text{(отн.д.)}$$

Учет флуоресценции РОВ при измерении ИНФХ. Форма и соотношение интенсивностей спектральных полос свечения РОВ, возбуждаемых в различных спектральных участках, практически не меняются по Мировому океану и слабо или вовсе не зависят от состава и происхождения вод [Карабашев, 1987]. Возможно, что для районов устьев рек это может в некоторой степени и не выполняться. Но для одного залива и/или устья одной реки, указанное положение о постоянстве соотношения интенсивностей спектральных полос свечения РОВ, возбуждаемых в различных спектральных участках, должно быть справедливым. Тогда постоянный коэффициент K:

$$K = F_{ров}^{[хл]} / F_{ров}^{[ров]},$$

определяется, измеряя интенсивность флуоресценции РОВ для проб фильтрата анализируемой воды. Последний получали путем фильтрации отобранной пробы через мембранный фильтр SYNPOR № 5, когда отбирались пробы фитопланктона для спектрофотометрического определения КХ в воде. Общий объем фильтрата – около 2 л. Было сделано 11 серий измерений и получено следующее среднее:

$$K = \frac{F_{мв}^{[хл]} - S_{дв}^{[хл]}}{F_{мв}^{[ров]} - S_{дв}^{[ров]}} = 0.668$$

где: $F_{мв}^{[хл]}$, $F_{мв}^{[ров]}$ – интенсивность флуоресценции фильтрата, измеренная по соответствующему каналу. Отклонение значений K от $K_{ср.}$ – менее 23 %.

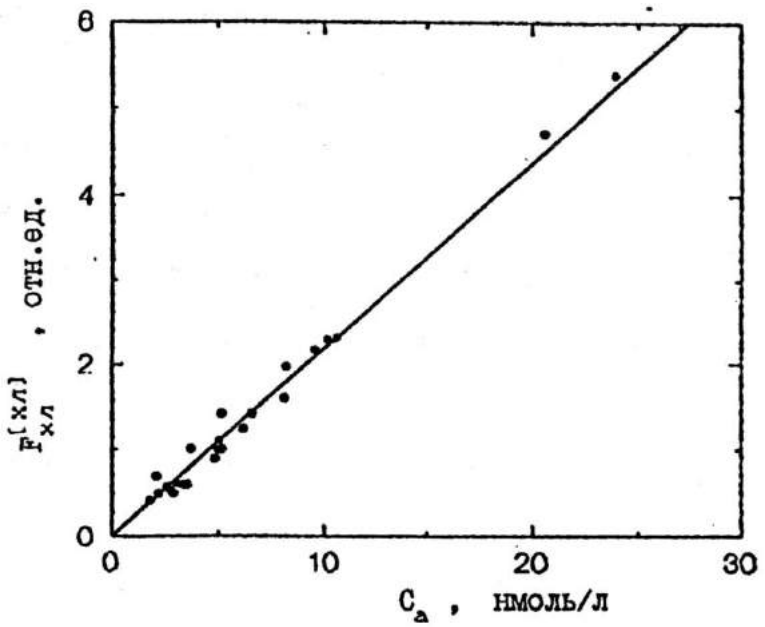
Градуировочное уравнение флуориметра с учетом влияния РОВ. Далее, на основании измеренных значений пробы по двум каналам (F1 и F2) и оценен-

ных значений интенсивности рассеяния для чистой воды $S_{дв}^{[хл]}$ и $S_{дв}^{[ров]}$ и значений K, можно определять ИНФХ и ИФ РОВ:

$$F_{хл}^{[хл]} = F1 - (0.355 + 0.668 \cdot (F2 - 0.089)),$$
$$F_{ров}^{[ров]} = F2 - 0.089.$$

Для пересчета ИНФХ в КХ получено *градуировочное уравнение*, параметры которого рассчитывались, имея для ряда проб воды параллельные измерения ИНФХ, выполненные на гидрооптическом комплексе, и значения КХ измеренные экстрактным спектрофотометрическим методом. В рейсе в Гданьском заливе (октябрь, 1992) было сделано 25 таких параллельных измерений (рисунок 3.3).

Предварительный расчет методом наименьших квадратов по модели со свободным членом ($Y = a + b \cdot X$) показал, что при уровнях значимости 0.20 и 0.25 свободный член значимо не отличается от нуля (двусторонний критерий), это позволило перейти к модели без свободного члена и получить следующее градуировочное уравнение (рисунок 3.3): $C_{хл}$ (нмоль/л) = $4.5 \cdot F_{хл}^{[хл]}$ (отн. ед.).



N=25, R=0.9948, R^2=0.99 (Гданьский залив, октябрь, 1992 г.)

Рисунок 3.3 – Градуировочное уравнение для пересчета интенсивности нативной флуоресценции хлорофилла в концентрацию хлорофилла [Шавыкин и др., 1994, Shavykin, Fischer, 1996; Шавыкин, 1997]

Оно совпадает с регрессионным уравнением, полученным методом Керриша [Закс, 1976] и геометрическим средним для уравнений регрессии $C_{хл}$ по $F_{хл}^{[хл]}$ и

по $C_{хл}$, рассчитанных методом наименьших квадратов [Ricker, 1973]. Видно, что в данном случае зависимость $C_{хл} = f(F_{хл}^{[хл]})$ очень хорошая и позволяет достаточно точно вычислять $C_{хл}$ по $F_{хл}^{[хл]}$.

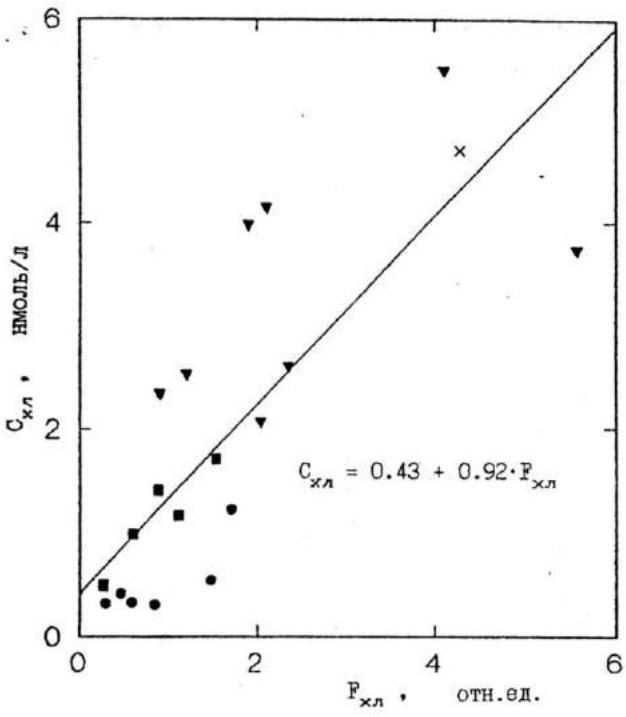
Возможное влияние неучета интенсивности флуоресценции РОВ. При измерениях КХ по ИНФХ следует указать на последствия неучета влияния ИФ РОВ, то есть рассмотреть ситуацию, когда используется один канал измерения для хлорофилла. В нашем случае доля ИФ РОВ в общем сигнале F1 изменялась от 18 % при высоком содержании хлорофилла в воде (более 30 нмоль/л) до 65–70 % при низких значениях концентрации хлорофилла (менее 2 нмоль/л). Поэтому при не учете интенсивности флуоресценции РОВ по каналу измерения ИНФХ погрешность определения КХ по ИНФХ резко возрастала бы. *Таким образом, использование одного канала для измерения КХ по ИНФХ в водах с высоким содержанием РОВ (в заливах, в устьях рек, во внутренних морях) ведет к большим погрешностям измерения.*

3.4.2 Учёт влияния освещенности и видового состава планктона

Оценка вида влияния освещенности и видового состава фитопланктона. При работе в Баренцевом море в июне 1993 г. в ходе измерений фильтрата и дистиллированной воды было установлено, что влияние РОВ крайне мало (в пределах погрешности измерения), таким образом, членами $F_{ров}^{[хл]}, F_{ров}^{[ров]}$ в нашей модели измерения (п. 3.3.1) можно пренебречь. При измерении фильтрата определили, что $S_{дв}^{[хл]} = 0.350$. Из совместных измерений $F_{хл}$ и $C_{хл}$ видно, что почти для одного и того же значения $F_{хл}$ значения $C_{хл}$ могут различаться в несколько раз и даже на порядок (рисунок 3.4). Поэтому нецелесообразно использовать градуировочное уравнение, рассчитанное непосредственно по измерениям $C_{хл}$ и $F_{хл}$.

Точки в координатах {E; $C_{хл}/F_{хл}$} (рисунок 3.5) можно разделить на три группы, для которых характерна уже линейная зависимость отношения $C_{хл}/F_{хл}$ от E (рисунок 3.6): группы A, B и C. Для этих групп точек на рисунках 3.4, 3.7 и 3.8 используются различные обозначения. Проверка по F-критерию гипотезы сравне-

ния всех соответствующих коэффициентов трех линейных градуировочных уравнениях (рисунок 3.6) между собой [Болч, Хуань, 1979] показала их значимое различие при уровне значимости P = 0.1 (и даже при 0.001).



Обозначения – см. на рисунке 3.8 и в таблице 3.2

Рисунок 3.4 – Результаты совместных измерений концентрации хлорофилла a (Схл) и интенсивности in vivo флуоресценции хлорофилла (Fхл). [Шавыкин, 1995; 1997]

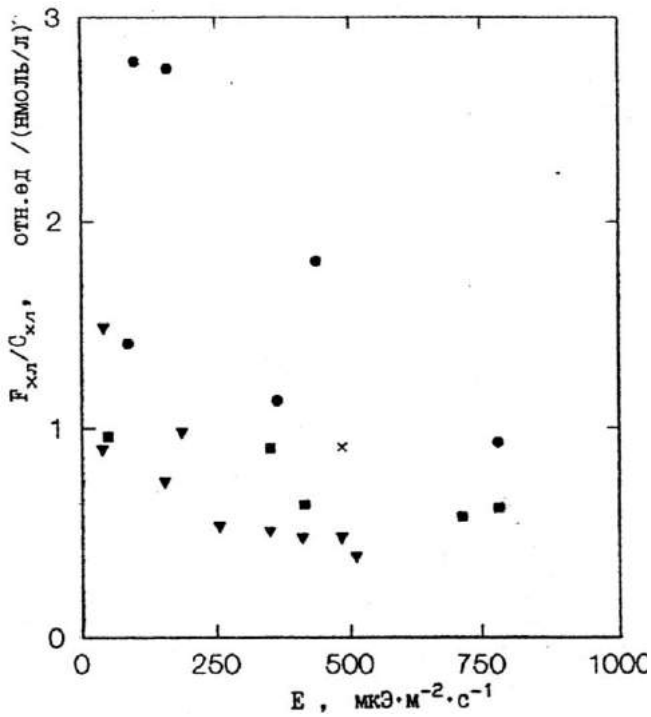
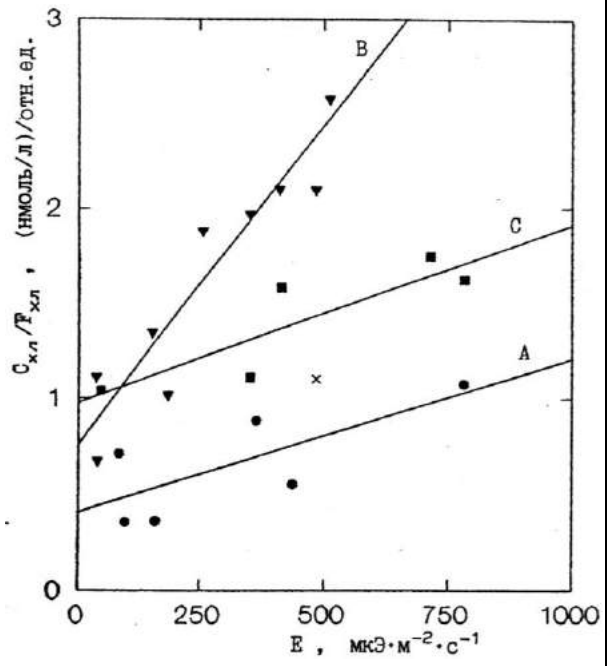


Рисунок 3.5 – Результаты совместных измерений облученности поверхности моря E и отношения Fхл/Схл. [Шавыкин, 1995; 1997]

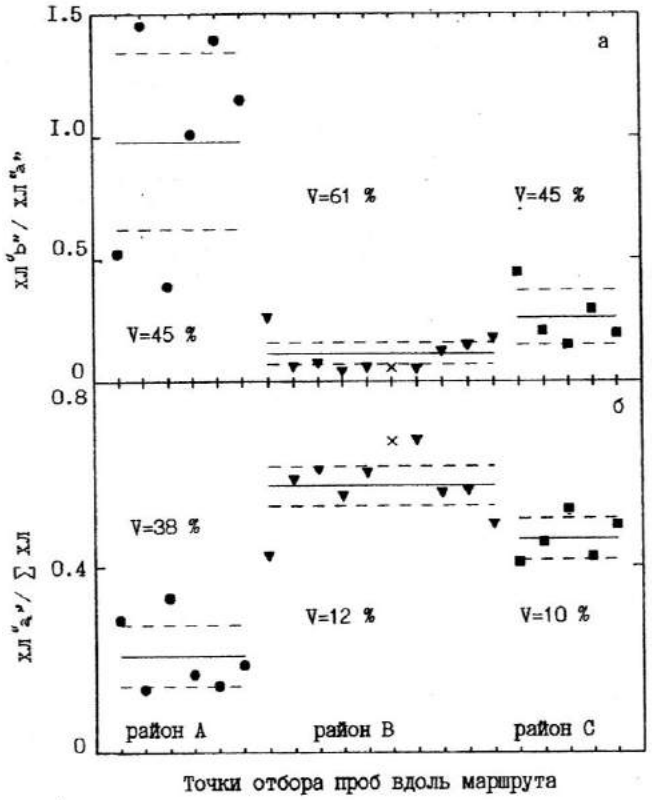
Это разделение станций соответственно на три района независимо обосновывается и соотношениями между пигментами фитопланктона по результатам анализа проб, отобранных в этих точках: 1) доли хл a в сумме молекул хл a, в, c и феофитина a и 2) отношением между хл a и хл в (рисунок 3.7). Все точки (пункты отбора проб) можно отнести к трем различным районам (A, B, C), характеризующимися своими соотношениями между пигментами (рисунок 3.7). Районы считаются различными, если при выбранном уровне значимости (0.10) средние значения отношений пигментов для этих районов значимо различаются между собой, что имело место и в нашем случае (см. доверительные интервалы на рисунке 3.7). Подобное разделение на три района примерно отражает и деление на районы с

различными видовыми комплексами фитопланктона, полученное гидробиологами при анализе состава фитопланктона (рисунок 3.8). Подробности – в работе [Шавыкин, 1995, 1997].



Обозначения – см. рисунок 3.8 и таблицу 3.2. Показаны градуировочные уравнения для трех районов работ: A, B, C

Рисунок 3.6 – Результаты совместных измерений облученности поверхности моря E и отношения Cхл/Fхл [Шавыкин, 1995; 1997]

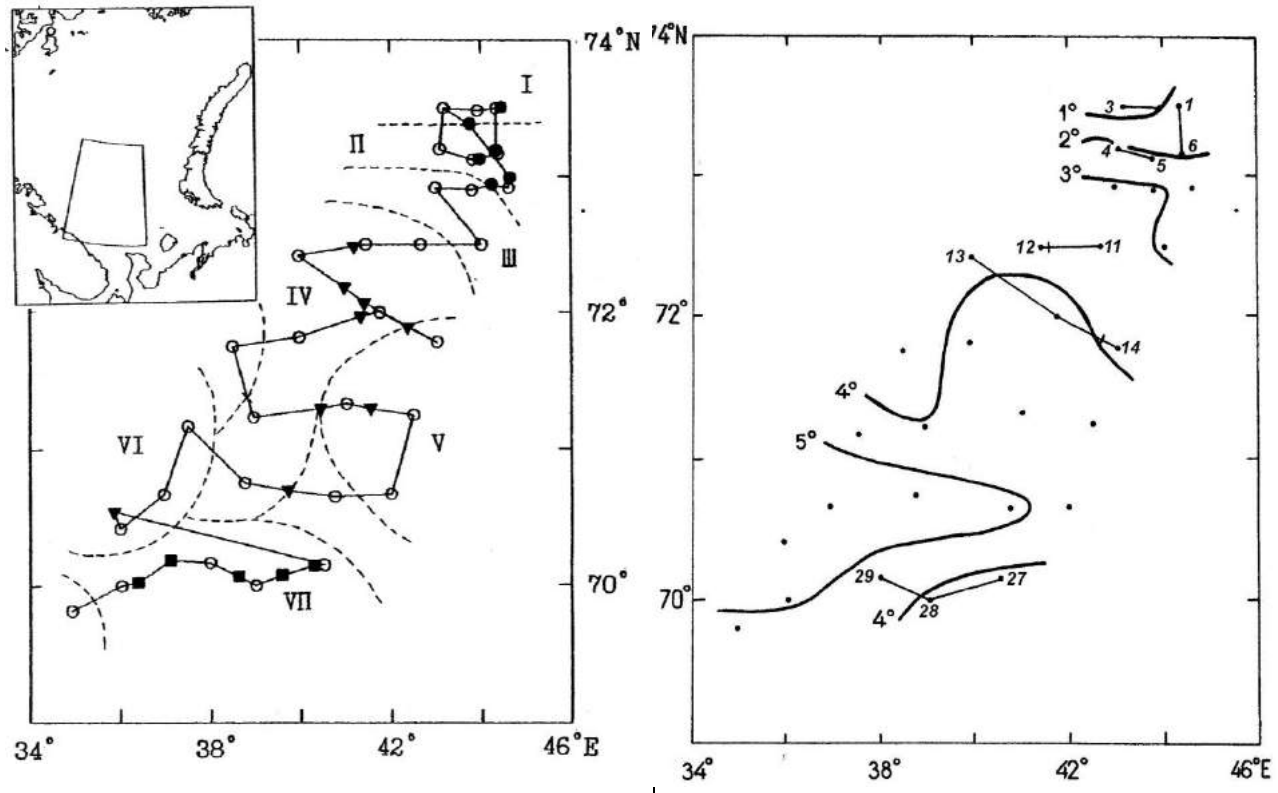


Обозначения: а – хл в/хл а; б – доля хл а в сумме хл а, хл в, хл с и феофитина а. Положение точек по оси X соответствует их положению вдоль маршрута. Обозначения – см. рисунок 3.8 и таблицу 3.2.
—— –средние значения, ----- – 90 % доверительные интервалы, V – значения коэффициентов вариации

Рисунок 3.7 – Соотношение между пигментами в пробах для расчета градуировочных уравнений [Шавыкин, 1995; 1997]

Из сравнения коэффициентов вариации (V) для трех районов (рисунок 3.7) следует, что в данном случае разделение вполне приемлемое: для района C, характеризующегося одним видовым комплексом (VII), коэффициент вариации принципиально не лучше, чем в остальных случаях (a: $V_A = V_C$; *b:* $V_B \approx V_C$). Большой разброс относительно малого числа исходных данных приводит к сравнительно большим погрешностям в оценках $C_{хл}$ через погрешности в оценках пара-

метров градуировочных уравнений. Однако при разделении на три района погрешности в оценках $C_{хл}$ на порядок и даже в несколько раз меньше, чем в случае, когда разделение на отдельные районы не проводится (см. таблицы 3.2 и 3.3).



а

—— – маршрут судна , положение станций (о) и точек отбора проб для градуировки (●– район А; ▼ – район В; ■ – район С), границы районов с разным составом фитопланктона (------).

б

Точки – положение станций, сплошные прямые линии – галсы между станциями, анализируемые в данной главе

Обозначения – как в таблице 3.2. На врезке – положение района работ

Рисунок 3.8 – Маршрут судна в районе исследований (а) и распределение температуры на поверхности в районе исследований (б) [Шавыкин, 1995; 1997]

Учет освещенности поверхности моря для расчета концентрации хлорофилла. Градуировочные уравнения для отдельных районов (j = A, B, C), для всей акватории (последнее – как с учетом, так и без учета влияния освещенности) представлены в таблице 3.2. Были рассчитаны значения $\hat{C}_{хл}$ и соответствующие $F_{хл}$=1 отн. ед. при E=0 и 1000 мкЭ·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Если E не учитывается, то даже без деления на районы по видовому составу получаем, что $\hat{C}^{o}_{хл}$ и $\hat{C}^{e}_{хл}$ различаются на десятки процентов (реальные погрешности много большие). И если не учитывать, что для разных акваторий (разный видовой состав фитопланктона) должны быть

разные уравнения, то отличия рассчитанных значений $\hat{C}^{e}_{хл}$ или $\hat{C}^{o}_{хл}$ от $\hat{C}^{e,j}_{хл}$ (близких к истинным) будут двух-трех кратными и более (таблица 3.3).

При расчетах параметров градуировочных уравнений (таблица 3.2) использовалась средняя освещенность поверхности моря за интервал отбора проб для спектрофотометрических измерений $C_{хл}$ (две-три минуты). Но такая модель оказалась не вполне корректной. При этой модели сильные флуктуации освещенности E (E(0) на рисунке 3.9) никак не отражаются на регистрируемой интенсивности флуоресценции $F_{хл}$.

Это несколько неожиданный результат, если учитывать, во-первых, опубликованные данные [Карабашев, 1987; Abbott et al., 1982; Loftus, Seliger, 1975; Stramsky, Dickey, 1992], в соответствии с которыми резкие изменения E обычно сразу же приводят к резким изменениям $F_{хл}$, и, во-вторых, выявленной в данной работе зависимостью $F_{хл}/C_{хл}$ от E (рисунки 3.6, таблица 3.2 [Шавыкин, 1995; 1997]).

Таблица 3.2 – Градуировочные уравнения для пересчета Fхл в Cхл для различных районов (Cхл – нмоль/л; Fхл – отн.ед.; E – мкЭ·м-2·с-1)

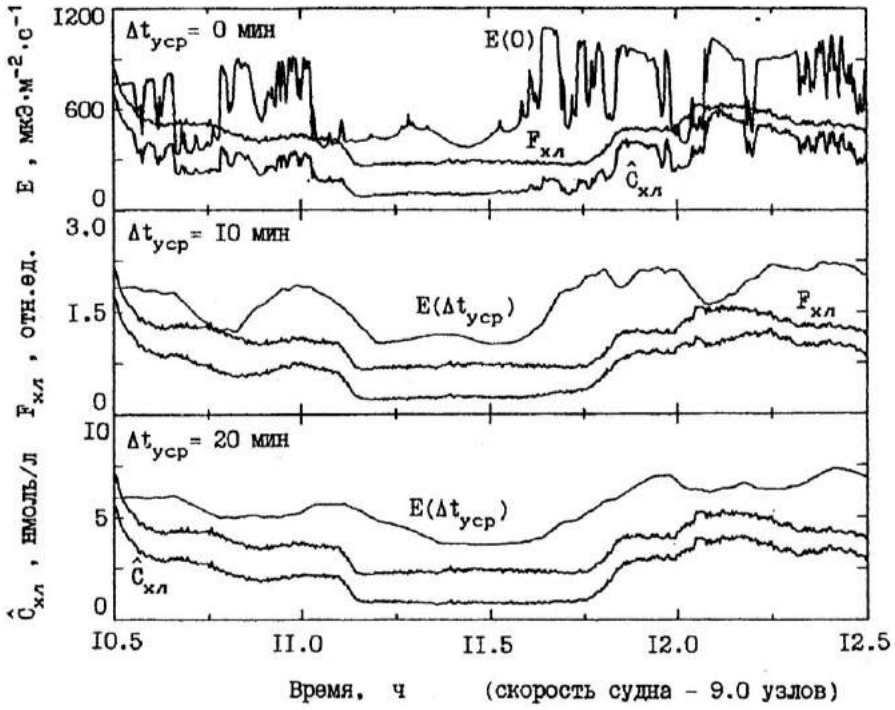
Район, обозначение и число точек	Модель $Y = a + b \cdot x$	Параметры модели			
		S_a	S_b	$S_{y\cdot x}$	R^2
Уравнение $C_{хл}/F_{хл} = f(E)$:					
A + B + C N = 21	$C_{хл}/F_{хл} = 0.86 + 0.00123 \cdot E$	0.22	0.00053	0.56	0.22
A (●) N = 6	$C_{хл}/F_{хл} = 0.40 + 0.00081 \cdot E$	0.14	0.00035	0.21	0.57
B (▼) N = 10	$C_{хл}/F_{хл} = 0.87 + 0.0025 \cdot E$	0.28	0.00082	0.45	0.54
B (▼) N = 9	$C_{хл}/F_{хл} = 0.76 + 0.0033 \cdot E$	0.15	0.00047	0.24	0.88
C (■) N = 5	$C_{хл}/F_{хл} = 0.98 + 0.00094 \cdot E$	0.17	0.00031	0.18	0.75
Уравнение $C_{хл}/F_{хл} = f(F_{хл})$:					
A + B + C N = 21	$C_{хл} = 0.43 + 0.92\ F_{хл}$	0.33	0.15	0.96	0.66

Примечания:
Для района B (при N=9) отсутствует точка, обозначенная «x» (рисунки 3.4 – 3.7) – удалена на основе статистического критерия.
S_a , S_b – стандартные отклонения для коэффициентов a и b,
$S_{y\cdot x}$ – стандартное отклонение значений Y при заданных значениях X,
R^2 – квадрат коэффициента корреляции.

Таблица 3.3 – Значения $\hat{C}_{хл}$, рассчитанные по различным моделям для различных районов, и соотношения между ними (для $F_{хл}$ = 1 отн. ед.; E = 0 и 1000 мкЭ·м$^{-2}$·с$^{-1}$) [Шавыкин, 1995; 1997]

Уравнения (модель)	**Район J**	**E = 0**			**E = 1000**		
		$\hat{C}^{*}_{хл}$	$\hat{C}^{o}_{хл}/\hat{C}^{e;ej}_{хл}$	**C**/$\hat{C}^{e;ej}_{хл}$	$\hat{C}^{*}_{хл}$	$\hat{C}^{o}_{хл}/\hat{C}^{e;ej}_{хл}$	**C**/$\hat{C}^{e;ej}_{хл}$
$C^{o}_{хл}$ **=f($F_{хл}$)**	**A+B+C**	**1.35**	—	—	**1.35**	—	—
$C^{e}_{хл}$ **=f($F_{хл}$,E)**	**A+B+C**	**0.86**	1.57	—	**2.1**	0.64	—
	A	**0.40**	3.4	2.2	**1.2**	1.1	1.8
$C^{ej}_{хл}$ **=f($F_{хл}$,E,j)**	**B (N=9)**	**0.76**	1.8	1.1	**4.1**	0.33	0.51
	C	**0.98**	1.4	0.88	**1.9**	0.71	1.1

Примечание:
Численные значения:
жирный шрифт (*) – значения $\hat{C}_{хл}$, рассчитанные по соответствующей модели;
обычный шрифт – отношения $\hat{C}_{хл}$, рассчитанные по различным уравнениям. Верхние индексы:
o – модель, в которой не учитывается ни видовой состав, ни облучённость поверхности моря;
e – модель, в которой учитывается только облучённость;
ej – модель, учитывающая и видовой состав (j = A,B,C – район), и облучённость поверхности моря E



E(0) – облученность поверхности моря в момент времени t;

E (Δ tуср) – облученность усредненная за (Δ tуср) к моменту времени t.

$\hat{C}_{хл}$ – вычислена по Fхл (градуировочные уравнения таблицы 3.3)

Рисунок 3.9 – Результаты измерений на участке между станциями 19 и 20 [Шавыкин, 1995; 1997]

Соответственно, использование полученных градуировочных уравнений приводит к тому, что рассчитанные значения $C_{хл}$ также «приобретают» пики и провалы как и освещенность E. Это может быть устранено, если использовать не мгновенное значение E, а ее среднее значение за время $\Delta t_{уср}$ предшествующее моменту измерения $F_{хл}$. При этом мы исходим из того, что отношение $F_{хл}/C_{хл}$ зависит не только от облученности E в этот момент, но и от световой предыстории клеток фитопланктона. Как показано Кайфером [Kiefer, 1973], воздействие света на клетки диатомовых водорослей, адаптированные к темноте, приводит к уменьшению $F_{хл}$ и наблюдается два компонента - быстрый (наблюдается не всегда, имеет продолжительность около 2 минут) и медленный (проявляется всегда через 5-10 минут и продолжается от 30 до 60 мин). Соответственно, в нашем случае мы имеем: либо 1) такой видовой состав фитопланктона или его физиологическое состояние, для которых не характерна быстрая ответная реакция флуоресценции на световые флуктуации; либо 2) система прокачки выступает как «фильтр», убирающий быстрый компонент влияния E на удельную флуоресценцию. С учетом данных Кайфера [Kiefer, 1973] можно ожидать, что в нашем случае время усреднения $\Delta t_{уср}$ должно быть порядка 10-20 минут.

Таким образом, *когда при расчете $C_{хл}$ по $F_{хл}$, измеренной в проточном режиме, вносится поправка на облученность E, то последняя должна браться не как мгновенное значение, а как среднее значение, в нашем случае - за 15-25 минут до момента, в который была измерена $F_{хл}$.*

3.4.3 Оценка погрешности результатов непрерывного флуориметрического измерения хлорофилла в воде

При использовании любого количественного метода измерения какой-либо величины кроме самого результата ее измерения должна оцениваться и погрешность результата измерения. В работах [Шавыкин_1995a; 1995b] проанализирована и оценена погрешность измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде по непрерывным измерениям интенсивности in vivo флуоресценции хлорофилла фитопланктона. Основные результаты анализа сводятся к следующему.

На основе рекомендаций работы [Грановский, Сирая, 1990], можно рассчитать параметры погрешности для нашего случая результатов измерений концентрации хлорофилла в Баренцевом море. Частично для трех разных районов эти результаты приведены в таблице 3.4. При расчетах погрешности учитывались основные и дополнительные не исключенные систематические и случайные погрешности параметров, входящих в уравнение для расчета $C_{хл} = f(F1, E)$.

Таблица 3.4 – Оценочные характеристики метода непрерывного флуориметрического определения концентрации хлорофилла в воде для измерений, выполненных в Баренцевом море (прибор – флуориметр "Квант-7") [Шавыкин, 1995b]

Район	Минимальная относительная погрешность $\min \delta C_{хл}$; % $[C_{хл} >> C_{хл,\,d}]$			$E_{ср}$ $(E_{min} \div E_{max})$	Предел обнаружения $C_{хл,\,ld}$; нмоль/л $[\,C_{хл} = \Delta C_{хл}\,]$		
	E = 0	$E = E_{ср}$	E = 1000	мкЭ·м$^{-2}$ с$^{-1}$	E = 0	$E = E_{ср}$	E = 1000
A	100	37	58	320 (84 ÷ 781)	0.04	0.05	0.1
B	47	11	21	270 (37 ÷ 511)	0.08	0.12	0.32
C	54	18	31	462 (47 ÷ 782)	0.08	0.1	0.2

Примечания к таблице 3.4:

$\min \delta C_{хл}$ - минимальное значение относительной погрешности $C_{хл}$ при соответствующем уровне облученности и условии P=0.95;

$E_{ср} = \frac{Ei}{N}$ - «средний» уровень облученности поверхности моря, при котором $\delta C_{хл}$ достигает минимального значения;

E_{min} ; E_{max} - минимальное и максимальное значения E облученности для точек, по которым рассчитывалось градуировочное уравнение;

$C_{хл,ld}$ - предел определения $C_{хл}$ при указанном значении E.

Для рассматриваемого метода оценены погрешности измерения $C_{хл}$ по $F_{хл}$ с учетом влияния облученности поверхности моря E и видового состава фитопланктона. Значения погрешности измерения $C_{хл}$ для $C_{хл} > 1$ нмоль/л не превышают 60 % и зависят от района работ (видового состава фитопланктона), концентрации хлорофилла фитопланктона в воде, облученности поверхности моря. Предел обнаружения $C_{хл}$ для трех районов работ лежит в диапазоне 0.04 – 0.3 нмоль/л и для конкретного видового состава фитопланктона (конкретного района) зависит

от облученности E и минимален при E = 0. Более корректное определение фона, обусловленного рассеянием света водой, может дать снижение предела обнаружения $C_{хл}$ примерно в два раза. При условиях облученности поверхности моря, близких к средним, для соответствующих районов работ погрешность измерения $C_{хл}$ лежит в диапазоне 10 – 40%.

В нашем случае расчеты погрешности сделаны на небольшом объеме измерений (N = 5, 6 и 10). Поэтому обоснованно можно утверждать, что рассматриваемый метод непрерывного флуориметрического измерения хлорофилла в воде может давать погрешность не более 10-30 % для значений концентрации хлорофилла а больших 0.2 – 0.3 нмоль/л. Это вполне приемлемо для экологических исследований, калибровки спутниковых данных и других океанологических задач.

3.5 Основные положения методики непрерывного измерения концентрации хлорофилла в воде в проточном режиме

Основные положения методики измерения КХ по ИНФХ. С учетом материала, изложенного в этой главе, можно сформулировать основные положения флуориметрической методики непрерывного измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде в проточном режиме.

1). При измерениях в прибрежных водах морей и океанов, во внутренних водоемах ***необходимо учитывать влияние РОВ*** при измерении интенсивности in vivo флуоресценции хлорофилла фитопланктона (ИНФХ). Для этого измерения следует проводить по двум каналам: по одному - измерять ИНФХ в воде, по другому - интенсивность флуоресценции РОВ (ИФ РОВ). Используя фильтрат анализируемой воды, необходимо определять коэффициент для внесения поправки на ИФ РОВ при измерении ИНФХ.

2). Одновременно с измерениями на флуориметре следует проводить непрерывные измерения освещенности поверхности воды солнечным светом.

3). ***Определяют поправки на рассеяние света водой*** (если таковое необходимо), для этого используя дистиллированную воду (желательно дополнительно очищенную от органических примесей). Измерения проводят при тех же услови-

ях, при которых проводятся собственно флуориметрические измерения. Из результатов измерения интенсивности флуоресценции проб анализируемой воды исключают рассеяние света водой.

4). ***Оценивают однородность видового состава фитопланктона для исследуемого района*** по соотношению пигментов фитопланктона (хл в / хл а и хл а / Σ хл). Для этого используются результаты спектрофотометрических экстрактных измерений пигментов фитопланктона на пробах, отобранных для градуировки флуориметра. Частота отбора проб должна обеспечивать достаточное количество данных для расчета градуировочных уравнений.

5). ***Учитывают влияния освещенности (если таковое имеет место) и видового состава фитопланктона***, рассчитывая градуировочные уравнения $C_{хл} = f(F_{хл}, E)$, например, вида $C_{хл} / F_{хл} = a + b\,E$, для каждого района с характерным примерно однородным видовым составом фитопланктона ($C_{хл}$ – концентрация хлорофилла а).

Задачи и проблемы реализации флуориметрического метода, не решенные в полном объеме.

Выбор и учет влияющих факторов. Возможно, что кроме освещенности, видового состава фитопланктона и растворенного органического вещества, необходимо учитывать и другие влияющие факторы (температуру, минеральное питание клеток фитопланктона, размер клеток, концентрацию минеральной взвеси...). Однако это следует делать, только, если такой подход не сильно усложнит методику, но приведет к существенному снижению погрешности измерения.

Выбор спектральных участков возбуждения и регистрации флуоресценции. Требуется более строгое обоснование выбора полос возбуждения и регистрации при измерениях $F_{хл}$. Возможно использование не одной, а нескольких полос возбуждения (и, возможно, регистрации) при измерениях $F_{хл}$, что позволит, вероятно, в ходе непрерывных измерений $F_{хл}$ определять соотношения фотосинтетических пигментов и зоны с различным видовым составом фитопланктона и, соответственно, с различным влиянием освещенности на отношение $F_{хл} / C_{хл}$. Тем более, что основа для такого подхода уже заложена [Гольд и др., 1986]). Реаль-

ность реализации того во многом определяется чувствительностью используемых приборов.

Определение вида влияния освещенности - функциональной зависимости $F_{хл} / C_{хл} = f(E)$. Мы приняли линейную зависимость величины обратной удельной флуоресценции от средней освещенности ($C_{хл} / F_{хл} = a + b \cdot E$). Однако, возможно, что более корректной является экспоненциальная или какая-либо другая зависимость. Не исключено, что для различных условий могут быть приемлемы разные зависимости влияния освещенности на удельную флуоресценцию.

Определение алгоритма усреднения освещенности, используемой в уравнении $C_{хл} / F_{хл} = a + b \cdot E$). Необходимо уточнить интервал времени, за который усредняется освещенность (если таковое необходимо).

Учет влияния освещенности. В нашем случае на отношение $C_{хл} / F_{хл}$ влияло среднее значение освещенности, а быстрые флуктуации E не сказывались на регистрируемых значениях $F_{хл}$. Вместе с тем, возможны и другие ситуации:

1). При использовании освещенности, как влияющего фактора, необходимо принимать во внимание именно мгновенные значения E. Это характерно для случаев, когда флуктуации E однозначно проявляются в записях интенсивности флуоресценции, как то представлено в работах [Abbott et al., 1982; Loftus, Seliger, 1975; Stramsky, Dickey, 1992].

2). Освещенность, как влияющий фактор, совсем может не учитываться, так как влияние освещенности на удельную флуоресценцию просто не проявляется. Подобный результат описан в [Шавыкини, 1994].

Оценка погрешности результатов измерений. Необходимо провести исследования по полной оценке погрешности результатов измерений, когда влияющими факторами наряду с освещенностью и видовым составом фитопланктона является и растворенное органическое вещество.

3.6 Проверка работоспособности метода непрерывного судового измерения хлорофилла фитопланктона в воде

3.6.1 Характеристики пространственной изменчивости хлорофилла фитопланктона, температуры и солености поверхностного слоя южной части Баренцева моря

Необходимость изучение океанологических параметров различного пространственного масштаба. При изучении океанологических основ формирования биологической продуктивности водоемов большое значение имеют исследования неоднородностей полей с характерными горизонтальными размерами от сотен метров до десятков километров. Эти неоднородности порождаются динамическими процессами инерционного и приливного происхождения, а также в результате термодинамического взаимодействия океана и атмосферы в пределах нескольких суток [Каменкович и др., 1982]. Локальная специфика развития физико-химических процессов, главным образом, особенности горизонтальной и вертикальной адвекции вод, в значительной степени формирует наиболее часто встречающиеся в море неоднородности (1–10 км) в распределении гидробионтов, которые в свою очередь определяют крупномасштабные и синоптические особенности функционирования биоценозов, а также сезонные и межгодовые колебания биологической продуктивности водоемов.

В настоящее время чаще всего проводится изучение мелкомасштабной вертикальной структуры температуры, солености и других физико-химических параметров морских вод и их короткопериодной изменчивости во времени. Значительно реже рассматриваются горизонтальные мезомасштабные неоднородности океанографических показателей [Fashman, Pugh, 1976; Краснопевцев и др., 1977; Краснопевцев, Федоров, 1979; Карлин и др., 1984; Лесенков, 1985; и др. работы]. Еще меньше данных, характеризующих пространственно-временную изменчивость в этом диапазоне полей биологических параметров, в т.ч. фитопланктона, хотя имеются и обзоры по характеристикам разномасштабной изменчивости биологических параметров [Кобленц-Мишке, 1985].

В Баренцевом море измерения параметров среды проводятся в основном на станциях, расстояние между которыми обычно более 30 км. С помощью этих данных можно исследовать лишь структуру изменчивости полей синоптического масштаба и крупномасштабные неоднородности. Измерения с малой дискретностью по горизонтали проводились и проводятся в Баренцевом море крайне редко, поэтому имеется мало сведений о мелко- и мезомасштабной структуре полей параметров водных масс, а также об условиях формирования таких физических явлений, как локальные градиентные зоны, внутренние волны, циркуляция Ленгмюра, вихревые возмущения и др. Особенно отчетливо эти структурные неоднородности проявляются в приповерхностном слое, который находится под изменчивым воздействием атмосферы [Федоров, Гинзбург, 1988].

Есть работы обобщающие накопленный экспериментальный и теоретический материал по особенностям спектрального распределения гидрологических и некоторых других океанологических параметров [Denman et al., 1977; Монин, Озмидов, 1981; Федоров, 1983]. Выявлены и теоретически объяснены основные закономерности спектрального пространственного распределения океанологических параметров для различных пространственных масштабов, в том числе для крупномасштабной горизонтальной турбулентности [Бенилов, Лозовацкий, 1974; Панчев, 1975; Mozeley, Del Balzo, 1976; Монин, Озмидов, 1981; и др. работы]. Вместе с тем изучение мелко- и мезомасштабной пространственно-временной изменчивости биологических параметров, в том числе фитопланктона, затруднено, хотя метод измерения концентрации хлорофилла фитопланктона по его in vivo флуоресценции существует с середины 60-х годов [Lorenzen, 1966]. Однако в силу упоминавшихся методических трудностей этот метод использовался и используется большей частью как качественный или полуколичественный метод. Поэтому представляется важным рассмотреть закономерности пространственно-временной изменчивости полей хлорофилла фитопланктона (Chl), основываясь на более корректных данных по Chl, а не только на измерениях in vivo флуоресценции хлорофилла при постоянной освещенности [Fashman, Pugh, 1976].

Для анализа изменчивости полей хлорофилла, температуры и солености в Баренцевом море решались следующие *задачи:*

1) получить для указанного района характеристики, в том числе спектральные характеристики изменчивости этих полей для приповерхностного горизонта;

2) выявить основные особенности распределения полученных спектральных характеристик и сопоставить их с известными теоретическими закономерностями.

Результаты непрерывных измерений в Баренцевом море (июнь, 1993). ***Район работ.*** Результаты измерений концентрации хлорофилла, температуры и солености воды (рисунок 3.10), для приповерхностного горизонта (глубина 2.5 м) получены на полигоне в южной части Баренцева моря (рисунок 3.8).

На рисунке 3.10 представлены результаты измерений Chl, T, S и плотности воды на трех из семи галсов, показанных на рисунке 3.8”б”. Координаты начальных и конечных точек галса, время выполнения, средние и некоторые другие значения величин, которые измерялись на галсе, даны в таблицах Г.1 и Г.2 (Приложение Г).

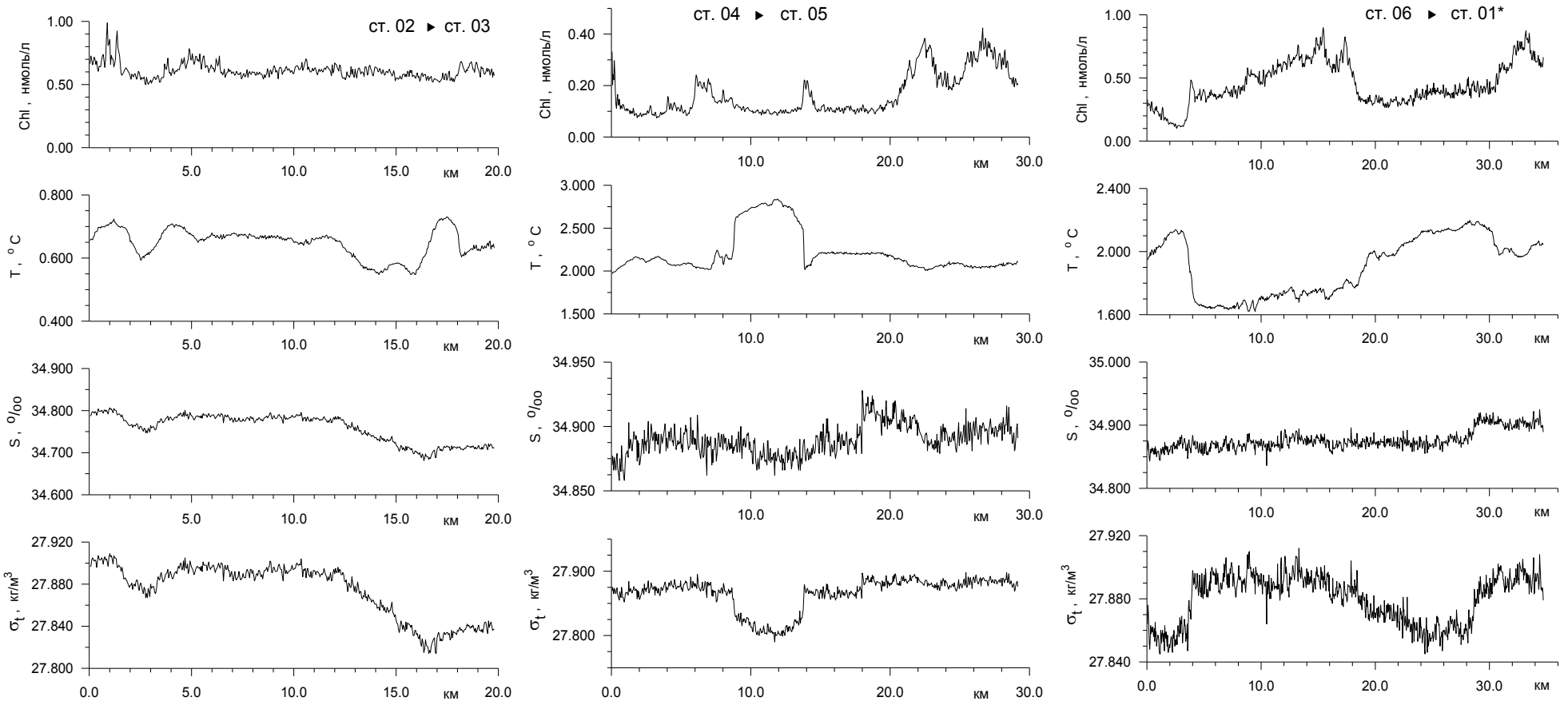
Оценки спектральной плотности приповерхностного распределения температуры, солености и концентрации хлорофилла. Графики спектральной плотности температуры и солености воды, концентрации хлорофилла в воде для 3- х анализируемых галсов представлены на рисунке 3.11. На этих же рисунках показаны аппроксимирующие прямые $E(k) = a \cdot k^{-n}$ для различных n. Видно сходство соответствующих графиков между собой. На рисунках 3.12 и 3.13 – распределение измеренных величин на галсе f (ст. 27 – ст. 28) и графики относительной спектральной плотности для него.

Для ***спектров температуры*** отчетливо можно видеть, что диапазон измерения волнового числа k разделяется на два участка (рисунок 3.11). Первый– с малыми значениями волнового числа ($k/2\pi \leq$ 2–3.5 км$^{-1}$). На нем кривые спектральной плотности достаточно хорошо аппроксимируются прямыми $E_T(k) = a \cdot k^{-3}$. Второй – с большими значениями волнового числа ($k/2\pi \geq$ 2–3.5 км$^{-1}$). Для него спектральные плотности близки к аппроксимирующей прямой $E_T(k) = a \cdot k^{-5/3}$. Но график спектральной плотности температуры в области больших волновых чисел

для галса 27_28 (рисунок 3.13) резко выделяется из всей совокупности графиков. Это отражает проявление внутренних волн [Шавыкин, Бойцов, 1997].

Для ***спектров солености*** отчетливо проявляется деление на три участка (рисунок 3.11). Первый участок – левый, длинноволновый. Он соответствует $k/2\pi \leq 0.5–1.5$ км$^{-1}$. Для этого участка спектры солености достаточно близки к кривым $E_S(k) = a \cdot k^{-3}$ или, возможно, $E_S(k) = a \cdot k^{-8/3}$. На втором участке в диапазоне волновых чисел 0.5–1.5 км$^{-1}$ $\leq k/2\pi \leq$ 3–6 км$^{-1}$ кривая $E_S(k)$ сглаживается прямой, параллельной оси волновых чисел. Третий, правый коротковолновый участок, соответствует диапазону волновых чисел $k/2\pi \geq$ 3–6 км$^{-1}$. На этом участке аппроксимирующая прямая достаточно корректно представляется зависимостью $E_S(k) = a \cdot k^{-5/3}$.

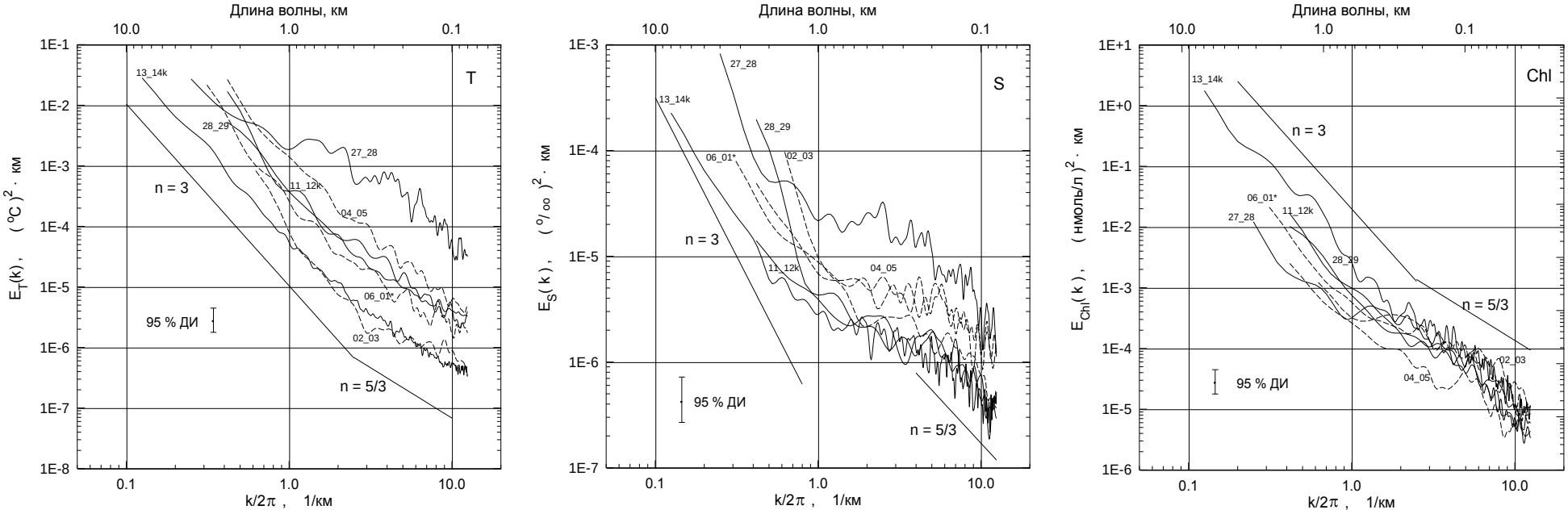
Спектры хлорофилла имеют форму, во многом сходную с таковыми температуры. На спектрах всех галсов мы имеем участок, аппроксимируемый прямой $E_{chl}(k) \sim k^{-5/3}$ (правая большая часть оси волновых чисел на графиках), и участок, аппроксимируемый прямой $E_{chl} \sim k^{-3}$. Подробный анализ полученных для этого рейса результатов по спектрам T, S, Chl, включая расчет аппроксимирующих прямых вида дан в работе [Шавыкин, Бойцов, 1997].



а В с

По оси абсцисс – расстояние от начальной точки вблизи соответствующей станции. * после выполнения ст. 06 судно следовало на ст. 07. по маршруту: ст. 06 → 01→ 02 → 03 → 06 → ст. 07 – см. рисунок 3.”б”. Аналогичные рисунки для еще трех галсов (ст.11 – ст. 12к, ст. 13 - ст. 14 к, ст. 28 – ст. 29) и спектры для них приведены в работе [Шавыкин, Бойцов, 1997]

Рисунок 3.10 – Распределение значений измеренных величин на галсах между станциями [Шавыкин, Бойцов, 1997]

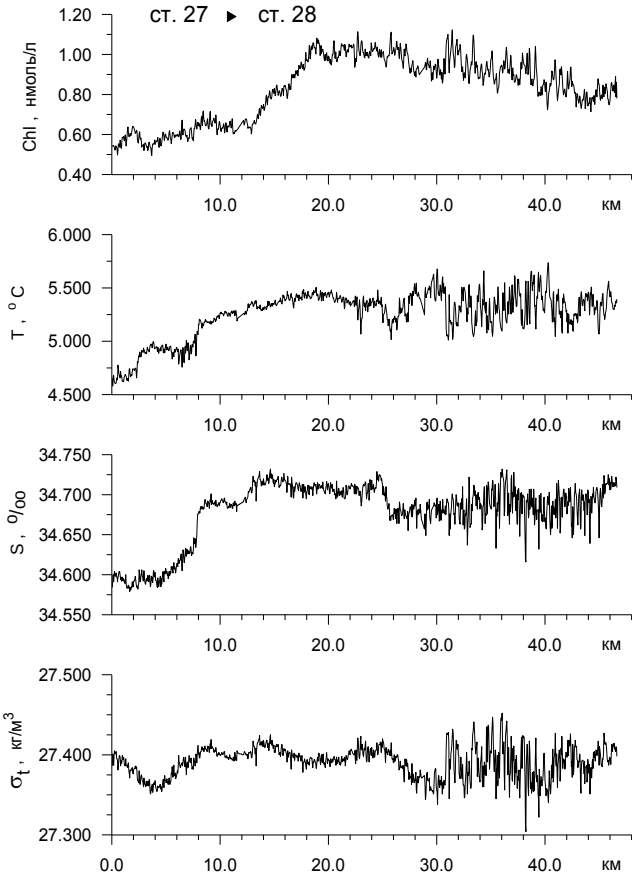


a B c

штриховая линия – галсы района a: 02_03, 04_05, 06_01*;
тонкая сплошная линия – галсы района b: 11 12k, 13 14k;
прямые сплошные линии – галсы района c: 27 28, 28 29

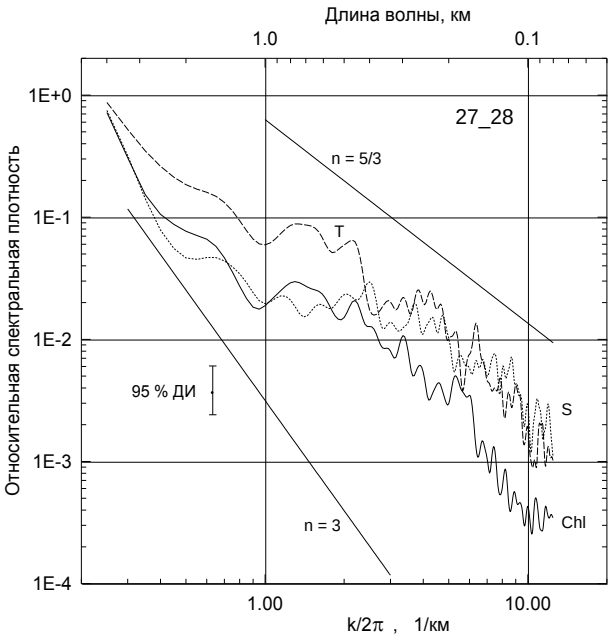
Рисунок 3.11 – Графики абсолютной спектральной плотности солености воды (a), температуры воды (b) и концентрации хлорофилла в воде для трех галсов [Шавыкин, Бойцов, 1997]

Таким образом, спектры измеренных параметров (температуры, солености воды, концентрации хлорофилла в воде) в основном соответствуют известным теоретическим моделям. На спектрах всех величин выделяются участки «закона пяти третей» и кубической зависимости. Для спектров солености вполне отчетливо можно выделить горизонтальный участок ($n \approx 0$), который располагается между участками с $n=3$ и $n=5/3$.



По оси абсцисс – расстояние от начальной точки вблизи ст. 27

Рисунок 3.12 – Распределение значений измеренных величин на галсе между ст. 27 и ст. 28 [Шавыкин, Бойцов, 1997]



Прямые сплошные линии – аппроксимирующие прямые, предсказываемые теорией, рядом – значения показателей *n* для этих прямых

Рисунок 3.13 – Графики относительной спектральной плотности температуры (T), солености воды (S) и концентрации хлорофилла в воде (Chl) для галса 27___28. [Шавыкин, Бойцов, 1997]

Значение волнового числа *k* для точки перегиба (перехода зависимости с $n=3$ в зависимость с $n=5/3$) для температуры примерно постоянно для всех галсов

и составляет 2–3 км$^{-1}$, для хлорофилла она меняется в диапазоне 0.3–2.0 км$^{-1}$ в зависимости, вероятно, от скорости поверхностного течения.

Все спектры в определенной степени согласуются друг с другом. Они имеют общий участок с наклоном n≈3 и n≈5/3; значения волнового числа *k* для точек перегиба спектров концентрации хлорофилла и температуры близки к друг другу и их несовпадение определяется рядом специфических для данного океанологического параметра особенностей. Кроме того, для одного и того же галса точки перегиба кривых спектров температуры и в определенной степени концентрации хлорофилла отвечают значению волнового числа *k*, лежащему примерно в середине диапазона, соответствующего горизонтальному участку спектра солености.

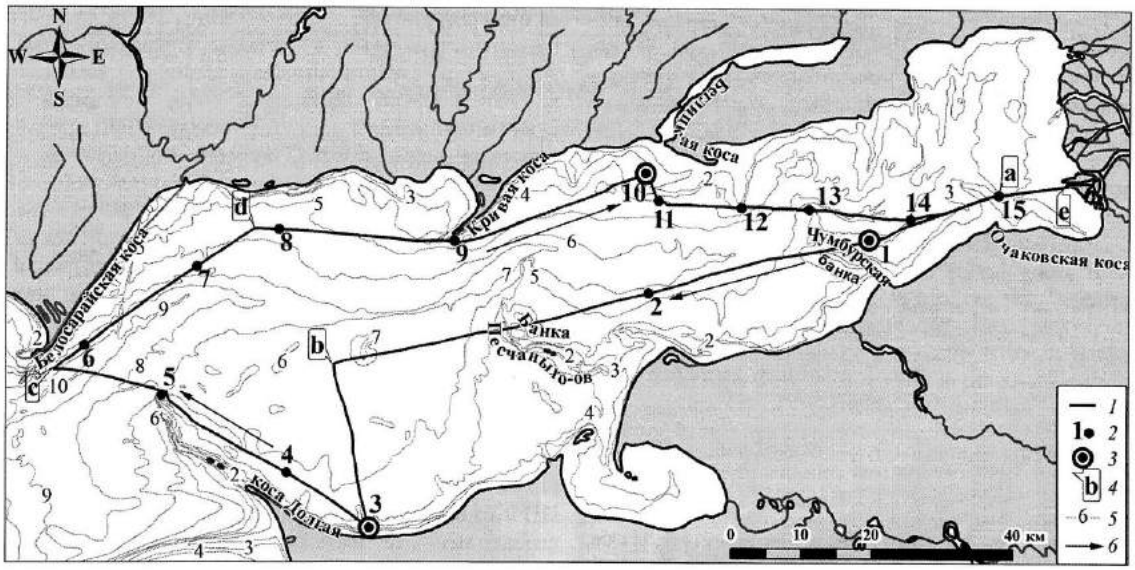
3.6.2 Особенности изменчивости концентрации хлорофилла в приповерхностном слое Таганрогского залива

Район исследований и градуировка флуориметра. Таганрогский залив Азовского моря отличается относительно небольшими размерами (длина 150 км по оси залива), имеет глубины до 10 м, подвержен значительному влиянию речного стока, соленость изменяется в интервале 0-10 ‰, концентрация общей взвеси до 120 г/м^3, хлорофилла *a* до 100 мг/м^3, суточная продукция до 3.5 г$C_{орг}$/м^3 [Матишов и др., 2010].

Цель этапа - апробировать для Таганрогского залива метод непрерывного флуориметрического измерения КХ в приповерхностном горизонте и выявить особенности пространственного распределения и временной изменчивости полей хлорофилла для летнего периода, который характеризуется цветением фитопланктона и очень высокой его биомассой в водной среде.

Исследования проводили 16-19.07.2008 в ходе рейса НИС "Профессор Панов" на акватории Таганрогского залива (рисунок 3.14). Использовался гидролого-флуориметрический комплекс. Для подачи воды применяли насос, установленный на борту судна перед флуориметром и другие типы датчиков облученности (квантометр Li-Cor LI 190-SA) и GPS (Garmin GPSMap 60).

Запись показаний приборов в компьютер производилась с интервалом 6 с, что соответствует пространственной дискретности ~ 20 м. За 4 дня пройдено около 350 км, получено более 65 тыс. измерений. На 3-х станциях – 1, 3 и 10 (рисунок 3.14) выполнены непрерывные измерения для оценки временной изменчивости параметров среды. Для синхронизации измерений T и S с показаниями флуориметра (устранении задержки) проведены измерения с использованием флуоресцирующего вещества (хвойного экстракта): $t_{зад}$=20 с.



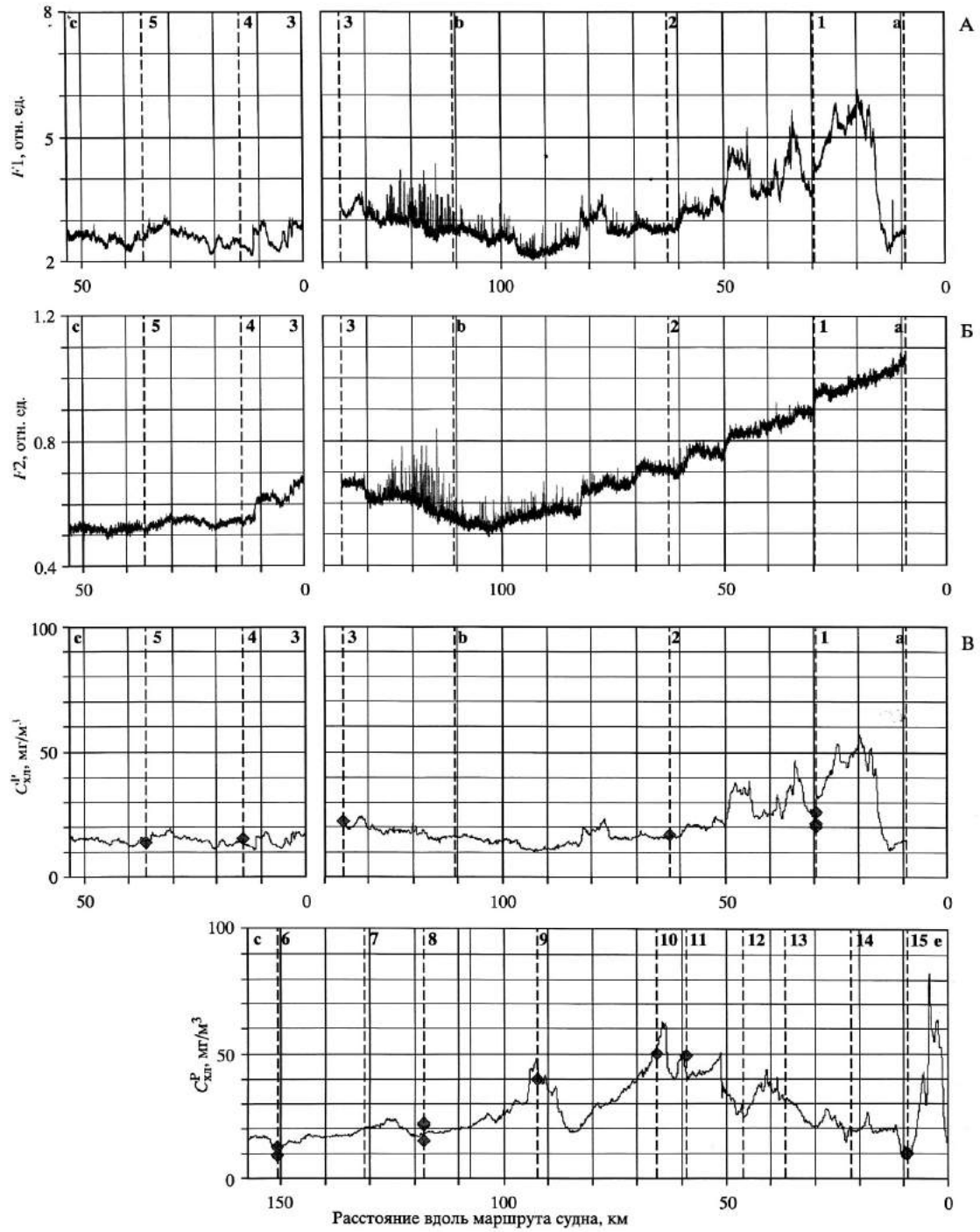
1 – маршрут судна, *2* – точки отбора проб для экстрактного спектрофотометрического определения концентрации хлорофилла в воде, *3* – станции с выполнением временных серий измерений во время стоянки судна, *4* – точки поворота на маршруте, *5* – изобаты

Рисунок 3.14 – Район работ и маршрут экспедиции в Таганрогском заливе (июнь, 2008 г.) [Шавыкин и др., 2010]

Для синхронизации отбираемой пробы с показаниями флуориметра, рассчитано время опережения измерений относительно момента отбора пробы - 18 секунд. Каждой пробе было поставлено в соответствие среднее значение освещённости морской поверхности в период, когда анализируемая вода поступала в систему прокачки. С учетом калибровки (см. Приложение Г.3) КХ вычисляли по формуле [Шавыкин и др., 2010]:

$$C_{ХЛ}^{P} = 1.177 \cdot F1^2 + 0.0839 \cdot F2^2 - 0.628 \cdot F1 \cdot F2 + 3.54 \cdot F1 - 0.945 \cdot F2 + 0.995 .$$

Пространственная изменчивость хлорофилла. На построенных вдоль маршрута судна профилях F1 и F2 были отмечены многочисленные выбросы в сторону повышения (серый цвет на графиках А и Б – рисунок 3.15).



А - изменение параметра F1 при движении судна вдоль южного берега Таганрогского залива до Белосарайской косы, серым цветом указаны выбросы данных; Б - то же для параметра F2; В - рассчитанные на основе сглаженных величин F1 и F2 по формуле (Г.6) Приложения Г.3; значения КХ (сплошная линия) в сопоставлении с результатами дискретных спектрофотометрических измерений (ромбы). Цифры и буквы на верхней оси соответствуют таковым на рисунке 3.14, остальные пояснения – в тексте

Рисунок 3.15 – Результаты измерений КХ вдоль маршрута движения судна (Таганрогский залив, 2008) [Шавыкин и др., 2010]

Такие выбросы были особенно значительны 17 и 18 июня в условиях сильного волнения и, по-видимому, обусловлены попадающими в систему прокачки большими пузырьками воздуха.

Для исключения этих выбросов применяли алгоритм фильтрации [Шавыкин и др., 2010]; результат представлен также на рисунке 3.15 (графики В).

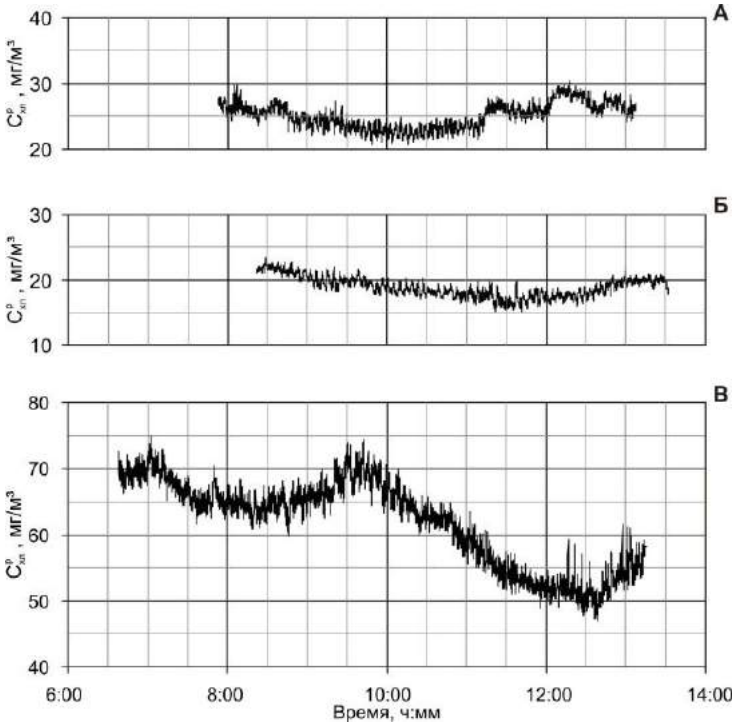
Значения КХ, полученные спектрофотометрическим методом, находятся в диапазоне от 9.3 до 58.2 мг/м^3, а флуориметрическим - в диапазоне 9 - 93 мг/м^3. Выявлена значительная пространственная неоднородность КХ (рисунок 3.15). Высокие концентрации (более 40 мг/м^3) наблюдались на участках в центральной и восточной частях залива: на маршруте от точки "а" до ст. 2 (протяженностью ~ 34 км, с пятнами размером 13 и 6 км), близ косы Кривой (около ст. 9 размером около 9 км), на участке маршрута коса Кривая - коса Беглицкая - Чумбурская банка (протяженность ~ 40 км, отмечены пятна размерами 2, 6, 11 и 4 км), в горле залива у устья реки (от ст. 15 до точки "е" протяженностью около 6 км). Наибольшие значения КХ отмечены на последнем из перечисленных участков - в зоне смешения речных и морских вод; здесь КХ достигала значений 90 мг/м^3, но только при повторном проходе этого участка.

Временна́я изменчивость хлорофилла в Таганрогском заливе. На трех станциях (№ 1, 3, 10) были выполнены временные серии измерений КХ (рисунок 3.16). Для обработки результатов измерений F1 и F2 на этих станциях процедуру выявления "выбросов" не применяли, так как пузырьки воздуха в системе прокачки во время стоянок судна отсутствовали. По градуировочному уравнению рассчитывали КХ, а сглаживание полученных рядов значений КХ дважды проводили скользящим средним по 100 ближайшим значениям при условии, что соответствующие им точки попадают в интервал 5 минут дважды (рисунок 3.16, черный цвет).

Отчетливо просматривается временная изменчивость КХ. Так, на ст. 1 за два часа КХ меняется на 30 % (от 22 мг/м^3 до 28 мг/м^3), на станции 3 изменение составляет около 18 % (от 17 до 20 мг/м^3) за 1,5 часа. Наиболее сильные абсолютные изменения были отмечены на станции 10: за время от 9:40 до 12:30 КХ изменилась на 20 мг/м^3 (от 70 до 50 мг/м^3), что составляет 30 % от начального значения. Такие большие изменения никак не связаны с методическими погрешностями, а объясняются стоковыми и ветровыми течениями, существующими в этом

районе, которые и приводят к такому быстрому изменению КХ в отдельных районах залива и поэтому должны учитываться при выполнении съемок, в том числе при использовании результатов судовых наблюдений для калибровки спутниковых данных.

Учитывая, что участок точка "а" - станция 1 и участок станция 14 - станция 15 судно проходило дважды с интервалом менее 3 суток (участок "а" - 1 в начале первых суток, участок 14 - 15 в конце 4-х суток), можно было ожидать совпадения значений КХ для этого района при повторных измерениях. Но мы получили другой результат (см. рисунок 3.15): на совпадающих участках маршрута КХ изменяется от 50 мг/м^3 в первый день до 20 мг/ м^3 в последний. Из полученных результатов следует вывод: для Таганрогского залива характерна сильная временная изменчивость КХ отдельных районов.



А –17.06.2008 г. на ст. 1;
Б – 18.06.2008 г. на ст. 3,
В – 19.06.2008 г. на ст. 10

Рисунок 3.16 – Результаты измерений концентрации хлорофилла фитопланктона на станциях в Таганрогском заливе[Шавыкин и др., 2010]

Поэтому, скорее всего, должны и будут наблюдаться существенные расхождения в оценках КХ, полученных спутниковыми и судовыми методами, так как фактически в силу указанных причин невозможно проводить синхронные по времени сравнения данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и судовых наблюдений по всему заливу или по произвольно выбранным его участкам. Соответственно, для калибровки ДДЗ необходимо заранее выбрать один-три района (полигона) в Таганрогском заливе, для которых отсутствует такая сильная вре-

менная изменчивость КХ, и проводить в этих районах измерения КХ в течение одних-двух суток. Иначе сопоставление практически невозможно, так как даже многократные судовые измерения в одном районе могут не позволить корректно интерпретировать ДДЗ.

Основные результаты исследований в Таганрогском заливе. Для Таганрогского залива – района с очень высокой концентрацией хлорофилла фитопланктона - отработана технология и впервые проведены измерения в приповерхностном слое концентрации хлорофилла а непрерывным флуориметрическим методом. Показано, что в Таганрогском заливе наблюдается сильная временная и пространственная изменчивость концентрации хлорофилла фитопланктона в летний сезон.

Подтверждена работоспособность методики непрерывного флуориметрического измерения хлорофилла фитопланктона в воде с высокой его концентраций.

По результатам измерений концентрация хлорофилла а в приповерхностном слое залива изменялась (16-19 июня 2008 г.) от 9 до 93 мг/м^3, то есть не менее чем в десять раз. Наблюдаются пятна повышенного содержания КХ размером от нескольких километров до полутора десятков километров.

Выявлена сильная временная изменчивость КХ в восточном районе Таганрогского заливе: за несколько часов КХ может изменяться на 20-30 %, а в абсолютных значениях - от нескольких мг/м^3 до 20 мг/м^3 и более.

Практическая значимость результатов представленного исследования заключается в возможности их использования для уточнения расчетных формул при интерпретации данных спутниковых наблюдений спектрорадиометрами MODIS, MER1S и др., получения региональных алгоритмов [Moses et al., 2009].

ГЛАВА 4 АВИАМОНИТОРИНГ ОРНИТОФАУНЫ – СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТОВ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШЕЛЬФА

На данном этапе решались задачи:

1). Проанализировать проблемы мониторинга и оценки численности морских птиц.

2). Оценить численность птиц на обширных акваториях Баренцева моря.

3). Провестие мониторинговых наблюдений численности морских и водоплавающих птиц в Баренцевом и Белом морях.

4). Разработать рекомендаций по мониторинговым наблюдениям (в том числе авианаблюдениям) авифауны Баренцевоморского региона.

Публикации автора по вопросам, изложенным в настоящей главе. Материал главы основан на публикациях в центральных журналах, в том числе списка ВАК, разделов двух монографий и материалах международных конференций [Краснов и др., 2002; Краснов и др., 2004; Краснов и др., 2004a; Краснов и др., 2004b; Краснов и др., 2004c; Краснов, Шавыкин, 2005; Краснов и др., 2005; Краснов и др., 2006; Краснов и др., 2008; Краснов и др, 2010; Шавыкин, Краснов, 2013].

4.1 Необходимость и важность мониторинга морских птиц Баренцевоморского региона

Рациональное использование морских биологических ресурсов (рыбных запасов, макроводорослей, отдельных видов зообентоса и др.) невозможно без знания структур морских биоценозов и происходящих в них изменениях [Белопольский, Шунтов, 1980]. Это относится и к морским птицам, которые являются важным компонентом морских экосистем.

Для района Баренцева моря общая численность морских птиц может достигать по отдельным оценкам 3.7 млн. размножающихся пар [Mehlum, Gabrielsen, 1995, цит. по Краснов, Барретт, 2000]. С учетом этих оценок и наших расчетов (см. далее) численность морской орнитофауны Баренцева моря в целом может составлять около 10 млн особей. Имея такую огромную численность, питаясь рыбой

и бентосом, возвращая органическое вещество в морскую среду в виде экскрементов, морские птицы оказывают существенное влияние на состояние всей экосистемы морского региона, в том числе на запасы ихтиофауны и бентофауны моря. Важное значение имеет и природоохранный аспект: многие виды птиц находятся на грани исчезновения, занесены в Красные книги разного уровня и подлежат охране государством.

Наиболее полное современное описание состояния популяций орнитофауны Баренцева моря (несколько шире – Баренцевоморского региона) дано в совместной норвежско-российской монографии [Состояние популяций…, 2003]. Но и там многие оценки являются экспертными и неполными, отсутствуют данные о численности птиц в открытых районах моря.

Для рационального морского природопользования, в том числе прогнозирования рыбных запасов, организации природоохранной деятельности при освоении шельфовых месторождений важно учитывать (через соответствующие модели) присутствие орнитофауны и в открытом море, и прибрежных районах, знать ее видовой состав и численность. В этом направлении проделана огромная работа специалистами разных стран (по Баренцеву морю – специалистами России и Норвегии). Но корректное и полное описание численности и структуры орнитофауны наиболее изученного из всех арктических морей Баренцева моря и других морей этой зоны до настоящего времени в полном объеме не получено.

4.2 Методы и объемы исследования морских птиц на акватории Баренцева моря и вдоль его побережья

Для получения информации о состоянии морских птиц используются различные методы, при этом основными в настоящее время являются наблюдения, проводимые в местах гнездования. Именно на основе таких данных и сделаны все оценки численности морских птиц в Баренцевоморском регионе, представленные в монографии [Состояние популяций…, 2003].

Мониторинг морских птиц в Норвегии. Мониторинг морских птиц, гнездящихся на побережье Норвегии, начался в 1988 г. [Lorentsen, 1998]. Такие иссле-

дования были частично основаны на мониторинге в рамках Норвежского проекта по морским птицам, проводившегося в 1979–1984 гг.

Мониторинговые наблюдения проводятся в Норвегии в основном в местах размножения птиц [Anker-Nilssen, 1998; Erikstad et al., 1998]. Обширные наблюдения за распределением птиц на акваториях морей (Норвежского, Баренцева, Гренландского) не проводились. Из-за высокой стоимости транпортных услуг не все колонии на Шпицбергене и о-ве Медвежий удается посещать ежегодно.

Мониторинг морских птиц в Российской части Баренцевоморского региона. Мониторинг морских птиц в российской части Баренцевоморского региона проводился только на Белом море и побережье Мурмана, и до недавнего времени, главным образом, на территории Кандалакшского государственного природного заповедника (КГПЗ). Число гнездящихся особей других видов в Кандалакшском заливе и на Мурмане находились под наблюдением с 1930-х и с начала 1950-х гг. КГПЗ проводит систематизацию и анализ данных мониторинга, являющихся во многом уникальными, так как охватывают период более чем за 60 лет.

В 1990-х годах проводились обширные наблюдения за морскими птицами на всей акватории Баренцева моря с борта самолета-лаборатории ПИНРО [Краснов, Черноок, 1996; Краснов, Черноок, 1999]. В настоящее время они проводятся эпизодически. Полученные в ходе этих работ материалы не систематизированы и не обобщены в полной мере.

Данные по результатам наблюдений морских птиц с судов, вертолетов и самолетов-лабораторий в Печорском море, выполненные специалистами ММБИ, ПИНРО и ААНИИ в 1990-х годах представлены в монографии [Краснов и др., 2002]. В настоящее время проводятся отдельные не всегда скоординированные исследования рядом институтов (ММБИ, ПИНРО, ААНИИ и др.) по академическим программам, программам инженерно-экологических изысканий для отдельных проектов освоения месторождений в Баренцевом море или проектов строительства тех или иных сооружений на побережье Мурмана. Наблюдения выполняются в основном в крупных колониях и с борта судов. В отдельные годы, при финансировании с норвежской стороны, выполнялись вертолетные наблюдения за

морскими птицами на побережье Мурмана и Печорского моря [Краснов и др., 2002; 2004a; 2006; 2008; 2010]. Собран большой и важный материал об орнитофауне Баренцева моря, но единого подхода (единой программы и методологии для всех участников) к этим исследованиям на данном этапе нет.

4.3 Методические вопросы наблюдения авифауны в открытых районах моря с борта самолета-лаборатории

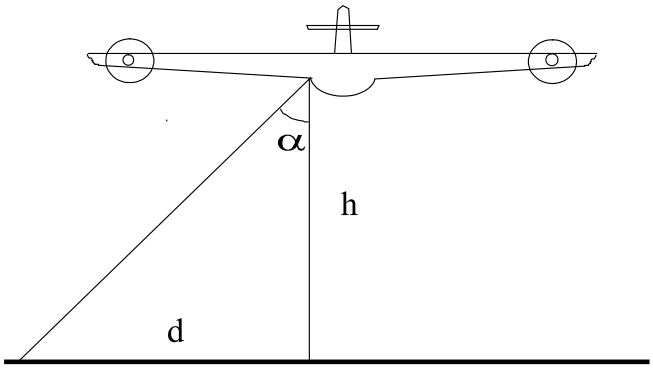
Мониторинговые наблюдения за авифауной на больших акваториях морей наиболее репрезентативны, если их проводить не с судов, а с борта самолета-лаборатории. Опыт и методика таких авиаучетов птиц и морских млекопитающих Баренцева моря подробно изложен в статье [Краснов и др., 2004b]. Разработка методики проведена ММБИ КНЦ РАН, ПИНРО и ААНИИ в ходе совместных исследований, выполненных на большей части открытых акваторий Баренцева моря и в отдельных районах Норвежского и Гренландского морей и осенний периоды 1994, 1995, 1997 и 1999 гг.

Самолеты-лаборатории и объем выполненных наблюдений. Авианаблюдения за морскими птицами и млекопитающими осуществлялись с борта самолетов Ил-18 Д “Помор” и Ан-26 БРЛ. Учет птиц проводили через выпуклые иллюминаторы (блистеры) под углом 45° от надира (влево или вправо от направления полета) 1–2 (по разным бортам) наблюдателя (рисунок 4.1). На самолете Ил-18 Д скорость полета составляла 320–380 км/ч (90–110 м/с), рабочая высота 100–200 м, на Ан-26 БРЛ – скорость 235–370 км/ч (65–100 м/с), высота 80–370 м.

Стандартное оснащение указанных выше самолетов-лабораторий состоит из навигационной спутниковой системы, аппаратуры дистанционного зондирования, работающей в видимом, инфракрасном и радиодиапазонах электромагнитных длин волн. В процессе визуальных наблюдений учитывали морских млекопитающих и птиц с максимально возможным определением систематической принадлежности и одновременно регистрировали косяки рыб, наличие и характер загрязнения морской поверхности. Полученные в автоматическом режиме данные заносятся в протокол полета наряду с другой информацией, поступавшей с борто-

вых навигационного и измерительного комплексов (время, координаты, скорость и высота полета, данные курсового указателя).

Специалистами ПИНРО и ММБИ был выполнен большой объем исследований, основные результаты которых отражены в публикациях [Краснов, Черноок, 1999; Краснов и др., 2004b], в диссертации В.И Черноок [2001], в монографии [Краснов и др., 2002].



α = 45°,
h = 80–370 м,
d – ширина учетной полосы

Рисунок 4.1 – Схема расположения учетной полосы [Краснов и др., 2004b]

Особенности наблюдений разных видов птиц с самолета-лаборатории. Наблюдения, идентификация и учет птиц разных видов с борта самолета-лаборатории имеют свои особенности: отдельные виды птиц идентифицируются с трудом [Краснов и др., 2004b].

В открытых районах моря при любом освещении с высоты 100–200 м и при скорости полета 250–350 км/ч хорошо обнаруживаются и определяются до вида ***крупные и средние светлоокрашенные птицы:*** глупыш (*Fulmarus glacialis*), северная олуша (*Sula bassana*), серебристая (*Larus argentatus*) и морская чайки (*Larus marinus*), бургомистр (*Larus hyperboreus*), моевка (*Rissa tridactyla*). Обнаружить и опознать ***контрастно окрашенных птиц***, таких как кайры, тупик (*Fratercula arctica*), гагарка (*Alca torda*), гораздо сложнее. ***Темноокрашенные птицы*** – чистик (*Cepphus grylle*) и поморники — обнаруживаются с трудом при любых режимах полета и условиях освещения. При учете ***уток*** уверенно опознаются самцы трех видов гаг: обыкновенной (*Somateria mollissima*), гребенушки (*Somateria spectabilis*) и стеллеровой (*Polysticta stelleri*), в том числе и в скоплениях неполовозрелых и линных птиц. Самцы синьги и турпана (*Melanitta nigra* и *Melanitta fusca*), благодаря характерному черному оперению, легко обнаружива-

ются при любых условиях наблюдения, но видовую принадлежность, как правило, удается определить лишь у летящих особей.

На эффективность учета значительное влияние оказывают гидрометеорологические условия наблюдений: характер облачности, наличие солнечного освещения, тумана и дымки, волнение моря и скорость ветра, ледовая обстановка. Птицы большинства видов активно стремились удалиться от самолета и нередко выходили за пределы учетной полосы еще до приближения машины. Но описанные в литературе различия в поведенческих реакциях турпана и синьги на низколетящие (30–80 м) летательные аппараты [Pihl, Frikke, 1992], в случаях учета с Ан-26 БРЛ при оптимальной высоте полета в 150 м, не проявляются.

Количественный учет. Рассматриваемый далее трансектный учет с фиксированной полосой наблюдений позволяет получить количественные данные (обилие животных на единицу площади, т.е. плотность).

Сравнение учета авифауны с судна и с борта самолета-лаборатории. Для учетов морских птиц и млекопитающих на морских акваториях обычно применяются суда, самолеты и вертолеты. Вертолет используется, главным образом, для локальных обследований и учетов вдоль береговой полосы, для работы на открытых акваториях основными средствами являются суда и самолеты [Komdeur et al., 1992]. История применения авиационных средств для учетов птиц насчитывает около полувека [Исаков, 1952; Кищинский, 1973]. Поскольку в мировой практике используются исключительно легкие самолеты, районы исследований обычно ограничиваются акваториями озер, заливов и проливов, прибрежными водами [Кузьмин и др., 1984; Webb et al., 1990]. Для открытых акваторий традиционные методы исследования морской авифауны преимущественно связаны с судовыми наблюдениями [Mehlum, 1989; Camphuysen et al., 1995] для которых были разработаны стандартизированные методики [Tasker et al., 1984; Gould, Forsell, 1989]. Первая попытка мониторинга птиц на больших удаленных акваториях с воздуха была предпринята с борта самолета-лаборатории в начале 90-х годов [Боркин и др., 1992]. Однако стандартизированный подход к учетам птиц море с машин такого класса был выработан гораздо позднее [Краснов и др., 2004b].

Преимущества и недостатки учетов с борта самолетов-лабораторий. Учеты с судов позволяют получить гораздо более точные данные о видовом составе и половозрастной структуре наблюдаемых группировок птиц, чем с борта самолетов. Однако, при судовых наблюдениях исследователь сталкивается с рядом принципиальных трудностей. Так, при этом невозможно оперативно определить численность и распределение животных на обширных площадях.

Наиболее распространенные методики судовых учетов предусматривают непрерывную регистрацию наблюдаемых объектов [Mehlum, 1989]. При этом получаются данные не о плотности распределения (количестве особей на единицу площади), а о потоке (количестве особей на единицу протяженности или продолжительности маршрута), что обусловлено разной вероятностью попадания в полосу учета движущихся животных (летящих птиц) и птиц, сидящих на поверхности воды или на льду. Как показали специальные исследования [Franeker, 1994], ошибка в величинах расчетной плотности в среднем составляет 180 %. Размах ошибки варьирует в зависимости от поведения животных, скорости судна и условий наблюдений, и достигает иногда 500 %. Таким образом, метод судовых учетов с непрерывной регистрацией объектов не пригоден для определения абсолютных величин плотности или численности (обилия). В этом отношении авиаучеты лишены указанных недостатков, поскольку скорость движения самолета значительно превышает скорость движения наблюдаемых объектов.

Другая трудность при проведении судовых учетов связана с влиянием судна на поведение птиц. Это касается учета птиц, следующих в кильватере (глупыши, чайки), а также некоторых птиц (например, тупики), привлекаемых движущимся судном. В струях кильватерного следа крупного промыслового судна порой скапливается до нескольких тысяч птиц. Протяженность таких стай может составлять 2–3 км [Краснов, Черноок, 1999]. При этом сложно разграничивать птиц, следующих за судном в кильватере, и птиц, встреченных на маршруте. Особые трудности возникают при трансектных методах учета птиц с судна, когда необходимо зарегистрировать особей, совершающих неоднократные круговые облеты судна, и птиц, обогнавших судно и поджидающих его, сидя на воде. Авиаучеты позволяют

полностью избежать перечисленных трудностей. И они, по-видимому, являются единственным способом получения корректной информации о численности на акватории птиц-кильватерников.

При работе в полярных морях, покрытых льдами, возникают и дополнительные сложности, связанные с учетами. Во-первых, движение судна по строго заданному курсу и с относительно постоянной скоростью не всегда возможно из-за меняющейся ледовой обстановки. При движении в тяжелых льдах скорость слишком низка, судну нередко приходится совершать движение в обратном направлении, что вынуждает прекращать учеты. Кроме того, нарушение ледяного покрова, возникающие разводья и каналы во льду, привлекают ряд птиц к судну (глупыши, поморники, чайки).

Обширные мелководья, особенно характерные в районе наших исследований для юго-восточной части Баренцева моря, делают невозможным учеты с судов. Это, по-видимому, и послужило причиной того, что многочисленные скопления морских уток в Печорском море не попадали в поле зрения учетчиков до проведения указанных работ по следованиям с борта авианосителей.

Среди основных недостатков предлагаемого метода авиаучета – ограниченный видовой состав наблюдаемых объектов. Тем не менее, авиаучетами с борта летающих лабораторий охватываются почти все приоритетные с точки зрения регионального мониторинга виды (за исключением люрика), а для глупыша, по-видимому, это вообще единственный способ получения адекватных данных о количественном распределении.

Описываемый метод относится к категории трансектных учетов с фиксированной полосой (наблюдения через блистер) и, следовательно, позволяет получать количественных данных о животных, распределенных дисперсно и агрегировано. Для первых предлагаемый метод почти идеален. При достаточном покрытии площади учетами возможно получение оценок по общей численности массовых, дискретно распределенных видов (моевки, глупыши), что будет показано далее.

Совмещение авиаучетов с работой судов, выполняющих съемку 0-группы промысловых рыб по международной программе, дает возможность определить,

как размещение отдельных видов птиц зависит от характера распределения их объектов питания. Используя результаты осенней авиасъемки 1995 г., было показано наличие связи между пространственным распределением гренландского тюленя, моевки, кайр и мойвы (*Mallotus villosus*) в центральных районах моря, тех же видов животных и сайки (*Boreogadus saida*) – в восточных районах моря [Краснов, Черноок, 1996].

4.4 Оценка численности птиц в открытой части Баренцева моря по авианаблюдениям. Сравнение с численностью гнездовых пар

До настоящего времени практически не было оценок реальной численности морских и водоплавающих птиц полученных на основе результатов учетов на обширных пространствах морских акваторий Баренцева моря. Следует отметить, что прямое использование полученных плотностей авифауны, рассчитанных по результатам учета (общее число зарегистрированных птиц, деленное на площадь акватории, которая наблюдалась во время учета) не может считаться корректным. Такой подход означает, что принимается модель равномерного распределения птиц для всей исследуемой акватории. Необходимо применять статистический подход, опирающийся на достаточно обоснованные предположения, и позволяющий, при этом рассчитывать и погрешности оценок численности.

Для расчета численности птиц над акваторией моря нами был использован метод, разработанный Н.Г. Челинцевым [Челинцев, 1989; 1992; 2000]. В настоящее время это, по-видимому, наиболее совершенный и универсальный метод получения оценок численности населения (птиц, животных...) на какой-либо территории по результатам выборочного учета. Вместе с тем, как и любой метод, метод Н.Г. Челинцева имеет пределы применимости. Приведенные ниже расчеты для восточной части Печорского моря были первой попыткой оценки численности птиц над такой обширной морской акваторией и были опубликованы в [Краснов и др., 2002]. Расчеты численности над большей частью акватории Баренцева моря по результатам авианаблюдений 1997 года были сделаны позднее [Шавыкин, Краснов, 2013].

4.4.1 Результаты авиаучета и оценки численности морских птиц

Исходные данные. В сентябре 1997 г. (10.09 – 23.09) специалистами ПИНРО и ММБИ были проведены наблюдения и учет орнитофауны на обширной акватории Баренцева моря. Схемы маршрутов полета и распределение численности учитываемых птиц вдоль маршрута представлены на рисунках 4.2 и 4.3. Там же показаны границы района, для которого оценивалась численность орнитофауны и границы полигонов, на которые был разделен весь район при расчетах.

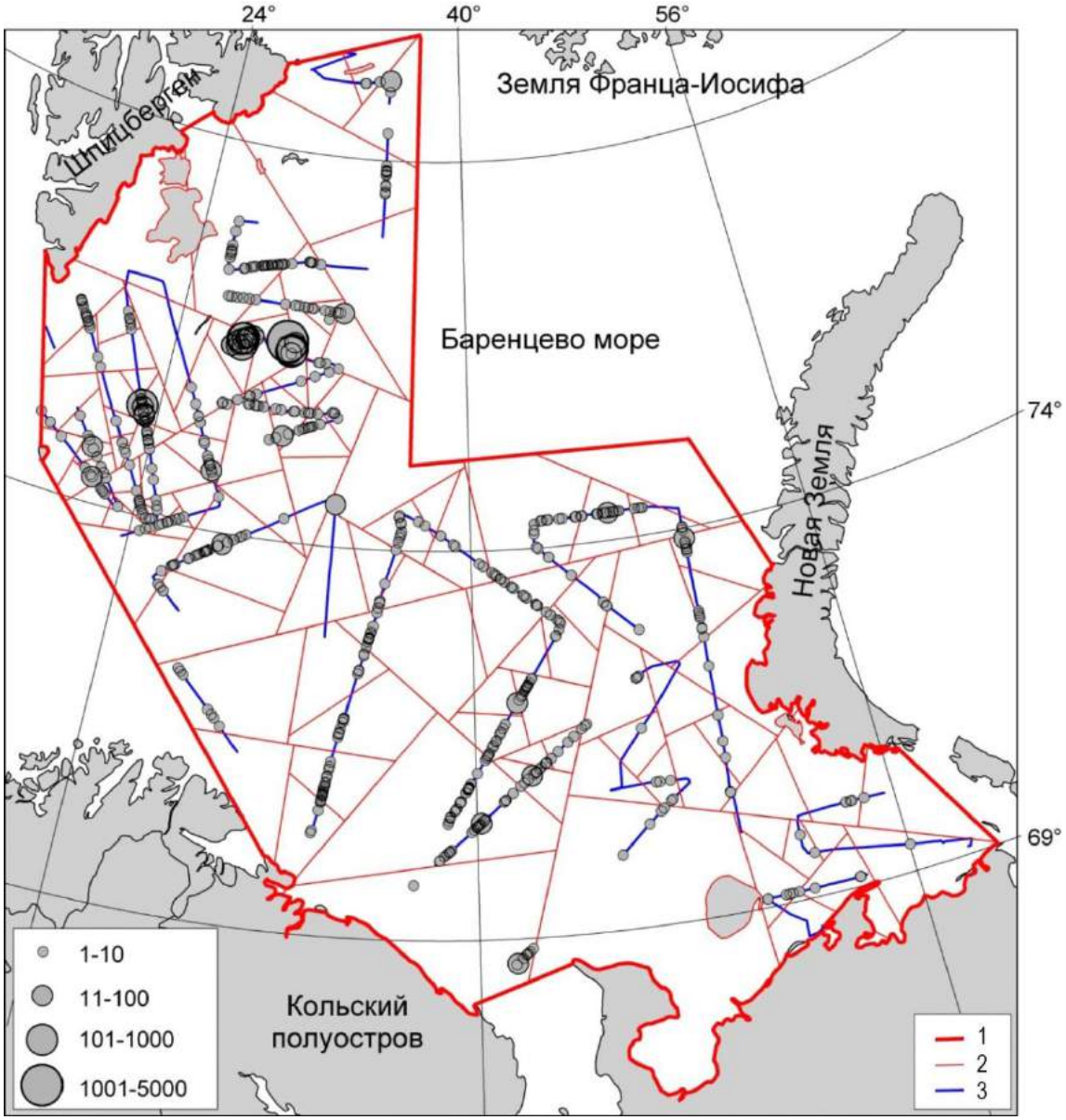
Расчеты численности птиц [Шавыкин, Краснов, 2013] выполнялись с использованием программы Map Viewer 7. Была выбрана коническая равновеликая проекция Альберса (главные параллели: 78.2964 с.ш. и 69.052 с.ш.; главный меридиан – 38.525 в.д.). На картосхемах показана та часть маршрута полета, высота которой не превышает 200 м. Для расчетов использовалась методика Н. Г. Челинцева – алгоритм адаптивного деления (описание алгоритма – см. Приложение Д, подробнее – в [Челинцев, 2000]). Была оценена общая численность четырех наиболее массовых видов морских птиц, наблюдавшихся в этом районе: моевки, глупыша, кайры и поморника. Ниже приводятся детальные результаты расчета для двух видов – моевки и глупыша.

Моевка. Размер популяции в Баренцевоморском регионе оценивается в **900 000**, доля от мировой популяции 11 – 15 %, популяционный тренд: численность относительно стабильна. Мировая численность моевки очень велика, около 6 – 8 млн пар, но точных данных для многих регионов нет. Около половины мировой популяции гнездится в Баренцевом море, Исландии и на Фарерских островах [Состояние популяций…, 2003] – рисунок 4.4.

Моевки кормятся обычно в стаях, собирая корм с поверхности моря или в прилегающих слоях. Основной пищей служат беспозвоночные и мелкая рыба (до 15–20 см). В настоящее время существует настоятельная необходимость в сборе как можно большего количества данных о географических и сезонных изменениях в питании моевки, особенно вне периода размножения. Эти данные важны при разработке многовидовых моделей по исследованию рыболовства [Там же].

Результаты наших расчетов численности моевки по методу Н.Г. Челинцева [Шавыкин, Краснов, 2013] – рисунок 4.2:

Общая численность в районе работ: 4 117 152 ≈ **4 100 тыс.**
Односторонний предел нижний: 2 218 982 ≈ 2 200 тыс.
верхний: 6 798 768 ≈ 6 800 тыс.
Двусторонний предел нижний: 1 989 355 ≈ 2 **000 тыс.**
верхний: 7 583 537 ≈ **7 600 тыс.**
относительная статистическая ошибка: 0.352.

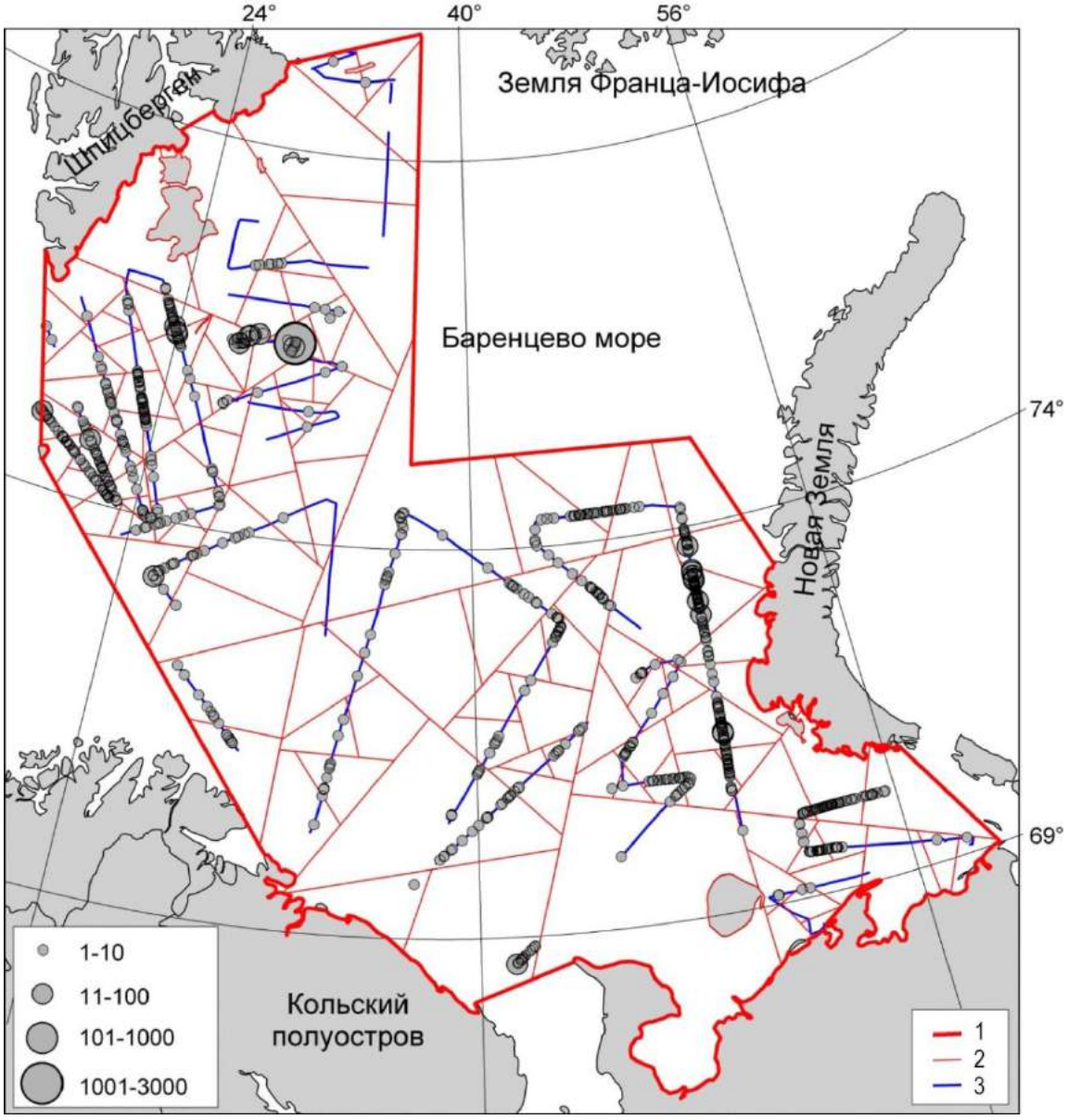


1 – границы района работ; 2 – границы полигонов, на которые разделен весь район и на основе которых проводился расчет общей численности птиц в районе; 3 – маршрут полетов

Рисунок 4.1 – Распределение численности моевки вдоль маршрута полетов в сентябре 1997 г.; (исходные данные наблюдений предоставлены Ю.В. Красновым). Общая численность моевки в районе – 4.1 млн. экз. [Шавыкин, Краснов, 2013]

Результаты расчетов численности глупышей по методу Н.Г. Челинцева [Шавыкин, Краснов, 2013] – рисунок 4.3:

Общая численность в районе работ:		4 829 769 ≈	**4 800 тыс.**
Односторонний предел	нижний:	1 963 495 ≈	2 000 тыс.
	верхний:	9 445 365 ≈	9 400 тыс.
Двусторонний предел	нижний:	1 684 515 ≈	**1 700 тыс.**
	верхний:	11 009 657 ≈	**11 000 тыс**.
относительная статистическая ошибка:		0.508.	



1 – границы района работ; 2 – границы полигонов, на которые разделен весь район и на основе которых проводился расчет общей численности птиц в районе; 3 – маршрут полетов

Рисунок 4.3 – Распределение численности глупышей вдоль маршрута полетов (сентябрь 1997 г(исходные данные наблюдений предоставлены Ю.В. Красновым). Общая численность глупыша в районе 4.8 млн. экз. [Шавыкин, Краснов, 2013]

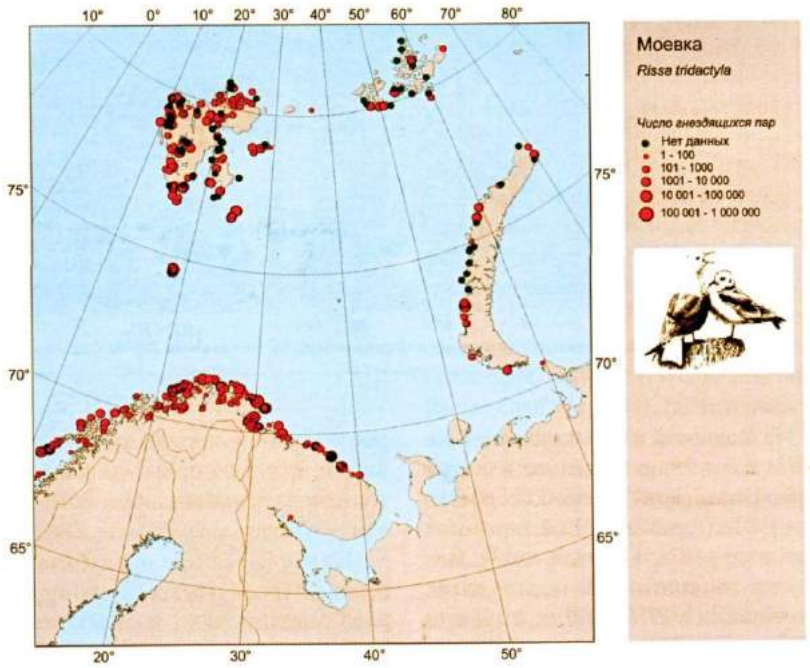


Рисунок 4.4 – Гнездовое распространение моевки в Баренцевоморском регионе [Состояние популяций…, 2003]

Глупыш. Размер популяции в Баренцевоморском регионе оценивается в **100 000 – 1 000 000 пар**, доля от мировой популяции 0.5 – 25 %, популяционный тренд – численность флуктуирует. Мировая популяция глупышей оценивается в 4 – 16 млн пар. Данных о современном состоянии популяции глупыша и тенденциях его изменения в российской зоне Баренцевоморского региона мало – рисунок 4.5 [Состояние популяций…, 2003].

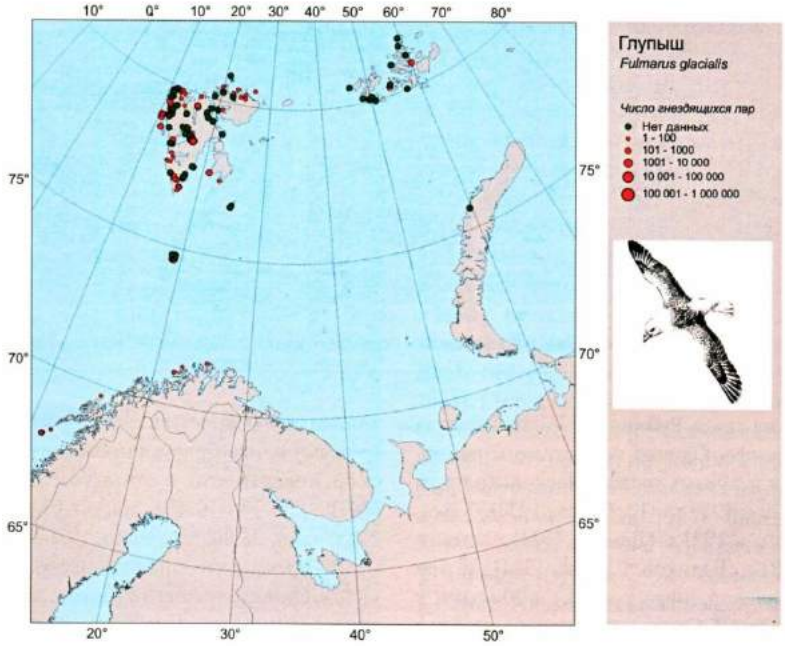


Рисунок 4.5 – Гнездовое распространение глупыша в Баренцевоморском регионе [Там же]

Глупыш потребляет самые разнообразные корма, включая ракообразных, головоногих моллюсков, рыбу и рыбные отходы, пищевые отходы и падаль. Необходимо дальнейшее исследование значения рыболовного промысла в жизни глупышей. Отмечается необходимость оценка смертности птиц при ярусном лове, а также возможное влияние высокого содержания хлорорганических соединений в тканях птиц на их выживаемость и размножение [Там же].

Кайры. ***Толстоклювая кайра*** *(Uria lomvia)* – один из наиболее многочисленных высокоарктических видов морских птиц северного полушария. Численность популяции толстоклювой кайры в Баренцевоморском регионе по учетам в период гнездования в колониях оценивается в **1 750 000 пар**, доля от мировой популяции – 20 %, популяционный тренд – численность относительно стабильна. Рацион толстоклювой кайры состоит в основном из рыбы и ракообразных [Состояние популяций…, 2003].

Тонкоклювая кайра *(Uria aalge)* – самый крупный из современных видов чистиковых. Мировую численность тонкоклювой кайры оценивают в 8–11 млн особей. В настоящее время в Баренцевоморском регионе гнездится около **130–150 тыс. пар** из североатлантической популяции, в том числе около 100 тыс. пар – на острове Медвежий. Тонкоклювая кайра – преимущественно ихтиофаг, ее диету составляют небольшие (до 200 мм длиной) стайные рыб, которых она добывает под водой, ныряя на глубину до 50 м [Там же].

Результаты наших расчетов численности кайр [Шавыкин, Краснов, 2013] В ходе наблюдений с борта самолёта-лаборатории не проводилось различия тонкоклювой и толстоклювой кайр:

Общая численность в районе работ:		1 217 603 ≈ **1 220 тыс.**
Односторонний предел	нижний:	811 115 ≈ 811 тыс.
	верхний:	1 732 522 ≈ 1 730 тыс.
Двусторонний предел	нижний	753 228 ≈ **753 тыс.**
	верхний:	1 865 668 ≈ **1 870 тыс**.
Относительная статистическая ошибка:		0.235.

4.4.2 Обсуждение результатов расчетов численности

Предварительно необходимо отметить, что в сентябре (в период, когда проводились авиаучеты) колонии птиц практически пустеют (хотя и не абсолютно на 100 %) и все морские птицы, как правило, находятся на акватории моря. Поэтому оценки численности морских птиц по наблюдениям с борта самолета-лаборатории должны быть больше, по сравнению с численностью этих же видов птиц по результатам учета пар в колониях. Конечно, это возможно, если осмотрена вся, или большая часть акватории Баренцева моря.

Моевки. По результатам авиаучета на ¾ акватории Баренцева моря для моевки получена общая численность 4 млн. 120 тыс. особей (1997 г.). Общая численность популяции по учетам в колониях составляет 900 тыс. пар или около 1 800 половозрелых особей (оценки по различным годам, в том числе частично для середины 90-х годов), при этом, как уже отмечалось, численность моевки относительно стабильна [Состояние популяций…, 2003].

Следует учесть, что в район учета не вошли северо-восток Баренцева моря – Земля Франца Иосифа и северная часть Новой Земли (см. рисунок 4.2 и 4.4), – где находятся достаточно много колоний моевки. В район учета не вошел также участок вблизи северной оконечности Скандинавии и участок вблизи норвежского побережья севернее 67° с.ш. Поэтому можно утверждать, что реальная оценка численности моевки в границах всего Баренцева моря (что чуть меньше площади Баренцевоморского региона) в этот период была, скорее всего, близка к **4.5 – 5 млн особей,** и оценки численности пар по наблюдениям в колониях дают, вероятно, несколько заниженный результат. *Учитывая такую численность моевки можно утверждать, что ее влияние на рыбные запасы может быть весьма значимым и должно учитываться в моделях межвидового взаимодействия, как это и отмечается авторами в* [Состояние популяций…, 2003].

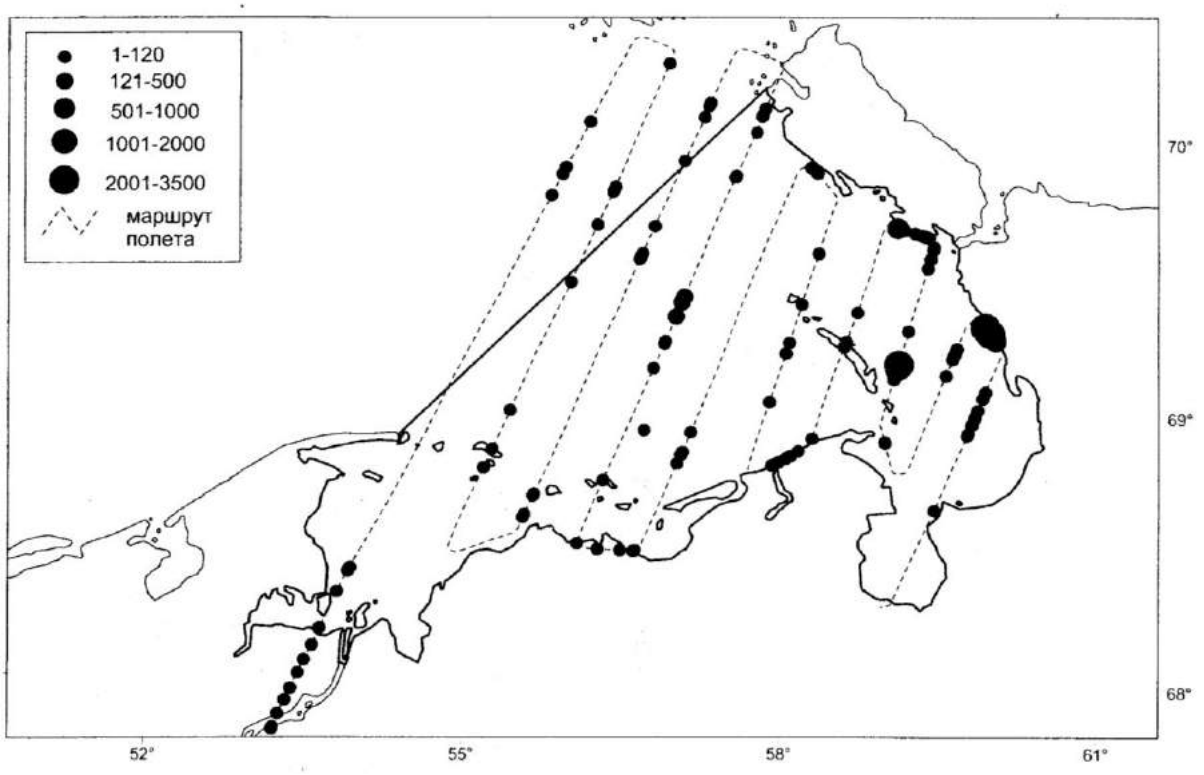
Глупыши. Учет на ¾ акватории Баренцева моря – 4.83 млн особей (рисунок 4.5). Численность популяции (гнездящихся пар) – 100 000 – 1 000 000 (рисунок 4.3). Таким образом, имеется большая неопределенность в численности глупышей по числу гнездящихся пар (до 2 млн половозрелых особей). Но можно также

утверждать, что для учета в колониях (рисунок 4.5), скорее всего, на период, приведенный в [Там же], дан существенно заниженный результат. И общая численность глупыша в границах Баренцева моря в сентябре 1997 г., вероятно, составляла **около 5 млн особей.** *Численность этого вида птиц также важна для расчетов рыбных запасов по моделям межвидового взаимодействия.*

Кайры. Оценка по аваиучету – 1 млн 220 тыс. особей, по учетам в колониях – 1 млн 750 тыс. пар толстоклювой кайры и 130 тыс. пар – тонкоклювой, или всего около 3.8 млн половозрелых особей. Численность относительно стабильна. Как и в предыдущем случае, здесь существенную роль сыграл пропуск районов вблизи севера Новой Земли и у ЗФИ. Но основное различие связано, как нам представляется, с тем, что толстоклювые кайры в колониях на Шпицбергене – 850 тыс. пар (см. таблицу в [Там же]) не обязательно должны в этот период находиться в Баренцевом море: это может быть, скорее всего, Гренландское и, частично, Норвежское моря. Именно это и приводит к таким существенным расхождениям в оценки численности этого вида птиц. Для корректного сравнения необходимо учитывать модель распространения кайр в районе Баренцева, Гренландского и Норвежского морей.

4.5 Оценка численности морских птиц в восточной части Печорского моря по результатам авианаблюдений

Исходные данные для расчетов. Для расчетов численности использованы данные, полученные специалистами ММБИ и ПИНРО в ходе одного полета, выполненного 5 октября 1999 г. (рисунок 4.6). Район, для которого проведена оценка численности, расположен в восточной части Печорского моря и ограничен береговой линией и линией соединяющей мыс Русский Заворот и восточную оконечность о. Вайгач (рисунок 4.6). Была оценена общая численность нескольких отдельных видов и групп птиц: бургомистра, синьги и турпана (совместно), глупыша, гаги малой (стеллеровой), гаги обыкновенной и гаги-гребенушки (совместно), западно-сибирской чайки, кайры.



Жирная линия – район, выделенный для оценки в нем общей численности птиц

Рисунок 4.6 – Маршрут полета 5 октября 1999 г., результаты наблюдений во время полета численности всех видов морских и водоплавающих птиц (экз.) и район учета [Краснов и др., 2002]

Результаты расчетов общей численности птиц нескольких видов детально представлены в таблицах в монографии [Краснов и др., 2002] и в Приложении Д. Сводные итоговые результаты расчетов показаны в таблице 4.1 На рисунках 4.7 и 4.8 показано деление всего выделенного района на отдельные полигоны и сектора, по результатам которого и проводился нами расчет численности птиц.

Таблица 4.1 – Результаты расчета численности морских птиц в восточной части Печорского моря по материалам съемки 05 октября 1999 г. [Краснов и др., 2002]

Вид	Численность в районе	Односторонние пределы		Двусторонний предел		Относит. стат. ошибка
		нижний	верхний	нижний	верхний	
Бургомистр	3 580	6 300	1 740	7 140	1 540	0.41
Синьга и турпан	41 200	73 500	19 600	19 600	83 500	0.42
Глупыш	2 500	5 440	826	6 540	687	
Гага малая (стеллерова)	175 000	420 000	46 800	520 000	378 000	

Вид	Численность в районе	Односторонние пределы		Двусторонний предел		Относит. стат. ошибка
		нижний	верхний	нижний	верхний	
Гага обыкн. и гребенушка	1 930 000	4 410 000	572 000	5 380 000	469 000	
Западно-сиб. чайка	3 980	9 870	972	12 400	775	
Кайра	2 050	4 080	808	4 780	690	0.53
Результаты для 9 видов птиц	**1 750 000**	**3 130 000**	**830 000**	**3 560 000**	**729 000**	

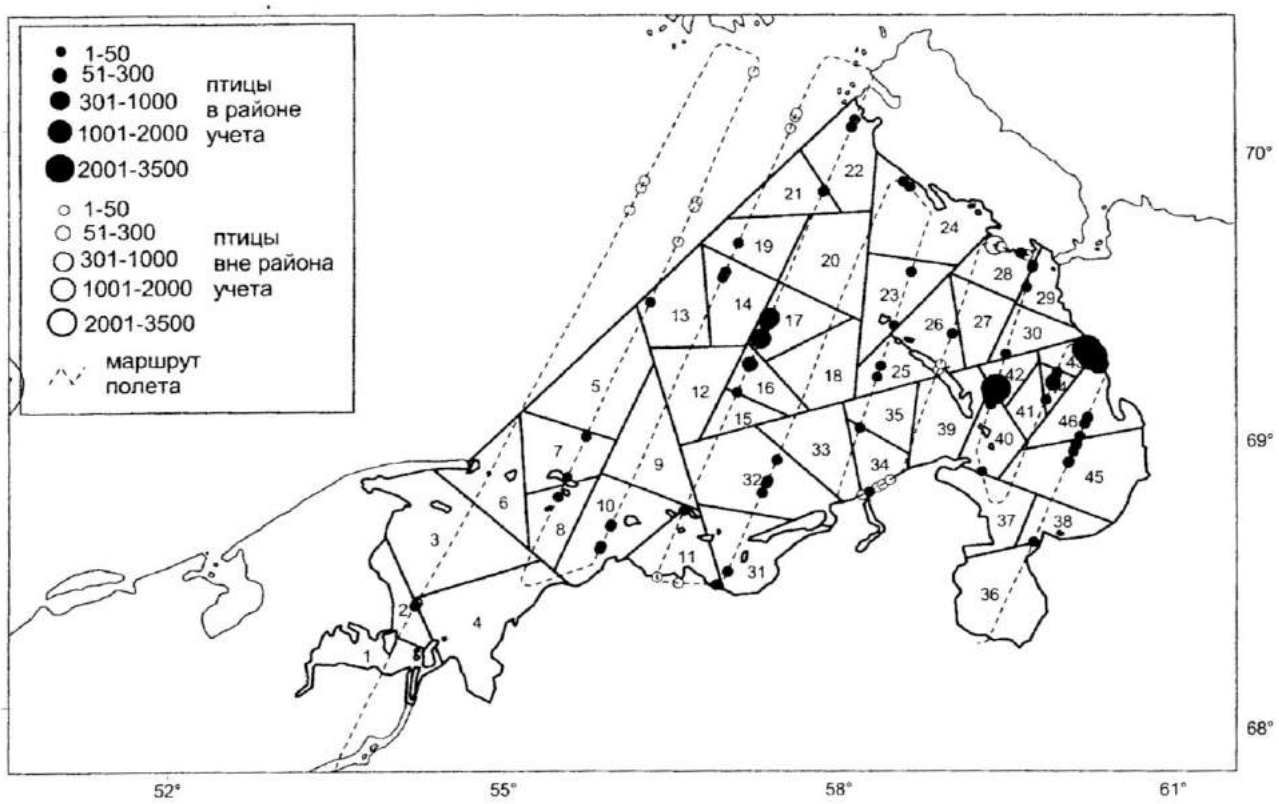


Рисунок 4.7 – Маршрут полета 5 октября 1999 г., результаты учета численности девяти видов морских и водоплавающих птиц (экз.), для которых проводилась оценка общей численности в районе учета, деление района учета на сектора для расчета общей численности птиц [Краснов и др., 2002]

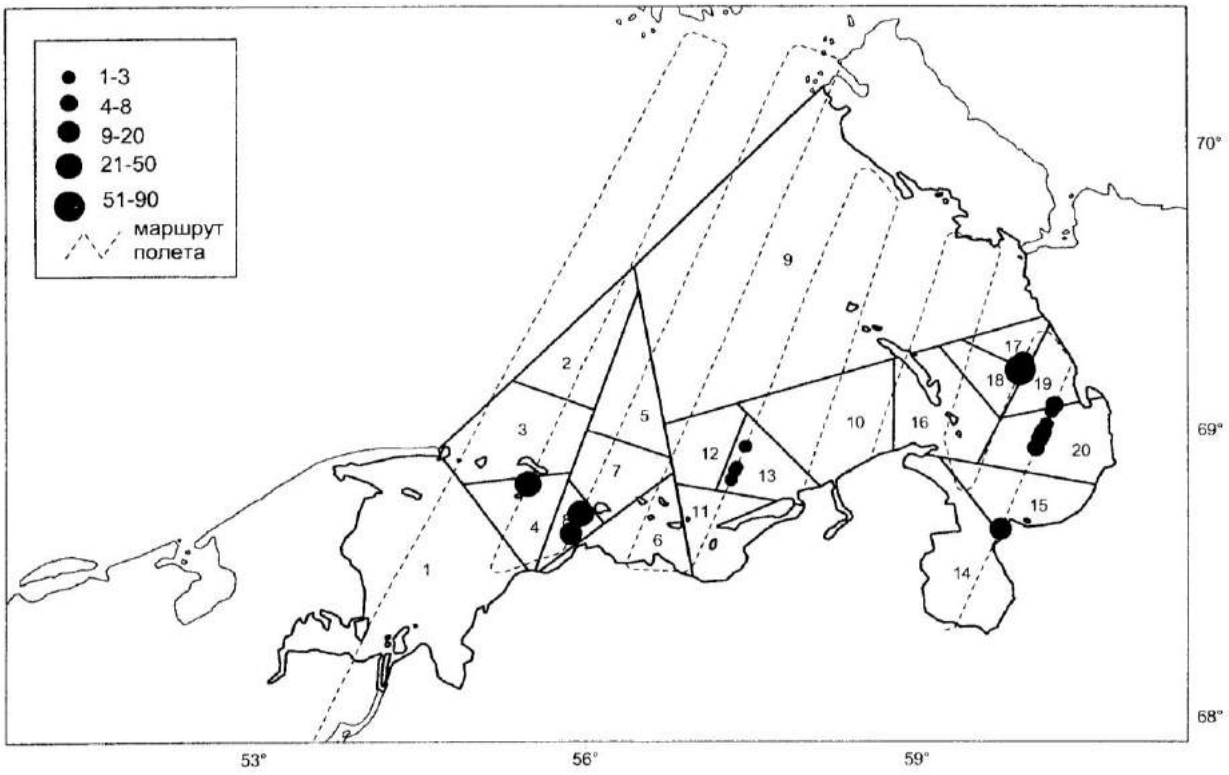


Рисунок 4.8 – Маршрут полета 5 октября 1999 г. и результаты учета численности синьги и турпана (экз.), для которых проводилась оценка численности в районе учета, деление района учета на сектора для расчета численности птиц [Краснов и др., 2002]

Обсуждение корректности полученных результатов расчета. Из приведенных выше расчетов следует, что 5 октября 1999 г. на акватории восточной части Печорского моря общая численность 9 видов морских и водоплавающих птиц могла составлять около 2 млн особей. Но, например, трудно признать корректными результаты расчетов численности гаг трех видов (стеллеровой, обыкновенной и гребенушки). Общая численность зимующей в Европе популяции первого вида максимально оценивается всего в 45 тысяч особей [Scott, Rose, 1996].

По данным спутникового слежения установлено, что подавляющая часть популяции двигается к местам зимовки минуя Печорское море и, по-видимому, на большой высоте [J.O. Bustnes, личное сообщ. Краснову Ю.В.]. Те стаи стеллеровых гаг, которые были зарегистрированы в ходе авианаблюдений 05 октября 1999 г., отражают лишь незначительную видимую часть миграции данного вида. До некоторой степени это же можно сказать и о другом виде морских уток – гаге-гребенушке. Общая численность данного вида на европейском севере России оце-

нивается в 100–150 тысяч птиц. В то же время все особи данного вида, зимующие у побережья Мурмана и фьордов Норвегии, мигрируют через Печорское море и над самой водой, то есть практически вся мигрирующая популяция доступна для визуального учета.

Завышенная оценка численности данных видов морских уток (гаги малой и гаги-гребенушки) получена в силу нескольких причин. Нами не учтены в первую очередь особенности распределения птиц этих видов на выделенной морской акватории. Эти особенности могут быть связаны в первую очередь с чрезвычайно высокой концентрации птиц в стаях и с ограниченностью районов их распространения. Кроме того, как видно из рисунков 4.7 и 4.8, мы получаем сравнительно большие по площади сектора (от 340 до 3000 км^2 при расчетах общей численности всех девяти видов птиц вместе – таблице 4.1 и, как правило, около 1–2 тысяч км^2 – при расчетах общей численности отдельных видов птиц). Это связано с большим расстоянием между трансектами, что в свою очередь приводит к тому, что плотность птиц в пробе экстраполируется на достаточно большую территорию, что не всегда верно при редких встречах плотных скоплений.

Чтобы избежать этого, возможно, следует существенно уменьшить расстояние между трансектами. Однако, до того, как переходить к этому, так же как и к делению всего района на меньшие сектора при расчетах (соответственно, прекращать деление не при 1/100 длины маршрута, а скажем, при 1/200 или еще меньше), необходимо получить оценки размеров участков района, на которых плотность птиц сравнительно постоянна, то есть выявить закономерности пространственного размещения птиц в исследуемых районах. Без такого анализа поведения птиц прямое применение любых самых совершенных статистических методов становится некорректным.

С учетом анализа данных, полученных значений относительных статистических ошибок оценок численности, и значений доверительных оценок нам представляется, что из всех рассчитанных оценок общей численности птиц в районе достаточно корректными могут считаться следующие оценки (таблица 4.2):

Таблица 4.2 – Итоговые результаты расчета численности морских птиц в восточной части Печорского моря по данным съемки 05.10.1999 [Краснов и др., 2002]

Вид	Общая численность в районе	Односторонние пределы нижний	верхний	Относительная статистическая ошибка
Бургомистр	3 580	6 300	1 740	0.41
Синьга и турпан	41 200	73 500	19 600	0.42
Кайра	2 050	4 080	808	0.53

Более подробно анализ методических подходов к расчету и рекомендации по их улучшению приведены в следующем параграфе 4.6.

4.6 Анализ результатов расчетов для Печорского моря и рекомендации по совершенствованию авиаучета орнитофауны

4.6.1 Анализ методики проведения авианаблюдений и алгоритма расчета общей численности птиц

Полученные для восточного района Печорского моря значения численности птиц разных видов (см. § 4.5) характеризуются сравнительно широкими доверительными интервалами и значительной относительной статистической погрешностью оценки численности, на основе которой и рассчитываются указанные доверительные интервалы (относительные погрешности: от 0.41 до 0.69) – приложение Д. таблицы Д.1, Д.2 **(**полные расчеты приведены в [Краснов и др., 2002]).

Анализ таблиц Д.1 и Д.2 показывает, что большие значения доверительных интервалов обусловлены большим значением относительной статистической ошибки оценки плотности $e(\tilde{D}_S)$ для отдельных секторов. Но для каждого из принимаемых вариантов расчета (вариант А или вариант Б) значение $e(\tilde{D}_S)$ определяется в первую очередь разностью плотностей птиц в двух пробах, входящих в сектор (D_1 и D_2. – см. формулы (6.123 и 6.125) в [Челинцев, 2000]). Следовательно, если трансекты отстоят друг от друга сравнительно далеко, а на самой трансекте птицы встречаются редко, то получаемые оценки относительной ошибки будут обязательно большими. Особенно, если встречаются отдельные очень

крупные стаи. Возможно, если мы имеем по результатам учета всего около десятка или меньше групп птиц во всем районе, то сам расчет становится некорректным. То есть метод перестает работать. Это указывает на необходимость уточнить и методику наблюдений и расчета на основе статистических параметров пространственного распределения птиц в исследуемом районе.

Возможные причины этого: особенности пространственного распределения птиц, некоторые аспекты методики проведения наблюдений и/или алгоритма расчетов. Вопрос оптимизации выборки на учетной территории с целью минимизации статистической погрешности экстраполяции подробно с математической точки зрения рассмотрен Н.Г. Челинцевым [2000]. Вопрос имеет несколько аспектов.

Первый. **Влияние размера выборки на относительную погрешность оценки общей численности птиц.** В общем случае для одной страты или для всей территории, если страты не выделяются, ожидаемый квадрат относительной статистической погрешности оценки численности $C^2(\tilde{N})$ при прочих равных условиях уменьшается при увеличении значений объема выборки определяющего объем учетных работ и затраты на них. $C^2(\tilde{N})$ обратно пропорционально выборочной площади q. Следовательно, для уменьшения $C^2(\tilde{N})$ в четыре раза необходимо увеличить q также в 4 раза, при этом $C(\tilde{N})$ уменьшится в 4 раза.

В нашем случае объем выборки q равен 201.5 км^2, что составляет 0.64 %. По такой малой выборке, встретив всего 23 птицы (12 групп) мы оцениваем численность бургомистра в районе учета в 3 580 экз.

Для синьги и турпана – соответственно, 355 птиц (27 групп) и итоговая оценка – 41 200 экз. Для гаги обыкновенной и гаги-гребенушки ситуация наиболее “контрастная” – 9 групп, но это были очень большие скопления, одно – около 100 птиц, одно – около 800 экз. и шесть – по 1.0–3.5 тыс. птиц в скоплении. По этим девяти встречам оценка общей численности птиц в районе учета составила 1 млн 930 тыс. экз. Т.о., при заданных условиях распределения птиц на территории, мы смогли получить оценку численности с относительной погрешностью только более 40 %. Отметим, что оценка численности с относительной погрешностью около 20–30 % в подобных исследованиях могла бы быть признана хорошей.

При принятом расстоянии между галсами (и, соответственно, при заданном соотношении “площадь выборки/площадь всего района учета”, т. е. q/Q) в другие дни распределение птиц в районе могут быть и “лучше” и “хуже” с точки зрения качества конечной оценки численности. Чтобы улучшить качество конечной оценки (увеличивая размер выборки) можно использовать следующее:

1). Увеличить высоту полета. Увеличение высоты полета приводит к пропорциональному увеличению ширины полосы обзора (ширина полосы обзора в нашем случае равна высоте полета). Однако, как показал анализ результатов наблюдений на разных высотах, высота в 150 м является оптимальной [Краснов и др., 2004b]. При большой - усложняются условия видового определения птиц.

2). Вести наблюдения с двух бортов. Можно в 2 раза увеличить полосу учета (со 150 до 300 м), если подсчет птиц вести двумя наблюдателями с двух бортов. Вероятно, это самый важный и необходимый способ, который должен по возможности всегда реализовываться. При этом (при прочих равных условиях) $C^2(\tilde{N})$ уменьшается в 2 раза, а относительная погрешность $C(\tilde{N})$ – в $\sqrt{2}=1.4$ раза, уменьшается и доверительный интервал для конечной оценки, т. е. повышается ее качество. При использовании наблюдения одновременно с двух бортов, необходимо учитывать степень квалификации наблюдателей. Из практики таких учетов известно, что пренебрежение подобной “мелочью” может обусловить частичную или даже полную несопоставимость данных, полученных с разных бортов.

3) Сделать галсы более частыми. Этот способ приводит к увеличению полетного времени и удорожанию съемки. Но можно увеличить выборку не во всем обследуемом районе, а в отдельных частях. Это подводит нас ко второму аспекту.

Второй. **Оптимизация выборки с учетом плотности птиц в отдельных районах (стратах).** При размещении выборочных проб на заданной территории, имеющей *t* частей (районов, страт) с различной плотностью населения учитываемого вида, возникает задача оптимального распределения проб по этим частям так, чтобы минимизировать статическую ошибку экстраполяции. В нашем случае это относится в большей степени к учету синьги и турпана, а также гаги обыкновенной и гаги-гребенушки. Погрешность для синьги и турпана на акватории Пе-

чорского моря соответствующей полигонам 2, 5 и 9 (все целиком или их большей части) близки к нулю, так как глубина моря здесь больше 20–30 м.

Аналогичная ситуация с гагой. Известно, что гага обыкновенная не выходит за изобату 10 м, а гага-гребенушка – за изобату 30 м. Для морских птиц (в нашем случае – для бургомистра) распределение их по акватории в первую очередь определяется гидрологическими условиями в Печорском море и распределением их кормовых объектов (в данном случае рыбными скоплениями). Таким образом, существуют вполне объективные физические границы, по которым можно выделить несколько районов (страт) с заранее ожидаемой различной погрешностью оценки численности населения. В этом случае возможны два варианта оптимизации при прокладке маршрута полета, при которых наблюдается минимум дисперсии численности птиц [Челинцев, 2000]. Если заранее известно, что в том или ином j-ом районе (страте) ожидается большая плотность птиц, то в этом районе необходимо увеличивать выборку (делать маршруты чаще – ближе друг к другу) пропорционально $\sqrt{D_j}$ – первый вариант, или пропорционально $D_j\sqrt{\lambda_j}$ (D_j при примерно одинаковых значениях λ_j) – второй вариант. Однако надо учитывать тот факт, что при съемке ведется подсчет сразу нескольких видов птиц (до 10 и более), для которых зоны их повышенной плотности не совпадают. Поэтому при планировании полетов увеличение густоты маршрута в каких-либо отдельных районах за счет ее уменьшения в других вряд ли целесообразен.

Третий. **Учет особо крупных скоплений и птиц в этих скоплениях.** Очень важным является случай, когда встречаются особо крупные скопления птиц (до нескольких тысяч в стае). В Печорском море это имеет место для гаги-гребенушки (и в некоторых случаях – синьги). Подобные скопления были выявлены только с использованием авиаметодов [Краснов и др., 2002]. Также следует иметь в виду, что уже при визуальной оценке численности в этих скоплениях в ходе полета неизбежна ошибка в 20–40 % (не может наблюдатель за несколько секунд точно подсчитать или оценить количество птиц в скоплении). Можно использовать способ “адаптивного сгущения выборки” [Thompson, 1991]:основное обследование территории ведется по регулярной схеме выборки, а при встрече та-

ких больших скоплений закладывается более густая сеть маршрутов с облетом встреченной агрегации (скопления). Как отмечается [Челинцев, 2000], такая схема “адаптивной выборки” может быть эффективной, если есть гарантия, что при основном обследовании не пропускается некоторая часть агрегации в целом.

С учетом этого, возможны несколько тактик выполнения съемки при встрече в полосе учета или на расстоянии от маршрута больших скоплений птиц.

1). *Проводить тщательное обследование больших агрегаций.* При обнаружении таких больших скоплений птиц (более сотни особей в стае), даже на больших расстояниях от маршрута полета, следует отклоняться от намеченного маршрута и специально проводить съемку (в том числе фото и видео) таких агрегаций. И после обследования очередной агрегации возвращаться на основной маршрут. Их облет удлинит маршрут и частоту выборки именно там, где они встречаются.

2). *Игнорировать видимые вдали агрегации.* При обнаружении больших скоплений вне полосы учета можно игнорировать такие скопления и проводить съемку по принятому маршруту и учитывать только скопления, которые попадаются на маршруте. Нам представляется более правильной первая тактика – с поиском и специальным облетом, по возможности, всех таких больших скоплений.

3). *Отдельный учет птиц в крупных (N > 500) скоплениях.* Возможно, всего существует до 10–30 таких скоплений (500–3500 в каждом). Если даже взять наибольшую численность птиц в скоплении равную 3500, то мы получим всего максимум 105 тыс. птиц этого вида (105 тыс. = 3500·30) на учитываемой акватории и плюс еще примерно 11 тыс. птиц вне скоплений, т. е. всего около 120 тыс. Даже 200 тыс. – это в 10–20 раз меньше, чем дал экстраполяционный расчет (2 млн птиц). При анализе общей численности гаг следует, вероятно, отдельно учитывать крупные скопления. Если есть уверенность, что встречены все такие большие скопления, то их можно, вообще исключить из экстраполяционного расчета, приплюсовав к конечной оценке число птиц оцененных в скоплениях. Но этот вопрос требует проведения дальнейших обсуждений. В любом случае, сделанная оценка общей численности гаг в 1.9 млн вряд ли может быть реальной.

4.6.2 Предложения по организации авиамониторинговых наблюдений морских птиц на примере Печорского моря

Для организации мониторинга авифауны Печорского моря обычная форма исследований в открытых районах моря – судовые учеты птиц – не могут служить надежной основой [Краснов и др., 2004b]. В этой ситуации приемлемой альтернативой является предложенный метод авиаучетов [Краснов и др., 2002]. В этом случае достоверную информацию удается получить для видов, представляющих интерес в качестве объектов регионального мониторинга.

При проведении текущего мониторинга авифауны Печорского моря с учетом всех приведенных выше замечаний необходимо в минимальном варианте проводить съемку всей акватории моря весной и осенью (каждая по 3–4 полета) раз в 3 года; как максимум – 3 съемки весной, летом и осенью (по 4–5 полетов каждая) также раз в 3 года. Оптимальным является 4 полета за съемку, так как в силу погодных или иных причин один из полетов может быть “пустым”.

Для получения полной информации о плотности и численности птиц в Печорском море и/или в отдельных его частях необходимо проводить наблюдения с борта самолета-лаборатории типа АН-26, оснащенного специальной бортовой автоматизированной системой, оптимальная высота полета – 150 м, сектор обзора – 45^{o}. Вся акватория Печорского моря может быть обследована минимум примерно за три полета: за каждый из трех дней полета покрывается примерно 1/3 акватории моря. Проводить съемку – параллельными галсами, отклоняясь от маршрута для обследования больших скоплений птиц, после чего возвращаться на маршрут.

При съемке доля обследованной территории должна составлять не менее 1–1.5 % площади территории, для которой проводится учет; как вариант этого: расстояние между параллельными галсами ~ 20–25 км, наблюдения – обязательно двумя (!) специально подготовленными орнитологами.

В настоящее время намечены подходы к оценке общей численности птиц над акваторией Печорского моря и к выполнению мониторинговых наблюдений авифауны этого моря, получены важные результаты, позволяющие ставить вопрос о проведении регулярных наблюдений. Для проведения постоянного мониторинга

авифауны этого моря необходимо решить некоторые вопросы методического и организационного плана. Подобная программа авиаучета птиц совместно с мониторингом в колониях может быть положена в основу мониторинга авифауны всего Баренцева моря.

4.7 Вертолетные исследования распределения морских птиц вдоль побережий Баренцева моря и в Белом море

Важным элементом исследований видового состава, численности, пространственного и временного распределения морских прибрежных птиц, в первую очередь птиц-ныряльщиков, являются наблюдения авифауны вдоль береговой линии с использованием вертолетов. За небольшой промежуток времени такие исследования дают большой объем информации, который трудно или почти невозможно получить из-за недоступности многих районов для наземных наблюдателей. Приведем примеры таких исследований, в которых автор принимал непосредственное участие.

4.7.1 Распределение птиц на побережье Кольского полуострова и на острове Колгуев в позднелетний период 2003 г.

Орнитологические наблюдения проведены с борта вертолета Ми-8 21–25.08.2003 (рисунок 4.9).

Учет птиц выполнен одним наблюдателем при скорости полета 150 км/ч с высоты 50 м прямо по курсу движения в полосе шириной 300 м. Вертолет следовал вдоль береговой линии на удалении 300 – 500 м от уреза воды. Полученная информация с помощью переговорного устройства передавалась оператору компьютера для занесения в протокол полета. Одновременно с данными о видовой принадлежности и численности наблюдавшихся птиц в автоматическом режиме заносились время, координаты и высота полета. В ходе учета второй наблюдатель производил фотосъемку по возможности всех встреченных скоплений птиц.

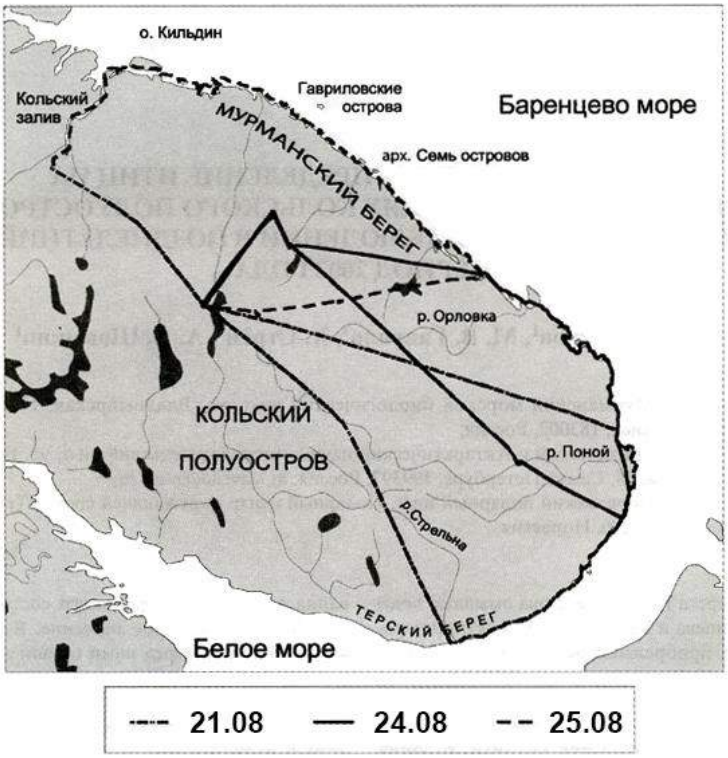


Рисунок 4.9 – Авиамаршруты учетов птиц летом 2003 г. [Краснов и др., 2006]

Результаты этих исследований приведены в публикации [Краснов и др., 2006]. Всего на Терском берегу Белого моря было зарегистрировано 13 764 особи 28 видов птиц, на мурманском побережье Баренцева моря – 23 526 особей 21 вида. Наиболее массовыми оказались два: **обыкновенная** (*Somateria mollissima*) и **сибирская** (*Polysticta stelleri*) **гаги.**

Общая численность обыкновенной гаги составила более 5 тыс., сибирской гаги – более 4 тыс. особей. Размещение обоих видов вдоль побережья заметно различалось. Обыкновенная гага была распределена относительно равномерно (рисунок 4.10) Более 66 % сибирских гаг были встречены в междуречье Стрельна – Поной (рисунок 4.11).

На этом же участке отмечены гаги-гребенушки (*S. spectabilis*). Большая часть уток (все шилохвости, морские чернети, синьга и турпаны, а также 65 % гоголей, 77 % морянок, 60 % больших крохалей) были зарегистрированы на наиболее южном участке маршрута: в междуречье Стрельны и Поной.

Поскольку полевые исследовании проведены нами в последней декаде августа, когда основная масса видов приступила к осенним кочевкам, то полученные

результаты уже не отражают в полной мере характер гнездового размещения морских и водоплавающих птиц у берегов полуострова.

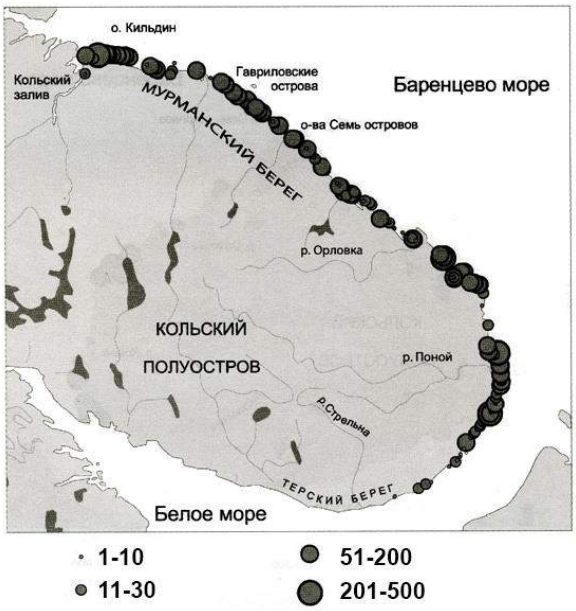


Рисунок 4.10 – Распределение и численность (особи) обыкновенной гаги в позднелетний период у северо-восточного и южного побережий Кольского полуострова по данным авиаучетов [Краснов и др., 2006]

Рисунок 4.11 – Распределение и численность (особи) сибирской гаги в позднелетний период у северо-восточного и южного побережий Кольского полуострова по данным авиаучетов [Краснов и др., 2006]

Позднелетнее распределение птиц на острове Колгуев и его прибрежных акваториях. Данные о численности и характере размещения птиц на о. Колгуев были получены 30–31.08.2003 комбинированным методом при наблюдениях с борта вертолета Ми-8 (рисунок 4.12) и во время наземных маршрутных учетов. Район авиационных наблюдений 30.08.2003 охватывал узкую прибрежную полосу прибрежной морской акватории по периметру острова. Во внутренних районах острова учет с борта вертолета был произведен 31.08.2003, после чего выполнено авиаобследование более мористых участков акватории, прилегающей к южному побережью острова (рисунок 4.12).

Количественный учет с борта вертолета проводил один наблюдатель прямо по курсу движения при скорости полета 150 км/ час с высоты 50 м. Ширина учетной полосы составляла приблизительно 600 м. Два других специалиста проводили осмотр территории через боковые иллюминаторы.

Всего в ходе двух авиаучетов 30–31.08.2003 были зарегистрированы 2 109 особей 17 видов птиц, а во внутренних районах острова 31.08.2003 – 1 419 особей 11 видов. Результаты авианаблюдений 30.08.2003 в прибрежье Колгуева показали, что на морской акватории основные скопления морских птиц сосредоточены на мелководьях у южной части острова (рисунок 4.13).

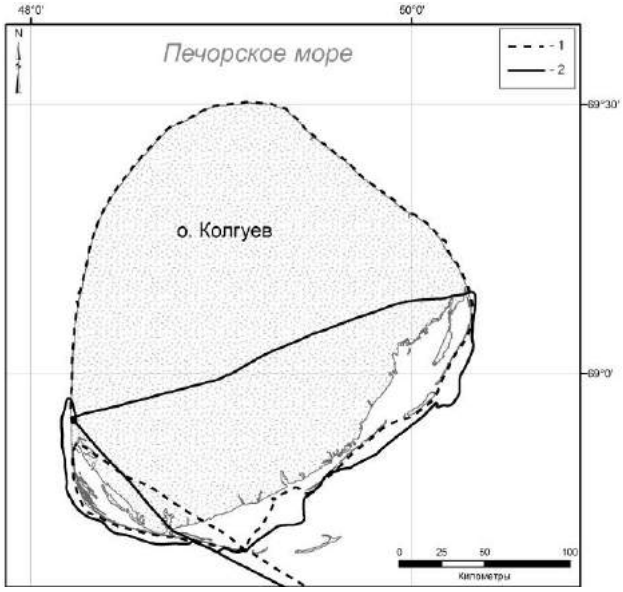
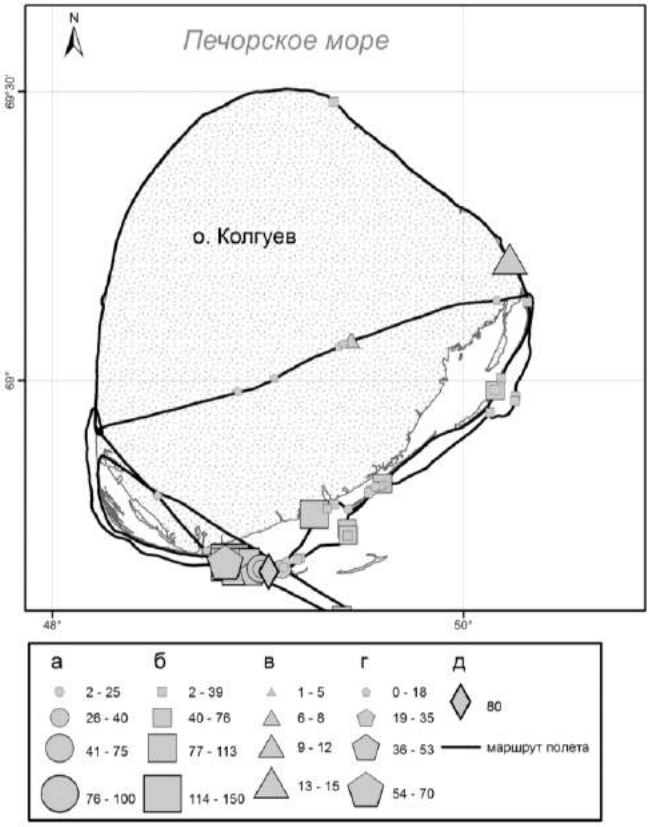


Рисунок 4.12 – Схема маршрута полета **30 (1) и 31 (2)** августа 2003 г. в районе о. Колгуев (Печорское море) [Краснов и др., 2008]



а – крохали (*Mergus spp.*), б – гага-гребенушка (*Somateria spectabilis*), в – морянка (*Clangula hyemals*), г – утки, ближе не определены, д – сибирская гага (*Polisticta stelleri*)

Рисунок 4.13 – Распределение морских уток по данным авиаучетов 30–31.08.2003 [Краснов и др., 2008]

В этом районе, и ранее известном как место концентрации морских уток [Краснов и др., 2002], большинство наблюдавшихся стай принадлежали одному виду – гаге-гребенушке (*Somateria spectabilis*) (рисунок 4.13). Всего учтены 238 особей (22.8 % от общего числа наблюдавшихся птиц). При расширении зоны обследования, в местах массовой концентрации уток в южной части острова, 31.08.2003 число учтенных гаг-гребенушек возросло вдвое. Вторым по численно-

сти был большой крохаль (*Mergus merganser*), который также как и гребенушка, предпочитал более мористые участки прибрежных акваторий (рисунок 4.13). Подробно результаты и их обсуждение см. в статье [Краснов и др., 2008].

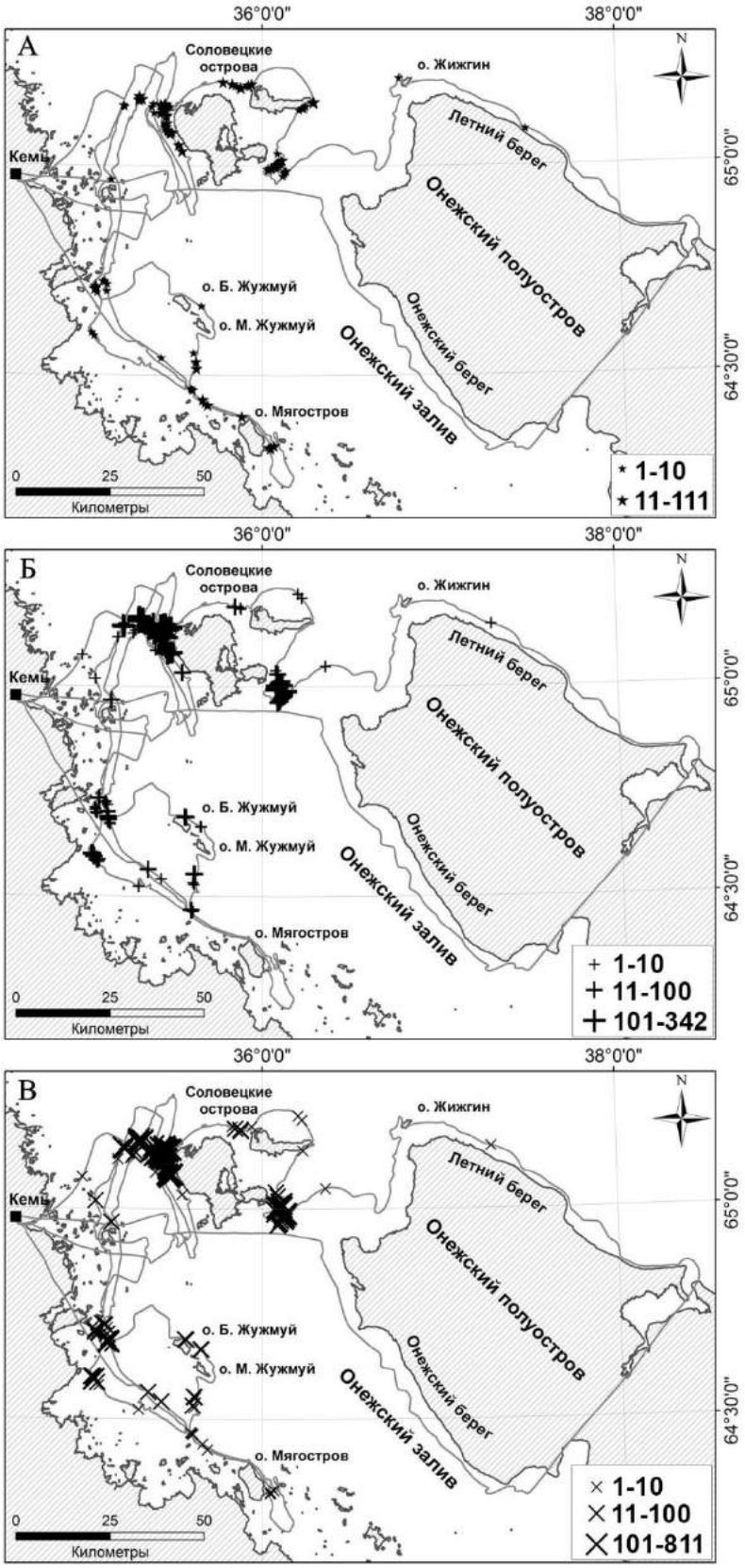
Выявленные особенности распределения водных птиц у побережья о. Колгуев позволяю отчертить наиболее чувствительный и подверженный угрозе нефтяного загрязнения район: южное низменное побережье острова от устья так называемой Первой речки до оз. Песчаного и прилегающее морское мелководье вместе с системой кос и песчаных островов от Западных до Восточных Плоских кошек.

4.7.2 Половозрастная структура эндемичной беломорской популяции обыкновенной гаги

В настоящее время обыкновенная гага – один из самых массовых видов морских птиц Белого моря. В 1980–1990-х годах было установлено, что в западной части Белого моря оседло обитает эндемичная популяция обыкновенных гаг [Бианки, 1993]. Тем не менее, до настоящего времени достоверные данные о демографической (половой) структуре беломорской популяции обыкновенной гаги в литературе отсутствовали [Краснов и др, 2010].

Такие данные удалось получить в ходе вертолетных авианаблюдений [Краснов и др, 2010]. В марте 2009 г., при выполнении количественного учета обыкновенных гаг на акватории Онежского и Двинского заливов с борта вертолета Ми-8, одновременно была проведена фотосъемка обнаруженных скоплений птиц через открытую бортовую дверь, что в дальнейшем позволило установить их половозрастную принадлежность. При прокладке маршрутов авиаучетов были использованы текущие спутниковые снимки ледовой обстановки Белого моря, что позволило максимально полно охватить наблюдениями свободные ото льда участки акватории и, следовательно, выполнить абсолютный учет обыкновенных гаг, зимующих в районе исследования. Крупные концентрации зимующих обыкновенных гаг были найдены нами на мелководьях вблизи Соловецких островов и

в юго-западной части Онежского залива (рисунок 4.14). В полыньях Двинского залива обыкновенных гаг встречали крайне редко.



А – неполовозрелые, Б – самки, В – самцы. Контурная линия – маршрут полета

Рисунок 4.14 – Численность и размещение обыкновенных гаг разного пола и возраста на акватории Онежского залива в марте 2009 г. [Краснов и др, 2010]

В результате их анализа возраст и пол птиц (проведенного специалистами орнитологами) были определены у 39 488 особей обыкновенной гаги, что составляет 77.3 % от общего числа учтенных особей. Соотношение полов и возрастных групп, зимующих в Онежском заливе обыкновенных гаг: самки – 30 %, самцы – 59 %, неполовозрелые – 11 %. В целом эндемичная беломорская популяция обыкновенной гаги, зимующая в западной части Белого моря насчитывала около 15.5 тысяч половозрелых самок и почти 30 тысяч самцов. Количество неполовозрелых особей обоего пола составляло ~ 5.5 тысяч.

Выявленное почти двукратное преобладание самцов над самками, не может быть вызвано некорректностью учетов или нерепрезентативностью выборки. Использованные фотоматериалы позволили с высокой долей точности определять пол и возраст птиц.

Такое нарушение половой структуры в пользу самцов может быть объяснено лишь повышенной смертностью самок. Подробный анализ этой ситуации дан в работе [Краснов и др, 2010]. Здесь же важно было показать, что использование только вертолетных наблюдений позволило выявить такую важную популяционную характеристику обыкновенной гаги – диспропорцию половой структуры.

4.8 Рекомендации по проведению мониторинга морской орнитофауны в Баренцевоморском регионе

Общие замечания по мониторингу птиц в арктических морях, в том числе в Баренцевом море. Мониторинг морских птиц является одним из необходимых элементов общей программы мониторинга экосистем арктических морей (ГЭМ и ПЭМ). Его цель должна состоять в получении корректной информации о реальном состоянии популяций массовых видов птиц, которая, в совокупности с данными, характеризующими состояние других звеньев экосистемы бассейна, может служить основой для прогностического моделирования. В том числе моделировании воздействия птиц на рыбные запасы, что крайне важно для рыбопромыслового прогнозирования. Знание распределения орнитофауны позволяет также учитывать перенос органического вещества птицами, о чем говорилось выше.

К сожалению даже на одном из наиболее изученных арктических морей – Баренцевом море – до сих пор не существует единой системы мониторинга ни в рамках национальных программ, ни на основе международных соглашений между Россией и Норвегией. Поэтому создание и реализация российской программы, обеспечивающей поступление комплекса объективной и сопоставимой информации для всех главных мест размножения, зимовки, линьки и миграционных стоянок птиц в регионе, общей их численности над акваторией моря становится своевременным и актуальным. Существенный вклад в это могут внести нефтегазовые компании, проводя эколого-рыбохозяйственные исследования, производственный экологический мониторинг, в том числе ИЭИ. Все это должно бы реализовываться с учетом концепции экосистемного мониторинга (см. главу 8).

Для дальнейшего изложения и обоснования общей схемы мониторинга морских птиц важно также отметить следующее (о чем частично говорилось в главе 2, более подробно – в главе 8). Наблюдения, оценка и прогноз невозможны в отрыве от создания постоянно пополняемой единой **базы данных** и **математических моделей**, используемых для составления оценок, прогнозов и корректировки программ наблюдений. Сами по себе мониторинговые наблюдения авифауны не решают задач получения корректных оценок и прогноза состояния орнитофауны (и выработки с учетом таких наблюдений управляющих решений), если при этом нет **оценок природных и антропогенных факторов воздействия** на экосистему района мониторинга в целом и на орнитофауну в частности. Для такого подвижного объекта как птицы в нашем случае важен также учет факторов воздействия не только в Баренцевоморском районе, но и во всех других районах, из которых и в которые происходит их миграция.

4.8.1 Основные направления и общий подход к организации экологического мониторинга морских птиц в Баренцевоморском регионе

В рамках российско-норвежского сотрудничества, были предложены единые подходы к созданию унифицированной программы мониторинга морских

птиц в Баренцевоморском регионе [Краснов, Барретт, 2000], однако на сегодняшний день дальнейшего развития в полном объеме они не получили.

В работе [Краснов, Барретт, 2000] предлагалось, чтобы в ближайшем будущем при разработке региональной программы внимание акцентировалось, в первую очередь, на решении следующих первоочередных задач:

1) определение объектов мониторинга;
2) выбор районов, участков, маршрутов наблюдений;
3) определение периодичности наблюдений;
4) выбор характера информации, методов ее сбора и анализа данных.

Поясним детальнее эти задачи, пути их решения и перечислим еще несколько важных с нашей точки зрения задач, относящихся к общим проблемам экологического мониторинга морской орнитофауны баренцевоморского региона и других арктических морей, основываясь на материале [Краснов, Шавыкин, 2005]. Эти пояснения и предложения относятся в целом к общему экологическому мониторингу (его начальному этапу), который включает наблюдения и исследования в рамках и ГЭМ, и ПЭМ и специальных орнитологических исследований.

1). ***Выбор объектов мониторинга.*** Высокое разнообразие морской авифауны и специфические особенности учета отдельных видов определяют практически невозможность мониторинга всего видового спектра птиц Баренцева моря. Поэтому объектами многолетних наблюдений интерес может быть достаточно ограниченное число видов, занимающих различные трофические уровни.

Ранее в пределах Баренцева моря в качестве наиболее подходящих объектов мониторинга были предложены *глупыш, толстоклювая кайра, моевка и обыкновенная гага* [Краснов, Барретт, 2000]. Это многочисленные, легко определимые виды, занимающие различные трофические уровни. Дополнительно, но попутно, должны проводиться наблюдения за всеми другими видами, в том числе за краснокнижными.

2). ***При выборе колоний***, репрезентативных для данного региона, нередко используются процедуры случайного выбора. При этом в Баренцевом море приходится иметь в виду и чисто практические аспекты. Так регулярное посещение

многих известных колоний здесь крайне затруднительно или требует больших финансовых затрат. Тем не менее, необходимо, чтобы широкомасштабная программа мониторинга опиралась на репрезентативную выборку, даже если, в конечном итоге, это приведет к значительным финансовым затратам. Иначе ценность любых других более дешевых программ мониторинга будет близка к нулю.

3). ***Временной масштаб*** также важный фактор, но не обязательно проводить мониторинг выбранных участков или видов ежегодно. При возникновении упомянутых выше ситуаций достаточно проводить учеты раз в 3, 5 или 10 лет. Такие обследования, конечно, не зафиксируют кратковременные изменения [Краснов, Барретт, 2000]. Однако использование разработанных математических моделей и частые учеты в более мелких или более доступных колониях позволили бы выявить долговременные тенденции, характеризующие регион в целом.

4). При обсуждении результатов многолетних наблюдений все чаще исходят из того, что наиболее точное представление о состоянии популяций могут дать лишь комплексные ***исследования как размножающейся части популяции, так и ее резерва, состоящего из неполовозрелых и взрослых птиц*** [Краснов, Николаева, 1998, 1998а; Краснов, Барретт, 2000]. Традиционно наибольшие усилия прилагаются к контролю гнездовой части популяции. Тем не менее, для корректного анализа необходима и другая информация. Например, ***данные о репродуктивных показателях*** (средней величине кладки и среднем размере выводка), ***ежегодной смертности взрослых и неполовозрелых птиц, составе кормов.*** Без подобных материалов невозможен анализ выявленных популяционных изменений и их прогнозирование в будущем.

Кроме того, для прогнозирования будущих популяционных изменений необходима информация о ***численности и распределении потенциально размножающейся части популяции.*** Хорошо известно, что кратковременные колебания численности размножающихся птиц не всегда объяснимы только изменениями выживаемости взрослых особей. Они также зависят от степени негнездования половозрелой части популяции [Краснов, Николаева, 1998, 1998а]. Такие учеты можно ежегодно осуществлять на системе постоянных трансект, выполняя

авианаблюдения над акваторией моря. В результате могут быть получены данные о распределении морских птиц в зависимости от размещения их добычи [Fauchald, Erikstad, 1995; Fauchald et al., 1996; Краснов, Черноок, 1996].

5). Для полного понимания характера динамики популяций морских птиц необходимо регистрировать различные данные, например***: численность птиц, успешность их размножения, питание птенцов и т. д.***

6). Для того, чтобы обеспечить полную сравнимость данных, ***необходимо, чтобы используемые методы были полностью стандартизированы***. Не системно собранные материалы могут оказаться бесполезными при анализе. И даже если они собраны по общепринятой методике, но представлены в нестандартной форме, то это часто приводит к невозможности их использования. Наиболее остро эта проблемы возникают при осуществлении наблюдений в открытых районах моря [Краснов и др., 2004b].

7). Наиболее распространенные методики судовых учетов непригодны для определения абсолютных величин плотности или численности птиц [Краснов и др., 2004b]. ***Авианаблюдения с борта летающих лабораторий*** позволяют избежать многих проблем при картировании размещения наиболее массовых видов птиц Баренцева моря. Более того, они, по-видимому, являются единственным способом получения корректной информации о численности птиц, следующих в кильватере промысловых судов. Судя по всему без этих методов в полной мере трудно в полной мере реализовать экосистемный мониторинг морской авифауны.

8). С целью преодоления этих перечисленных выше и многих других препятствий до начала региональных и локальных программ мониторинга в Баренцевом море ***необходимо создание методического пособия***, доступного и признанного как российскими, так и норвежскими исследователями.

Как уже говорилось, необходимо решение и еще несколько важных задач, связанных с мониторингом авифауны и, как указывалось выше, отсутствующих в монографии [Состояние популяций…, 2003]:

9). ***Создание единой постоянно пополняемой базы данных*** собираемой информации и решение вопросов доступа к ней;

10). ***Сбор информации об антропогенных и природных факторах*** воздействия на экосистему моря и на морских птиц в частности;

11). ***Разработка и использование математических моделей,*** необходимых для составления прогнозных оценок, оценки степени воздействия внешних факторов на морских птиц и корректировки программы мониторинга.

Несколько дополнительных замечаний в отношении норвежско-российские рекомендации по проведению комплексного мониторинга птиц в Баренцевоморском регионе. В монографии [Там же] сформулированы рекомендации по мониторингу морских птиц в Баренцевоморском регионе. В определенной степени эти рекомендации могут быть использованы (при доработке и добавлении) для составления российских программ мониторинга морских птиц в этом регионе.

По предложениям, изложенным в [Там же], высокий ранг приоритетности в проведении будущего мониторинга морских птиц Баренцевоморского региона получили 16 видов (один вид гагар, оба вида бакланов, два вида гусей, два вида уток, четыре вида чаек и пять видов чистиковых) – таблица 4.3. Еще 8 видов также заслуживают внимания (средний ранг приоритета). Оставшиеся 13 видов, которые упоминаются в отчете [Там же], могут получить приоритет, только если будет доказано, что они отражают важное для мониторинга экологическое состояние, которое адекватно не отражают другие виды.

Однако следует отметить, что подход, изложенный в цитируемой монографии, отражает только одну сторону взаимодействия морских птиц и остальных компонент экосистем Баренцевоморского региона – воздействия на птиц ряда внешних факторов (рыболовства, прилова, нефтяного загрязнения, прочих загрязнителей, беспокойства, сокращения жизненного пространства, конфликтующих видов). Никак не отражен мониторинг реального и мощного воздействия около десятка миллионов морских птиц на экосистему моря через изъятие рыбы (объект питания птиц) и изменение химического состава вод через экскременты птиц.

В цитируемой монографии сформулированы также и другие рекомендации по получению новых знаний о морских птицах, основанные на пробелах в знаниях, в том числе по исследованиям и картографированию (раздел «Рекомендации»

в [Там же, стр. 158– 166]). С учетом того, что мониторинг – это не только наблюдения, но также и прогноз (как говорилось выше), следует отметить, что представленные рекомендации не затрагивают этой важной стороны мониторинга.

Таблица 4.3 – Резюме приоритетов мониторинга по видам с указанием максимальных баллов по одному или нескольким субрегионам относительно каждой из категорий угроз [Состояние популяций…, 2003]

Виды	Угрозы								Макс.
	РБ	ДБ	ПР	НЗ	ПЗ	БЕ	СП	КВ	
Полярная гагара			2	1		3	2	2	3
Глупыш			1	1					1
Прямохвостая качурка				1				1	1
Северная качурка				1				1	1
Северная олуша						2		2	2
Большой баклан	3	2	3	3	1				3
Хохлатый баклан	3		2	3				1	3
Серый гусь		2		1		1			2
Белощекая казарка		2		3				2	3
Черная казарка				3		3		2	3
Обыкновенная гага	1	2	3	3	1	3	2	1	3
Гага-гребенушка		2	1	2	1	1	1	1	2
Сибирская гага			1	3		1			3
Морянка		1	1	1	1	1	1	1	1
Синьга				1		1	1		1
Турпан				1		1	1		1
Длинноносый крохаль				1		1	1		1
Плосконосый плавунчик				2	1	1	2	1	2
Короткохвостый поморник	1				1				1
Большой поморник					1				1
Вилохвостая чайка				2					2
Озерная чайка				1	1	1	1		1
Сизая чайка		1			1	1	1	1	1
Клуша	3	1		2	1				3
Серебристая чайка	2	1			1	1			2
Бургомистр				3	3				3
Морская чайка	2	1			1	1			2
Моевка	2			3					3
Белая чайка				2		3			3
Речная крачка	1			1				1	1
Полярная крачка	1			1				1	1
Тонкоклювая кайра	3	2	3	3		2	1		3
Толстоклювая кайра	3	3		3	1	2			3
Гагарка	2		2	3		2			3
Чистик			2	2	1	1		1	2
Люрик				3	1				3
Тупик	3		1	3				1	3

Примечание:

РБ – рыболовство,

ДБ – добыча (промысел),

ПР – прилов,

НЗ – нефтяное загрязнение,

ПЗ – прочие загрязнители,

БЕ – беспокойство,

СП – сокращение жизненного пространства,

КВ – конфликтующие виды.

Категории приоритетов:

3 (красный) – высокий,

2 (оранжевый) – средний,

1 (желтый) – низкий

Хотя, очевидно, что оценки и прогнозы должны строиться на основе математических моделей (пусть на первых этапах и простых). Кроме того, мониторинг невозможен без формирования и использования базы (баз) данных – где и как хранить собираемую информацию, как вообще обращаться с такой информацией, каков к ней доступ различных специалистов и организаций…. Но все это отсутствует в приводимых рекомендациях в [Там же]. При мониторинге (для оценки и

прогноза, с учетом применяемых моделей) должны оцениваться и рассматриваться также природные и антропогенные факторы воздействия на морских птиц. Это обязательно должно учитываться, но в рассматриваемых рекомендациях не затрагивается (или только упоминаются) собственно количественные и пространственно-временные антропогенные и природные факторы воздействия на птиц [Там же]. Последнее, естественно, невозможно, если (как это и представлено в цитируемой работе) мониторинг птиц проводится только в гнездовьях, и не рассматривается пространственное распределение морских и водоплавающих птиц на всей акватории Баренцевоморского региона. А такие исследования возможны только на основе авианаблюдений.

4.8.2 Основные задачи и принципы организации производственного экологического мониторинга морских птиц в Баренцевоморском регионе и других арктических морях

С учетом изложенного выше в этом параграфе кратко перечислим основные задачи и принципы производственного экологического мониторинга морских и водоплавающих птиц Баренцевоморского региона и других арктических морей на данном этапе. На наш взгляд необходимо акцентировать внимание на следующем:

1. Четко *сформулировать основные задачи* мониторинга в рамках ПЭМ;
2. *Определить объекты мониторинга* (основные и дополнительные), поскольку они могут быть разными для разных проектов;
3. *Выбрать районы, участки и маршруты мониторинга* в пределах локальных и аварийных районов воздействия проекта;
4. *Определить периоды (сезоны) наблюдений* для выбранных районов и объектов мониторинга;
5. *Определить периодичность наблюдений* для районов и объектов наблюдения;
6. *Стандартизировать выбор видов мониторинга* и сами виды мониторинга;

7. *Стандартизировать выбор параметров для мониторинга*, уделяя особое внимание численности популяций, уровню выживаемости, воспроизводству, трофическим процессам и уровням загрязнения;
8. *Стандартизировать используемые методы мониторинга,* опираясь на общепринятые в международном аспекте методики;
9. *Разработать систему контроля* качества и порядок оценки результатов мониторинга на российском (и, возможно, международном) уровне;
10. *Координировать работы по мониторингу* морских птиц с максимальным числом других исследовательских программ в регионе (в рамках государственного экологического мониторинга, инженерно-экологических изысканий и производственного экологического мониторинга других проектов, различных исследовательских государственных и международных программ);
11. *Начать работу по созданию единой базы данных* собираемой информации по мониторингу морских птиц в рамках проекта, решению вопросов доступа к ней, а также по вопросу обмена информацией с другими БД компаний и единой российской орнитологической базой данных;
12. *Проводить сбор информации об антропогенных и природных факторах* (реализуемого проекта) *непосредственного воздействия* на морских птиц и на экосистему моря, опосредованно воздействующих на морских птиц;
13. *Разрабатывать математические модели,* необходимые для составления прогнозных оценок, оценки степени воздействия внешних факторов на морских птиц и корректировки программы мониторинга.

Это перечень основных принципов и задач, которые должны быть решены, с тем, чтобы производственный экологический мониторинг морских и водоплавающих птиц был организован должным образом, и не сводился просто к отдельным, слабо связанным с другими проектами и ГЭМ, мониторинговым наблюдениям.

ГЛАВА 5 ОЦЕНКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОТУ

Вопросы оценки воздействия гидроакустического шума на окружающую среду, в том числе шума, связанного с гидрофизическими, и, в первую очередь, с сейсмоакустическими исследованиями (САИ) на шельфе, крайне актуальны. Это определяется возрастанием исследований запасов нефти и газа на шельфе с использованием указанных методов. Актуальны и вопросы воздействия шума судов на морских млекопитающих и рыб. Это обусловлено постоянно ростом шума судов, в первую очередь крупнотоннажных, занятых на строительстве подводных добычных комплексов и укладке трубопроводов. В то же время на данный момент не до конца выяснены последствия указанных воздействий на морскую биоту и экосистемы морей в целом. В этой главе сделан обзор таких исследований. В главе рассмотрена также методика расчета зон воздействия САИ на биоту на мелководье и приведены расчеты таких зон для одного из месторождений в Тазовской губе. На примере проекта освоения Штокмановского месторождения оценены зоны воздействия крупнотоннажных судов на морских млекопитающих и рыб.

Задачи, решаемые на этом этапе:

1). Проанализировать особенности воздействия сейсмоакустических исследований и шума крупнотоннажных судов на морскую биоту.

2). Оценить влияние глубины места проведения сейсмоакустических исследований на размер зон воздействия (на примере расчетов для мелководья).

3). Оценить зоны воздействия на морских млекопитающих и рыб шума крупнотоннажных судов на примере обустройства Штокмановского ГКМ.

Ниже рассмотрено два основных (главных) вида гидроакустического воздействия на морскую биоту – условно близкодействующее и условно дальнодействующее. Первое (близкодействующее) – сильное, часто губительное воздействие на биоту в ближней зоне, оказывается главным образом при сейсмоакустических исследованиях в пределах нескольких метров (от 1 до 10 м) от пневмоисточников (ПИ). Второе (дальнодействующее) – действие на биоту на больших расстояниях – нескольких километров и более. Это в основном воздействие круп-

нотоннажных судов, работ прокладке подводных трубопроводов, бурения и пр. (такое воздействие возможно и от САИ).

Публикации автора по вопросам, изложенным в настоящей главе. Исследования по указанным вопросам выполнены в ходе выполнения хоздоговоров, в том числе совместно со специалистами ЮНЦ РАН [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006; Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006а; Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009; Отчет по х/д. Проведение экспедиционных …, 2011; Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а]. Результаты исследований по воздействию САИ на биоту опубликованы в 2-х статьях [Белянкова и др., 2007; Шавыкин и др., 2010с], в главе монографии [Бердников, Шавыкин, 2009], а также докладывались на международных конференциях в Мурманске «Нефть и газ арктического шельфа-2006» [Бердников и др., 2006] и Санкт-Петербурге РАО-09 [Шавыкин и др., 2009]. Материал по воздействию шума на морских млекопитающих от Штокмановского проекта [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а] – результат совместной работы со специалистами Института Океанологии РАН и Института машиноведения РАН. Доклады представлялись А.В. Веденевым на международных конференциях в Ирландии [Vedenev et al., 2012] и г. Суздале в 2012 г. [Веденев и др, 2012].

5.1 Сейсмоакустические исследования и связанные с этим экологические проблемы (близкодействующее гидроакустическое воздействие)

Методика проведения сейсмоакустических исследований. При проведении САИ используются две основные разновидности сейсмики — двухмерная (2D) - и трехмерная (3D) съемки [Смотрите в 3D, 2010]. В первом случае датчики располагаются по отдельным линиям (профилям или разрезам) и исследования проводятся в глубину и вдоль разреза (результат оценивается в погонных километрах). 3D-разведка предполагает распределение датчиков по поверхности исследуемой площади и позволяет получить трехмерную модель расположения ископаемых (результаты оценки – квадратные километры). Этот вариант обеспечивает более точную и полную информацию о месторождении, но требует больше

вычислительных ресурсов. Как правило, компании проводят разведку по двумерной технологии, по результатам которой выделяются зоны для разведочного бурения и более детального обследования с помощью 3D. Этот же метод применяется при доразведке.

Для морской сейсмической съемки используются специальные суда, буксирующие батарею из пневмопушек и систему для приема сигнала — сейсмическую косу, которая состоит из пластикового шланга и закрепленных на нем датчиков для передачи данных на борт (рисунки 5.1 и 5.2).

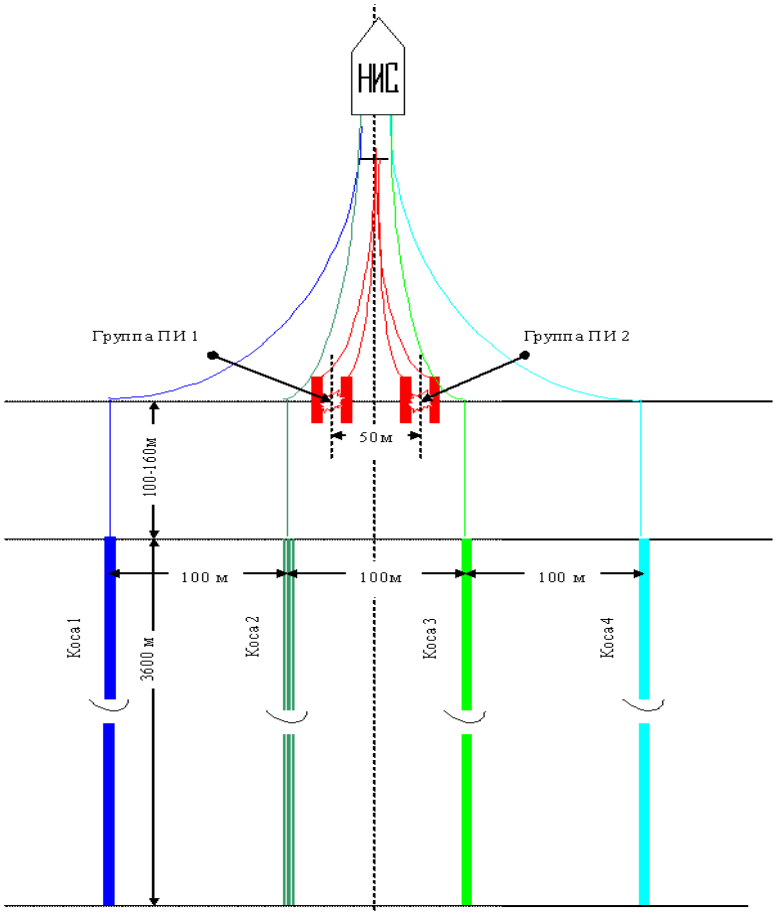


Рисунок 5.1 – Схема расположения источников (ПИ) и приемников (гидрофоны на косах 1-4) при проведении сейсмической разведки на примере НИС «Академик Немчинов» (вид сверху) [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006]

При двухмерной съемке за кораблем следует только одна сейсмокоса, а пушка "выстреливает" через каждый километр проходки судна. Трехмерная съемка обеспечивает бóльшее разрешение деталей в толще дна. Для этого необходимо несколько сейсмокос — от 4 до 20, буксируемых на расстоянии 100 м друг от друга, а также несколько батарей пневмопушек, стреляющих поочередно. Возбужде-

ния сейсмических колебаний производятся пневматическими источниками, буксируемыми за кормой судна (см. рисунки 5.1 и 5.2).

Источники группируются в линии по 8-16 источников, расстояние между линиями 10 м, и буксируются на глубине около 6-8 метров, контролируемой датчиками глубины. В зависимости от режима возбуждение может происходить одновременно во всех пневмоисточниках (режим 2D) или попеременно в группах (режим 3D). Приемное устройство буксируется на плаву на глубине 8 м. Длина сейсмической косы составляет 6000 м.

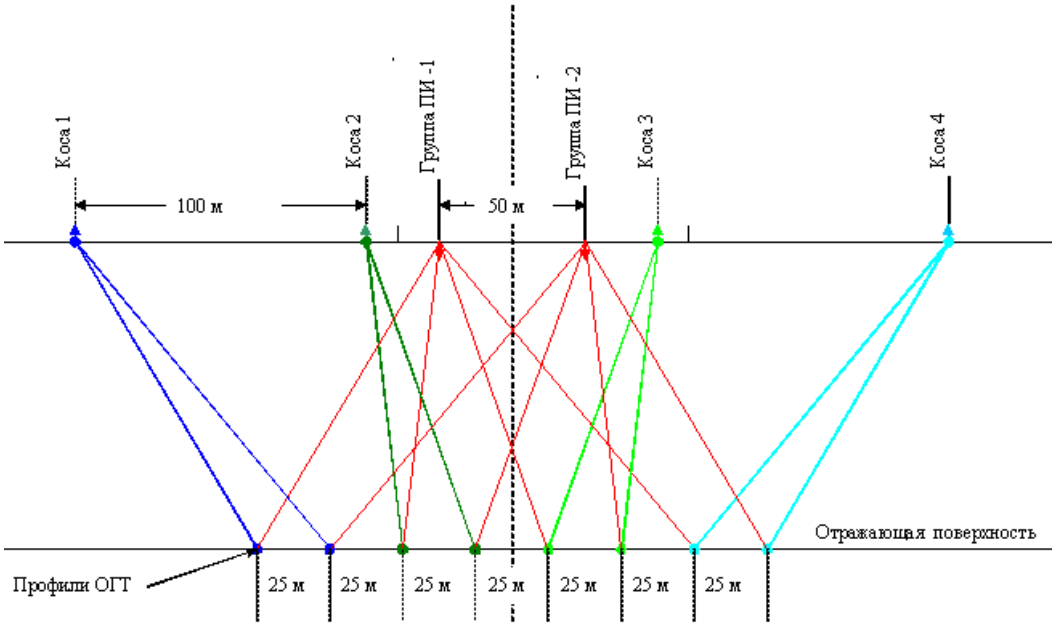
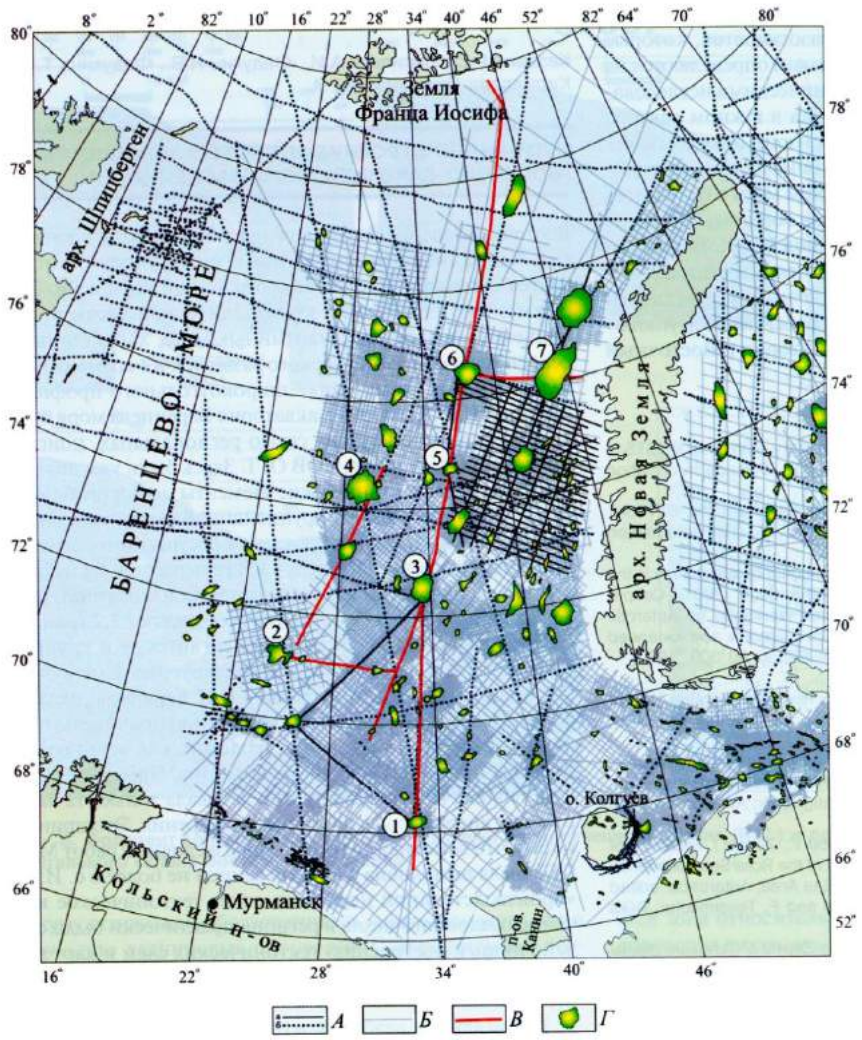


Рисунок 5.2 – Схема отработки МОВ ОГТ 3D с 4-мя косами и 2-мя группами пневмоисточников (вид с сбоку) [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006]

Используется также 4D-съемка. Это точное повторение 3D (выстрелы той же амплитуды, в тех же точках) для определения истощения или перемещения подземных резервуаров после начала добычи. Затем сравнивают данные исходной и повторной сейсмок, чтобы выявить изменения залегания углеводородов в пласте (поэтому 4D-сейсмику еще называют периодической) [Смотрите в 3D, 2010].

Пример частичной изученности Баренцева моря методами САИ – рисунок 5.3. Видно, как велики объемы САИ в море, хотя показаны не все такие работы, и они будут продолжаться во все большем масштабе.



Профили МОВ ОГТ: А – ОАО МАГЭ: а – 2005 г., б – 1986-1987гг., Б – СМНГ, 1989-1991 гг., В – ОАО МАГЭ, 1991 -1992гг. (профили ШГСП); Г – локальные поднятия (цифрами обозначены крупнейшие): 1 – Мурманское, 2 – Центральное (свод Федынского), 3 – Штокмановское, 4 – Ферсмановское, 5 – Лудловское, 6 – Лунинское, 7- Адмиралтейское (*Пояснение: МОВ ОГТ – метод отраженных волн общей глубинной точки; ШГСП - широкоугольное глубинное сейсмическое профилирование)*

Рисунок 5.3 – Карта-схема изученности Баренцева моря по методикам МОВ ОГТ и ШГСП [Казанин и др., 2007]

Различные подходы к проблеме воздействия САИ на биоту. Воздействие сейсморабот на окружающую среду ограничивается воздействием пневмоисточников на водные биоресурсы. Сейсмокоса никак не воздействует на биоту. Сейчас нет однозначного решения вопроса о последствиях влияния САИ на отдельные виды и группы биоты и воздействия таких работ в целом на экосистему морей.

Имеется много публикаций, посвященных исследованиям влияния сейсморазведочных работ с применением ПИ на биоту (на состояние ихтиофауны, других объектов промысла, кормовых организмов). Приведем (следующие 4 абзаца)

развернутую выдержку из работы сотрудника АзНИИРХ (г. Ростов-на-Дону) д.х.н. А.Д. Семенова [2006], в которой дана краткая сводка по основным публикациям влияния САИ на биоту.

«В одних публикациях приводятся данные о существенном влиянии этих работ на состояние водной биоты разной видовой и систематической принадлежности, в том числе рыб, промысловых и кормовых беспозвоночных, особенно на ранних стадиях развития, на фито- и зоопланктон [Векилов и др., 1971; Патин, 1994; 1997; 2001; Матишов, 1991; Муравейко и др., 1991; Пономаренко и др., 2000; Banner, Hyatt, 1973; Kostyuchenko, 1973; Dalen, Knudsen, 1987; Holliday et al., 1987; Matishov, 1992; Skalski et al., 1992; Engås et al., 1993; Lokkeborg, Soldal, 1993; Dalen, 1994; Saetre, Ona, 1996; др. работы].

Авторы других публикаций утверждают, что влияние таких работ на водные биологические ресурсы практически отсутствует. Оно либо вовсе не обнаруживается, либо настолько незначительно, что нет смысла его учитывать при оценке ущербов, наносимых рыбному хозяйству при разведке нефтегазовых месторождений [Векилов и др., 1995; Векилов, Полонский, 2000].

В информационно-справочном пособии морская сейсмическая разведка определяется как «рядовой фактор воздействия на природную среду, подобно морскому транспорту, строительным работам и т.д.». В силу своей «мягкости» и ряда других положительных качеств пневматически источник стал основным инструментом морской сейсморазведки» [Векилов и др., 1995]. Более того, из работ [Векилов и др., 1995; Векилов, Полонский, 2000] следует, что имеющихся данных о ничтожных воздействиях ПИ на гидробионты вполне достаточно, дальнейшие исследования по данному вопросу бесперспективны и «могут иметь только одну задачу – получение финансирования любыми способами…».

Однако, иное мнение высказывает один из наиболее авторитетных специалистов в этой области: «… несмотря на давний интерес к этой проблеме, надо констатировать, что имеющаяся сейчас информация о влиянии ударных сейсмических волн на морские организмы весьма ограничена и противоречива…» [Патин, 2001]. К тому же «слабо изучены последствия одновременных воздействий

групп, состоящих из большого количества (до 30-40) пневматических источников» [Патин, 1997]. Следовательно, вопрос об адекватной оценке влияния ПИ в реальных условиях их применения при разведке нефтегазовых месторождений пока далек от решения» [Семенов, 2006].

В цитируемой работе А.Д. Семенова [2006] делается также вывод, что реальная величина ущерба рыбному хозяйству, причиненная многократными сейсморазведочными работами исчисляется многими десятками, возможно сотнями миллионов долларов США. Следовательно, проблема адекватной компенсации за причиняемый ущерб затрагивает интересы не только рыбной отрасли, но и страны в целом, так как нет значительных отчислений в бюджет [Семенов, 2006].

Кроме того, как отмечается в работе [Moriyasu et al.,2004], результаты влияния морских шумов на беспозвоночных чаще всего печатаются в серой литературе (отчеты по проектам, отчеты по контрактам, результаты конференций…). Они печатаются как дополнительные наблюдения при изучении основных видов – рыб и млекопитающих. В указанном обзоре авторы [Moriyasu et al.,2004] делают вывод, что при современном уровне знаний о возможных влияниях морских шумов на беспозвоночных у нас нет убедительных научных доказательств для того, чтобы сформулировать отрицательные или положительные выводы. Кроме того, для изучения возможных влияний сейсмоактивности на разные виды морских беспозвоночных необходимо разработать и выполнить серьезную научную программу для формирования научного знания этого предмета [Moriyasu et al.,2004].

Общие вопросы воздействия САИ на биоту и расчет ущерба рыбным запасам. *Необходимость количественного учета воздействия САИ* связана с охраной окружающей среды и с компенсационными выплатами за ущерб от гибели кормовой базы рыб – планктона и (на мелководье) бентоса. Важно не только рассчитать выплачиваемый ущерб от проведения САИ в том или ином районе шельфа, но главное оценивать общее возможное воздействие на экосистему.

Воздействие на планктон и бентос. В настоящее время нет точных корректных данных о степени воздействия тех или иных ПИ (действия акустического давления создаваемого этими источниками) на виды планктона и бентоса, кото-

рые обитают в каждом конкретном районе планируемых САИ [Moriyasu et al.,2004]. В литературе часто приводятся «летальные расстояния» от источника до гидробионта – расстояние, на котором погибает примерно 50 % особей, или «радиус безопасности», т.е. расстояние, за пределами которого не наблюдается повреждения испытуемых особей [Балашканд и др., 1980]. Однако в подавляющем большинстве случаев такие расстояния даются без указания параметров ПИ – типа, мощности, объема камер и др. [Векилов, Полонский, 2000; Moriyasu et al.,2004], или описывается результат действия группового источника [Саматов, Немчинова, 2000]. Но это не позволяет использовать такие результаты в дальнейших исследованиях или теоретических расчетах, так как конструктивные параметры ПИ (мощность, объем рабочей камеры) периодически меняются.

Воздействие на рыб и ихтиопланктон. Результаты экспериментальных исследований влияния ПИ на ихтиофауну Черного, Азовского, Каспийского, Балтийского, Баренцева, Охотского морей, основанные на большом фактическом материале, полученном при использовании в качестве тест-объектов особей различного видового и размерного состава, физиологического состояния и экологических групп как морских, так и пресноводных рыб, показывают, что критическим для рыб следует считать изменение давления порядка 6-10 бар [Векилов и др., 1995]. Для ПИ "Bolt 2800 LL" и "Bolt 1900 LL" производства фирмы Bolt Technologies (США) и для подобных ПИ, которые часто используются в ходе выполнения сейсморазведочных исследований, аналогичные показатели изменения давления характерны в непосредственной близости от излучателей (на расстоянии менее 0.3-0.5 м от источников) и присутствие в этой зоне рыб практически исключено.

Вместе с тем, «по данным разных источников, рыбы начинают проявлять реакции избегания района с повышенным уровнем звука при 130-142 дБ отн. 1μPa» [Веденев, 2009а]. «Наши расчеты спада уровня сейсмоимпульсов по мере увеличения расстояния, выполненные для районов Сахалинского шельфа, показывают, что для типичного пневмоисточника (импульсы 257 дБ), используемого при приведении прибрежной 3D сейсморазведки на путях миграции лосося, радиус безопасности от патологического воздействия (<180 дБ отн. 1μПа) должен со-

ставить ~ 1.5 км от сейсмического судна. Эти же расчеты показывают, что сдвиг порога слуха лосося (уровни >160 дБ) может наблюдаться до расстояний в 5-7 км, а реакции испуга и бегства из района с высокими уровнями сейсмоимпульсов – до расстояния 10- 20 км» [Там же]. В этом докладе А.И. Веденев также отмечает, что потери рыбопродукции из-за нарушения нереста или покатной миграции могут быть на порядок больше, чем от гибели ихтиопланктона, зоопланктона и бентоса вблизи пневмоисточников. «Необходимо учитывать и ущерб рыболовству от разгона косяков рыбы в радиусе 10-20 км от линий сейсмосъемки. … Но, в первую очередь, необходимо провести исследования, чтобы выяснить, нарушается ли процесс хода лосося на нерест в период проведения прибрежной сейсморазведки. Актуальность проведения этих исследований становится очевидной» [Там же].

Таким образом, расчеты, связанные с оценкой гибели рыб (но не ихтиопланктона и молоди рыб) для САИ, как правило, можно не проводить. Но ущерб от влияния САИ на поведение рыб в определенной мере имеет место, однако он не оценивается из-за практически полного отсутствия или малой информации о механизме такого воздействии и о распределении рыб в районах проведения САИ и в прилегающих районах. С учетом этого становятся особенно актуальными исследования по всестороннему анализу природной среды и биоты (глава 2) и предложения по экосистемному мониторингу (см. далее главу 8).

Ущерб рыбным запасам в рассматриваемом нами ниже примере оценен по гибели зоопланктона и зообентоса; ихтиопланктон не рассматривался, так как данные о его концентрации отсутствовали. Вместе с тем, для учета ущерба от гибели этого компонента экосистемы необходимы сведения такие же, как для зоопланктона – его концентрация в районе исследования в период проведения САИ и показатели смертности при различных уровнях гидроакустического давления. К сожалению, такие данные фактически отсутствуют.

Для расчета ущерба рыбным запасам от проведения САИ необходимо определить объемы водной толщи и площади дна, в пределах которых возможно негативное воздействие на морские организмы и оценить степень этого воздействия.

В настоящее время используются несколько подходов к оценкам (расчету) зон воздействия ПИ. *Первый подход* основан на использовании экспериментальных данных, по которым для отдельных ПИ определяется радиус безопасности. Расчет зоны воздействия для источников, сформированных в группы, производится на основе геометрических подходов путем наложения стереометрических фигур, определяющих зону воздействия отдельных источников. *Интерференционные явления и отражения от границ разделов сред при этом не учитываются, что весьма существенно*. Такой подход для оценки зоны воздействия группы допустим при выполнении работ на достаточно больших глубинах, когда интенсивность поля волн отраженных от границ раздела существенно меньше интенсивности прямого волнового поля. Но при этом оценка интенсивности волнового поля давления в ближней от источников зоне может значительно искажаться. Один из таких подходов подробно изложен в работе [Семенов и др., 2004]. В этом случае зона воздействия рассчитывается как сфера (одиночные ПИ) или цилиндры (группа ПИ) и для различных расстояний от ПИ принимается разная доля гибели организмов. При значении расстояния большем некоторого предельного значения "δ" (в пределах которого наблюдается 100 %-ная гибель организмов) доля гибели организмов принимается в виде экспоненциальной функции $\beta e^{-\alpha r}$ (параметры α и β определяются методом наименьших квадратов на основе экспериментальных данных о величине удельной доли гибели организмов) [Семенов и др., 2004].

Второй подход основан на использовании различных моделей формирования поля давления от одиночных или групповых ПИ и предполагает выполнение расчетов максимально возможного изменения давления на разном расстоянии от них. Затем проводится сопоставление поля максимального изменения давления с критическими значениями для гидробионтов и определение объемов водной толщи и площади дна, в пределах которых возможно негативное воздействие на морские организмы. В рамках этого подхода используются разные приемы [Балашканд и др., 1980; Исследование пространственно-временных…, 1991], но не учитывается влияние поверхности раздела вода-воздух и вода-дно.

В рамках этого подхода используются разные приемы. Рекомендована [Балашканд и др., 1980, стр. 19, табл. 3] для расчетов следующая формула:

$$A = a (PV)^{1/3} / R, \qquad (5.1)$$

где A – амплитуда первой волны давления, кГс / см^2
P – давление сжатого воздуха, кГс / см^2
V – объем камеры пневмоисточника в дм^3
R – расстояние от источника в метрах - 1 м
a= 0.015.

Применение формулы (5.1) возможно для одиночных ПИ, однако параметр "a" существенно зависит от конструктивных особенностей используемых приборов. При сопоставлении давлений, рассчитанных по (5.1) для R=1 м, со значениями амплитуды волны давления, приводимыми разработчиками приборов, было установлено, что формула (5.1) дает удовлетворительное приближение при значении параметра "a"=0.4. Для ПИ "Bolt" не удалось подобрать единый параметр, позволяющий получить удовлетворительное приближение для всех типов приборов. Расчет по этой формуле поля давления, создаваемого группой источников, путем суммирование давлений от каждого из них, дает неверные результаты для ближней зоны. Применение формулы (5.1) для всей группы, в предположении, что действует один источник с суммарным размером рабочей камеры, также неверно и приводит к существенному искажению зоны воздействия.

Другой метод расчета поля давления, создаваемого группой источников, основан на использовании лучевого метода [Исследование пространственно-временных…, 1991]. Этот подход позволяет учесть интерференционные эффекты при взаимодействии полей давления, создаваемых отдельными ПИ, в той мере, в какой производится аппроксимация формы выхлопного импульса. В указанной работе импульс аппроксимировался δ-функцией, что могло некоторым образом исказить волновую картину. Кроме того, в указанном подходе не учитывалось влияние поверхности воды и дна. В то же время в ряде источников отмечается, например, в [Turnpenny, Nedwell, 1994], что в условиях мелководий влияние поверхности воды и дна может существенно деформировать картину создаваемого

ПИ волнового воздействия вблизи источников (в сторону увеличения, или в сторону уменьшения) из-за эффектов отражения волны от поверхности воды и дна.

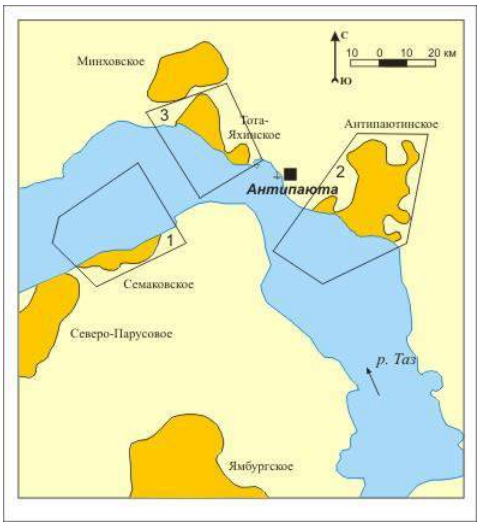
В рамках нашей работы использована методика расчета амплитуды первой волны давления от групповых ПИ изложенная в [Белянкова и др., 2007; Шавыкин и др., 2010с]. Показано, что необходимо учитывать интерференционные явления при взаимодействии полей давления, создаваемых отдельными ПИ, а также учитывать эффекты отражения волны от поверхности водоема и его дна. Дополнительно точность расчетов можно повысить за счет более корректной аппроксимации формы выхлопного импульса.

В общем случае расчет волнового поля от группы ПИ представляет собой сложную задачу гидроакустики, для решения которой необходимо привлекать громоздкий математический аппарат. Расчет воздействия ПИ на биологические объекты существенно упрощается, если принять во внимание, что степень поражения гидробионтов определяется первой волной давления, имеющей максимальную амплитуду. Тогда в каждой точке среды достаточно определить t^* – время прихода максимальной амплитуды волны давления – в большинстве случаев от ближайшего пневмоисточника. Воздействие других ПИ в этой точке учитывается с учетом сдвига их импульсов относительно максимального.

5.2 Расчет зон воздействия от сейсмоакустических исследований (пример для мелководного участка)

Для получения разрешения на проведение сейсмоакустических исследований на лицензионном участке Тото-Яхинского месторождения в Тазовской губе Карского моря необходимо было рассчитать ущерб от таких исследований. С учетом изложенного выше необходимо оценить зоны воздействия и доли гибели биоты при разных давлениях от пневмоисточников. За основу взят предложенный нами ранее метод, использованный в ходе выполнения НИР [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006а] и опубликованный в статье [Белянкова и др., 2007]. Методика расчета амплитуды первой волны давления для групп ПИ приведена в При-

ложении Е (§ Е.1). Водный участок исследуемого месторождения (рисунок 5.4) характеризуется малыми (8.5 – 3 м) и очень малыми (3 – 1.25 м) глубинами.

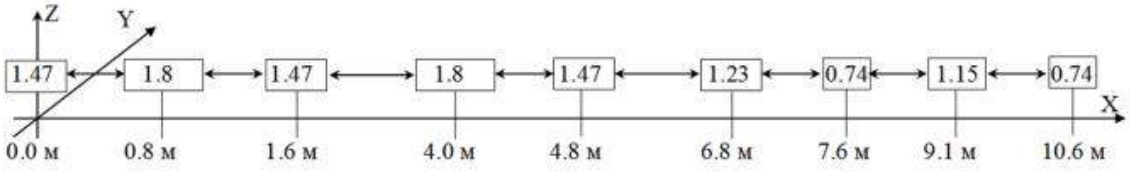


Черные контуры – границы лицензионных участков

Белый контур – район проведения сейсмоакустических исследований

Рисунок 5.4 – Обзорная схема лицензионных участков в акватории Тазовской губы (слева) и фрагмент космоснимка акватории Тазовской губы (справа) [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009; Шавыкин и др., 2009; Шавыкин и др., 2010с]

Для сейсморазведочных работ в данном районе ОАО «ЮЖМОРГЕОЛОГИЯ» планировала применять в качестве источника сейсмических сигналов – пневмоизлучатели BOLT 2800LL, 1900 LL (компания «Bolt Technologies», США). Схема расположения ПИ представлена на рисунке 5.5.



Внутри прямоугольников обозначены рабочие объемы используемых ПИ, дм^3

Рисунок 5.5 – Схема расположения пневмоизлучателей в составе группы [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009; Шавыкин и др., 2009; Шавыкин и др., 2010с]

При расчете волнового поля от ПИ были использованы его штатные акустические характеристики – "амплитуда давления первой волны излучаемого сигнала в пересчете на 1 м от источника" и "форма импульса первой волны, учитывающая его длительность" (рисунок 5.6). Данные по давлению, создаваемому каждым отдельным ПИ, с учетом объема его рабочей камеры, брались по паспортным дан-

ным фирмы «Bolt Technology»: по объему камеры из графика (рисунок 5.6а) определяли давление в барах, приведенное к 1 м от ПИ.

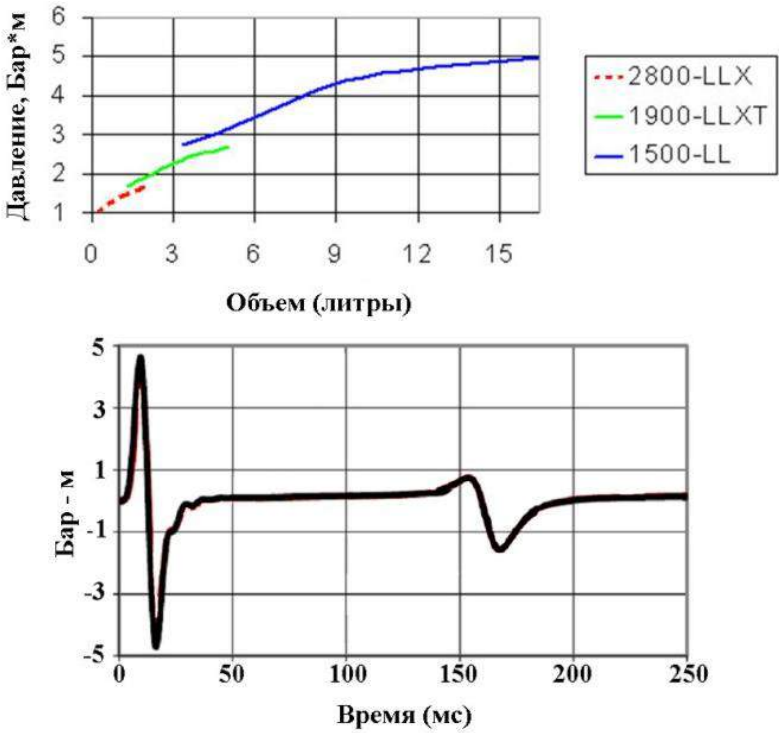
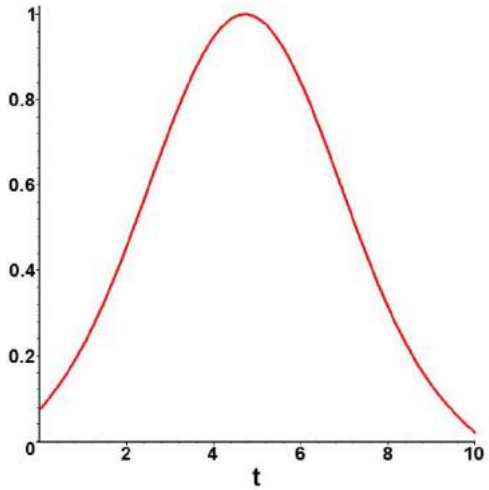


Рисунок 5.6 – (*а*) – характеристики пневмоизлучателей "Bolt" с различными объемами камер; (*б*) – форма импульса от одиночного ПИ "Bolt", объем камеры – 600 куб. дюймов [Bolt Technology corporation, 2014]

При расчетах учитывалась положительная часть импульса давления, которая аппроксимировалась функцией от времени (t задается в мс):

$$P_0(t) = -\sin^{21}(\frac{t}{10}) + \sin^{21}(\frac{t}{10} - \frac{9.22\pi}{4}) - \sin^{21}(\frac{t}{10} - \frac{10.6\pi}{4})$$

График функции $P_0(t)$ представлен на рисунке 5.7.



ось x – время в мс, ось y – нормированное на максимальное давление амплитуды первой волны

Рисунок 5.7 – График функции $P_0(t)$ [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

5.3 Численный расчет амплитуды первой волны на мелководье (пример для участка в Тазовской губе)

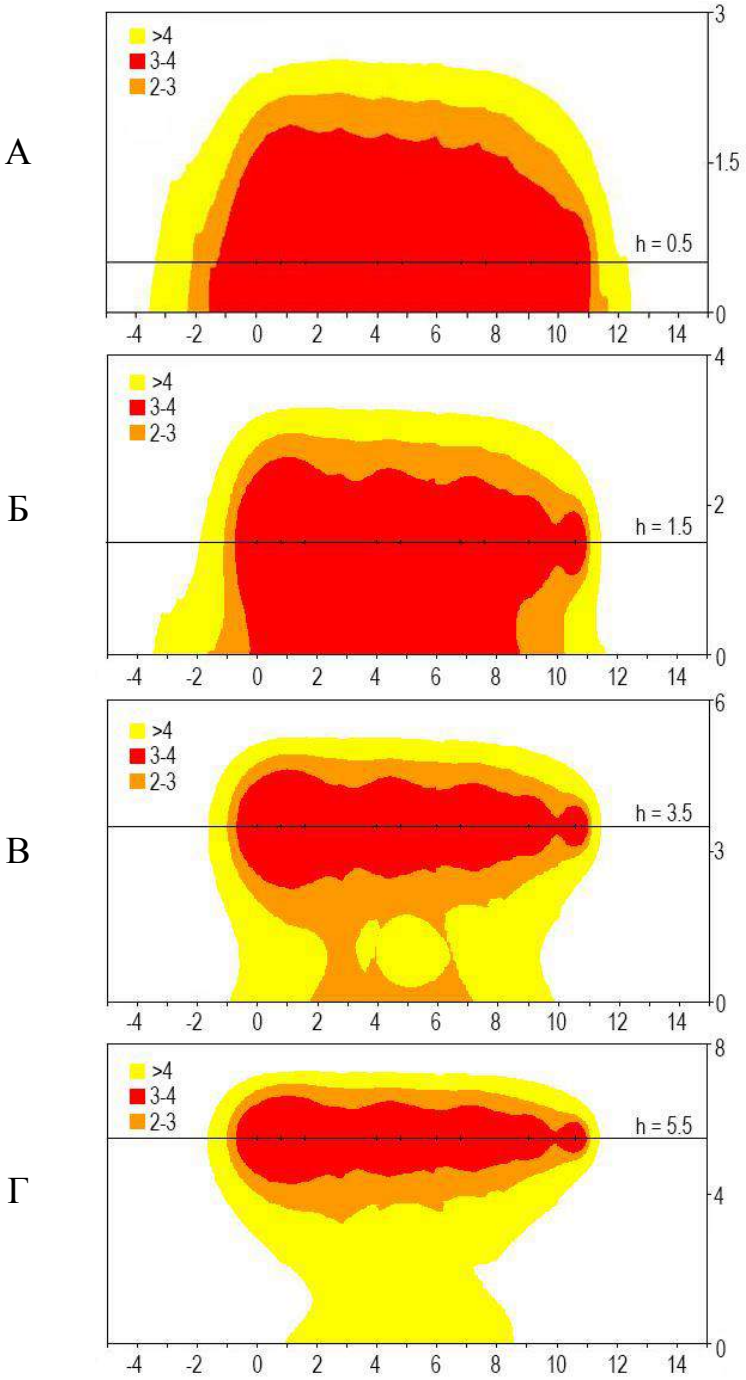
При расчетах использовалась формула (Е.28, Приложение Е.2). Результаты представлены на рисунках 5.8 – 5.10 и подробно – в Приложении Е (§ Е.2).

Расчет амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей "BOLT" для малых глубин (8.5 – 3 м). На рисунке 5.8 приведены диаграммы распределения амплитуд первой волны давления в плоскости (x, z), На диаграммах по оси Z значение "0" соответствует дну. Видно, что в условиях мелководья опасная для гидробионтов зона с высокими значениями давления 3-5 бар захватывает участки дна: определяющими являются как глубина водоема, так и глубина погружения излучателя (диаграммы В и Г). В то же время приповерхностный слой водоема характеризуется низким уровнем давления. Толщина этой области возрастает с увеличением глубины водоема. На основе расчетов получены зависимости между амплитудой первой волны давления и объемом водной толщи, внутри которой давление больше определенного значения и аналогичные зависимости между давлением и площадью дна (таблица Е.1, рисунок Е.1, Приложения Е).

Расчет амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей "BOLT" для мелководья (3 – 1.25 м). Работы с использованием ПИ «Bolt» планировалось проводить в районе Тазовской губы с относительно малыми глубинами, поэтому особое внимание уделено расчетам поля давления для глубин от 1.25 м до 3 м. (рисунок 5.9).

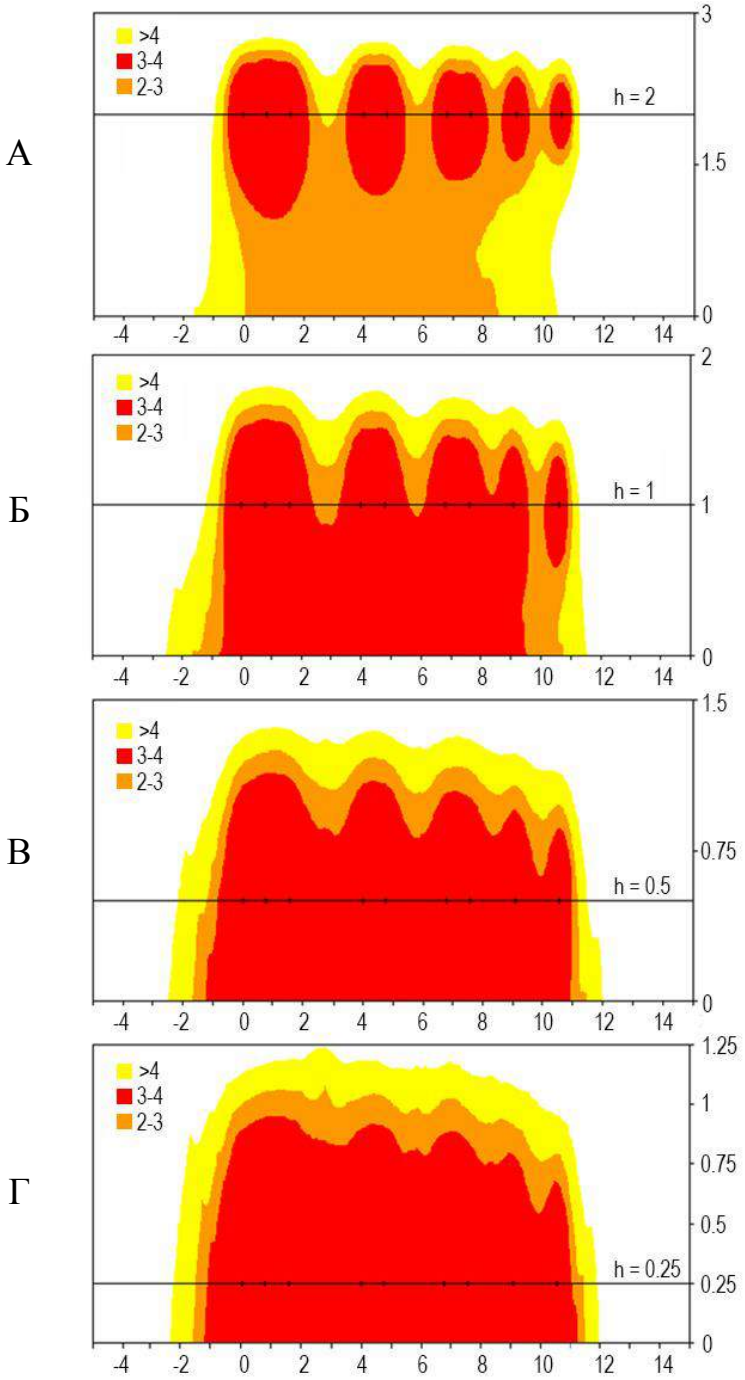
Расчеты выполнены с шагом по глубине 0.25 м, размер области по оси Y – 5 м, глубина погружения источников от поверхности 1 м. На основе расчетных данных получены зависимости между амплитудой первой волны давления и объемом водной толщи, внутри которой давление больше определенного значения и аналогичные зависимости между давлением и площадью дна (рисунок Е.2 и таблица Е.2 Приложения Е). В качестве примера на рисунке 5.9 приведены диаграммы распределения амплитуд – сечения плоскостью $y = 0$ м, под линией расположения ПИ. Для сравнения на рисунке 5.10 приведены диаграммы распределения ам-

плитуды первой волны давления с большей градацией по давлению для глубины водоема 1.25 м, при глубине погружения ПИ от дна 0.25 м (как и ранее, приведено сечение плоскостью $z = 0$). На всех диаграммах по оси Y "0" соответствует дну.



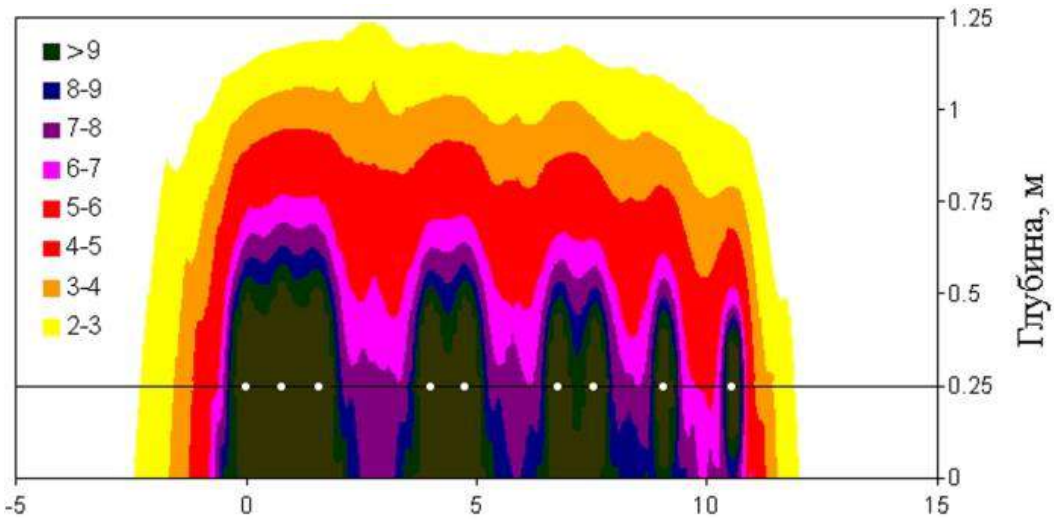
А) Глубина водоема 3 м, глубина погружения ПИ от дна – h = 0.5 м;
Б) Глубина водоема 4 м, глубина погружения ПИ от дна – h = 1.5 м;
В) Глубина водоема 6 м, глубина погружения ПИ от дна – h = 3.5 м;
Г) Глубина водоема 8 м, глубина погружения ПИ от дна – h = 5.5 м;
по осям координат – метры, в левом верхнем углу – значения давления в бар на границах зон; масштаб осям разный; штрихи – положение пневмоисточников

Рисунок 5.8 – Диаграмма распределения амплитуды первой волны давления от группы пневмоисточников 9ПИ-2.5 [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009; Шавыкин и др., 2009; Шавыкин и др., 2010с]



А) Глубина водоема 3 м, глубина погружения ПИ от дна – 2 м;
Б) Глубина водоема 2 м, глубина погружения ПИ от дна – 1 м;
В) Глубина водоема 1.50 м, глубина погружения ПИ от дна – 0,5 м;
Г) Глубина водоема 1.25 м, глубина погружения ПИ от дна – 0,25 м;
по осям координат – метры, в левом верхнем углу – значения давления в бар на границах зон; масштаб осям разный, штрихи – положение пневмоисточников

Рисунок 5.9 – Диаграмма распределения амплитуды первой волны давления (бар) от группы пневмоисточников 725/9-1 [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]



глубина водоема 1.25 м, погружение пневмоисточников от дна – 0.25 м, по оси x область расчета вдоль расположения ПИ, м; масштаб по осям X и Y – разный

Рисунок 5.10 – Диаграмма распределения амплитуды первой волны давления (бар) от группы ПИ [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009; Шавыкин и др., 2009; Шавыкин и др., 2010с]

5.4 Обоснование доли гибели зоопланктона и бентоса (пример для участка в Тазовской губе)

При выборе коэффициента интенсивности неблагоприятного воздействия на биоту (m) мы руководствовались следующими соображениями.

Зоопланктон.

1. Как говорилось выше, в настоящее время нет четких и однозначных данных о гибели гидробионтов, в том числе зоопланктона, от пневмоисточников. Используемые в отдельных отчетах параметры k (коэффициент экспоненциального ослабления воздействия ПИ при удалении от него, $м^{-1}$) и s (эмпирический коэффициент, постоянный для определенной группы гидробионтов, в данном случае для групп зоопланктона, $л^{-1}$) для расчета относительной смертности гидробионтов *m* [$m=m_o exp(-kr)$] вряд ли могут считаться полностью обоснованными. Ряд параметров, в том числе m_o, определены в ходе экспериментов «в объеме воды между двумя буксируемыми линиями ПИ [Исследование пространственно-временных…, 1991]», что не может, на наш взгляд, считаться корректным. Необходимо критически рассмотреть методику выполнения экспериментов и интерпретацию полученных результатов. В любом случае, так как результаты эксперимента не опуб-

ликованы в открытой печати, нет всех оснований для использования этих материалов. К тому же они не являются полностью доступными.

2. Мы исходим из опубликованных материалов [Саматов, Немчинова, 2000]. Используя приведенные в этой работе данные для одиночного воздействия ПИ на зоопланктон (см. ниже таблицу 5.1), можно рассчитать долю гибели зоопланктона в зависимости от давления, создаваемого ПИ (таблица 5.2).

Таблица 5.1 – Количество окрашенных (живых) организмов (%) в контроле и в эксперименте для одиночного воздействия ПИ на зоопланктон [Саматов, Немчинова, 2000]

Группы зоопланктона	контроль	1 м	2 м	3 м
Copepoda	88.8	67	78.9	87.9
Acartia longiremis	94	74	82	92
Pseudocalanus sp.	83	65	74.5	81.5
Oithona similis	90	68	79	91
Eurytemora herdmani	88	61	80	87
Decapoda, larvae	100	96	100	100
Euphausiacea, furcilia	100	84	98	100

Таблица 5.2 – Результаты расчета доли гибели зоопланктона (m, %) в зависимости от давления, создаваемого ПИ (рассчитано по данным **таблицы 5.1** [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009])

Группы зоопланктона	m_1* (1 м)	m_2*(2 м)	m_3* (3 м)
Copepoda	24.5	14.8	1.1
Acartia longiremis	21.3	16.2	2.4
Pseudocalanus sp.	21.7	13.1	2.0
Oithona similis	24.4	16.2	-1.3
Eurytemora herdmani	30.7	13.1	1.3
Decapoda, larvae	4.0	0.0	0.0
Euphausiacea, furcilia	16.0	2.4	0.0
Среднее значеие доли гибели организмов (%)	**20.4**	**10.8**	**0.8**
Давление создаваемое ПИ (бар)	**2.8**	**1.4**	**0.9**

Примечание:

* – В оригинальном источнике приводятся значения зависимости доли гибели от расстояния до источника, а так же технические характеристики источников, это позволяет указать значение давления соответствующее каждому конкретному расстоянию, используя данные **рисунка 5.7.** Тогда, с учетом реальных погрешностей всех расчетов, можно принять следующий процент гибели зоопланктона при разном давлении от ПИ: при давлении 3 бара - 22 % зоопланктона, при давлении 2 бара - 14 %, при давлении 1 бар - 1 %.

Кроме того, у нас нет точных данных о составе зоопланктона в районе работ. Представленные нашими специалистами данные носят, в основном, экспертный, оценочный характер, а справочные данные, которые были получены нами по запросу, также вряд ли можно считать полными и корректными. Поэтому можно исходить только из усредненных оценок гибели зоопланктона при различных давлениях от ПИ.

3. Поскольку более подробных данных о гибели зоопланктона нет, мы принимаем, что в диапазоне от 3 бар и выше (до максимального давления, создаваемого ПИ) гибнет в среднем 50 % зоопланктона.

Таким образом, имеем окончательно следующее: в диапазоне давлений, создаваемом ПИ 1-2 бара, гибнет в среднем 7.5 % зоопланктона (m_{1-2}= 0.075), в диапазоне давления 2–3 бара гибнет 18 % (m_{2-3}= 0.075), и при давлении большем 3 бар гибнет в среднем 50 % зоопланктона ($m_{>3}$= 0.50).

Зообентос.

При выборе значений доли гибели зообентосных организмов от давления вызываемого пневмоисточниками мы руководствовались следующим: необходимо различать, зообентос с твердой оболочкой и без таковой.

При воздействии ПИ бентос оказывается защищенным, в том числе и грунтом, это подтверждается рядом исследований показывающим высокую устойчивость бентосных организмов представленную, в том числе в материалах НИИМОРГЕОФИЗИКИ [Изучение влияния…, 1990] и в публикации по этим исследованиям [Кошелева и др., 1991].

В настоящее время нет четких и однозначных данных о гибели зообентоса от пневмоисточников.

В работе [Кошелева и др., 1991] приводятся данные о воздействии ПИ на бентос Баренцева моря. Испытанию были подвергнуты гаммариды и брюхоногие моллюски. В этих опытах было показано, что на расстояниях 0.5; 1.0 и 2.0 м от ПИ смертность в контрольных группах и в группах, подвергшихся воздействию, была одинаковой. В приводимых в этой публикации таблицах и в подробном отчете [Изучение влияния…, 1990] имеется информация о частичной (несколько

процентов) гибели бентоса при давлениях волны ПИ в 3-5 бар (оценка значений этого давления сделана с учетом объемов рабочих камер и данных рисунка 5.6).

Учитывая, что корректных данных по этому вопросу нет, нами условно были приняты следующие значения доли гибели зообентосных организмов от давления вызываемого пневмоисточниками:

- на всей площади, где давление больше 3 бар для организмов имеющих твердую оболочку m = 0.02;
- на всей площади, где давление больше 3 бар для организмов, не имеющих твердой оболочки m = 0.04;
- для всех остальных значений давления (меньших 3 бар) m = 0.

5.5 Результаты расчета параметров зон, в которых гибнут гидробионты. Оценка ущерба

Расчет сделан для 68 линий отстрела общей протяжённостью около 1200 км (таблица Е.3 - см. Приложение Е.3). Линии нумерованы с юга на север и изображены на рисунке 5.11. Эти линии были представлены Заказчиком в формате MapInfo TAB в географической системе координат Пулково 1942 года в проекции Гаусса - Крюгера (с центральным меридианом 75º). Распределение точек отстрела по глубинам представлено на рисунке 5.11. Результаты расчетов для всего полигона работ (для всех линий отстрела) представлены в таблице Е.5 Приложения Е.

Основное воздействие при проведении САИ в данном районе будет будет оказываться на планктон (фито-, зоопланктон и ихтиопланктон) и зообентос. Однако данные по ихтиопланктону отсутствуют, кроме того, в районе проведения САИ нет фитофагов, поэтому воздействие на фитопланктон и ихтиопланктон не рассчитывалось. Воздействие на зообентос связано с тем, что глубины в этом районе очень малы и по результатам расчетов требуется конкретно оценить значимость воздействия САИ на зообентос, и, если таковое имеется количественно оценить ущерб от этого воздействия. Возможно также воздействие на морских млекопитающих и птиц, но это воздействие может быть миниминизировано или даже сведено к нулевому путем проведения непрерывного мониторинга за этими объектами и корректировки при этом режимов проведения САИ.

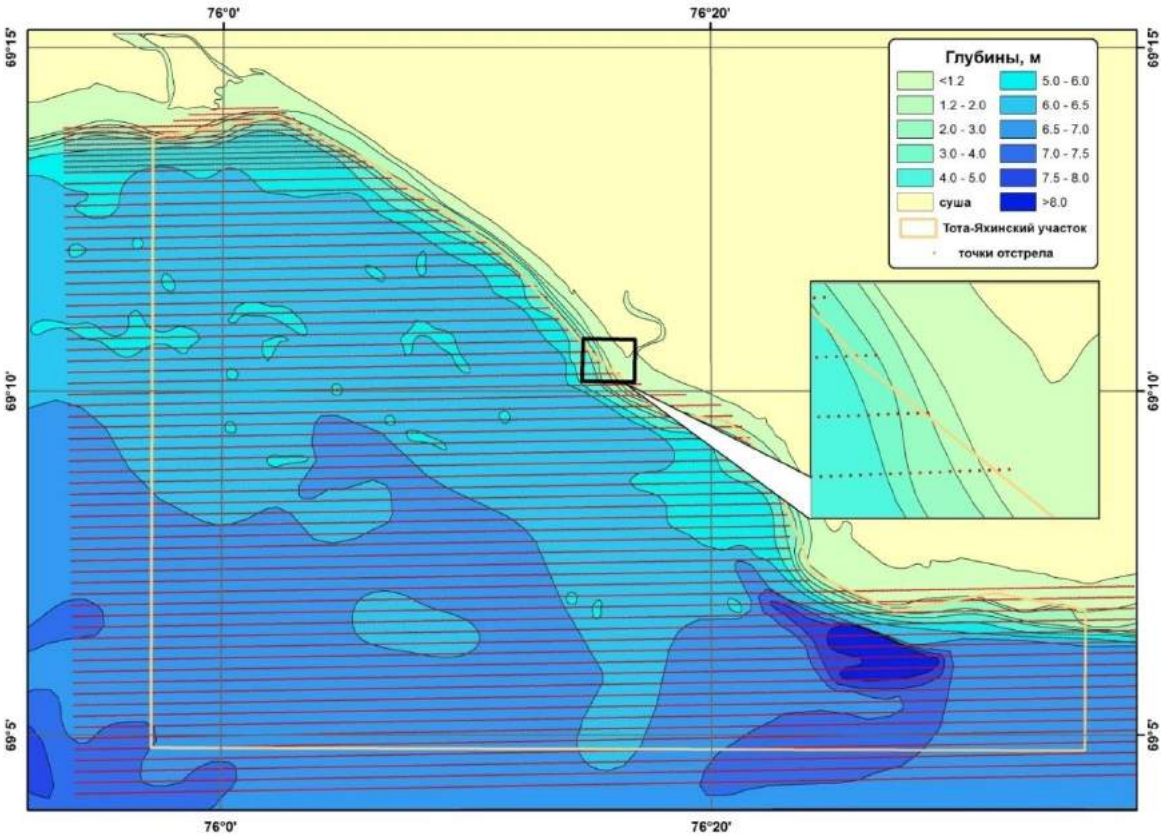


Рисунок 5.11 – Схема расположения точек отстрела по глубинам [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009; Шавыкин и др., 2009; Шавыкин и др., 2010с]

По действующей на том период временной методике [РФ. Правительство. Временная методика …, 1990] был рассчитан ущерб рыбным запасам вследствие гибели кормового зоопланктона ($N_{ЗП}$=92.5 кг рыбы) и вследствие гибели кормового бентоса ($N_Б$ = 3244.3 кг). При принятых уровнях воздействия САИ на гидробионты основной вклад в ущерб в данном случае получен в результате гибели зообентосных организмов (хотя обычно, гибель зообентоса при оценке ущерба от САИ равна нулю). Все это позволяет рассчитать **общий объем компенсационных выплат от проведения указанных работ** [Шавыкин и др., 2009].

На основе изложенного можно сделать следующие выводы. Для учета воздействия пневмоисточников (ПИ) на гидробионты при работе на небольших глубинах (менее 8-10 м) и расчета зон поражения необходимо учитывать отражение акустических волн от поверхности вода – воздух и вода – дно. Эти расчеты зон поражения объема водной толщи и площади дна от ПИ должны проводиться с учетом возникающей интерференционной картины первой волны давления. Использование стериометрического подхода дает существенно искаженные резуль-

таты. Предложен соответствующий метод расчета для оценки зон воздействия сейсмоакустических исследований для малых глубин и для такого участка Тазовского губы Карского моря выполнены расчеты, демонстрирующие этот метод. Требуется проведение фундаментальных научных исследований влияния полей гидроакустического давления ПИ на гидробионты (фито-, зоо-, ихтиопланктон), макро- и мегабентос. Эти исследования должны быть выполнены для наиболее массовых их видов, обитающих в конкретных районах арктических морей. Фактически, требуется реализация предложения Ю.А. Израэля по всестороннему анализу природной среды (см. главу 2 диссертации) и проведению экосистемного мониторинга.

5.6 Современный уровень исследований воздействия антропогенного подводного шума на морских рыб и млекопитающих

5.6.1 Общие сведения о критериях акустического воздействия

Существует множество антропогенных источников звука, которые ведут к беспокойству обитателей моря - сейсморазведка, взрывы, шумы судоходства, драг и забивки свай при строительстве причалов, бурение и работа морских добычных платформ, работа судовых сонаров, морские научные исследования… Морские экологи бьют тревогу по поводу роста антропогенного шума в океане. По словам главы отделения IFAW (The International Fund for Animal Welfare) в Великобритании Р. Марсэнда «Человечество буквально выталкивает китов. … Никто не знает точных последствий для конкретных видов животных, и пока международное сообщество не предпримет превентивных мер, мы сможем только констатировать ужасный ущерб, который мы наносим», отметил он [Шум в океанах …, 2008].

Негативное воздействие высоких уровней шума на китообразных и рыб при обустройстве месторождений на шельфе возможно, так как максимум интенсивности шума от судоходства, строительных и буровых работ находится в частотном диапазоне слуха морских животных и рыб – рисунок 5.12 [OSPAR, 2009, на основании работ - Richardson et al., 1995; Fay, 1988; McCauley et al., 2003; Wenz,

1962]. В этом параграфе 5.6 использованы материала обзора, подготовленного А.И. Веденеевым [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а].

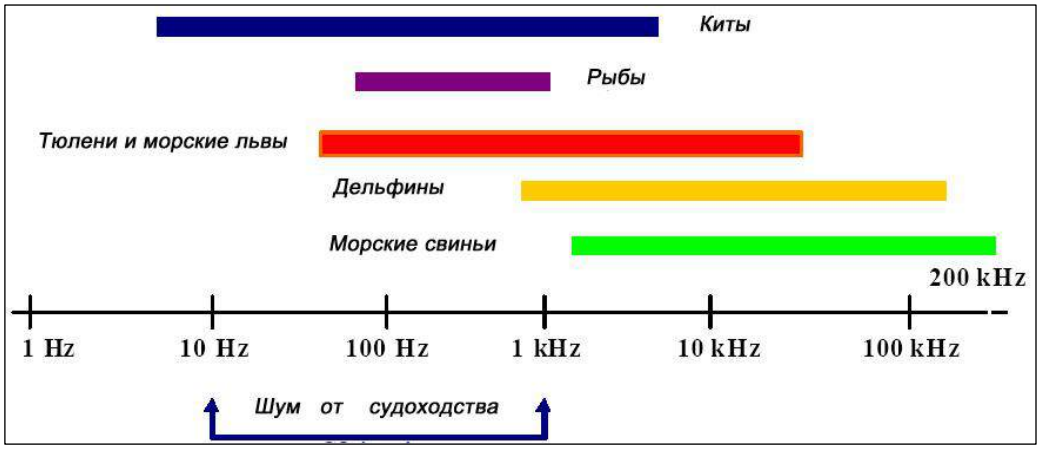


Рисунок 5.12 – Перекрытие частотных диапазонов слуха морских млекопитающих и рыб с частотным диапазоном шума от судоходства

Случаи, вызвавшие наибольший резонанс и озабоченность научного сообщества действия шума на китообразных, приведены в [Weilgart, 2009]. Это причинение шумом кровоизлияния и смерти клюворылых китов [Jepson et al., 2003; Fernández et al., 2005]; уход на 10 лет серых китов из лагун постоянного размножения [Bryant et al., 1984]; шестилетнее избегание района шума косатками [Morton, Symonds 2002]; уход на 1-2 дня белух от источника шума на расстояние 35-50 км [Finley et al., 1990; Cosens, Dueck, 1993], увеличение гормонов стресса у белух в неволе под действием шума [Romano et al., 2004], рост случаев фатального запутывания в сетях горбачей, подвергнутых шуму [Todd et al., 1996].

Проблема влияния антропогенного шума на морскую жизнь – предмет научных исследований и нормативно-правового регулирования в ряде зарубежных стран в последние десятилетия [NMFS, 1995; NMFS, 2003; NOAA, 2005; HESS, 1999; Southall et al., 2007; ICES, AGISC, 2005; MSFD, 2008]. В РФ подобная работа и научные исследования в этом направлении почти не проводилась. Но необходимость учета воздействия подводного шума при освоении месторождений на шельфе, в том числе арктическом, связана с требованием к нефтегазовым компаниям в соответствии с российскими законами представлять на госэкспертизу в составе проектной документации на объекты капитального строительства раздел

"Перечень мероприятий по охране окружающей среды", содержащий оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС) планируемых работ.

5.6.2 Виды морских млекопитающих и рыб, которые могут подвергнуться воздействию антропогенного шума в Баренцевом и Карском морях

В Баренцевом море встречаются представители отрядов китообразных, ластоногих и хищных: 7 видов ластоногих (моржи и настоящие тюлени) и 17 видов китообразных (зубатые киты и дельфины и усатые киты), многие из которых обитают в Баренцевом море в течение всего года, а также белый медведь (см. полный перечень, численность и охранный статус в Приложении Е.4 (таблица Е.6)).

В Карском море наиболее обычны: морж, морской заяц, кольчатая нерпа, гренландский тюлень. В настоящее время морские млекопитающие Карского моря представлены животными отрядами китообразных, ластоногих и хищных. В пределах этих групп в море встречаются 2 вида китов, 4 вида ластоногих и один вид хищников – белый медведь (подробнее см. Приложение Е.4 (таблица Е.7)).

Плотность популяций крупных морских млекопитающих рассчитанная по всей акватории Баренцева моря в летне-осенний период невелика, а для зимне-весеннего периода на порядок меньше (значительная часть китообразных всех видов китообразных в этот период покидает Баренцево море, откочевывая в Среднюю Атлантику).

Шум строительства, например, на ШГКМ, в основном – низкочастотный шум в частотном диапазоне от единиц Гц до нескольких кГц, с максимумом интенсивности ниже 1 кГц. Это инфразвук от вращения бура при бурении скважин и низкочастотный шум от винтов и механизмов судов при строительстве. При этом промышленный шум будет также включать и более высокочастотные компоненты – от сигналов судовых гидролокаторов и эхолотов (до 15 кГц).

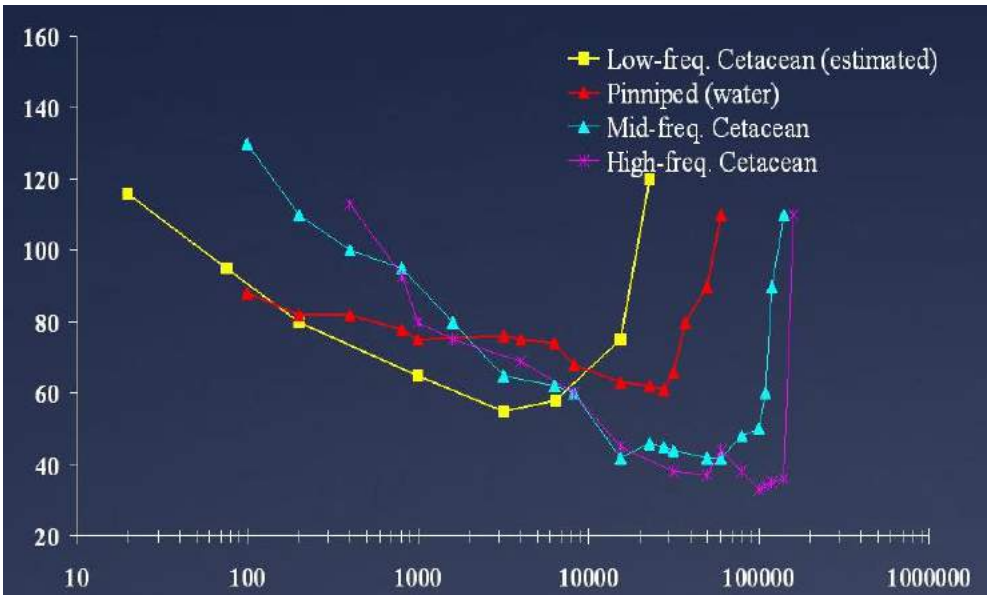
Кит Минке, горбач, финвал и гренландский кит относятся к подотряду Усатые киты *(*Mysticeti*)*, которые в работе [Southall et al., 2007] классифицируются как низкочастотные китообразные. Косатка, белуха, беломордый дельфин, обык-

новенная морская свинья относятся к подотряду Зубатые киты (Odontoceti), классифицируемые как средне и высокочастотные китообразные [Southall et al., 2007]. Из морских млекопитающих усатые киты имеют наиболее низкочастотный слух с хорошей чувствительностью в диапазоне частот, где расположен максимум интенсивности шумов от судоходства (см. рисунки. 5.12 и 5.13) и работы [Richardson et al., 1995; Southall et al., 2007]. Поэтому усатые киты - кит Минке, горбач, финвал и гренландский кит будут наиболее подвержены риску воздействия шума от строительных судов. Среднечастотные зубатые киты (косатка, белуха, беломордый дельфин), имеющие более низкую чувствительность слуха на низких частотах, будут менее подвержены воздействию шума от судов. Однако они, вместе с ластоногими, имеющими в воде промежуточную (межу усатыми и зубатыми видами китообразных) чувствительность слуха, могут подвергаться вредному воздействию сигналов гидролокаторов и эхолотов. Морские свиньи (обыкновенная и белокрылая свиньи) из-за низкой чувствительности слуха в основном частотном диапазоне шумов строительства (ниже 1 кГц), менее других видов будут подвергнуты риску негативного воздействия шума.

На рисунке 5.13 представлены так называемые аудиограммы - зависимости порога слуха китообразных и ластоногих (в воде) от частоты [Richardson et al., 1995; Kastelein et al., 2002]. Кривая аудиограммы для низкочастотных китообразных является лишь оценочной, измерения не проводились из-за трудности в экспериментах с крупными животными.

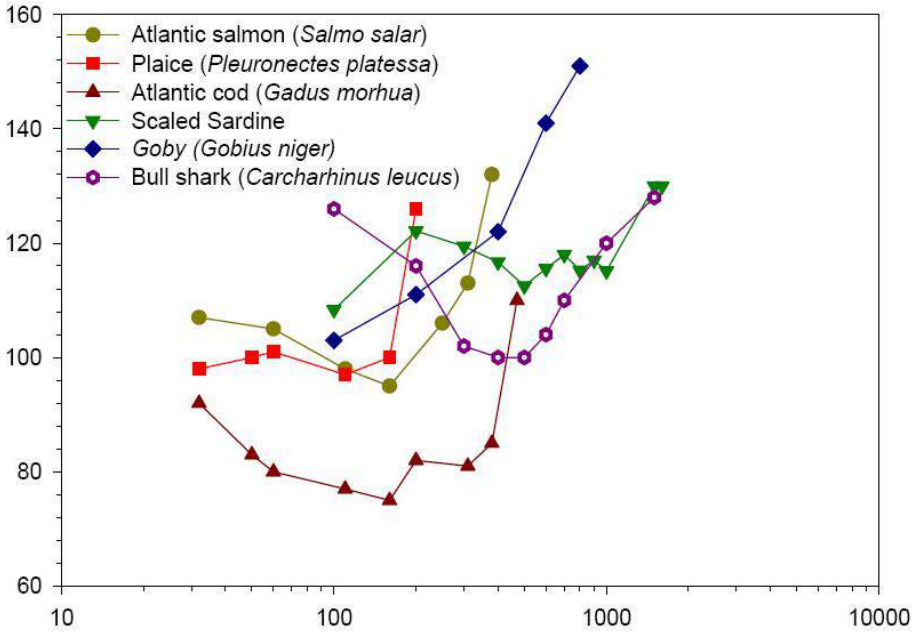
Основными видами рыб, добыча которых производится в данном регионе, являются: треска, пикша, сайда, черный палтус, сельдь и мойва, причем с экономической точки зрения треска является самым важным видом рыбы в Баренцевом море. Известно, что большинство видов рыб имеет низкочастотный слух, с наилучшей чувствительностью в полосе частот до 1 кГц [Fay, 1988; McCauley et al., 2003], где интенсивность промышленных шумов максимальна. Поэтому, все виды рыб, встречающиеся в Баренцевом море, могут быть в определенной мере подвержены акустическому воздействию шума от строительства ШГКМ или подобного проекта, причем в наибольшей мере риску воздействия будут подверже-

ны тресковые виды (треска, пикша) имеющие достаточно чувствительный слух - см. рисунок 5.14 [Fay, 1988].



По оси абсцисс – частота в Гц, по оси ординат – порог слышимости в дБ отн. 1 мкПа

Рисунок 5.13 – Аудиограммы слуха низко-, средне- и высокочастотных морских млекопитающих и ластоногих (в воде)



По оси абсцисс – частота в Гц, по оси ординат – порог слышимости в дБ отн. 1 мкПа

Рисунок 5.14 – Аудиограммы - пороги чувствительности слуха рыб (перевод названий рыб: *Atlantic salmon* - Атлантический лосось; *Plaice* – камбала; *Atlantic cod* – треска; *Scaled Sardine* – сардина; *Goby* – бычок)

Высокий уровень индустриальных шумов при строительстве ШГКМ или реализация подобного проекта может нарушать ориентационное поведение жи-

вотных, их миграционные пути в Баренцевом море, маскировать их коммуникационные сигналы, поэтому необходим учет уровня этого шума и его снижение в местах скоплений гидробионтов и на путях их миграции, а также расчет соответствующего ущерба от превышения критического порога.

5.6.3 Критические уровни звука, вызывающие негативные изменения в поведении морских млекопитающих и рыб

Различные программы исследований были инициированы в разных странах, (например [JIP 2006 – 2010, 2010]), но достоверных данных опубликованных в научной литературе по акустическому воздействию подводного шума на морских млекопитающих, по прежнему крайне мало [Wyatt, 2008]. Монография Ричардсона с соавторами «Морские млекопитающие и шум» [Richardson et al., 1995] до сих пор - важный источник данных по акустическому воздействию подводного шума. Наиболее полный обзор последних публикаций после выхода монографии Ричардсона представлен в [Southall et al., 2007]. Из других важных работ на эту тему следует отметить отчеты международных комитетов и конференций [OSPAR, 2009; Committee on Potential, 2003; Wright (ed), 2008; Wright (ed), 2009; Walmsley (ed) 2007; NRC, 2005; Cork Rep., 2010; Tasker et al.,, 2010 и обзор Nowacek et al., 2007].

Для классификации зон воздействия шума на морских млекопитающих часто используется упрощенная двухмерная модель, связывающая эффекты воздействия с расстоянием от источника звука. Эта модель показана на рисунке 5.15.

В Приложении Е.5 представлены данные поведенческого отклика морских млекопитающих на непрерывный тип шума по шкале уровня биологической значимости, которая указана в таблице Е.8. Для низкочастотных китообразных – в таблице Е.9, среднечастотных китообразных – таблице Е.10 и ластоногих (в воде) – таблице Е.11 . Эти данные заимствованы из работы [Southall et al., 2007], где они были отобраны как наиболее достоверные. В этой работе есть аналогичная таблица и для высокочастотных китообразных (представители – обыкновенная и белокрылая морские свиньи), однако, эти данные не рассматриваются из-за того, что

они были получены при использовании высокочастотных (свыше 10 кГц) излучателей - приборов для устрашения или отпугивания дельфинов и ластоногих от запутывания в рыбацких сетях.

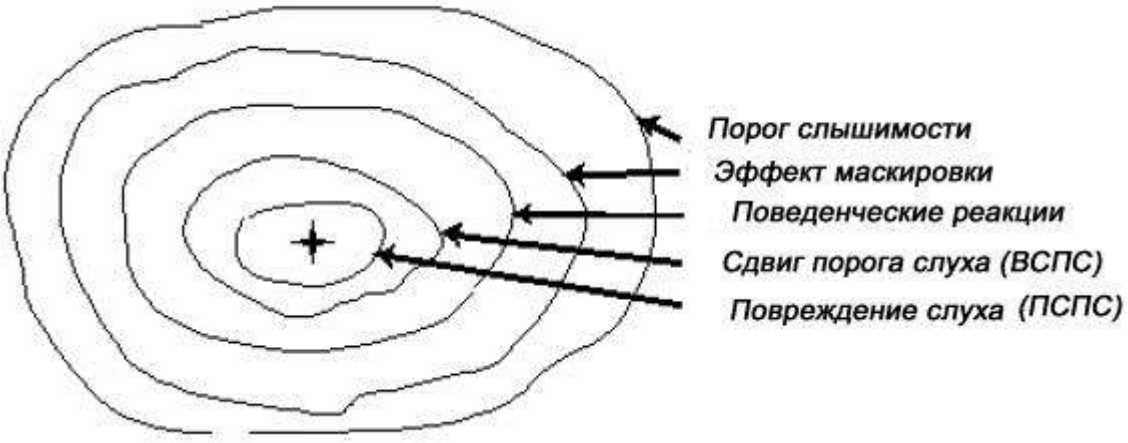


Рисунок 5.15 – Теоретические зоны акустического воздействия на морских млекопитающих и возможные эффекты в зависимости от расстояния до источника звука

Американское Национальное Агентство по Морскому Рыболовству [NMFS, 1995] начало использовать критерии для оценки физического ущерба морских млекопитающих от импульсного подводного шума - 190 дБ отн. 1мкПа скз (среднеквадратичное значения уровня звукового давления) для ластоногих и большинства зубатых китов и 180 дБ отн. 1мкПа скз для усатых китов **(**Mysticetes**)** и кашалотов (*Physeter macrocephalos*). В настоящее время NMFS продолжает использовать 180 дБ критерий для прогноза серьезного ущерба от акустического воздействия сейсморазведки для китообразных (и 190 дБ для ластоногих), также как критического уровня воздействия на поведение 160 дБ от импульсного сигнала, основанного, прежде всего на наблюдениях за реакцией мигрирующих и кормящихся усатых китов на импульсы от пневмопушек [Malme et al., 1983; 1984; 1988]. Следует отметить, что эти критерии были установлены до того, как были получены первые данные о минимальных звуковых воздействиях, вызывающих временное повреждение слуха у морских млекопитающих.

До 1994 г. для всех видов китообразных для случая не импульсных сигналов (типа "непрерывных" индустриальных шумов) NMFS рекомендовала применять

критерий акустического воздействия на поведение - 120 дБ отн. 1мкПа, скз. Критерий был основан на ограниченных (небольшая выборка) данных от Мальме, наблюдавшего, что 50 % усатых китов покидали зону кормления при уровнях непрерывного шума свыше 120 дБ скз [Malme et al., 1983, 1984]. Эти данные были взяты за основу при разработке энергетического критерия для акустического мониторинга районов нагула исчезающей «краснокнижной» популяции Западных серых китов вблизи нефтегазовых разработок на шельфе о. Сахалин [Веденев, 2006, 2008, 2009; Vedenev, 2007; Vedenev, Nowacek, 2009; Nowacek et al., 2010].

Из-за недостатка экспериментальных данных и высокой изменчивости поведенческого отклика морских млекопитающих авторы работы [Southall et al., 2007] не смогли указать единых значений для критических уровней непрерывного (не импульсного) типа шума для негативного (биологически значимого) воздействия на поведение животных. Большая разнородность данных не позволяет сделать однозначные выводы о критических уровнях вызывающих негативный поведенческий отклик. Эти вопросы в настоящее время открыты и требуют дальнейших исследований. Поэтому, для оценки возможного ущерба морским млекопитающим от промышленного шума в период освоения ШГКМ, данные, указанные в таблицах Е.9 – Е.11 Приложения Е, следует использовать с осторожностью.

5.6.4 Критические уровни звука и зоны акустического воздействия для рыб

Известно, что большинство видов рыб имеет низкочастотный слух, с наибольшей чувствительностью в полосе частот до 1 кГц и порогом чувствительности слуха от 70 до 130 дБ отн. 1мкПа [Popper, Hastings, 2009; McCauley et al., 2003; Fay, 1988] – рисунок 5.14. Тресковые виды рыб обладают сравнительно низким порогом слуха в диапазоне частот 60 Гц- 380 Гц, где размещается максимум интенсивности шумов судоходства и промышленного шума от строительных операций. Некоторые виды рыб (классифицируемые как «hearing specialists») слышат звуки свыше 3 кГц, а некоторые виды рыб, у которых отсутствует плавательный пузырь или отсутствует канал передачи колебательного движения от оболочки

пузыря к внутреннему уху, имеют только низкочастотный слух с относительно высоким порогом слуха, они классифицируются как «generalists» [Popper, Hastings, 2009]. Например, атлантический лосось слышит в области инфразвуковых частот 10 – 35 Гц [Knudsen et al., 1997], т.е. хорошо слышат тональные компоненты шума гребных винтов судна и буровых установок. Возможность рыб слышать инфразвук (до 30 Гц) подтверждается данными и других исследований [Sand et al., 2001; Sonny et al., 2006].

Рыбы способны слышать звуки забивки свай или сейсморазведки в радиусе многих десятков километров, но ожидать какой-либо реакции на звук следует лишь до расстояний порядка 30–40 км [Popper, Hastings, 2009; Vedenev, 2009; Пирсон и Веденев, 2010].

По данным разных источников, рыбы начинают проявлять реакции избегания района с повышенным уровнем звука при уровнях 130-142 дБ отн. 1мкПа. Уровни звука 160 дБ и выше вызывают более заметные сдвиги в поведении у рыб - поведенческие реакции испуга и бегства от источника звука [Popper, Carlson, 1998; Karlsen et al., 2004]. Такие реакции называют «С-стартом», так как тело рыбы перед бегством принимает форму буквы «С». Из ограниченных данных [Wardle et al., 2001; Karlsen et al., 2004; Hassel et al., 2004], следует, что при воздействии импульсами стрессовые реакции рыб типа «С - старта» начинаются при уровнях свыше 160 дБ отн. 1мкПа. При уровнях акустического воздействия, порядка 160 -170 дБ отн. 1мкПа, может наблюдаться временный сдвиг порога слуха (ВСПС). В работах [Smith et al., 2004; 2004a] показано, что при 20 дневном воздействии на рыб с разной чувствительностью слуха («specialists» и «generalists») широкополосным шумом 170 дБ отн. 1мкПа у рыб с низким порогом слуха (goldfish – «hearing specialists») наблюдалась существенная потеря слуха, в то время как для рыб с высоким порогом слуха (Nile tilapia – «hearing generalists») этот эффект не наблюдался.

В 1992 г. Энгас [Engås et al., 1993, 1996] провел в Баренцевом море широкомасштабное исследование пространственных размеров и продолжительности эффекта сейсморазведки (с ПИ 82 л, район 3х10 миль, 5 дней) на количество рыбы в

районе (оценка акустическими сонарами) и эффективность ее лова сетями и тралами. Эффект снижения улова зафиксирован на расстояниях до 18 миль от района сейсморазведки, в той же пропорции как общее снижение количества рыбы (по данным акустического зондирования). Эффект снижения уловов продолжался несколько дней после окончания сейсморазведки. Явные негативные реакции и снижение эффективности лова имеют место при интенсивности импульсного звука выше 180 дБ отн. 1 мкПа [Dalen, 2007]. В ряде работ это считают порогом наступления патологических эффектов. Данные по патологическому воздействию звука на рыб крайне ограничены и относятся к рыбам, помещенным в садки и клетки. Два исследования с непрерывными сигналами показали, что чистый тон высокой интенсивности (свыше 180 дБ отн. 1 мкПа), действующий несколько часов может вызывать повреждения чувствительных волосковых клеток органа слуха нескольких видов рыб [Enger, 1981; Hastings et al., 1996]. Из-за специфического устройства слуха рыбы его повреждение может сопровождаться и расстройством вестибулярного аппарата, что ведет к потере ориентации.

По-видимому, единственная количественная оценка зависимости снижения эффективности лова от интенсивности звука выполнена группой Скальского [Skalski et al., 1992], наблюдавшей снижение улова морского окуня на единицу промыслового усилия при экспозиции рыб звуком интенсивностью выше 186 дБ. Баротравмы и повреждение слуха у ряда рыб наблюдались при интенсивности выше 200–210 дБ. Судя по литературным данным, гибель рыб наблюдается при интенсивности звука выше 226-234 дБ отн. 1 мкПа [Turnpenny, Nedwell, 1994].

Гибель взрослых рыб едва ли будет иметь место при типовых работах по освоению месторождений типа ШГКМ, реальную опасность может представлять только операция с работой подводного молота по забивке свай при установке оснований конструкций. В работе [Carlson et al., 2007] предложены, а затем приняты Гидроакустической Рабочей Группой по Рыболовству США (FHWG) критерии акустической травмы рыб при забивке свай в 205-207 дБ пиковых значений или 185- 189 дБ отн. 1 мкПа^2-с для накопленного более чем за день УЗВ.

Исходя из приведенных выше данных и обзора [Веденев, 2009а], можно предложить классификацию зон акустического воздействия строительных работ на рыб по следующим критическим уровням звука в дБ отн. 1мкПа, скз в зонах:

130-140 дБ отн. 1мкПа, скз - начало поведенческих реакций, беспокойство;

140 дБ - 160 дБ - начало негативных поведенческих реакций, избегание зоны с повышенным уровнем шума, вероятность снижения уловов;

160 дБ - 180 дБ - испуг, стресс, «С-старт», ВСПС, снижение шансов на успешный нерест, высокая вероятность снижения уловов;

180 дБ - 200 дБ - вероятность повреждение слуха, потеря ориентации, потеря эффективности лова;

200 дБ - 230 дБ – баротравмы, высокая вероятность гибели, если нарастание фронта импульса меньше 1 мс.

5.6.5 Итоговые значения критических уровней звука для морских млекопитающих и рыб

Обзор литературных данных современного уровня исследований по воздействию непрерывного гидроакустического шума на морскую биоту показал, что рекомендованы только значения для критических уровней приводящим к баротравмам и патологическим эффектам, в то время как критические уровни, при которых начинаются негативные поведенческие реакции, точно не определены (предложены, обсуждаются, но как рекомендации еще не приняты). Это связано с высокой изменчивостью поведенческого отклика не только среди видов, но и внутри вида, в зависимости от пола, возраста, опыта, контекста ситуации и физических характеристик действующего звука. Кроме того, вопросы ущерба от кумулятивного уровня звукового воздействия шума (УЗВ) и его биологической значимости на уровне популяций животных в настоящее время открыты и требуют дальнейших исследований. В таблицах Е.9 – Е.11 (Приложение Е) представлены наиболее достоверные данные поведенческого отклика на непрерывный тип шума, но их недостаточно, чтобы количественно оценить ущерб здоровью или угрозу для вида на уровне популяции. Считается, что даже ВСПС (временный сдвиг порога слуха) не является травмой, хотя он может наступать лишь при весьма вы-

соком уровне звукового воздействия (УЗВ) - 183 дБ отн. 1 мкПа^2-с или пикового значения импульсного звука в 224 дБ отн. 1 мкПа [Southall et al., 2007].

Критические уровни звука для начала негативного акустического воздействия, рекомендованные в литературе за последнее десятилетие разными авторами, суммированы в таблице Е.12 Приложения Е.5.2 [Tasker et al.,, 2010].

Таким образом, анализ данных из литературных источников показал, что из-за недостатка экспериментальных данных и высокой изменчивости поведенческого отклика в зависимости от вида, пола, возраста, опыта, чувствительности слуха, контекста ситуации и физических характеристик звука, до сих пор нет рекомендаций по единым значениям для критических уровней непрерывного шума, которые вызывают негативные (т.е. биологически значимые) изменения в поведении морских млекопитающих. Большая разнородность данных в литературе не позволяет сделать однозначные выводы о критических уровнях вызывающих негативный поведенческий отклик. Кроме того, вопросы о продолжительном или кумулятивном воздействия шума и его биологической значимости на уровне популяций гидробионтов в настоящее время открыты и требуют дальнейших исследований.

Следуя прецеденту применения «120 дБ критерия» для порога начала негативного воздействия непрерывного промышленного шума строительства на исчезающую популяцию западных серых китов на шельфе о. Сахалин, для морских млекопитающих Баренцева моря (для видов, занесенных в Красные книги по 1-й категории), также возможно применение данного критерия. Однако следует учитывать, что это критерий основан на крайне ограниченных наблюдениях одного автора [Malme et al., 1983; 1984], и его используют в исключительных случаях, исходя из «принципа предосторожности». Для применения этого критерия к охраняемым морским млекопитающим Баренцева моря нужны современные и детальные данные об их охранном статусе, численности, цели пребывания (нагул/миграция) и сезонной плотности распределения в конкретных районах.

Все виды рыб, встречающиеся в Баренцевом море, могут быть в определенной мере подвержены акустическому воздействию шума от строительства и эксплуатации морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ иди

схожих с ним проектов, причем в наибольшей мере риску воздействия будут подвержены тресковые виды (треска, пикша) имеющие чувствительный слух в области низких частот. *Это может привести к временному снижению уловов в акватории строительных работ с уровнями шума свыше 140 дБ отн. 1мкПа.* Для расчета снижения уловов или репродуктивности видов нужны конкретные данные по их биологии, видовому составу и сезонной плотности распределения в районах размещения подводных добычных комплексов. Гибель взрослых рыб от шумового воздействия едва ли будет иметь место при типовых работах по освоению месторождений типа ШГКМ, реальную опасность (для икры и молоди рыб) может представлять только операция с работой подводного молота по забивке свай при установке оснований конструкций. Для корректного учета воздействия на биоту Баренцева моря антропогенного шума от строительства и эксплуатации морских объектов освоения ШГКМ требуются дополнительные исследования.

5.7 Анализ возможного гидроакустического воздействия на морскую биоту объектов 1-й фазы освоения Штокмановского месторождения

5.7.1 Общее описание подводного добычного комплекса Штокмановского месторождения

Штокмановское газоконденсатное месторождение расположено в центральной части Баренцева моря в 610 км к северо-востоку от Мурманска и в 250 км к западу от побережья арх. Новая Земля. Глубины моря в районе месторождения ≈ 350 м. Для обустройства месторождения, вместо морских добывающих платформ, будет использован Подводный Добычной Комплекс (ПДК) с системами подсоединения технологического судна (ТС) (Приложение Е.6.1). Общий вид ПДК – см. рисунок 5.16 (технические сведения предоставлены компанией «Штокман Девнелопмент АГ» по договору [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а]).

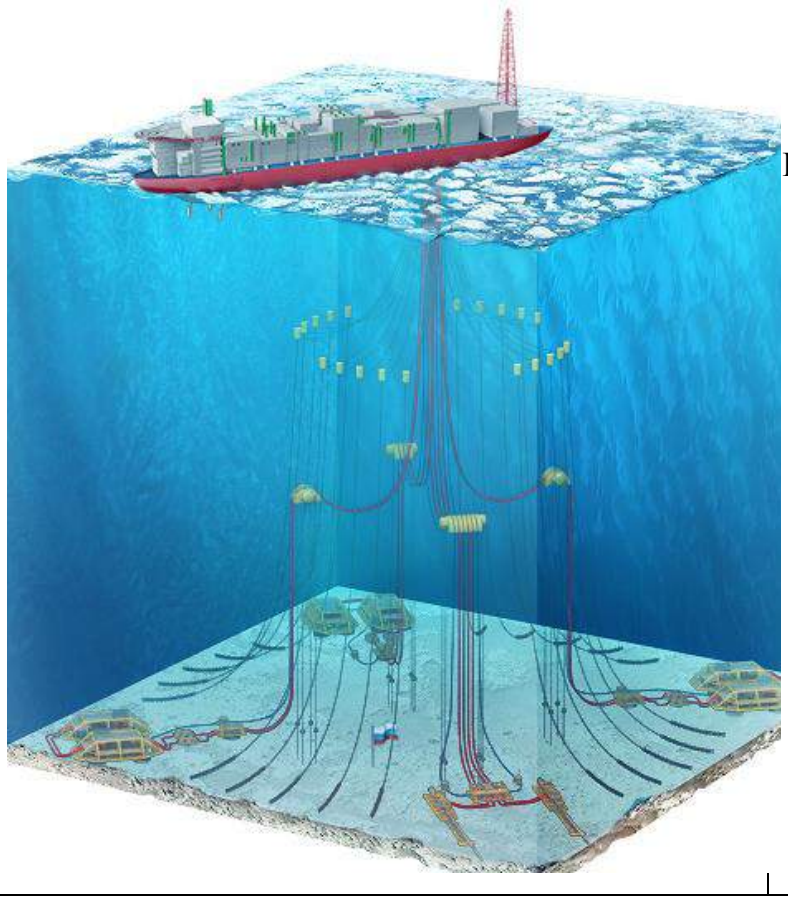


Рисунок 5.16 – Общий вид подводного добычного комплекса ШГКМ (первая фаза) [Морской добычной…, 2014]

Транспортировка продукции с ПДК на берег будет осуществляться по двухниточному морскому трубопроводу в двухфазном виде. Концепция двухфазного потока предполагает доставку газа и газового конденсата с месторождения на берег с последующим разделением их на берегу. В период строительства ПДК и двухниточного трубопровода в этих районах ожидается резкое увеличение уровня подводного промышленного шума, который, потенциально, может оказать вредное акустическое воздействие на гидробионтов Баренцева моря, в первую очередь на мигрирующих морских млекопитающих и рыб. Для оценки возможного ущерба от вредного акустического воздействия проанализированы современные литературные данные, указана шкала по уровням воздействия непрерывного промышленного шума и численно рассчитаны размеры зон гидроакустического воздействия на морских млекопитающих и рыб Баренцева моря.

Основные источники промышленного гидроакустического шума при проведении работ по строительству морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ перечислены в Приложении Е.6.2. Состав судов и прогнозируемые уровни шума при типовых операциях – Приложение Е.6.3. По материалам, предоставлен-

ным ШДАГ, были определены основные источники промышленного шума (Приложение Е.6.4) при проведении работ по строительству морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ. Наиболее шумной операцией при строительстве Подводного Добычного Комплекса может быть операция по установке подводных точек якорения с использованием подводного молота.

Для расчетов по шумности судов и их спектрам взяты суда-аналоги и экспертно оценены их уровни шумов. Для корректного расчета зон воздействия требуется проведение предварительных измерений уровней шума и его спектра для каждого судна, участвующего в соответствующей операции. На момент подготовки отчета состав судов и их спектральные характеристики были неизвестны.

5.7.2 Оценка размеров зон гидроакустического воздействия на морскую биоту работ по строительству и эксплуатации морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ

В качестве источников исходных данных для расчетов потерь при распространении звука были использованы открытые источники: базы данных по рельефу дна Etopo1 [Amante, Eakins, 2009], 0.25 градусный цифровой атлас температуры и солености [Monterey, Levitus, 1997]. Скорость звука в воде вычислялась в зависимости от температуры и солёности по формуле Чена-Миллеро [Chen, Millero, 1977]. Поле геоакустических свойств дна (плотности и упругости) в Баренцевом море взято по обобщенным геологическим данным, предоставленным компанией ШДАГ. Данные об уровнях шума строительной флотилии подбирались по судам-аналогам, для которых измерения шума были проведены ранее при строительных работах на шельфе о. Сахалин, а результаты измерений опубликованы в открытой печати. Расчеты проведены для мая (осенне-зимний сезон) и сентября (летне-осенний сезон), т.к. распространение звука зависит от пространственного распределения скорости звука в воде, зависящего, в свою очередь, от времени года и конкретной погоды. Дополнительные исходные данные приведены в Приложении Е.6. Все расчеты выполнены ст. научн. сотрудн. Института машиноведения РАН к.ф.-м.н. К.В. Авиловым.

Шумность установочного судна принята равной таковой буксира Britoil 51 при буксировке, увеличенного на 5 дБ (рисунок 5.17), шумность буксиров принята равной шумности буксира Britoil 51 при буксировке. Его энергетический спектр имеет форму, что и на рисунке 5.17 со значениями меньшими на 5 дБ.

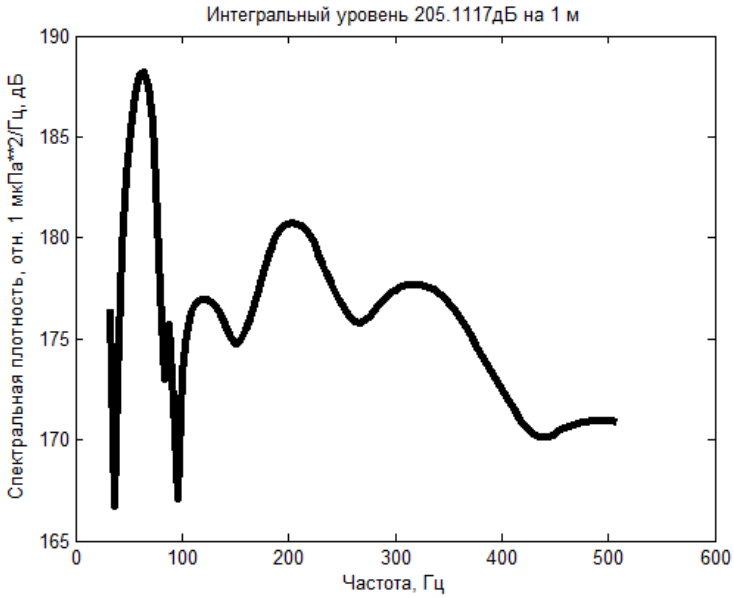
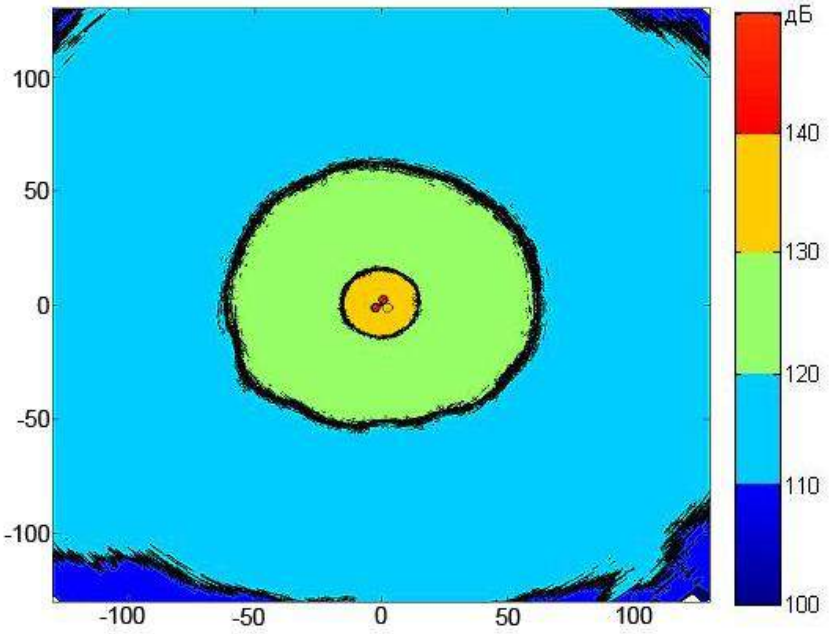


Рисунок 5.17 – Энергетический спектр эквивалента установочного судна в ордерах 1 – 3, [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а]

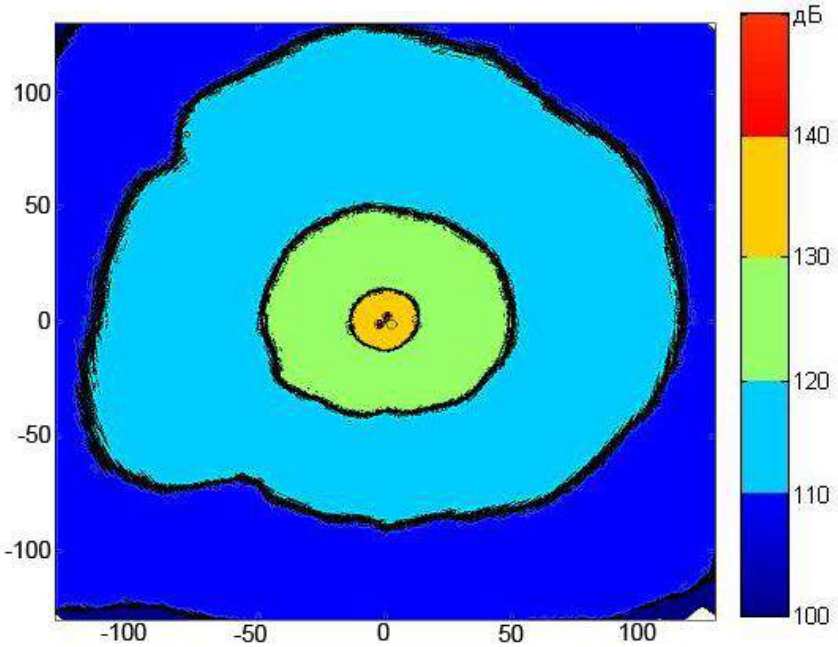
На рисунках 5.18 – 5.21 [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а] приведены картины интегральных уровней шума для различных конфигураций ордеров на добычных площадках. Результаты расчетов для остальных вариантов (укладка трубопровода, четыре разных точки) приведены в таблице 5.3 (см. также рисунок 5.22). Вследствие того, что шумность и построение ордера 1 и ордера 2 совпадают, результаты для одновременной работы ордеров 1 и 2 совпадают с таковыми для двух ордеров 1.

Ордер 1 состоит из установочного судна и двух буксиров, отстоящих от установочного судна на север и на юг на 1200 м каждый — длину буксировочного троса (имеется ввиду - удержание баржи при разгрузке). Ордер 2 имеет ту же структуру, что и ордер 1. Шумы вспомогательного судна при расчете не учитывались, т.к. уровень его максимального шума значительно (10 .. 15 дБ) ниже шума буксира и основную часть времени оно находится в режиме ожидания, а не движения. Ордер 3 состоит из одного установочного судна и одного буксира, отстоящего от установочного судна на север на 1200 м.



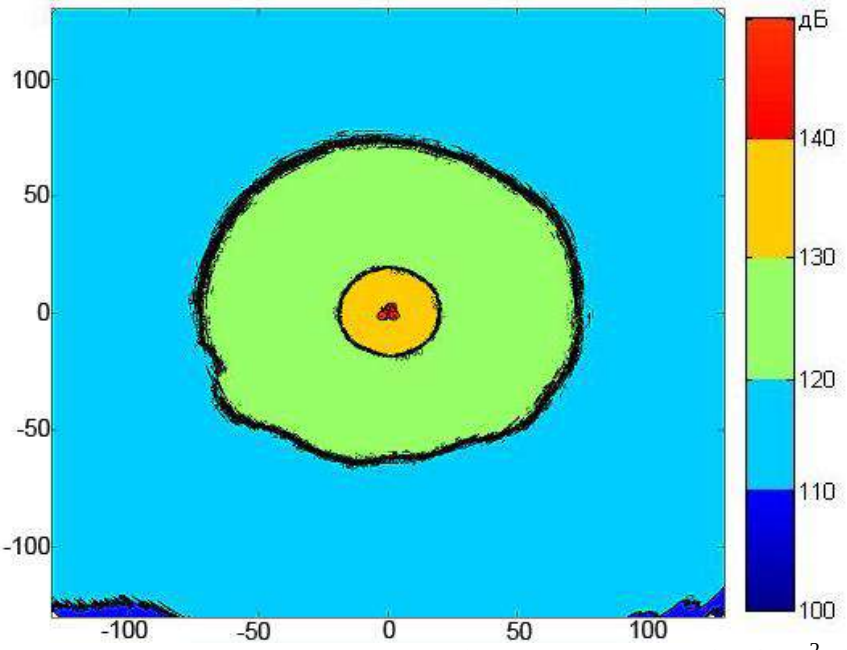
По осям X и Y – метры. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ – 11405 км^2, 130 дБ – 736 км^2, 140 дБ – 14.7 км^2. Три черных окружности в центре отмечают площадки A, D, K

Рисунок 5.18 – Зоны гидроакустического воздействия в мае месяце при работе ордера 1 на добычной площадке A и ордера 2 на добычной площадке D



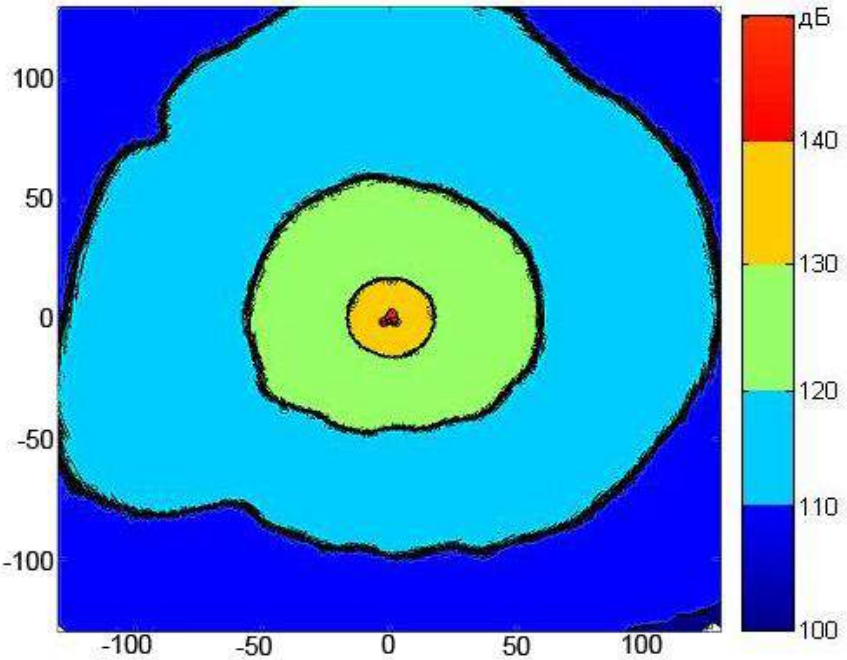
По осям X и Y – метры. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ – 7174 км^2, 130 дБ – 568 км^2, 140 дБ – 8.8 км^2. Три черных окружности в центре отмечают площадки A, D, K

Рисунок 5.19 – Зоны гидроакустического воздействия в сентябре месяце при работе ордера 1 на добычной площадке A и ордера 2 на добычной площадке D



По осям X и Y – метры. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ – 16224 км^2, 130 дБ – 1167 км^2, 140 дБ – 36.6 км^2. Три черных окружности в центре отмечают площадки A, D, K

Рисунок 5.20 – Зоны гидроакустического воздействия в мае месяце при работе ордера 1 на добычной площадке A, ордера 2 на добычной площадке D и ордера 3 на добычной площадке K



По осям X и Y – метры. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ – 9742 км^2, 130 дБ – 880 км^2, 140 дБ — 31.7 км^2. Три черных окружности в центре отмечают площадки A, D, K

Рисунок 5.21 – Зоны гидроакустического воздействия в сентябре месяце при работе ордера 1 на добычной площадке A, ордера 2 на добычной площадке D и ордера 3 на добычной площадке K. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ – 9742 км^2, 130 дБ – 880 км^2, 140 дБ — 31.7 км^2. Три черных окружности в центре отмечают площадки A, D, K

Рисунок 5.22 – Положение трех точек на трассе подводного трубопровода, для которых проводились расчеты зон гидроакустического воздействия (таблица 5.3) [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а]

Численные расчеты показали, что из-за специфических условий распространения звука в районе строительства ПДК, уровни звука на различных горизонтах глубины отличаются незначительно. При отсутствии точных экспериментальных данных о спектрах шумоизлучения установочных судов строительной флотилии, глубинной зависимостью размеров зон гидроакустического воздействия на морских млекопитающих и рыб можно пренебречь. Подробнее зоны гидроакустического воздействия на морскую биоту представлены в таблице 5.3.

Площади с заданным уровнем для сентябрьских гидрологий примерно в полтора раза по ниже сравнению с майскими вследствие прогрева поверхностных слоёв водной толщи и перехода к придонному характеру распространения звука. Отмечается явная зависимость «озвученных» площадей от глубины для более мелководных районов с существенными неровностями рельефа дна, что говорит о необходимости изучения плотности распределения гидробионтов и по глубине для правильной оценки воздействия на них.

Сводная картина распределения двух краснокнижных видов морских млекопитающих (горбача и блювала) для весеннего периода размеров зон акустического воздействия от работ на лицензионной площадке при укладке подводного трубопровода паказана на рисунке 5.23.

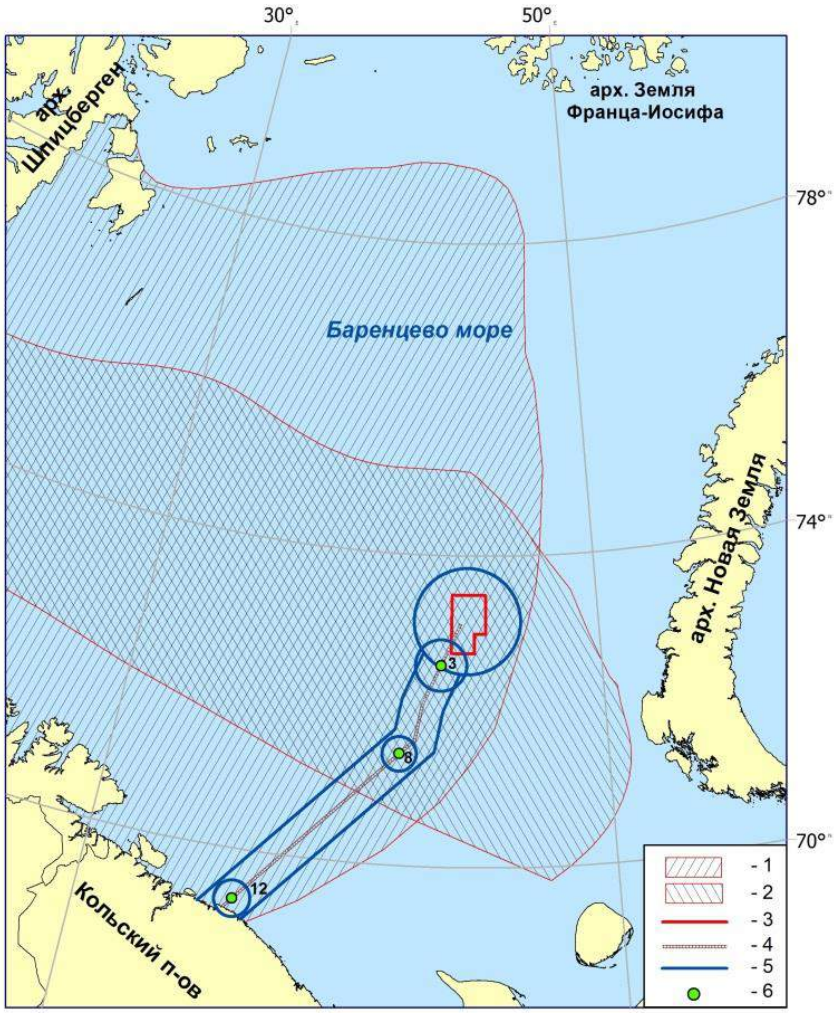
Таблица 5.3 – Результаты расчета зон гидроакустического воздействия при строительстве подводного добычного комплекса и подводного трубопровода, а также при работе манифольдов [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а]

Район работ	**Выполняемая операция**	**Глубина приема сигнала, м**	**Период работы**	
			май	**сентябрь**
			Размеры зоны (> 120 дБ), км^2	
Лицензионная площадка (A, D, K – добычные площадки)	Ордер 1 - A Ордер 2 - D	Поверхность моря	11 405 R ≈ 60 км	7 174 R ≈ 48 км
	Ордер 1 - A Ордер 2 - D Ордер 3 - K	Поверхность моря	16 224 R ≈ 72 км	9 742 R ≈ 56 км
Трасса подводного трубопровода	Укладка ПТ в точке 3 (трубоукладочное судно)	(*) 12.5 25 50 100 150 200 (*) 250	4385.2 4235.3 4100.2 4066.7 4053.6 3911.5 3524.1	4341.5 4209.5 3141.4 2869.2 2819.2 2757.4 2475.2
	Укладка ПТ в точке 8 (трубоукладочное судно)	12.5 25 50 100 150 200 250 300	1900.0 1821.4 1697.0 1685.9 1650.3 1386.1 1119.3 495.5	1449.2 1405.5 1090.0 1037.4 993.5 909.3 736.8 278.0
	Укладка ПТ в точке 12 (трубоукладочное судно)	12.5 25 50 100 150 200	2522.6 2365.9 2115.6 2047.1 1069.4 310.1	1636.8 1665.9 1371.3 1209.2 653.8 69.2
	Укладка ПТ в точке 12 (трубоукладочное судно и буксир в 20 милях от него)	(*) 12.5 25 50 100 (*)150	- - - - --	2556.3 2629.0 2141.0 1901.6 964.7
			Размер зоны (> -50 дБ), км^2	
Лицензионная площадка (A, D, K – добычные площадки)	Работа трех манифольдов	12.5 25 50 100 150 200 250 300 335	2 236.1 2109.4 2087.4 2148.9 2212.2 2217.6 2201.4 2111.8 1211.3	- - - - - - - - -

Примечание:

1. Для глубин, отмеченных (*), рисунки распределения зоны акустического воздействия вдоль трассы подводного трубопровода см. Приложении Е.7 (рисунки Е.4 – Е.7);

2. Положение точек на трассе подводного трубопровода показано на рисунке 2.22



Распространение двух краснокнижных видов морских млекопитающих в Баренцевом море в весенний период:
1 – горбач (плотность 0.0028 экз/км^2, общая численность – 200 экз.);
2 – блювал (плотность 0.0012 экз/км^2, общая численность – 50 экз.);
3 – границы лицензионной площадки Штокмановского ГКМ;
4 – трасса подводного газопровода;
5 – границы зон, на которых уровень подводного шума составляет 120 дБ отн. 1 мкПа (для трубопровода – усредненные границы);
6 – номера и положение точек расчета (положение трубооукладочного судна)

Рисунок 5.23 – Зоны акустического воздействия при освоении Штокмановского ГКМ в Баренцевом море и распределение двух краснокнижных видов морских млекопитающих (весна)

Основной вывод – воздействие на биоту (рыб и морских млекопитающих) от строительства подводных добычных комплексов на Штокмановском месторождении и подобных ему проектов в определенной степени будет иметь место.

ГЛАВА 6 ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ ВЗВЕСИ НА БИОТУ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТАХ НА ШЕЛЬФЕ

Задачи, которые решались на данном этапе:

1). Проанализировать время существования облаков взвеси для природных процессов и различных гидротехнических работ на шельфе.

2). Разработать рекомендации по оценке воздействия минеральной взвеси на гидробионты (в том числе с учетом времени такого воздействия) при расчетах ущерба морской биоте.

3). Оценить на основе модельных расчетов распространения взвеси и ее воздействие на биоту при различных гидротехнических работах (укладка подводного трубопровода, дноуглубление, дампинг грунтов) в Баренцевом море.

Важность и актуальность корректного решения этих задач во многом связана с тем, что от модельных расчетов распространения взвеси и оценок ее воздействия на биоту зависит оценка ущерба, который наносится экосистеме в результате гидротехнических работ. От этого, в частности, зависят и компенсационные выплаты и получение разрешения на такие работы. Практика показывает, что подобные расчеты не всегда корректны [Плотицына и др., 2006], так как часто не обоснованы требования природоохранных органов к исходным данным для расчетов (см. далее § 6.3).

Публикации автора по вопросам, изложенным в этой главе. Исследования проводились, в том числе, в ходе выполнения работ по нескольким хоздоговорам, связанным с обоснованием возможности строительстве подводного трубопровода в рамках Штокмановского проекта и проведения ряда гидротехнических работ в Кольском заливе [Отчет по х/д. Разработка оценки …, 2005; Отчет по х/д. Моделирование распространения …, 2010а]. Результаты исследований по распространению взвеси были опубликованы в статье [Клеванный, Шавыкин, 2008], в монографии [Клеванный, Шавыкин, 2009], в серии статей [Клеванный и др., 2013; 2013a; 2013b] и докладывались на международной конференции РАО-07 [Клеванный, Шавыкин, 2007, 2007а]. Анализ данных и материалов экспериментов ВНИРО по действию взвеси на биоту позволил сформулировать рекомендации по уче-

ту воздействия взвеси на гидробионты, и обосновать необходимость учета времени воздействия взвеси на них [Шавыкин и др., 2011, 2011а].

6.1 Взвесь, как фактор воздействия на среду при освоении шельфа

При освоении месторождений углеводородов и других гидротехнических работах на шельфе (будут рассматриваться бурение, укладка подводных трубопроводов, дноуглубление, дампинг) неизбежно возникают ситуации, когда в толще воды появляются обширные облака и шлейфы взвеси, состоящие из мелких фракций извлеченного грунта [Айбулатов, 1990; Патин, 2001] и имеющие концентрацию минеральных частиц, многократно превышающую естественный фон. Такая взвесь становится серьезным фактором воздействия на экосистему моря [Патин, 2001]. Это воздействие на различные группы гидробионтов, в том числе на промысловые виды рыб и зообентоса, приводящее к их гибели: на промысловые биоресурсы оно может быть прямое – непосредственно на ихтиофауну и зообентосные организмы, или косвенное – через влияние на их кормовую базу (планктон и кормовой бентос). Однако экологические механизмы и последствия, в том числе количественные, связанные с указанным воздействием на морскую биоту, до сих пор остаются не до конца изученными, хотя объем работ по этому вопросу велик [Патин, 2001; Кудерский, Лаврентьева, 1996; Literature review…, 2003; Wilber, Clark, 2001].

Проблема учета последствий указанного антропогенного воздействия на гидробионты представляет научный, практический и экономический интересы. Последнее обстоятельство обусловлено необходимостью соответствующих компенсационных выплат за ущерб биоресурсам со стороны хозяйствующих субъектов при выполнении ими тех или иных видов гидротехнических работ на шельфе. Ущерб, наносимый гидротехническими работами рыбным запасам, рассчитывается по утвержденной в РФ методике [РФ. Правительство. Временная методика …, 1989], с 2012 года – новая Методика – [РФ. Правительство. Методика исчисления …, 2012].

В основе таких расчетов лежит оценка гибели планктона (фито-, зоо-, ихтиопланктона) от воздействия облаков взвеси и гибели бентоса, засыпаемого непосредственно грунтом или осаждающейся из облаков взвесью. Вместе с тем, получаемые оценки такого ущерба часто не вполне корректны. При действии взвеси значения ее концентраций и уровень воздействия от нее, выражаемый в доле гибели морских организмов, применяемые различными организациями, не согласованы и не всегда обоснованы. Кроме того, в расчетах ущербов, выполняемых для различных гидротехнических работ, как правило, не учитывается время существования облаков взвеси. Хотя изначально можно предположить, что та или иная концентрация взвеси при различных временах воздействия (минуты – часы – сутки – десятки суток) влияет на биоту по-разному (см. далее § 6.3). Для засыпки бентоса толщина слоя гибельная для донных организмов различна для разных видов, но почти всегда принималось, что слой в 5 мм уничтожает весь бентос. Всё это может приводить и часто приводит к некорректности оценки реального воздействия на экосистему и, в том числе, к неверным суммам компенсационных выплат для возмещения рассматриваемого негативного воздействия. По этой же причине могут неверно формулироваться предложения по природоохранным мероприятиям и рекомендации по проведению производственного экологического мониторинга.

Для корректного решения указанной проблемы на данном этапе сделано следующее. В отношении действия взвеси: сформулированы на основе опубликованных или имеющихся экспериментальных данных рекомендации по использованию доли гибели организмов от воздействия взвеси разной концентрации при различной продолжительности такого воздействия (§ 6.3). Обоснована доля гибели бентосных организмов для различных уровней засыпки бентоса разных видов грунтом и осадком взвеси из облаков взвеси (§ 6.4). Также, в настоящей главе кратко приводятся:

– результаты расчета распространения взвеси для варианта укладки подводного трубопровода Штокмановского проекта в Баренцевом море и оценка для него воздействия взвеси на зоопланктон (§ 6.5);

– результаты оценки дноуглубительных работ и дампинга грунта в Кольском заливе (§ 6.6).

Обзор пространственных масштабов распространения взвеси при гидротехнических работах позволяет правильно оценивать исходные данные для моделирования процессов распространения взвеси в воде, что крайне важно при проведении таких модельных расчетов. Сравнение значений повышенной концентрации взвеси в воде, обусловленное и антропогенными, и природными факторами позволяет провести сопоставление действия этих факторов, что также важно для общей картины антропогенного воздействия взвеси на биоту (§ 6.2).

6.2 Размеры зон распространения минеральной взвеси и времени их существования

Минеральная взвесь в морской воде и ее гранулометрический состав [Шавыкин и др., 2011]. Состав антропогенной взвеси, образующейся при гидротехнических работах, различен как по гранулометрическому, так и по химическому составу. В данном случае рассматривается только нейтральное в химическом отношении взвешенное вещество (без примесей различных поллютантов).

В целом, вся морская взвесь обычно состоит из частиц различного (минерального и биологического) происхождения с размерами 1...100 мкм. Чаще всего для природной взвеси шельфовых вод характерно преобладание фракции размерностью несколько десятков микрон [Патин, 2001]. Состав взвешенного вещества в поверхностных океанических водах отличается наличием двух максимумов распределения суммарных объемов частиц по размеру: один – в пределах 0.5...1.0 мкм, другой – в диапазоне 25...50 мкм [Богданов, Лисицын, 1979], первый из этих максимумов относится к терригенной взвеси, дисперсность которой в открытых водах обычно 1 мкм, тогда как второй максимум отражает преобладающие размеры частиц биогенного материала, которые, как правило, больше 1 мкм и изменяются в пределах нескольких десятков микрон [Богданов, Лисицын, 1979].

При сравнительно длительном существовании взвеси в воде основными ее фракциями являются пелиты и алевриты, так как все остальные фракции состоят

из бóльших по размеру частиц и быстро оседают на дно. Алевриты – это осадок или рыхлая мелкообломочная осадочная порода, состоящая преимущественно из минеральных зерен (кварца, полевого шпата, слюды и других частиц) размером 10.100 мкм. В зависимости от преобладающих размеров частиц выделяют крупноалевритовые (50...100 мкм) и мелкоалевритовые или тонкоалевритовые (10...50 мкм) разности. Пелиты представляют собой фракции с более мелким гранулометрическим составом: диаметр их частиц не превышает 10 мкм [Паффенгольц, 1978; Половинкина, 1966], по другой классификации пелиты – это тонкозернистые, преимущественно глинистые, осадочные горные породы, сложенные более чем на 50 % из частиц размером менее 5 мкм [Советский энциклопедический…, 1983].

Динамика твердого вещества в шельфовой зоне, в том числе динамика взвеси в воде, проанализирована в двух отечественных монографиях – Н.А. Айбулатовым [1990] и Н.А. Айбулатовым и Ю.В. Артюхиным [1993]. В работе [Айбулатов, Артюхин, 1993] детально описаны процесс дампинга грунта и поведение при этом взвеси в воде. Подробное рассмотрение минеральной взвеси как экологического фактора в море и ее воздействия на морскую среду и биоту дано С.А. Патиным [Патин, 2001]. В этой обобщающей работе выделены четыре биогеохимические зоны Мирового океана и приведены соответствующие им диапазоны концентрации взвешенного вещества, дополнительно оценены и экологические критерии качества воды для этих зон (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Уровни содержания минеральной взвеси для различных биогеохимических зон Мирового океана [Патин, 2001]

Экологическая зона	Уровни содержания взвеси, **мг/дм^3**	
	Фоновые средние	Экстремальные
Открытые воды (пелагиаль)	0.01 – 1.0 0.1	до 5 раз от среднего
Шельфовая (неритическая) зона	1 – 10 2 – 5	до 50 мг/дм^3 в период шторма
Барьер река – море (приустьевые зоны)	10 – 1000 не определено	до 10 000 мг/дм^3 в период паводка
Мелководные районы (заливы, бухты, лиманы…)	10 – 100 нет	до нескольких сотен мг/дм^3 во время шторма и приливов

Размер взвешенных минеральных частиц можно рассматривать как один из главных факторов, определяющих их действие на биоту. От размера этих частиц зависит непосредственное воздействие на организмы гидробионтов. Кроме того, от размера частиц взвеси зависит и длительность ее воздействия на биоту, так как время существования самого облака взвешенных частиц определяется в первую очередь размером частиц его образующих (скоростью оседания частиц в воде). При этом время оседания взвеси в воде зависит также от плотности и вязкости воды (факторов, которые, в свою очередь, зависят от температуры и солености), плотности частиц дисперсной фазы, скорости течений и др.

Для расчета скорости оседания частиц (их гидравлической крупности) существуют расчетные зависимости. В таблице 6.2 приведены сведения о скорости оседания частиц минеральной взвеси в зависимости от их размера.

Таблица 6.2 – Размер и скорости оседания частиц в спокойной воде [Kerr, 1995]

Размер частиц, мкм	Размерный класс частиц	Скорость оседания частиц, мм/с
62 – 125	пески, очень мелкие пески	2.6 – 11
31 – 62	ил крупный	0.66 – 2.6
16 – 31	ил средний	0.18 – 0.66
8 – 16	ил мелкий	0.044 – 0.18
4 – 8	ил очень мелкий	0.011 – 0.044
2 – 4	глины очень крупные	<0.011

Пространственно-временны́е характеристики нахождение взвеси в воде при различных гидротехнических работах в море. Время существования, пространственные масштабы распространения и концентрации облаков повышенной мутности при гидротехнических работах, определяются рядом факторов, среди которых наиболее значимыми являются следующие [Literature review…, 2003]: способ проведения дноуглубительных работ (применение тех или иных механизмов – драг, землесосов, гидромониторов и т.д.); способ транспортировки грунта к району дампинга; способ сброса грунта; количество сбрасываемого грунта; глу-

бина в месте начального распространения облака взвеси; гранулометрический состав взвеси; скорость течения воды в районе работ.

При всех этих работах временны́е и пространственные масштабы существования облаков взвеси, а так же их концентрации могут изменяться в широком диапазоне, это вызвано большим количеством определяющих факторов и широким разбросом их значений. Приведем для рассматриваемых работ характерные значения времени существования облаков взвеси, их пространственного распространения и концентрации в них взвешенных частиц.

Дампинг грунтов. Облако пелитовой взвеси при дампинге может существовать продолжительное время (более десяти суток). Однако концентрации взвеси в таких облаках часто не превышают нескольких десятков мг/дм^3. Как правило, концентрация взвеси в облаке быстро уменьшается со временем (за 1 – 1.5 часа) и становится меньше 10 мг/дм^3 [Борисов и др., 1988]. Наблюдаемые после сброса грунта пятна взвеси (район дампинга в кутовой части Онежского залива Белого моря, глубина около 10 м), выделяемые по изолиниям значимого превышения концентраций над фоновым уровнем (50 – 200 мг/дм^3), имеют характерное время существования порядка нескольких часов, пространственные масштабы области разбавления основной массы взвеси также сравнительно невелики (1 км). Это же подтверждают и проведенные расчеты: для указанной работы масштаб времени существования взвеси в воде измеряется также несколькими часами [Гончаров и др., 1985]. Подобные значения времени снижения концентрации взвешенных частиц (глинистый грунт, глубина 10 м) в центре эллипса рассеивания получены и расчетным путем для дампинга грунта в Байдарацкой губе Карского моря: концентрация снижается от 700 – 1000 мг/дм^3 до 50 – 70 мг/дм^3 за 4 – 6 часов [Природные условия…, 1997]. При дампинге грунта на глубину 10 м в районе порта Zeebrugge East (Бельгия) концентрация взвеси в верхних слоях возвращается к фоновым значениям в течение 3-х минут. Концентрация в облаке замутнения образующегося у самого дна составляла 5 000 мг/дм^3. Концентрации в облаке замутнения распространяющемся вдоль направления течения достигали нескольких сот мг/дм^3 (до 1 000 мг/дм^3), при этом концентрации, превышающие

фоновые, существовали в течение 25 – 30 минут. Границы распространения облака взвеси не достигали километра от точки сброса [Van Parys et al., 2000]. Для района дампинга в предпроливе Черного моря с учетом гидродинамической ситуации (скорость течения 1-5 км/час) наибольшее расстояние, проходимое пятном мелкодисперсной взвеси до снижения в ней концентрации частиц от 542 мг/дм^3 (максимальное значение) до 20 мг/дм^3 (ПДК), не превышает 2.5 км. Это соответствует времени существования облака взвеси около 2.5 часов (сбрасывается 800 т грунта, глубина 50 м), максимальные размеры пятна не превышают 60 м [Петренко и др., 2002]. Во многих других публикациях также отмечается, что при указанных гидротехнических работах концентрация взвеси быстро снижается с удалением от источника [Collins, 1995; Клеванный, Шавыкин, 2008].

Дноуглубление. При дноуглублении с использованием землесоса вся взвесь засасывается вместе с грунтом и поднимается на борт судна. Далее все зависит от технологии удаления грунта. Если грунтовая смесь на борту шаланды, баржи или самовозного землесоса осветляется до некоторого уровня концентрации и затем сбрасывается, то все сводится к обычному дампингу грунта. При рефулировании пульпы на поверхность возникают действительно высокие концентрации взвеси**,** связанные с большими величинами начальной концентрации; вариант грунтозабора с переливом (удалением за борт избытка грунто-водяной смеси) приводит к очень высоким начальным концентрациям взвеси – порядка десятков г/дм^3 [Природные условия…, 1997]. Расчеты распространения взвеси при дноуглублении в губе Ура Баренцева моря (один из вариантов строительства портовых сооружений для Штокмановского проекта) показали, что при использовании многочерпакового земснаряда типа «Георгий Наливайко» производительностью 750 м^3/час с погрузкой в шаланды высокие концентрации взвеси существуют непродолжительное время: 1 000 мг/дм^3 и выше - не более суток, 100 мг/дм^3 и выше 1 – 3 суток [Клеванный К.А., частное сообщение]. Как отмечается в аналитическом обзоре [Wilber, Clark, 2001], в случае работы землесосных снарядов с механическими рыхлителями период воздействия шлейфов взвешенных осадков, образующихся при работе земснаряда, может составлять для неподвижных организмов от

1 до 3.5 суток; максимальные концентрации при этом, как правило, составляют менее 500 мг/дм^3, а придонные шлейфы взвешенных осадков обычно образуются в пределах 500 м от земснаряда. В уже упоминавшихся работах в порту Zeebrugge [Van Parys et al., 2000] при дноуглублении в условиях активных приливно-отливных течений и при использовании метода рециркуляционной трубы и защитного вентиля, наблюдалось образование облака замутнения с концентрацией взвешенных веществ, которая не превышала 200 мг/дм^3 над фоновыми в течение 30 – 45 минут.

Дноуглубление при укладке подводного трубопровода. По результатам моделирования распространения полей повышенной концентрации взвеси при укладке подводного газопровода от Штокмановского месторождения в Баренцевом море до берега в районе губы Ура (работа гидромонитора по срезке выступающей части грунта длиной 250 м), получено, что время существования облаков с повышенным содержанием взвеси при ее концентрации в воде равной и более 10 и 100 мг/дм^3 зависит от доли пелита в разрабатываемом грунте и составляет соответственно 5 – 6 суток и 18 – 40 часов. Время существования облака взвеси с концентраций более 1000 мг/дм^3 оказалось практически не зависящим от доли пелита и равно 14 – 16 часов [Клеванный, Шавыкин, 2008]. Расчеты по распространению взвеси для работ по укладке подводного трубопровода в Байдарацкой губе дают меньшие значения продолжительности замутнения водной среды, хотя там планировалось применить другую технологию работ с дампингом грунта: после начального значения 700 – 1000 мг/дм^3 концентрация взвеси уменьшалась до 50 – 70 мг/дм^3 за 4 – 6 часов [Природные условия…, 1997]. По результатам наблюдений в естественных условиях рядом авторов отмечалось, что при таких работах время существования взвеси с концентрацией 10 мг/дм^3 и выше, обычно не превышает 4 суток [Wilber, Clark, 2001].

Бурение на шельфе. Снижение концентрации взвешенных частиц буровых растворов в зависимости от времени после сброса до фонового уровня, не превышающего 1 – 2 мг/дм^3, происходит менее чем за 4-5 часов для различных регионов Мирового океана (Мексиканский залив, атлантический шельф США, районы

вблизи Аляски и Калифорнии, море Бофорта). При этом максимальные начальные концентрации достигали 1 000 – 10 000 мг/дм^3 [Айбулатов, Артюхин, 1993].

Стоит отметить, что для некоторых видов гидротехнических работ имеются сведения о случаях с более высокими концентрациями взвеси и масштабами замутнения. Данные наблюдений выгрузки ила на поверхность моря при больших глубинах (100 м) показывают следующее: начальная концентрация 10 000 мг/дм^3 распространяется от источника в горизонтальном направлении по оси шлейфа на 1 км и в глубину на 10 м. Концентрация взвеси 1 000 мг/дм^3 сохраняется в границах до 10 км распространения шлейфа на глубину до 30 м. Концентрация 10 мг/дм^3 существует в пределах до 100 км достигая глубины 100 м [Айбулатов, Артюхин, 1993]. Судя по всему и время существования облаков взвеси здесь весьма значительное. Столь большие масштабы распространения описанного шлейфа вызваны в частности непрерывным способом сброса грунта и его гранулометрическим составом. Но, как описано выше, подобное происходит сравнительно редко. Достаточно часто высокие значения концентраций антропогенной взвеси длительное время не наблюдается (и пространственно-временны́е границы значительно меньше). Облака взмученного грунта с концентрацией меньшей нескольких десятков мг/дм^3 могут существовать значительно большее время и способны перемешаться на значительные расстояния, измеряемые десятками, а для субколлоидной пеллитовой фракции, порой и сотнями километров [Айбулатов, 1990; Матишов и др., 2001b].

***Таким образом**, в различных районах континентального шельфа, в первую очередь в прибрежье, концентрация минеральной взвеси, обусловленная действием природных факторов, может достигать больших значений (доходить до 10 000* мг/дм^3*), что зависит от гидрологических и геологических условий района и самого действующего природного фактора. Концентрации природной минеральной взвеси в воде, как при природных процессах, так и при гидротехнических работах сопоставимы между собой. Размеры зон распространения взвеси и время их существования изменяются в широких диапазонах значений.*

6.3 Вопросы гибели гидробионтов от действия минеральной взвеси

В связи с активным освоением шельфа, растет объем проводимых гидротехнических работ в этом районе Мирового океана. Как отмечалось выше, их проведение неизбежно сопровождается воздействием на экосистему в целом и, в частности, нанесением определенного ущерба рыбным запасам [Айбулатов, 1990; Патин, 2001]. Экологические механизмы и последствия, в том числе количественные, связанные с указанным воздействием на биоту, до сих пор остаются не до конца изученными, хотя объем работ по этому вопросу велик (см. литературу в работах [Патин, 2001; Кудерский, Лаврентьева, 1996; Literature review…, 2003; Wilber, Clark, 2001]).

Одним из ключевых вопросов при оценке антропогенного воздействия от проведения гидротехнических работ, является определение, в первую очередь расчетным путем с использованием математических моделей, значений концентрации взвеси в воде и оценка (принятие для последующих вычислений) доли гибели гидробионтов при таких концентрациях. Различные организации используют при таких расчетах разные значения концентрации минеральной взвеси, вызывающие ту или иную степень гибели зоопланктона и других гидробионтов. Так, Россельхознадзор рекомендует принимать 50 % гибели зоопланктона для диапазона концентраций минеральной взвеси в воде, равной 20 – 100 мг/дм^3, при 100 мг/дм^3 и выше – 100% гибели [письмо Россельхознадзора № ФС-ГК-5/4496 от 16.05.2007]. ГОСНИОРХ учитывает, что при концентрации взвеси равной 50 – 75 мг/дм^3 гибнет 50 % зоопланктона, в диапазоне концентраций 75 – 100 мг/дм^3 эта доля составляет 75 %, а при концентрации взвеси свыше 100 мг/дм^3 гибнет 100 % зоопланктона. Следует отметить, что во всех этих оценках никак не учитывается время существования облаков и шлейфов повышенной концентрации взвеси в толще воды, то есть время воздействия на гидробионты, которое, как показано выше (§ 6.2), существенно меняется в зависимости от ряда факторов.

Необходимость и важность учета длительности воздействия взвеси на гидробионтов отмечалось и ранее [Wilber, Clark, 2001]. Хотя, как пишут авторы этого обзора, в большей части экспериментальных работ концентрация взвеси рассмат-

ривалась как единственная изучаемая переменная, а периоды воздействия взвеси менялись, но во многих случаях вовсе не указывались. И только в последнее время период воздействия стал рассматриваться как еще один важный фактор [Wilber, Clark, 2001].

В рамках настоящей работы, говоря об ущербе водным биоресурсам, в первую очередь подразумеваем ту его часть, которая вызвана гибелью планктонных организмов. Часть, обусловленная гибелью в первую очередь планктона, может выражаться в значительных суммах, особенно при реализации крупных проектов, в том числе при проведении работ в глубоководных районах моря. Ущерб может быть значительным, если грунт, с которым проводятся работы, мелкодисперсный, то есть состоит в основном из пелита, и облака взвеси существуют продолжительное время. При этом мы рассматриваем воздействие, вызванное чистой минеральной взвесью (без примесей поллютантов, взвешенных органических веществ и др., что также может оказывать определенное воздействие на биоту).

Далее, на основе материалов статьи [Шавыкин и др., 2011а] рассматривается вторая задача, указанная в начале настоящей главы.

Количественные параметры действия взвеси на различные экологические группы. При рассмотрении и обосновании действия минеральной взвеси на морскую биоту в настоящей работе приводятся результаты исследований, проведенные в лаборатории эколого-токсикологических исследований ВНИРО, полученные в 2000 г. в ходе выполнения работы по теме: «Разработать ПДК для взвеси в морской воде», руководитель - С.А. Соколова. Исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов загрязняющих веществ для морских вод [Временные методические …, 1999]. По результатам указанной работы была установлена ПДК для взвеси в морской воде равная 10 мг/дм^3 [Дополнение № 2 к Перечню рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение]. Значение ПДК, полученное в ходе этих экспериментальных исследований, было утвер-

ждено Госкомрыболовством РФ № 02-46/561 от 07 мая 2001 г. и согласовано с Министерством природных ресурсов РФ № АП-32/2934 от 23.04.2001.

Фитопланктон. Главной причиной воздействия высоких концентраций взвеси на фитопланктон является изменение световых условий для фотосинтеза в зонах замутнения воды. Фитопланктон быстро реагирует снижением фотосинтеза и первичной продукции при достаточно низких уровнях взвеси в воде (20 – 30 мг/дм^3) [Бульон, 1985; Joint, 1984]. Эти реакции фитопланктона легко обратимы, и одноклеточные водоросли с их высокой скоростью деления (до двух и более раз в сутки) способны быстро восстанавливать свою биомассу и численность при ослаблении неблагоприятных воздействий [Патин, 2001]. Вместе с тем, в отдельных случаях при высокой интенсивности света может наблюдаться ингибирование фотосинтеза, что в свою очередь снимается взвесью и приводит к интенсификации фотосинтеза [Owens et al., 1990].

Эксперименты ВНИРО проводились с диатомовой водорослью *Phaeodactulum tricornutum* - стандартным тест-объектом согласно рекомендациям ИСО [ISO 10253:1995. Качество воды …, 1995]. Продолжительность эксперимента – 14 суток. Изменение численности клеток при концентрациях взвеси 10, 100, 500 и 1 000 мг/дм^3 показали следующее. Первые двое суток численность клеток при концентрации взвеси 1 000 мг/дм^3 не отличалась от контроля, к 4-м суткам численность снизилась на 50 %, к 11-м суткам – на 62 %, к 14-м суткам – на 75 %. Величина EC_{50} для одноклеточных водорослей составила за 4 суток 1000 мг/дм^3 (EC_{50} – эффективная концентрация – изменение численности клеток фитопланктона на 50 %). При концентрации 500 мг/дм^3 к 14-м суткам численность клеток постепенно снизилась на 47 %. Практически значение 500 мг/дм^3 является EC_{50} для фитопланктона за 14 суток. При концентрации взвеси 100 мг/дм^3 к 14-м суткам численность клеток фитопланктона осталась на уровне контроля. Фактически, при замутнениях водной среды, возникающих при различных гидротехнических работах, когда концентрация взвеси до 1000 мг/дм^3 существует не более двух суток, гибели клеток фитопланктона не происходит, соответственно, в этом случае можно не учитывать гибель фитопланктона при расчете ущерба рыбным запасам.

Однако, при проведении гидротехнических работ, воздействие на фитопланктон может быть обусловлено не только чистой минеральной взвесью, но и привносимыми ей примесями, действие которых должно рассматриваться отдельно.

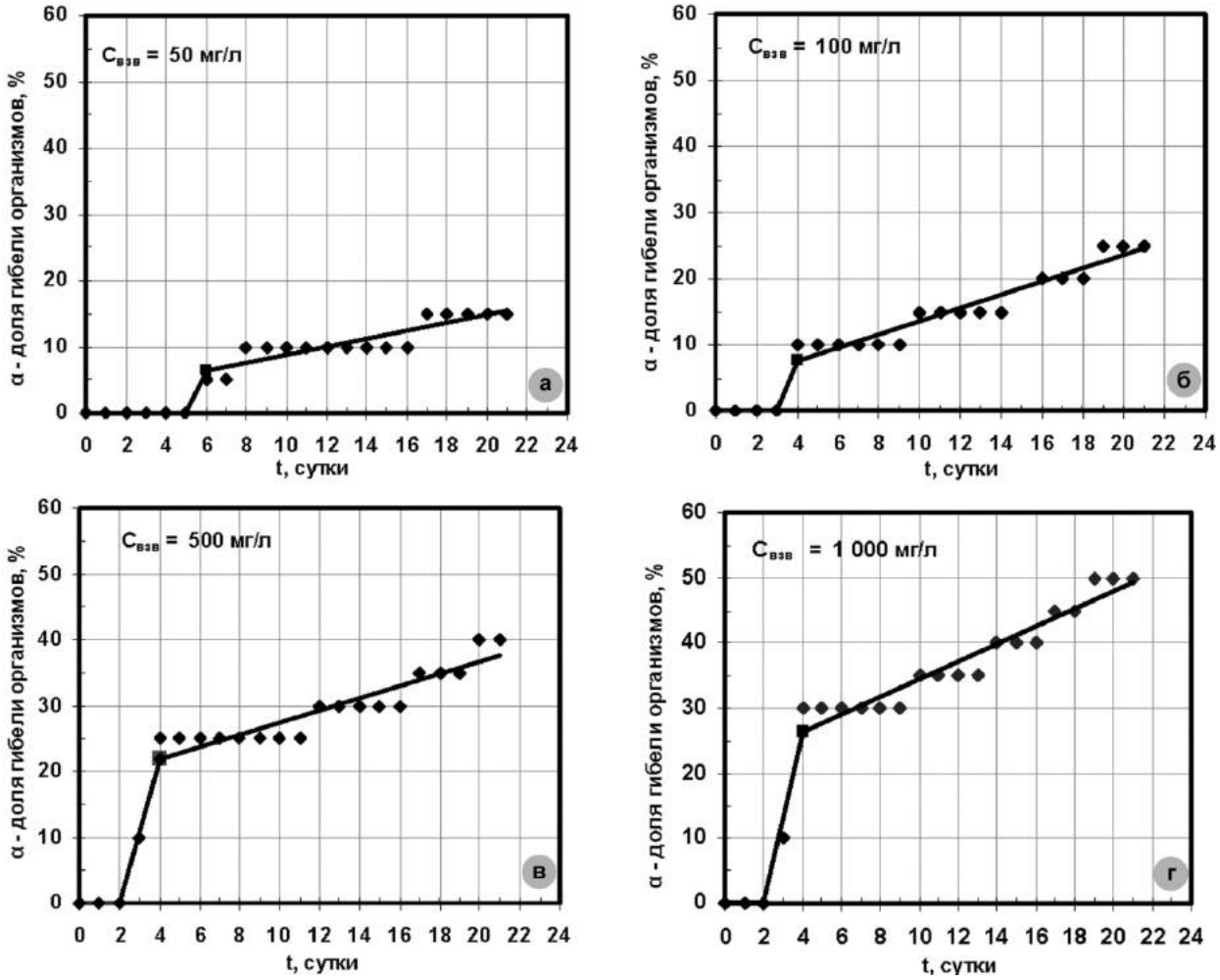
В естественных природных условиях реакция клеток фитопланктона в зонах подводных отвалов и других гидротехнических работ разнообразна. Так в работе посвященной оценке ущерба рыбохозяйственным водоемам от свалки грунтовых масс в восточной части Финского залива [Кудерский, Лаврентьева, 1996], отмечаются разнообразные реакции фитопланктона в зонах подводных отвалов: уменьшение числа видов планктонных водорослей, соответственно изменяется структура фитопланктонного сообщества; изменяется число клеток водорослей (возможно и увеличение и уменьшение, но наиболее характерно уменьшение численности); изменяется величина продукции (часто увеличивается). Существенные изменения в обилии фитопланктона (в численности и биомассе) могут происходить даже при повышении мутности на $5 - 15$ мг/дм^3 [Максимова, 2006]. Но в данном случае, это вероятно, связано в основном с тем, что во вносимой взвеси значительную долю (до 80 %) составляет взвешенное органическое вещество и, кроме того, шлейф повышенной мутности существует длительное время (в тексте работы время существования этого шлейфа не приведено).

Зоопланктон. По имеющимся опубликованным данным однозначно указать количественные параметры влияния различных гидротехнических работ на зоопланктон (с учетом тех или иных значений концентрации взвеси в воде и времени ее существования) не представляется возможным. Имеются различные выводы о влиянии взвеси на зоопланктон. В Балтийском море в районе свалки в порту Вентспилс и в Гданьском заливе около порта Балтийск влияния дампинга на зоопланктон не обнаружено; однако около портов Клайпеда и Рига приток питательных веществ, вызванный сбросами грунта, послужил причиной некоторого повышения, а порой даже резкого возрастания численности гидробионтов [Влияние дноуглубления …, 1982]. В обзорной работе Кудерского и Лаврентьевой [1996] со ссылками на первоисточники отмечается, что взвесь при повышении концентрации отрицательно влияют на жизнедеятельность зоопланктеров: проис-

ходят повреждения различных придатков, физиологические нарушения, замедляется прохождение младших стадий развития, тормозится рост; влияние токсичных соединений зависит от класса этих соединений и их взаимодействия с взвесью (снижается отрицательное действие солей тяжелых металлов, но усиливается влияние фенолов и пестицидов); зоопланктон может как не испытывать влияния взвеси, так и увеличивать свою биомассу (см. ссылки в указанной работе). А.С. Патин [2001] также приводит ссылки на ранее опубликованные данные других авторов о различном влиянии взвеси на зоопланктон: отмечается влияние концентраций в 20 мг/дм^3 (снижение биомассы придонного зоопланктона, в основном копепод). Однако для крупных представителей зоопланктона (например, представителей отряда Decapoda) значение действующих концентраций очень высоки: LC_{50} (8 суток) составляет 50 000 мг/дм^3 [McFarlan., Peddicord, 1980]; для эвфаузиид *Euphausia pacifica* в сбросах горнорудного производства величина LC_{50} (за 96 часов) равна 109 000 мг/дм^3 [Патин, 2001]. В целом, как отмечает С.А Патин [2001], судя по немногочисленным данным эффекты ухудшения питания, замедления роста, развития и размножения могут начинаться с концентрации 20 – 30 мг/дм^3 взвеси в воде при *хроническом воздействии*, а заметная гибель зоопланктона может наступать при воздействии концентрации природной и/или антропогенной взвеси превышающей 1000 мг/дм^3 *в течение нескольких суток*.

Результаты экспериментов ВНИРО с *Artemia salina* (стандартный тест-объект согласно рекомендациям ИСО, длительность 21 сутки) показали, что LC_{100} за 21 сутки (при исследованных концентрациях 10, 50, 100, 500, 1 000 мг/дм^3) не обнаружена. LC_{50} за 96 часов, так же как и LC_{100} за 19 – 21 сутки определяется концентрацией выше 1 000 мг/дм^3. Гибель 50 % организмов при максимальной исследованной концентрации 1 000 мг/дм^3 отмечалась на 19 сутки исследования (LC_{50} за 19 суток равна 1 000 мг/дм^3). Оставшиеся в живых 50 % организмов оставались таковыми до конца эксперимента - 21 сутки. При минимальной концентрации 10 мг/дм^3 к 21 суткам выживаемость не отличается от контроля (100 %). LC_{50} за 4 суток > 1 000 мг/дм^3. Динамика выживания организмов в эксперименте показана на рисунке 6.1.

Таким образом, влияние чистой (без примесей поллютантов, биогенов) минеральной взвеси на зоопланктон начинает сказываться через 2 суток при концентрации в 500 – 1 000 мг/дм^3, через 3 суток при 100 мг/дм^3 и только через 5 суток при 50 мг/дм^3. При этом следует иметь в виду, что уже отмечалось в § 6.2, высокие концентрации взвеси (500 – 1 000 мг/дм^3 и выше) существуют, как правило, непродолжительное время - часто менее 2 – 3-х суток.



♦ – экспериментальные данные, показаны прямые регрессионные уравнения, рассчитанные методом наименьших квадратов для трех периодов: ■ – точка, рассчитанная по регрессионному уравнению для третьего периода сравнительно плавного роста гибели зоопланктона (период 4(6) ÷ 21 суток), по ней рассчитывалось уравнение для второго - среднего периода (периода резкого повышения смертности)

Рисунок 6.1 – Результаты экспериментальных исследований ВНИРО на тест-объекте *Artemia salina* при различной концентрации минеральной взвеси [Шавыкин и др., 2011а]

Учитывая непродолжительное существование облаков взвеси в воде, можно утверждать, что при основных гидротехнических работах на шельфе отрицательное воздействие взвеси на фито- и зоопланктон будет минимальным. Вместе с

тем, при дампинге грунта, дноуглублении при укладке трубопроводов (срезка грунта гидромонитором) и, возможно, при других производственных процессах, происходит механическое повреждение зоопланктона сбрасываемым грунтом (см. [Суслопарова и др., 2006]). С учетом того, как распространяется «поток» грунта в воде при его дампинге [Суслопарова и др., 2006], можно, вероятно, принять, что значительная доля (вплоть до 100 %) зоопланктона и фитопланктона, в этой падающей и быстро достигающей дна массе выгружаемого грунта, погибает. Конечно, все зависит и от глубины места и ряда других условий, которые определяют – достигнет ли вообще дна эта масса грунта, или вся перейдет в облако взвеси.

Ихтиопланктон и рыбы. Материалы, опубликованные по данной экологической группе, весьма разнообразны и порой противоречивы. Часть авторов склоняется к тому, что рыбы (в первую очередь взрослые особи), как правило, могут избегать зон повышенной мутности [Патин, 2001, Научно-методические …, 1997]. Ряд других авторов отмечают широкий диапазон концентраций и времени нахождения биоты в зонах воздействия взвеси и последствий этого (в том числе и гибели). Подобные сведения приведены в ряде публикаций [Патин, 2001; Кудерский, Лаврентьева, 1996; Wilber, Clark, 2001; Мокеева, 1988].

По результатам экспериментов ВНИРО, проведенных для объектов на ранних стадиях онтогенеза (икра, личинки беломорской наваги *Eleginus navaga*) значения недействующих концентраций составляют, соответственно 300 мг/дм^3 (60 суток) и 1 840 мг/дм^3 (28 суток). Расчетные параметры хронической токсичности составили: LC50 и LC100 > 10 000 мг/дм^3. По результаты экспериментов пороговые концентрации для мальков горбуши и кеты Охотского моря (*Oncorhynchus keta, Oncorhynchus gorbusha* размером 3.5 - 6.0 см) по наблюдениям за период 30 суток составляют > 5 000 мг/дм^3. Пороговые концентрации (LC16) для взрослых рыб Охотского моря составляют >10 000 мг/дм^3 за период 30 суток (камбала звездчатая *Platihthys stellatus*, красноперка сахалинская *Tribolodon ezoe*).

Анализ действия взвеси на подвижных гидробионтов, в первую очередь на рыб, напрямую связан с их мобильностью. В случае потенциального влияния дноуглубительных работ для подвижных организмов, таких как рыбы, периоды воз-

действия шлейфов взвеси составляет от нескольких минут до нескольких часов, если только особи не следуют за шлейфом или не находятся в пространстве с ограниченной циркуляцией. Таким образом, воздействие взвеси на молодые и взрослые особи рыб происходит в течение временных периодов, не превышающих одни сутки. Для неподвижных организмов, находящихся на немобильной стадии жизненного цикла, например для икринок лососевых видов рыб, прогнозируемые максимальные периоды воздействия составляют до 3.5 суток (оценка основана на оценочных скоростях прохождения земснарядов). Икра и личинки нелососевых эстуарных рыб имеют больше различных форм, т.е. донные клейкие, полуплавающие и свободно плавающие, таким образом, потенциальный период воздействия для донных клейких форм увеличивается до 3.5 суток. Другие формы, вероятно, будут подвергаются более коротким периодам воздействия [Wilber, Clark, 2001].

Вилбер и Кларк [Там же] также отмечают, что существующие данные о воздействии взвеси на рыб ясно показывают большой разброс в реакции различных видов, от «нулевого эффекта» при концентрациях до 14 000 мг/дм^3 на протяжении 3-х суток и более (рыба жаба *Opsanus tau* и спот *Leiostomus xanthurus*) до летальных реакций при концентрациях 580 мг/дм^3 на протяжении одних суток (атлантическая менидия).

Зообентос. По данным экспериментов ВНИРО (объекты: мидия мускулистая *Musculista senhousia,* травяная креветка *Pandalus latirostris* Охотского моря) гибели при максимальной исследованной концентрации 10 000 мг/дм^3 не наблюдалось. LC_0 за 30 суток для бентоса составила > 10 000 мг/дм^3. За период исследования, у бентоса, отмечались лишь изменение поведенческих реакций, характеризующих первичные признаки интоксикации после 30 суток воздействия при концентрации взвеси 6 000 мг/дм^3.

«Токсичность» действия взвеси. Ряд исследований показывает, что взвесь сама по себе не является токсичной для морских организмов (частицы взвеси на 70–90 % инертны, не могут быть причиной интоксикации [Патин, 2001]) и не является объектом биоаккумуляции. Как отмечалось выше, воздействие взвеси свя-

зано скорее с механическим, нежели с токсическим действием. Сводные результаты экспериментов ВНИРО по действию взвеси на виды различных экологических групп представлены таблице 6.3.

Таблица 6.3 – «Токсическое» воздействие минеральной взвеси на виды разных экологических групп [Шавыкин и др., 2011а]

Экологическая группа	Вид (тестовый объект)	Недействующие концентрации		Острая «токсичность» (LC_{50}; EC_{50}, - для фитопланктона)	
		С, мг/дм^3	ΔТ, сутки	С, мг/дм^3	ΔТ, сутки
Фитопланктон численность	*Phaeodactylum tricornutum**	100	14	1 000	4
Зоопланктон	*Artemia salina** (односуточные)	10	21	> 1 000	4
Ихтиопланктон	*Eleginus navaga:* икра личинки	 300 2 000	 60 28	 > 10 000 > 10 000	4
Рыбы взрослые молодь	*Platihthys stellatus, Oncorynchus keta, Oncorynchus gorbusha*	10 000 5 000	30 30	> 10 000 > 5 000	4
Бентос	*Musculista senhousia, Pandalus latirostris*	10 000	30	> 10 000	4

Примечание:

* стандартный тест-объект [ISO 10253:1995. Качество воды …, 1995];

LC_{50} – концентрация при которой гибнет 50% организмов (летальная концентрация);

EC_{50} – концентрация при которой численности клеток фитопланктона изменяется на 50% (эффективная концентрация);

в хроническом эксперименте гибель (EC_{100}, LC_{100}) не обнаружена

Таким образом, учитывая, как различные концентрации чистой минеральной взвеси с разными временны́ми интервалами воздействия влияют на планктон и нектон, можно утверждать, что при расчетах ущерба рыбным запасам основным (и часто единственным) слагаемым для шельфовых районов и прибрежных акваторий является ущерб от гибели зоо- или фитопланктона, вследствие воздействия на планктон облаков или шлейфов с содержанием взвеси в воде значительно большим 10 мг/дм^3, и при существовании таких облаков более 2 – 5 суток.

Значения концентрации взвеси, рекомендуемые при расчетах ущерба рыбным запасам (с учетом времени действия взвеси). С учетом изложенного можно рекомендовать к использованию следующие концентрации минеральной взвеси при расчетах ущерба рыбным запасам для различных гидротехнических работ на шельфе (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Сводная таблица значений концентраций минеральной взвеси, рекомендуемых для использования при расчете ущерба биоресурсам [Шавыкин и др., 2011а]

<table>
<tr><th colspan="2">Фитопланктон</th><th colspan="2">Зоопланктон</th></tr>
<tr><th>Концентрация взвеси, мг/дм^3</th><th>Время действия взвеси, сутки</th><th>Концентрация взвеси, мг/дм^3</th><th>Время действия взвеси, сутки</th></tr>
<tr><td>EC_{50} = 1 000</td><td>4.0</td><td>LC_{50} = 1 000</td><td>21</td></tr>
<tr><td>EC_{50} =500</td><td>14</td><td>LC_{40} = 500</td><td>21</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">недействующая концентрация – 100 мг/дм^3 за 14 суток</td><td>LC_{25} = 100</td><td>21</td></tr>
<tr><td>LC_{16} = 50</td><td>21</td></tr>
<tr><td colspan="2">недействующая концентрация – 10 мг/дм^3 за 21 сутки</td></tr>
</table>

Краткие выводы. Использование любых значений концентраций взвеси больших 10 мг/дм^3 без учета времени ее воздействия может давать необоснованно завышенные, некорректные значения гибели планктона и завышенные значений ущерба рыбным запасам. Если облака чистой минеральной взвеси с концентрацией до 1000 мг/дм^3 существующие менее двух суток, или имеют концентрацию до 100 мг/дм^3 в течение трех суток, или, наконец, облака взвеси с концентрацией не более 50 мг/дм^3 существуют в течение пяти суток, то такая взвесь не вызывает гибели зоопланктона. Все различные воздействия, приводящие к угнетению и гибели зоопланктона или активизации его развития за меньшие промежутки времени, вызываются не минеральной взвесью, а другими факторами, связанными с переходом в водную среду различных поллютантов (взвешенного органического вещества, нефтепродуктов, солей тяжелых металлов, полиароматических углеводородов, пестицидов…) и биогенов, вносимых в водную среду вместе с минеральной взвесью, а также возможным механическим воздействием грунта при его

сбросе в водную среду. Это предварительные выводы, которые можно, на наш взгляд, использовать при подготовке ОВОС от различных гидротехнических работ на шельфе.

Фактически делать оценки воздействия чистой минеральной взвеси на гидробионты и рассчитывать компенсационные выплаты на основе таких данных можно, только имея результаты широких исследований по смертности от взвеси, по крайней мере, наиболее массовых видов гидробионтов. Причем это должны быть данные для разных концентраций взвеси, разного ее размерного состава, при разном времени воздействия, разных океанологических условиях (температуре солености, гидрохимических условий…). Мы рассмотрели только самый упрощенный вариант для нескольких тестовых объектов. Все подобные исследования должны быть проведены не как инициативные работы, не отдельными компаниями, которые готовят ОВОС в рамках проектной документации, а специализированными организациями по заказу государства. Пока, как мы понимаем, в России этого нет (см. далее главу 8).

6.4 Влияние засыпки грунтом на выживаемость зообентосных организмов

Гибель организмов при проведении гидротехнических работ обусловлена не только повышением концентрации взвеси в воде, но и засыпкой их грунтом. В этом случае при расчетах ущерба общепринято (по настоянию контролирующих органов), что 100 % гибель зообентосных организмов наступает при засыпке слоем грунта от 5 мм и выше, независимо от других факторов. Утвержденных нормативно-правовых документов, содержащих это значение, в настоящее время нет. Научные публикации по данной тематике не содержат обоснования выбора указанного значения. Анализ литературных источников показал широкий разброс значений величины слоя засыпки (от нескольких миллиметров до десятков сантиметров), вызывающего гибель зообентоса.

Одно из наиболее важных исследований по вопросам влияния засыпки на зообентосные организмы было проведено в 80-х годах прошлого века [Maurer et

al., 1981; 1982; 1986]. Д. Мауер и соавторы рассматривали воздействие засыпки на различные виды таксонов Polycheta, Mollusca. В этих публикациях имеются данные о выживаемости и подвижности организмов в толще грунта под воздействием засыпки грунтом, рассмотрено влияние глубины захоронения организмов, температуры, типа субстрата и засыпаемого материала, а так же длительности воздействия. Отмечено увеличение смертности при засыпке грунтом в ряду от подвижных к малоподвижным и прикрепленным организмам. Показана способность некоторых исследуемых организмов выживать при засыпке грунтом высотой до нескольких десятков сантиметров.

Результаты экспериментов по изучению выживаемости многощетинковых червей *Nereis succinea* и *Scoloplos fragilis* показали, что процент смертности организмов зависит от того, каким типом грунта они были засыпаны [Maurer et al., 1982]: естественным (сходным по гранулометрическому составу с субстратом, на котором обитает животное) и «не естественным» грунтом (отличным по грансоставу от естественного субстрата). Отмечено влияние температуры на выживаемость организмов. Приведем некоторые примеры из этих работ.

Максимальное значение смертности *N. Succinea* (при засыпке «не естественным» грунтом высотой 40 см, при летних температурах 17 - 21 C^o) составляло: 1 день – 7 %, 8 дней – 17 %, 15 дней – 25 %; минимально значение (при зимних температурах 5 - 10 C^o, на естественном субстрате): 1 день смертность 0 %, 8 дней – смертность 7 %. Смертность другого представителя полихет *S. fragilis* оказалась несколько выше.

Аналогичные результаты были получены коллективом авторов при постановке опытов на моллюсках в естественной среде обитания [Turk, Risk, 1981]. Наблюдаемая смертность также зависела от типа грунта, которым осуществляется засыпка. Показано, что LD_{50} для *Mya arenaria* составляют 24 см для крупнозернистого песка, 6 см для мелкозернистого песка и 3 см для глин. В ряде публикаций сообщается также о различной смертности организмов разного размера. Гибель мелких малоподвижных организмов происходит при меньших слоях засыпки, нежели гибель крупных подвижных животных [Коновалова и др., 2003].

Естественно ожидать, что разные по размеру организмы, обитающие в арктических морях, например, в Кольском заливе будут иметь различную смертность при засыпке осаждающейся взвесью или слоем грунта толщиной от нескольких до нескольких десятков сантиметров (рисунок 6.2). В этом районе обитает свыше 40 видов бентосных организмов. Большую часть биомассы бентосных организмов сублиторальной зоны (71 %) составляют относительно крупные организмы (размеры которых превышают 1 см).

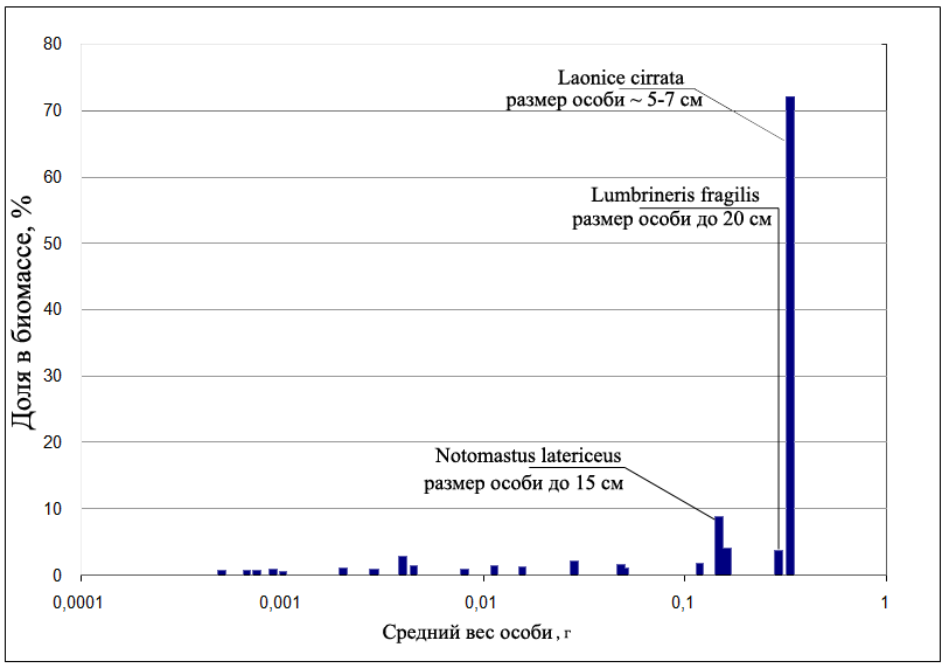
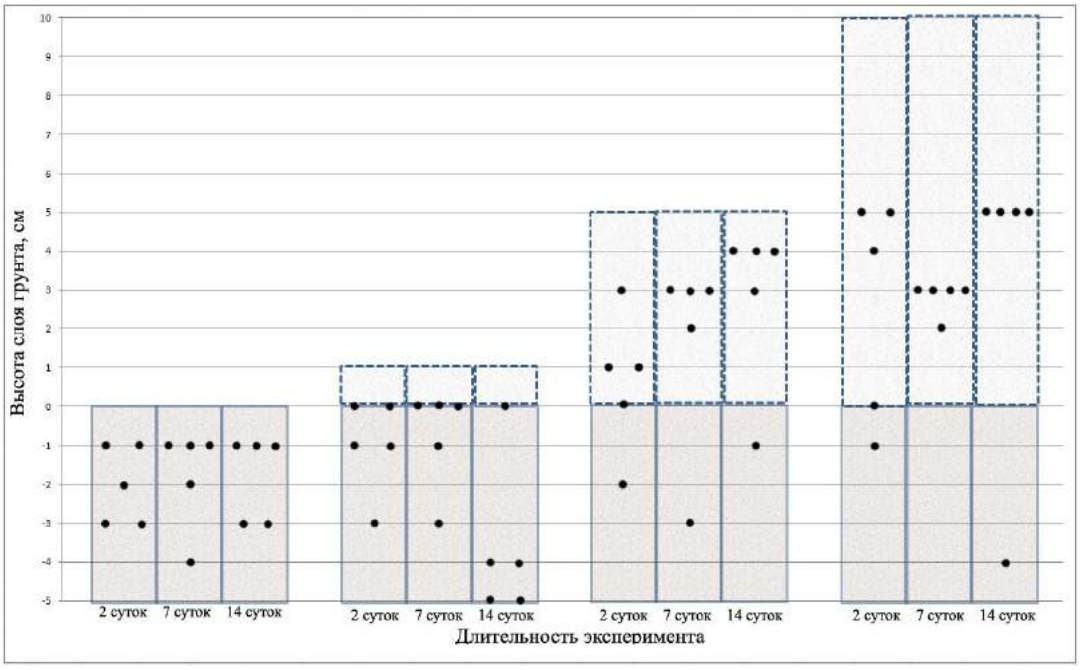


Рисунок 6.2 – Вклад различных видов бентоса в биомассу сублиторального сообщества в районе дноуглубления в южном колене Кольского залива вблизи поселка Абрам-мыс

Проведенные в нашей лаборатории эксперименты с многощетинковыми червями *Alitta virens* и двустворчатым моллюском *Macoma balthica*, также дали сходные результаты [Ващенко, 2010]. По результатам экспериментов были получены данные о смертности и вертикальной миграции бентосных организмов, представляющих различные по двигательной активности группы. В течение всего эксперимента (14 суток), независимо от высоты слоя засыпки (1-10 см), среди моллюсков смертности не наблюдалось, при этом организмы перемещались как в глубину грунта, так и к поверхности (рисунок 6.3). Обнаружение живых организмов на 14-е сутки на глубине до 14 см от поверхности грунта свидетельствует о способности организмов выживать под данным воздействием.



Точками показано расположение организмов, пунктирной линией высота засыпки, сплошной линей высота субстрата, начальное положение организмов – 0 см

Рисунок 6.3 – Нахождение *M. balthica* в толще грунта во время эксперимента

Изучение вертикальных миграций *Macoma balthica* в ходе эксперимента показало, что отдельные особи за двое суток перемещаются в толще грунта на расстояние до 5 см. Двигательная активность при увеличении высоты слоя засыпки, как правило, возрастает (исключение составила засыпка слоем грунта в 1 см, которая оказалась наравне с контролем – 0 см).

Среди многощетинковых червей за тот же период смертности также не обнаружено. Отмечена способность организмов выбираться на поверхность из-под слоя засыпки в 10 см и менее в течение нескольких минут. На 14-е стуки внутри экспериментальных ячеек остались лишь черви, не подвергшиеся влиянию засыпки грунтом, организмы, располагавшиеся в остальных ячейках, покинули их к моменту контроля через верх ячей. Организмы были обнаружены вне ячеек с грунтом в емкости с водой. В связи с высокой двигательной активностью можно предположить, что многощетинковые черви способны покидать засыпанные грунтом области высотой не менее 10 см (по литературным данным это значение может быть выше в зависимости от вида животного).

Таким образом, при расчетах ущербов от засыпки грунтом зообентоса необходим дифференцированный подход к оценке гибели организмов с различной по-

движностью и с разным размером их тела. При этом необходимо учитывать разный вклад в общую биомассу организмов с разными указанными параметрами.

В отношении принятия слоев засыпки грунтом, летальных для бентосных беспозвоночных, необходимы дополнительные исследования для каждой группы организмов (для наиболее массовых, имеющих различную подвижность и размеры тела). Но на основе полученных экспериментальных данные и опубликованной информации можно утверждать, что часто гибель бентосных организмов при их засыпке слоем грунта отмечается, если толщина слоя засыпки составляет более нескольких сантиметров и несколько десятков сантиметров. Это значительно превышает используемое и рекомендованное на сегодняшний день значение в 5 мм. Все это говорит о том, что на данном этапе, с началом активных работ на шельфе, экологическая наука (а это, как правило, не исследования частных компаний) не готова к реальным оценкам воздействия этих работ на природную среду и биоту.

6.5 Распространение взвеси при укладке подводного газопровода Штокмановского месторождения

В соответствии с требованиями российского природоохранного законодательства и действующими нормативными документами при освоении Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ), как и для других подобных проектов, требуется оценить воздействие строящихся объектов на окружающую среду на всех этапах реализации проекта. На стадии обоснования инвестиций проектировщиком (ОАО «ГИРОСПЕЦГАЗ») было принято, что при укладке подводного газопровода от ШГКМ до берега, необходимы работы по срезке неровностей дна и подсыпке грунта, с тем, чтобы минимизировать свободные пролеты трубопровода для обеспечения его устойчивости и предотвращения прогибов. Работы по срезке грунта вызывают попадание взвешенных веществ (ВВ) в водную среду и их воздействие на морскую биоту, в том числе гибель планктона и бентоса. Для получения количественных оценок ущербов рыбным запасам необходимы расчетные данные об объемах полей взвеси, в которых концентрации ВВ превы-

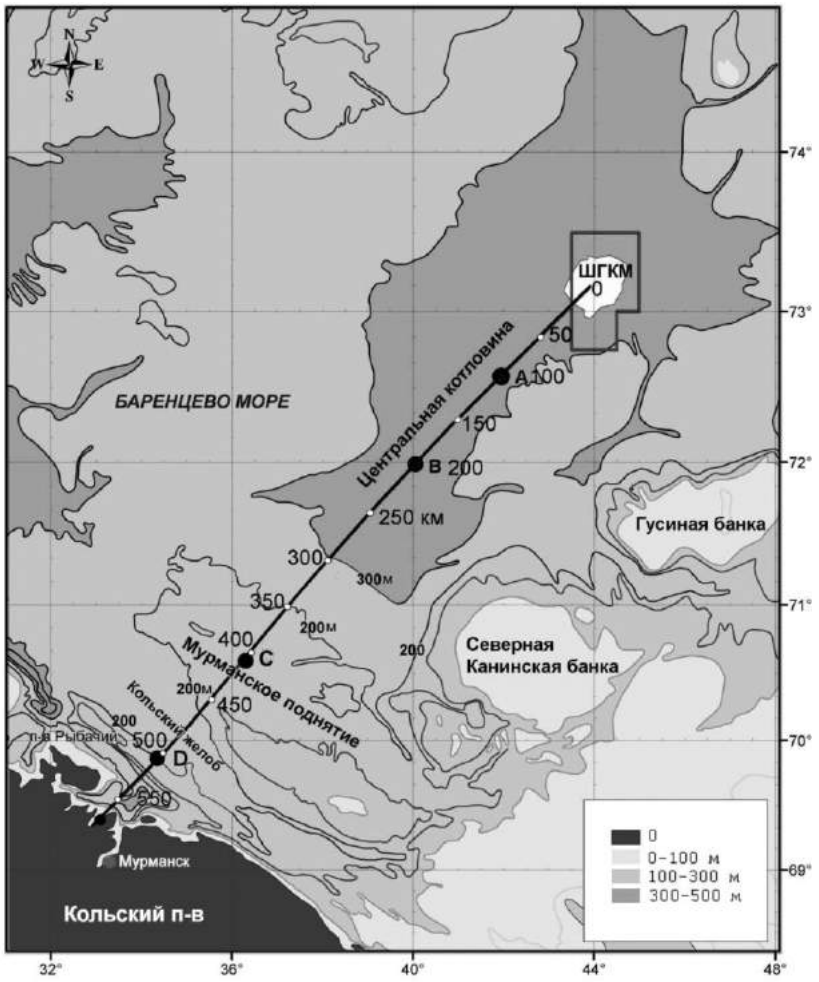
шает заданные значения, и о площадях дна, подвергшихся воздействию при работе трубозаглубителя и при осаждении ВВ.

В работе [Клеванный, Шавыкин, 2008] с помощью математических моделей представлены результаты расчетов 1) объемов, образующихся облаков мутности (V), в которых концентрации ВВ превышали 10, 100 и 1000 мг/дм^3, 2) объемов пространства (ΣV), через которые проплывали эти облака (далее эти значения не использовались), 3) времени существования этих облаков и 4) площади дна, поврежденного от выпадения ВВ и отвала грунта при рытье траншеи по дну Баренцева моря.

Исходные проектные данные. Длина трассы 579 км, характерные глубины 200-350 м (рисунок 6.4). Заглубление планировалось выполнять подводным трубозаглубителем Anthropod 600 компании SEATOOLS BV с производительностью P= 84 м^3/час. При плотности насыщенного водой грунта ρ=1500 кг/м^3, получим, что трубозаглубитель отбрасывает 35 кг грунта в секунду на расстояние примерно 8.5 м в сторону от оси трубозаглубителя по пульпопроводу на высоту около 1.8 м от дна. Отвал в сечении представляет собой закругленный треугольник или трапецию. Размеры и форма отвала зависят от объема извлекаемого грунта, а также от его типа.

ОАО ГИПРОСПЕЦГАЗ выполнило расчет объемов земляных работ (W) и длины траншей (L) для одной нитки газопровода на каждом из участков длиной 50 км для трех вариантов его укладки, отличающихся диаметром труб. Эти данные приведены в таблице Ж.1 (Приложение Ж) для одной нитки газопровода (диаметр 46 дюймов). При этом объемы работ и загрязнение будут максимальными, и все дальнейшие расчеты выполнены для этого варианта.

Математическое моделирование выполнялось с помощью программного комплекса CARDINAL [Программа для …, 2006] в трехмерной постановке. Была разработана модель Баренцева моря, по которой определялись нестационарные значения скоростей течений на отдельных вертикалях вдоль трассы газопровода (см. Приложение Ж.1.2). Средний шаг сетки в этой модели между уровенными точками равнялся 19 км.



Показаны границы 50-ти километровых участков газопровода (малые белые кружки) и положение участков A-D (большие черные кружки), выбранных для расчета распространения взвешенных веществ

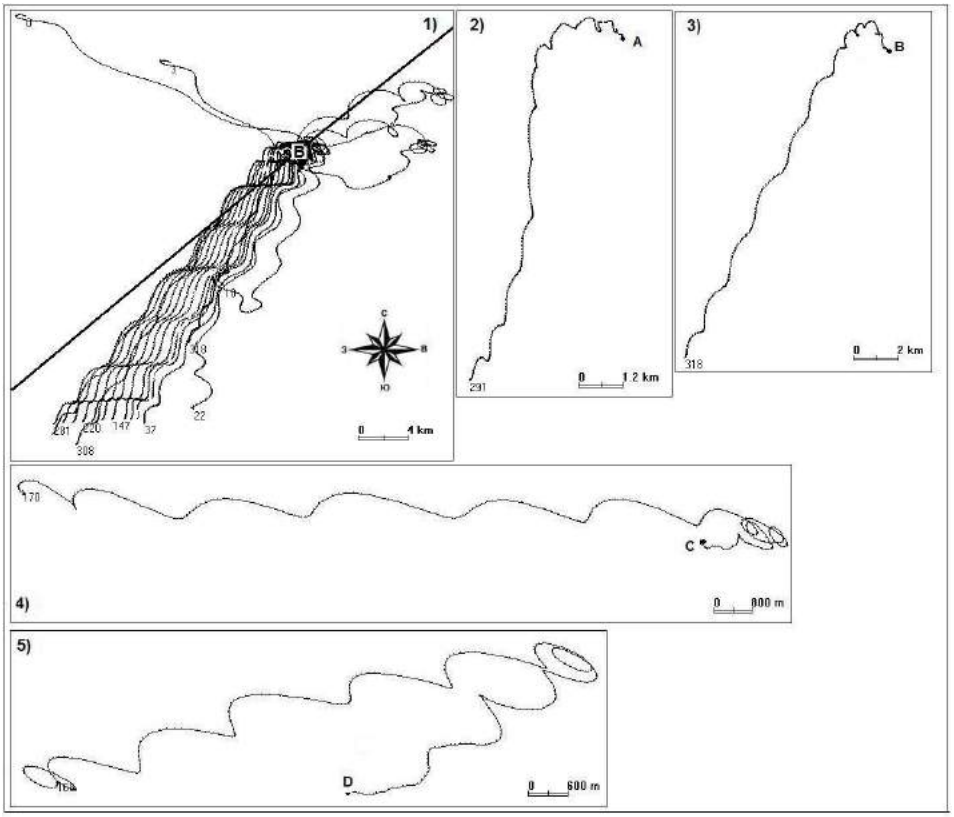
Рисунок 6.4 – Трасса подводного газопровода от Штокмановского месторождения к Ура губе [Клеванный, Шавыкин, 2008]

Исходные данные и расчет полей мутности. Для расчетов полей мутности было выбрано четыре небольших участка A – D, расположенных вдоль трассы (рисунок 6.4). Глубины в пределах каждого из участков A-D меняются мало и в моделях заданы постоянными равными, соответственно, 293, 320, 170 и 172 м. Содержание пелита для них – 60, 63, 23 и 65 %. Необходимо было рассчитать объемы воды с концентрациями ВВ, превышающими 10, 100 и 1000 мг/дм^3. Расчеты показали: только фракция пелита оказывает влияние на эти объемы. Облака ВВ от остальных фракций локализуются внутри облака мутности пелита.

Было принято, что весь поднятый пелит перейдет во взвесь, т.к. более конкретные данные о поведении облака взвеси при работе трубозаглубителей отсутствуют. Мощность источника загрязнения составит тогда для участков A-D 21, 22,

8 и 23 кг/с, соответственно. Средняя длина участка, на котором будет выполняться непрерывная срезка грунта, составляет – 250 м.

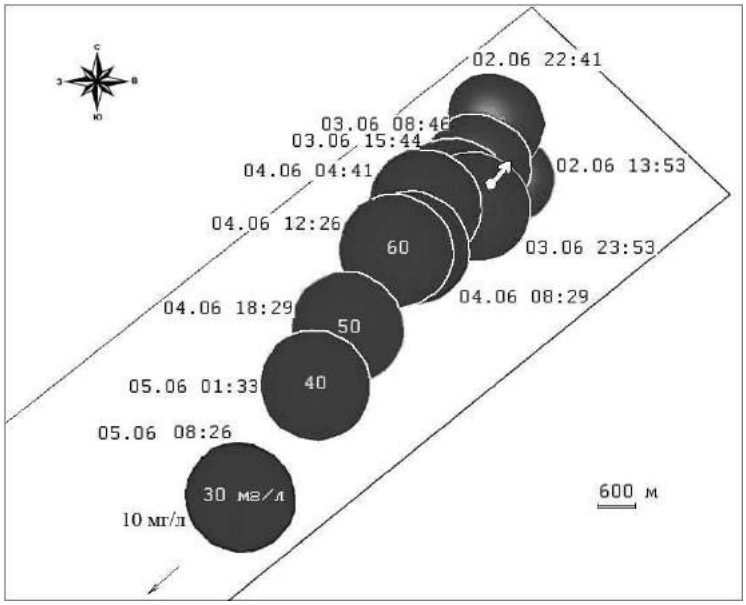
Результаты расчета полей мутности для участка В (глубина - 320 м) представлены на рисунке 6.5 – расчетные траектории течений на участке В на всех горизонтах и в придонном слое показаны на рисунке 6.5. Согласно расчету, 02.06.2005 и утром 03.06.2005 течения в придонном слое на этом участке были в основном направлены на северо-восток, а после этого – на юго-запад (рисунок 6.5). Скорости в придонном слое варьировали в пределах до 10 см/с. Источник задавался движущимся вдоль трубы в северо-восточном направлении на расчетном горизонте № 19 на глубине 318.2 м, на расстоянии 1.8 м от дна. При скорости 0.5 см/с для разработки траншеи потребуется 13 часов 53 минуты. Трубозаглубитель при этом поднимет 1166 м^3 грунта, из которых 735 м^3 или 1102500 кг приходится на долю пелита.



1) - участок В на всех 20 горизонтах. Показано положение газопровода; 2) – 5) участки A - D в придонном слое (1.8 м от дна). Цифры у траекторий – глубина (м)

Рисунок 6.5 – Расчетные траектории частиц за 02-09.06.2005 (условно) [Клеванный, Шавыкин, 2008]

В момент окончания работ на участке (13:53 02.06.2005) концентрация взвеси в центре пятна равнялась 1 700 мг/л. На рисунке 6.6 показана эволюция пятна (c > 10 мг/дм^3) в придонном слое от момента окончания работ до 08:26 05.06.2005. В период производства работ пятно в плане имело вытянутую форму, но затем, за счет однородности в плане полей скорости, приобрело круглую форму. Продолжение расчета показало, что облако с концентрациями более 10 мг/дм^3 просуществовало шесть с половиной суток, проплыв на юго-запад около 16 км. При этом максимальная концентрация в этом облаке примерно через 2.5 суток снизилась уже до 30 мг/дм^3. При выполнении ОВОС по укладке трубопровода мы принимали, что ущерб от облаков ВВ равен нулю из-за близкой к нулевой концентрации зоопланктона у самого дна. Сейчас ясно, что поскольку за 2.5 суток максимальная концентрация в облаке снизится до 30 мг/дм^3 (рисунок 6.6), то еще через две суток она будет близка к 10 – 15 мг/дм^3. Это означат, что с учетом графиков на рисунке 6.1 воздействие на зоопланктон, даже если он присутствует у дна, будет равно нулю.



Белой стрелкой показан путь трубозаглубителя. В центрах облака показаны максимальные на данный момент концентрации (мг/дм^3)

Рисунок 6.6 – Положение облака ВВ (c > 10 мг/дм^3) в придонном слое на участке В с момента окончания работ (13:53 02.06) по 08:26 05.06 [Клеванный, Шавыкин, 2008]

На рисунке 6.7 представлен вертикальный разрез, проходящий через центр пятна в момент 08:26 05.06.2005. Согласно расчету, пятно в этот момент локализовано в нижних 20 м придонного слоя.

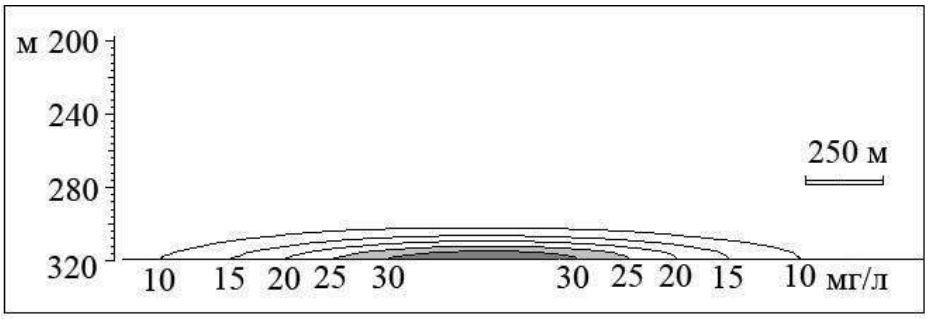
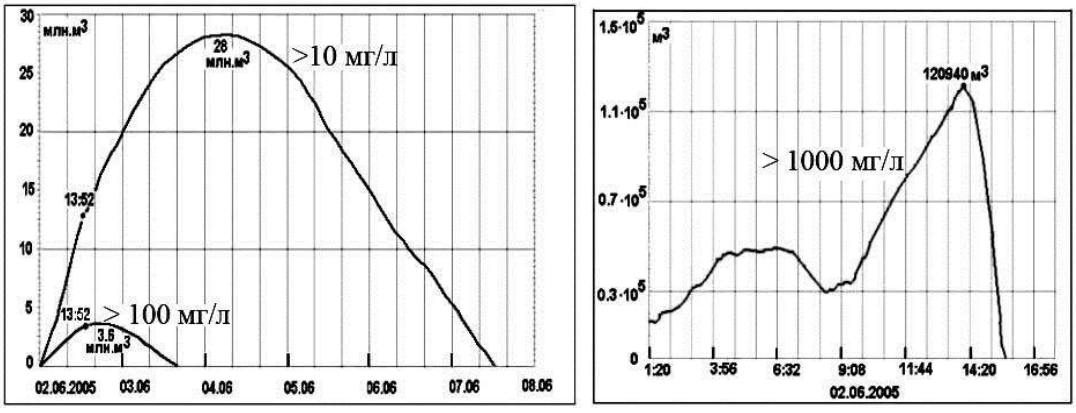


Рисунок 6.7 – Изолинии концентрации ВВ на вертикальном разрезе, проходящем через центр облака в момент 08:26 05.06 (через 67 с половиной часов после начала работ) на участке «В» [Клеванный, Шавыкин, 2008]

Временной ход объемов воды, в которых на каждый момент времени концентрации превышали 10, 100 и 1000 мг/дм^3, показан на рисунке 6.8. Максимальный объем облака с концентрациями выше 10 мг/дм^3 (28 млн м^3) был через 52 часа после начала работ. Концентрации повсеместно стали менее 10 мг/дм^3 только через шесть с половиной суток. Максимальный объем с концентрациями выше 100 мг/дм^3 был примерно в момент окончания работ – 3.6 млн м^3. Через 40 часов после начала работ концентрации повсеместно стали менее 100 мг/дм^3.



• – Показано время окончания работы

Рисунок 6.8 – Временной ход объемов облаков ВВ, в которых концентрации превышали 10 и 100 мг/дм^3 (слева) и 1000 мг/дм^3 (справа) при разработке траншеи длиной 250 м на участке В [Клеванный, Шавыкин, 2008]

Максимальный объем с концентрациями выше 1000 мг/дм^3 также был в момент окончания работ – 0.12 млн м^3. Через 16 часов после начала работ концентрации повсеместно стали менее 1000 мг/дм^3.

Для остальных участков расчеты не были доведены до момента исчезновения концентраций 10 мг/дм^3. Для концентраций 100 мг/дм^3 время существования составило: A – 38 часов, C – 18 часов, D – 32 часа. Для концентраций 1000 мг/дм^3 время существования оказалось примерно одинаковым и мало зависящим от доли пелита: A и C – 14 часов, D – 15 часов. Время оседания частиц, поднятых на высоту 1.8 м от дна при скорости оседания 0.015 мм/с без учета турбулентности составляет 33 часа.

После выполнения расчетов для каждого из участков «A»-«D» определялись удельные (на 1 м^3 поднятого пелита) значения объемов облаков ВВ с заданными значениями концентраций. По этим данным и данным по объемам поднятого на участке пелита, в предположении о не пересечении облаков, определялись суммарные для каждого из 50-ти километровых участков объемы пятен. Затем суммированием полученных значений для 50-ти километровых участков определялись общие для всей трассы газопровода объемы облаков ВВ и объемы загрязненного водного пространства. Так, при укладке одной нитки газопровода суммарный объем облаков мутности с концентрациями ВВ выше 10 мг/дм^3 оценивается в 52827 млн м^3, с концентрациями выше 100 мг/дм^3 – 6540 млн м^3, с концентрациями выше 1000 мг/дм^3 – 156 млн м^3.

Как следует из материалов § 6.3 объемы пространства (ΣV), через которые проплывают облака взвеси, не имеют значения для расчета ущерба от действия ВВ на биоту. Планктон не гибнет в этом пространстве, так как большей частью дрейфует вместе со взвесью (но частично выходит из этого облака – см. § 6.6).

Расчет площади поврежденного дна. В результате расчетов получено, что при выпадении перешедшего во взвесь пелита толщина слоя осадков нигде не превысила 5 мм (На момент выполнения этой работы мы придерживались этого условия.). Таким образом, только крупные фракции грунта при разработке траншеи дают слой толщиной более 5 мм. Так, для одной нитки газопровода диаметра

46 дюймов $P_{раб.}$=15 МПа площадь поврежденного дна оценивается в 1 261 310 м^2 (≈1.26 км^2). Соответственно, весь ущерб донной биоте оценивался на основе значений величины площади поверженного дна 1) от укладки трубопровода большого диаметра и 2) отвала грунта при рытье траншеи (без учета площади покрываемого осадком из облаков взвеси).

Основные результаты расчетов. Объемы облаков ВВ, образующихся при срезке неровностей дна во время работы трубозаглубителя, укладывающего подводный газопровод, локализуются вблизи дна, поднимаясь от поверхности дна не более чем на 20-30 м – изолинии концентрации 10 мг/дм^3.Облако с таким содержанием взвеси может перемещаться на значительные расстояния от места возникновения, проплывая до полутора десятков километров, а с большей минимальной концентрацией ВВ успевают переместиться придонными течениями на меньшие расстояния. Объемы полей ВВ определяются долей пелита в поднятом грунте, а также скоростями течений. Повреждение дна слоем грунта толщиной более 5 мм определяется в основном отвалом крупного грунта при рытье траншее. Слой осадка, образующийся при осаждении пелита, значительно меньше 5 мм.

6.6 Распространение взвеси и ее воздействие на биоту при дноуглубительных работах в Кольском заливе

Воздействие взвеси на биоту в условиях сильных приливно-отливных течений имеет ряд особенностей. В этом параграфе приведены результаты расчетов распространения взвешенных веществ (ВВ) и обсуждается их воздействие на биоту (зоопланктон и бентос) при дноуглублении и последующем отвале (дампинге) грунта в Кольском заливе. Работы планировались для реконструкции базы «Газфлота» у пос. Абрам-Мыс (рисунки 6.9), отвал грунта – в районе мыса Чалм-пушка (рисунки 6.9) в 13 км к северу от места дноуглубления [Клеванный и др., 2013; 2013a; 2013b]. Как и в предыдущем случае расчеты по модели выполнялись специалистами ООО «Кардинал Софт». Нам необходимо было с учетом ранее полученных результатов [Шавыкин и др., 2011, 2011a] корректно поставить задачу

моделирования, интерпретировать результаты расчета и оценить воздействия взвеси на биоту.

1- участок дноуглубления, 2- участок отвала (дампинга) грунта

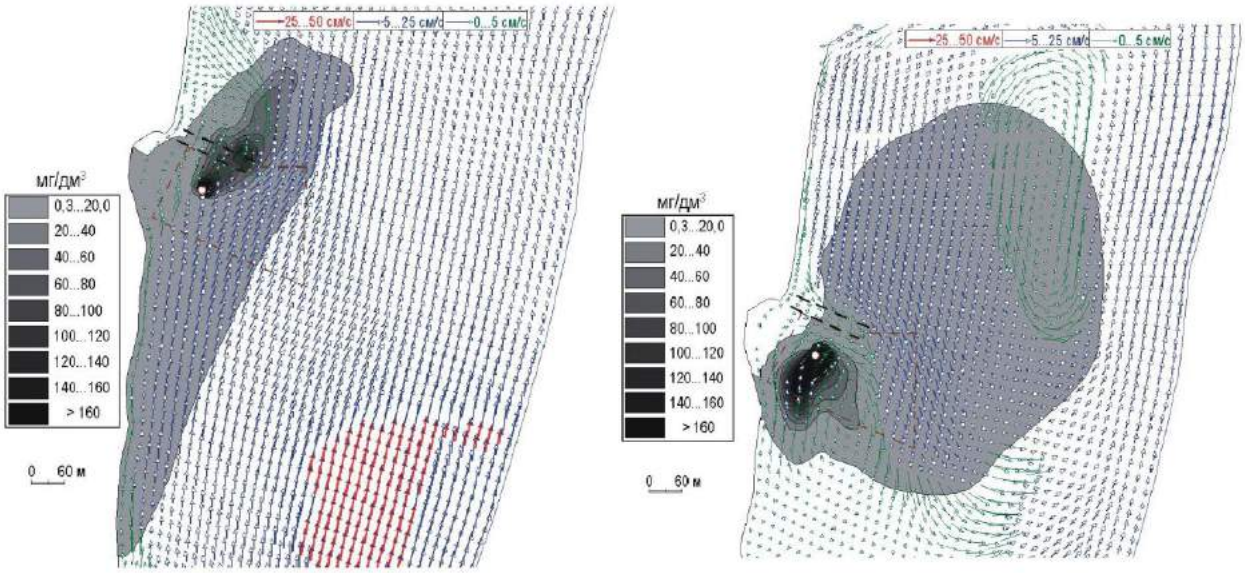
Рисунок 6.9 – Кольский залив Баренцева моря и положение участков работ [Клеванный и др., 2013]

6.6.1 Исходные данные и используемые модели

Глубины в пределах участка работ по дноуглублению изменяются от 0 до 10 м. Максимальная глубина в районе отвала – 113 м, средняя – 49 м. В районе самого дампинга глубины меняются от 80 до 100 м, увеличиваясь к выходу из залива [Клеванный 2013, 2013b]. Поля течений и концентраций ВВ рассчитывались методом математического моделирования на основе систем уравнений, описанных в [Клеванный, Шавыкин, 2008] (см. Приложение Ж.1.2) с помощью программного комплекса CARDINAL [Программа для …, 2006]. Рассчитывались объемы образующихся облаков ВВ и площади повреждаемого дна, в том числе осадком, осевшим из облаков взвеси. Подробно исходные данные для расчетов на указанных участках и параметры для расчетов представлены в Приложении Ж.2.

6.6.2 Результаты моделирования для дноуглубительных работ и оценки воздействия на биоту

Для течений в этом районе получено: при отливе, начиная со срединного слоя и до дна, к северу от пирса образуется вихрь диаметром порядка 400-500 м, при приливе он образуется к югу от пирса, в этом же районе (рисунок 6.10).



1 февраля 09:00. Приливный час: +1 час 18 мин

1 февраля 15:00. Приливный час: -5 час 50 мин

– – – – – – район дноуглубления, — — — — — – границы свайного основания причала. Показаны области с концентрациями выше 0.25 мг/дм^3 (даты – условные)

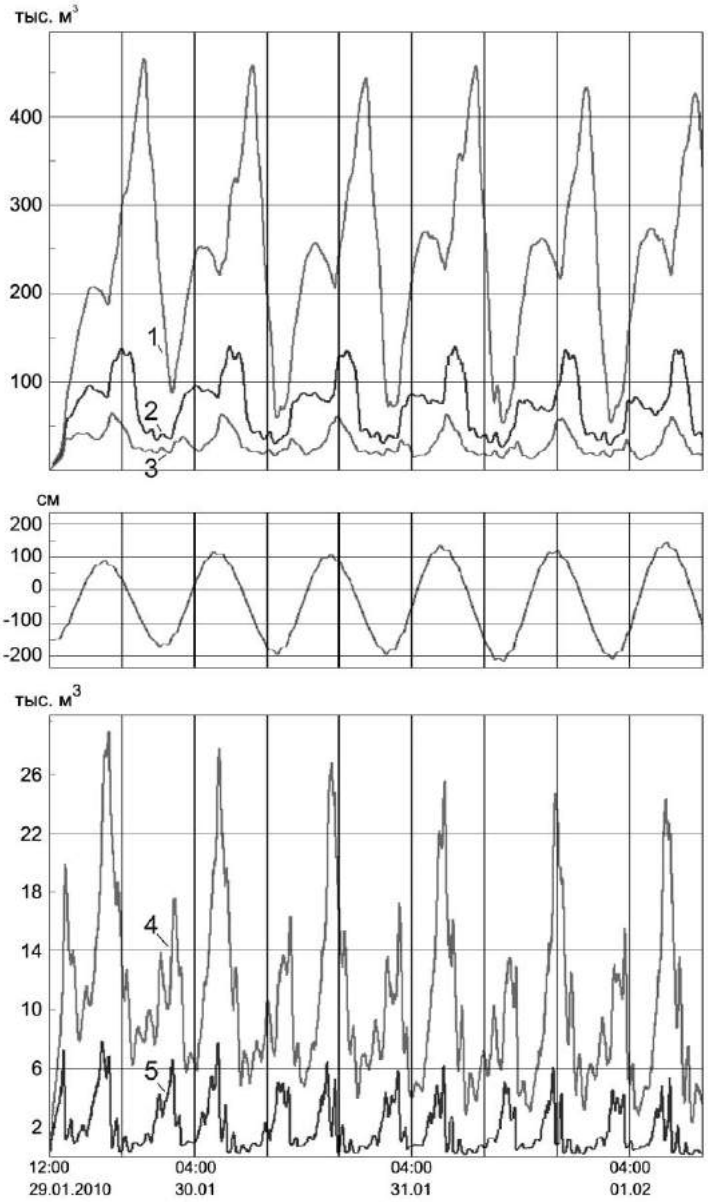
Рисунок 6.10 – Изолинии концентрации взвешенных веществ и вектора скоростей в срединном слое при отливе (слева) и приливе (справа) при дноуглублении многочерпаковым земснарядом [Клеванный и др., 2013а]

По результатам моделирования скорости течений в районе дноуглубления соответствуют таковым для этого района в Атласе течений Кольского залива для поверхности и среднего слоя (до 0.5 - 1 м/с). Изменение концентрации ВВ в двух точках севернее и южнее района дноуглубления показано в Приложении Ж (п. Ж.2.2). Работы по дноуглублению планировалось выполнять с помощью плавкрана и земснаряда. Расчеты при дноуглублении плавкраном не приводятся, так как из-за слабой мощности источника взвеси (в 220 раз меньше, чем для земснаряда – см. Приложение Ж.2.1) его воздействие на биоту оказалось незначительным.

Приливной характер течений обусловливает периодические изменения направления распространения облака и временные колебания значений концен-

траций. Временной ход объемов облаков загрязнения с различными минимальными концентрациями на границах показан на рисунке 6.11.

Диапазон временной изменчивости объемов облаков с различными минимальными концентрациями (концентрациями на границах облаков) представлен в таблице 6.5. Характер изменения во времени облаков с С > 500, 700 и 1000 мг/дм^3 в целом такой же как для облаков с С > 100 и 250 мг/дм^3.



(а) – облака с минимальными концентрациями > 10 (1), 25 (2) и 50 (3) мг/дм^3;
(в) – с минимальными концентрациями >100 (4) и >250 (5) мг/дм^3.
(б) – колебания уровня воды

Рисунок 6.11 – Временной ход объемов облаков загрязнения с разными концентрациями на границах при дноуглублении земснарядом [Клеванный и др., 2013а]

Единственная особенность для облаков с С >700 мг/дм^3 состоит в том, что в отдельные непродолжительные моменты времени они исчезали, то есть их объем становился равным нулю. Эта же картина представлена на рисунке 6.11: объемы облаков с разной минимальной концентрацией не увеличиваются со временем, а меняются для каждой концентрации ВВ от минимальных до максимальных.

Таблица 6.5 – Максимальные и минимальные объемы облаков с заданными минимальными концентрациями ВВ при дноуглублении многочерпаковым земснарядом [Клеванный и др., 2013а]

Концентрации, мг/дм^3	Объемы облаков, м^3
>10	450 000 - 46 000
>25	140 000 – 25 000
>50	64 600 – 10 300
>100	28 200 – 2 300
>250	7 700 – 100
>500	2600 – 50
>700	1510 – 0
>1000	840– 0

Максимальная толщина выпавшего из облаков взвеси осадка при пересчете на 64 дня работы многочерпакового земснаряда составила 220 мм, но за пределами площадки дноуглубления толщина осадка не превысила 20 мм. Поскольку на всей площади непосредственного дноуглубления произойдет механическое повреждение грунта, то при оценке ущерба для всей этой площади принята 100 % доля гибели бентосных организмов, а вне ее – будет близка к нулю.

Отличительной особенностью поведения ВВ при дноуглубительных работах в Кольском заливе является резкая изменчивость концентраций ВВ во времени и в пространстве (перемещение облаков ВВ синхронно с изменениями приливно-отливных течений). Это существенно отличается от поведения облаков ВВ в бесприливном или слабо приливном море, например, в восточной части Финского залива Балтийского моря. Там от района дноуглубления или намыва тянется протяженный, существующий длительное время и слабо меняющийся во времени и пространстве шлейф замутнения [Зайцев и др., 2010]. В нашем случае указанное поведение ВВ связано с сильными приливно-отливными течениями, периодиче-

ски меняющими свое направление на противоположное, что при данных мощностях источников не приводит к образованию шлейфа замутнения.

На основании результатов, полученных для работы земснаряда, можно сделать вывод, что длительного воздействия взвеси на зоопланктон, приводящего к его гибели, здесь не будет в силу следующих причин. *Во-первых*, объемы облаков с различными минимальными значениями С (> 500, 200, 100, 50 и 25 мг/дм^3) изменяются от максимума до минимума за один приливно-отливный цикл (соответственно в 17, 15, 9, 3 и 3.5 раза; часть графиков представлена на рисунке 6.11). *Во-вторых*, как следует из расчетов, максимальные значения объемов загрязненного водного пространства через 3-4 дня практически перестают изменяться. *В-третьих*, период обновления вод в южной части залива составляет около 6 суток [Потанин, Ларин, 1989], то есть существует постоянное, пусть и небольшое течение, относящее зоопланктон от примерно одного и того же постоянного места образования облаков ВВ.

В-четвертых, имеет место небольшое, но все же какое-то перемещение зоопланктонных организмов относительно самой водной массы (как по вертикали, так и по горизонтали): скорости вертикального перемещения составляют от 3 до 16 мм/с для крупных эвфаузиид Euphausiacea [Cisewski et al., 2010]; около 10 мм/с для *Calanus finmarchicus* [Record, Young, 2006]. По экспериментальным данным горизонтальные миграции ювенильных стадий копепод (Copepoda) составляют - 2-3 см/с, для взрослых стадий - 4-20 см/с; для ювенильных стадий Simocephalus средние скорости плавания лежат в диапазоне 2-4 см/с, для взрослых особей в диапазоне 3-4 см/с [Irima-Hurdugan, Hazareanu, 2011]. Сопоставимые значения скоростей плавания копепод были получены и в экспериментальной работе [Genin et al., 2005]. Отмечены следующие скорости плавания зоопланктона – вертикальная до 5 см/с, горизонтальная до 16 см/с. То есть, при всех стохастических перемещениях зоопланктеров, они, скорее всего, за период приливно-отливного цикла (примерно за 12 часов) перемещаются в пределах небольшого объема водной массы (фактически оставаясь «привязанной» к ней), или смещаются на несколько метров – десятков метров относительно водной массы.

Таким образом, не весь зоопланктон с облаком высокой или средней концентрации ВВ, перемещенный течением при отливе к северу (или к югу при приливе), при новом отливе (приливе) окажется по прошествии периода приливно-отливного цикла в облаке такой же концентрации ВВ: часть выйдет из зоны воздействия за счет собственного перемещения. А учитывая непостоянство воздействия и время воздействия (не более 5-6 суток), можно утверждать, что гибели зоопланктона из-за воздействия ВВ в данном случае не будет.

6.6.3 Результаты моделирования для дампинга и оценка воздействия на биоту

Как и в предыдущем пункте, для моделирования распространения взвеси при дампинге приводятся только основные результаты расчетов и только (по той же причине, что и ранее) для сброса грунта при работе земснаряда. Исходные данные, обоснование принятого подхода и более детальные результаты расчёта приведены в Приложении Ж.2.3.

На рисунке 6.12 показан временной ход уровня воды и концентраций ВВ у дна в четырех точках, расположенных примерно в 500 м вокруг источника загрязнения за весь период расчета. Значения концентрации в этих точках имеют тот же период колебаний, что и приливо-отливные колебания уровня воды. Амплитуды колебаний значений концентраций минимальны в квадратуру прилива и максимальны в сизигию. Реверсивный характер течений в заливе обусловил значительно бóльшие значения концентраций в точках, расположенных вдоль их основной оси (точки 3 и 4 - до 5.5 мг/дм^3), чем поперек ее (точки 1 и 2 - до 0.23 мг/дм^3).

Согласно расчету при отвале периодически образуются облака взвешенных веществ с концентрациями менее 500 мг/дм^3. Фрагмент временного хода объемов облаков загрязнения с минимальными концентрациями >10 мг/дм^3 и > 25 мг/дм^3 показан на рисунке 6.13. В зависимости от сочетания времени отвала и фазы прилива облака с концентрациями >10 мг/дм^3 существуют от 1 часа до 3 часов 40 минут. Если сброс происходил в момент близкий к моменту смены направления течения, т.е. когда скорости минимальны, объемы облака возрастают примерно в 2

раза. Максимальное значение в 141 тыс. м^3 было получено в 16 часов 05.02.2010, когда сброс происходил перед началом прилива. В квадратуру объемы этих облаков в целом уменьшаются. Облака с концентрациями >25 мг/дм^3 существуют от 30 минут до, в основном, не более 1 часа 30 минут, но имеется случай существования облака 2 часа 30 минут.

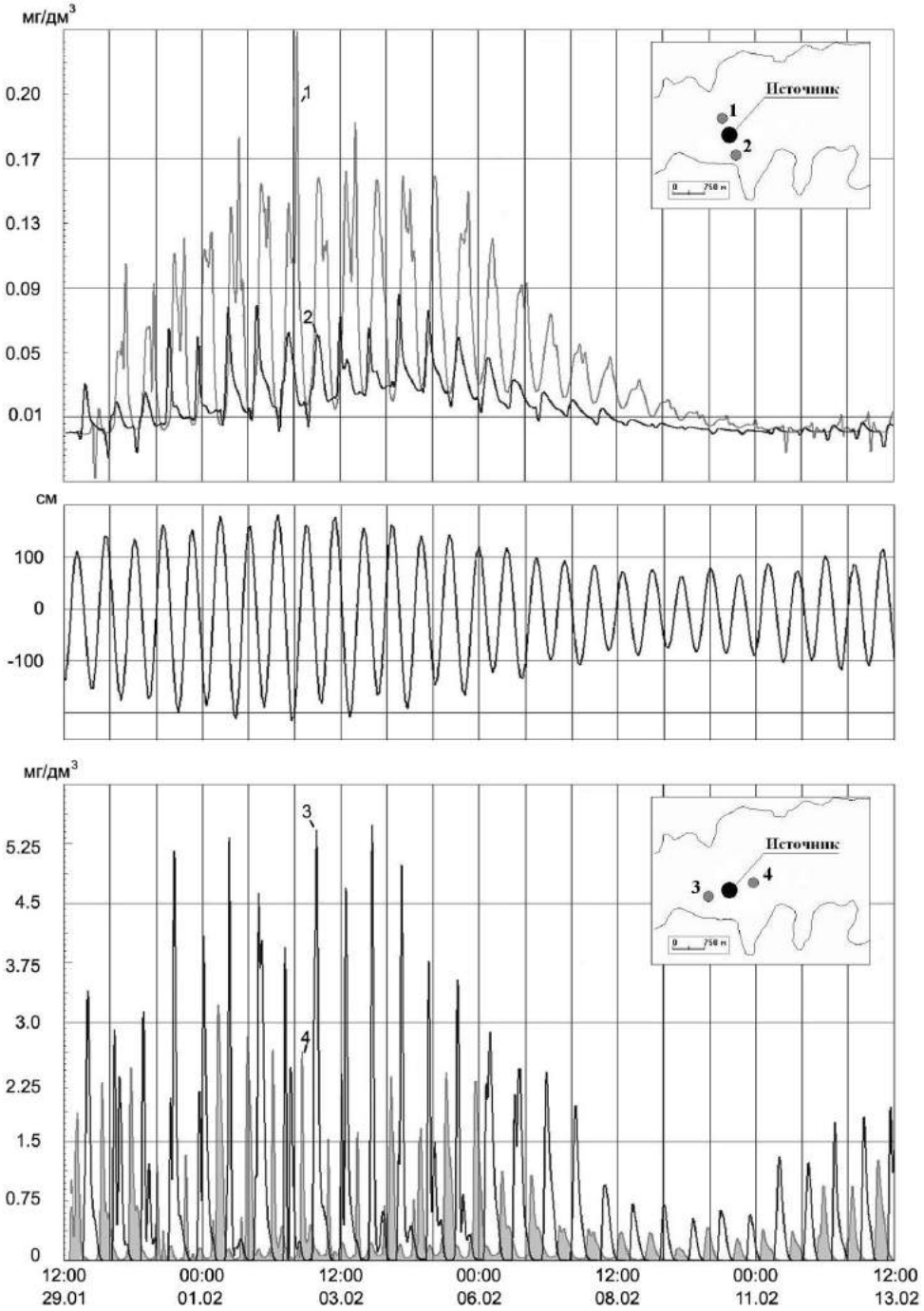


Рисунок 6.12 – Временной ход концентраций взвешенных частиц в 4-х точках у дна вокруг источника загрязнения при отвале в ходе работы земснаряда 29.01. - 13.02.2010 (даты условны); средний график - временной ход уровня воды [Клеванный и др., 2013b] (подробнее см. рисунок Ж.6 Приложения Ж)

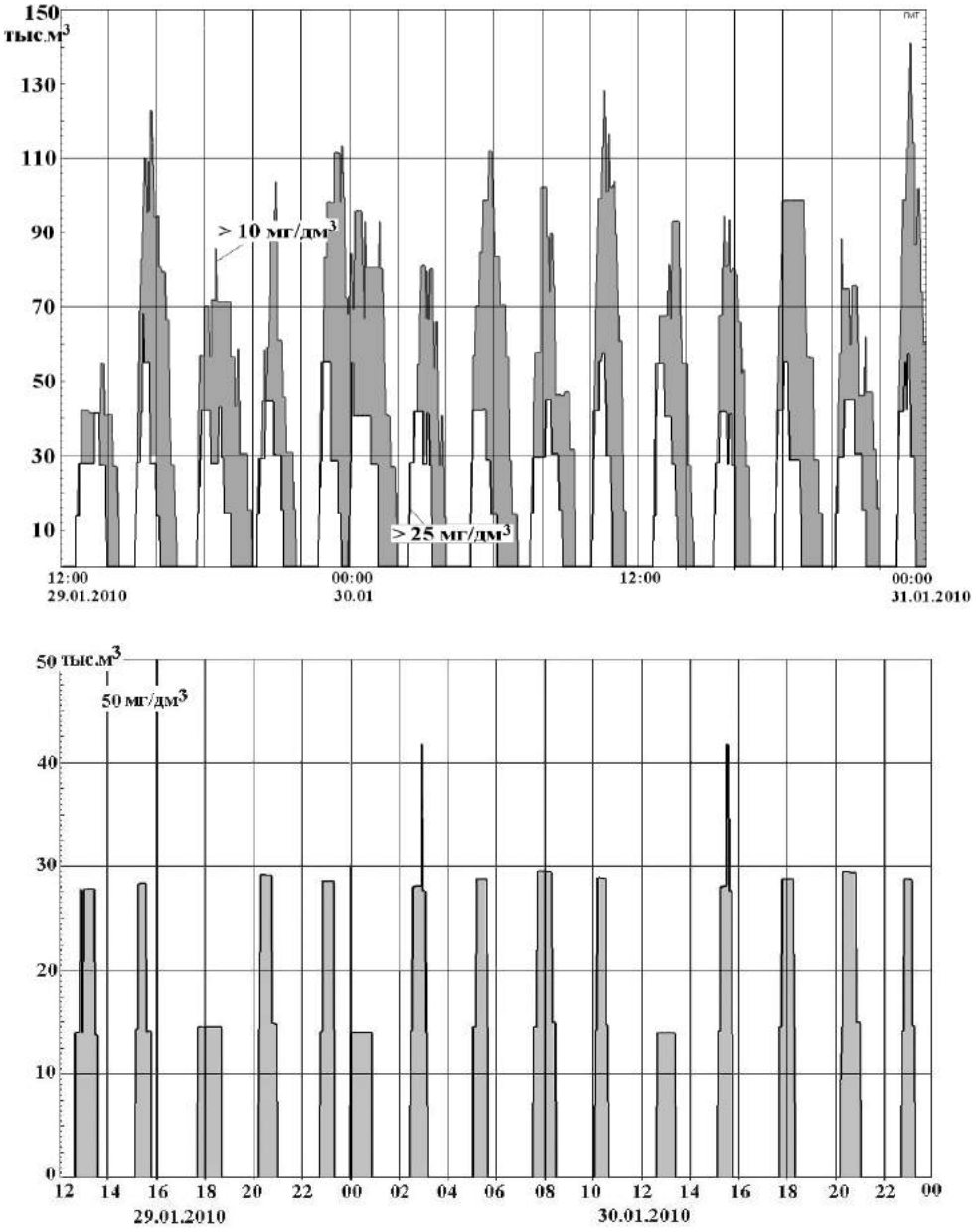


Рисунок 6.13 – Временной ход объема облаков загрязнения с концентрациями >10 мг/дм^3 и >25 мг/дм^3 (верхний рисунок) и с концентрациями >50 мг/дм^3 (нижний рисунок) при отвале грунта в ходе работы земснаряда 29 – 30.01.2010 (даты условны) [Клеванный и др., 2013b]

В квадратуру объемы этих облаков также в целом уменьшаются. Эти облака появляются при каждом сбросе и исчезают после его окончания. Облака с концентрациями >50 мг/дм^3 существуют от 25 минут до 1 часа. Объемы этих облаков (и облаков с еще большими концентрациями) соизмеримы с объемами расчетных ячеек модели отвала, средний объем которых равен 10 800 м^3. В связи с этим зависимость объема от фазы прилива для этой концентрации и выше не прослеживается. Эти облака также появляются при каждом сбросе и исчезают после его окончания. Облака с концентрациями >100 мг/дм^3 существуют от 20 до 35 минут,

появляясь при сбросе и исчезая после его окончания. Облака с концентрациями >250 мг/дм^3 существуют от 5 до 20 минут, также появляясь при сбросе и исчезая после его окончания.

В таблице 6.6 приведены максимальные объемы облаков загрязненной воды с заданными минимальными концентрациями на их границах. Как было показано выше (§ 6.3) гибель зоопланктона при непрерывном нахождении его в воде с концентрацией ВВ 100, 500 и 1000 мг/дм^3 начинается на четвертые сутки (гибнет, соответственно, 10, 25 и 30 % организмов), с концентрацией 50 мг/дм^3 – на шестые сутки (доля гибели составляет 5 %). Представленные в настоящей работе расчеты показали, что при отвале грунта при работе земснаряда концентрация ВВ в ячейке с источником не превышает 400 мг/дм^3 (рисунок Ж.5, Приложение Ж.2.3.2). Длительность существования облаков с концентрациями выше ПДК (10 мг/дм^3) составляет всего около одного часа.

Таблица 6.6 – Максимальные и минимальные объемы облаков с заданными минимальными концентрациями на границах

Концентрация, мг/дм^3	Объемы облаков, м^3
>10	141 000 - 0
>25	71 200 – 0
>50	45 000 – 0
>100	30 000 - 0
>250	14 500 - 0
>500	0

Соотношение времени существования облаков ВВ с различными концентрациями и времени их отсутствия. Если для 10 мг/дм^3 отношение интервала времени, когда такие облака отсутствуют и интервала времени существования этих облаков меньше 1, то для С > 25 мг/дм^3 это соотношение, лежит в диапазоне 1.5-2.0 (рисунок 6.13). Причем облака с С > 10 мг/дм^3 образуются либо раньше, чем облака с концентрацией С > 25 мг/дм^3, либо одновременно с ними (рисунок 6.13). Для облаков с концентрацией С > 50 мг/дм^3 такое же отношение редко меньше 2.0, а часто превышает 3.0. Расчеты для больших концентраций (100 и 250 мг/дм^3) дают еще большие отношения этих интервалов. Таким образом, в данном случае облака с различной концентрацией периодически возникают и полностью

исчезают, причем соотношение времен отсутствия облаков и времени их существования зависит от концентрации ВВ на границе облаков и растет с ростом концентрации взвеси на границе облаков.

Учитывая все это, можно утверждать, что, как и в случае дноуглубительных работ с земснарядом, воздействие на зоопланктон взвеси, образующейся при сбросе грунта во время работы земснаряда, будет незначительным и не приведет к его биоты. Расчет площади дна, засыпанного сбрасываемым грунтом и имеющим большую толщину слоя, проводился стандартным методом (см [Клеванный и др., 2013a; 2013b]).

Таким образом, показано, что в ходе дноуглубительных работах и дампинге в Кольском заливе образуются большие объемы облака взвеси, имеющие большие значения концентрации ВВ. Но действие этих облаков взвеси на зоопланктон пренебрежимо мало из-за сильных приливно-отливных течений. Основной ущерб обуславливается гибелью бентоса при дноуглубительных работах за счет снятия всего верхнего слоя грунта и засыпкой бентосных организмов мощным слоем грунта непосредственно в месте сброса этого грунта.

Кроме того, с учетом полученных результатов ясно, что 1) без использования математических моделей и расчетов по соответствующими программам практически невозможно с той или иной степенью корректности делать оценку воздействия дноуглубительных работ и дампинга грунта на планктон и бентос; 2) без знания уязвимости планктона от действия взвеси невозможны даже приближенные оценки гибели планктона и бентоса. В последнем случае такие параметры должны быть известны до начала расчетов.

6.7 Оценки воздействия взвеси на биоту в общей схеме эколого-океанологического сопровождения освоения шельфа

С учетом полученных результатов ясно, что без использования математических моделей и расчетов по соответствующим компьютерным программам практически невозможно с достаточной степенью корректности делать оценку воздействия дноуглубительных работ и дампинга грунта на планктон и бентос при гид-

ротехнических работах на шельфе. Оценки гибели этих групп биоты невозможны также без знания уязвимости планктона и бентоса от действия взвеси, уязвимости бентоса от толщины слоя засыпки грунтом невозможны даже. Причем эти параметры уязвимости должны быть известны до начала расчетов ущербов. То есть, корректные результаты ОВОС могут быть получены только, если проведен всесторонний анализ морской природной среды и биоты, выполненный в рамках государственного экологического мониторинга (см. главу 2, п. 2.2.1). Далее, только на базе таких результатов (данных о распределение биоты, ее уязвимости, материалов моделирования распространения взвеси) могут быть сформулированы предложения по экологическому мониторингу, который должен сопровождать гидротехнические работы, то есть предложения по производственному экологическому мониторингу и возможно – ГЭМ.

Таким образом, при дноуглубительных работах для оценки корректности расчетов по принятой модели и ОВОС от таких работ необходим экосистемный мониторинг (см. главу 8)**.** С учетом возможной большой пространственно-временной изменчивости полей минеральной взвеси (особенно в условиях сильных приливно-отливных течений) целью такого мониторинга может быть проверка результатов моделирования в нескольких точках**.** И если различие между ними (результатами моделирования и мониторинга) не более 10-20 %, то расчеты ОВОС, выполненные по результатам моделирования, можно считать корректными. Производственный экологический мониторинг и, возможно, ГЭМ, выполняемые в ходе таких работ, но не учитывающие результаты математического моделирования фактически бесполезны.

Дополнительно можно отметить, что данные о распределении фито- и зоопланктона (последние – по оценкам развития фитопланктона) могут быть получены также в результате ГЭМ: спутникового мониторинга и результатов судовых исследований с использованием флуориметрических методов (см. главу 3).

ГЛАВА 7 РАЗРАБОТКА КАРТ УЯЗВИМОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ И МОРСКИХ ЗОН ОТ НЕФТИ

В связи с началом освоением арктического шельфа возрастает угроза нефтяного загрязнения Арктики. Важная нерешенная в России проблема, связанная с ликвидацией разливов нефти (ЛРН), – разработка и использование карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти.

Карты уязвимости играют важную роль при планировании и непосредственно при операциях по ликвидации разливов нефти: «Составление и обновление карт уязвимых зон является ключевым моментом процесса планирования» ЛРН [IPIECA, 2000c]. В *России в настоящее время нет нормативов, предписывающих обязательную подготовку и использование в планах ЛРН карт уязвимости (чувствительности) прибрежных акваторий и берегов*. Отсутствует в России и единая методика построения таких карт. Карты уязвимости всех экологических групп (от бактериопланктона до морских млекопитающих и птиц) и природных комплексов (экосистем) к основным ожидаемым видам воздействия должны быть результатом инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) на шельфе согласно [СП 47.13330.2012, 2012].

На данном этапе ставилась *общая задача* разработать методику построения сезонных, разномасштабных карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти и построить по этой методике карты (частично – картосхемы) для отдельных районов арктических морей. Решались следующие частные *задачи*:

1). Описать поведения нефти в воде при разливах и воздействия нефти на морскую биоту.

2). Проанализировать положение дел в России по разработке и использованию в планах ЛРН карт уязвимости прибрежных и морских зон.

3). Дать обзор зарубежных и российских методик построения карт уязвимости / чувствительности прибрежных и морских зон от нефти.

4). Разработать методику построения сезонных, разномасштабных карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти и построить по этой методике картосхемы для отдельных районов арктических морей.

Работы автора по вопросам, изложенным в настоящей главе. Статья [Шавыкин и др., 2008a], монография [Шавыкин, Ильин, 2010]. Результаты докладывались на различных конференциях и нашли отражение в тезисах: на международной конференции РАО-07 в Санкт-Петербурге [Шавыкин и др., 2007], на международных конференциях в Мурманске: «Нефть и газ арктического шельфа – 2008» [Калинка и др., 2008], «Рыболовство в условиях освоения углеводородных ресурсов…» [Шавыкин и др., 2009], «Природа морской Арктики…» [Шавыкин и др., 2010a]. По заказу различных организаций было выполнено несколько хоздоговоров, в ходе которых строились карты уязвимости [Отчёт по х/д. Оценка интегральной …, 2008; Отчёт по х/д. Оценка интегральной …, 2009b; Отчет по х/д. Проведение экспедиционных …, 2011]. Подготовлены карты уязвимости арктических морей в рамках двух грантов: для пилотного проекта Северной экологической финансовой корпорации (НЕФКО) и Дирекции Проекта ЮНЕП/ГЭФ «РФ – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды» «Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефтепродуктам прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей)» [Отчёт по х/д. Подготовка карт …, 2010b] и по гранту ВОО «Русское географическое общество» «Исследования прибрежья и береговой зоны северной части Кольского залива и разработка карт уязвимости всего залива от разливов нефти [Отчёт по х/д. Исследование побережья…, 2014].

7.1 Проблема нефтяного загрязнения морей Арктики

В России сформировался и продолжает развиваться морской нефтегазовый комплекс (транспортные перевозки и добыча углеводородов на шельфе). Активно ведутся работы по подготовке к освоению и непосредственно освоение нефтегазовых месторождений на шельфе арктических морей (в первую очередь в Баренцевом и Карском морях). Открыто новое, самое сереное арктическое месторождения «Победа» в Карском море. Россия – вторая страна в мире по добыче нефти. В российских портах функционируют и вводятся в эксплуатацию перегрузочные

комплексы по перевалке нефти. Активно ведётся освоение нефтяных месторождений на шельфе Сахалина, на Северном Каспии, в Балтийском море.

Одновременно с развитием морского нефтегазового комплекса возрастает угроза нефтяного загрязнения акваторий морей, прибрежной зоны и берегов. Однако в настоящее время в России проблема предотвращения загрязнения моря от нефти и нефтепродуктов решена не в полной мере. Так и не принят пока закон о защите моря от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Фактически не ведётся систематический спутниковый мониторинг загрязнения нефтью арктических морей. Единственная в России лаборатория по определению свойств нефти и их изменению при разливах (лаборатория в Мурманском ЦСМ) функционирует не с полной нагрузкой, хотя на ее основе давно мог бы быть сформирован банк данных свойств нефти, транспортируемых не только через арктические порты. Такой банк данных создан в Норвегии, норвежская сторона передала в Мурманск оборудование для указанной лаборатории, методики проведения анализов и программны по моделированию разливов нефти. Использование информации о свойствах нефти позволяет более корректно предсказывать ее поведение при разливах и правильнее определять уязвимость биоты от нефти.

Российские планы ЛРН содержат только самые общие – мелкомасштабные карты уязвимости морских акваторий. Эти карты недостаточно информативны, в том числе и потому, что нет соответствующих нормативных документов, которые определяют требования к таким картам. Отсутствует в РФ и единая утверждённая методика составления карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Подробнее об этом говорится в § 7.4 далее.

В мире вопросам защиты морской среды от нефтяных загрязнений посвящено огромное количество публикаций, ежегодно проводятся международные конференции. Но, как отмечает С.А. Патин [2008]: «надо признать, что российский опыт решения возникающих при этом (при разливах нефти – А.А.Ш.) природоохранных проблем, в том числе связанных с нефтяными разливами в море, весьма ограничен». Следует отметить, что использование карт уязвимости имеет важное значение для ЛРН при больших разливах. Разливы до 100–500 тонн вряд

ли могут существенно повлиять на экосистему района, и для их ликвидации редко могут требоваться такие карты уязвимости.

7.2 Поведение нефти в воде при разливе, её воздействие на биоту и окружающую среду

Разливы нефти при авариях танкеров и на разведочных и добычных платформах могут приводить к огромным негативным экологическим последствиям. Это показали крупные аварии (из самых последних) – в Керченском проливе (2009 г.), в Мексиканском заливе (2010 г.). Несмотря на принимаемые меры безопасности, ни один из способов добычи и перевозки нефти, к сожалению, не исключает аварий, в результате которых нефтяному загрязнению могут быть подвергнуты обширные районы побережий.

Воздействие нефти на морскую биоту, и ее уязвимость, определяется и свойствами гидробионтов, и свойствами самой нефти, её поведением при разливе. При нефтяном разливе в море происходят сложные взаимодействия нефти и морской среды – таблица 7.1, рисунок 7.1 [Патин, 2008].

Таблица 7.1 – Физические и биогеохимические процессы преобразования и переноса нефти в морской среде [Патин, 2008, таблица 2.7]

Процессы	Области и зоны протекания процессов			
	Водные массы	Море – атмосфера	Море – берег	Вода – донные осадки
Трансформация химического состава и форм нахождения нефти	Растворение, эмульгирование, химический и бактериальный распад, накопление в планктоне	Испарение, химическое и фотохимическое окисление, микробная деструкция, агрегирование, эмульгирование	Сорбция на взвесях, биоаккумуляция, фракционирование в условиях градиента солености	Бактериальная и химическая деструкция, накопление в бентосе
Распределение и миграция нефти	Диспергирование и разбавление в водной толще, седиментация тяжёлых фракций и нефтяных агрегатов	Растекание и адвекция плёнки, диспергирование под действием волн	Выбросы на берег, седиментация, биоседиментация, обратный вынос в море	Накопление в осадках, взмучивание, перенос с твердой фазой

Все происходящие с разлитой нефтью определяется условиями внешней среды (волнение, ветер, течения, температура и солёность воды, присутствие взвеси …) и свойствами самой нефти. Учитывая большой диапазон последних, можно говорить о том, что сценариев поведения нефти в воде бесчисленное множество. Здесь указаны только некоторые, наиболее важные характеристики отдельных процессов, из подробного обзора С.А. Патина [2008].

Общие схемы процессов, происходящих с нефтью при разливах в воде, во льдах и на льду представлены на рисунках 7.1-7.3.

Распространение нефти в ледовых условиях (рисунок 7.3) носит сложный и мало предсказуемый характер, а загрязнения могут переноситься льдом на значительные расстояния [Измайлов, 1988; Природные условия…, 1997; Патин, 2001; Цукерман, 2007].

Спектр действия нефти на биоту также очень широк и зависит от концентрации нефти, ее свойств, видового состава биоты и поведения живых организмов, их чувствительности к нефти, времени воздействия, гидрологических условий в районе и других факторов. Основные биологические эффекты, наблюдаемые у гидробионтов, зависящие от концентрации растворенной нефти представлены на рисунке 7.4. Подробнее это рассмотрено далее.

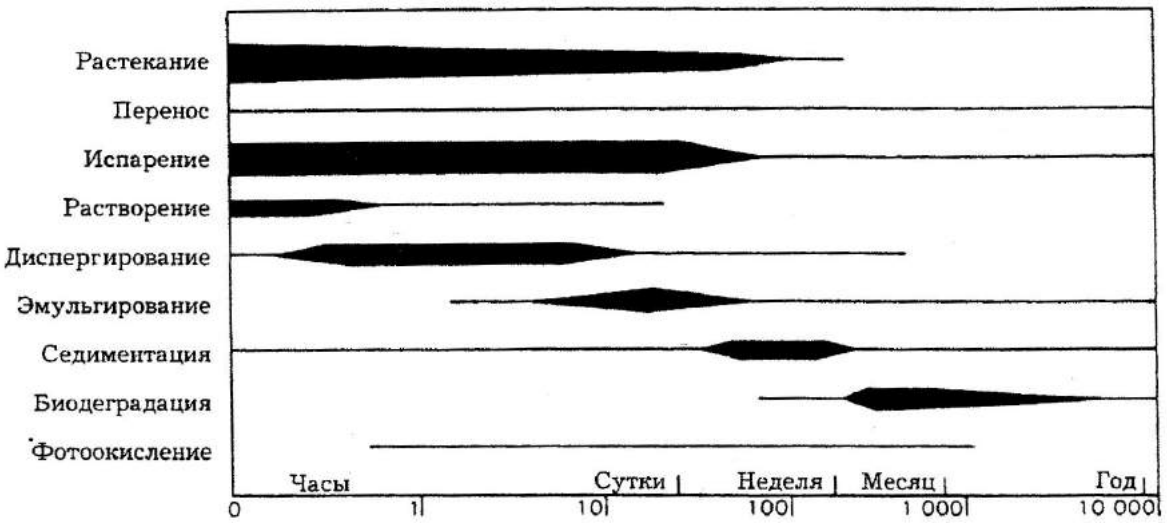


Рисунок 7.1 – Последовательность и интенсивность процессов переноса и трансформации нефти в морской среде [IPIECA, 2000], длина линий отражает длительность процесса, ширина линий соответствует (цит. по [Патин, 2008])

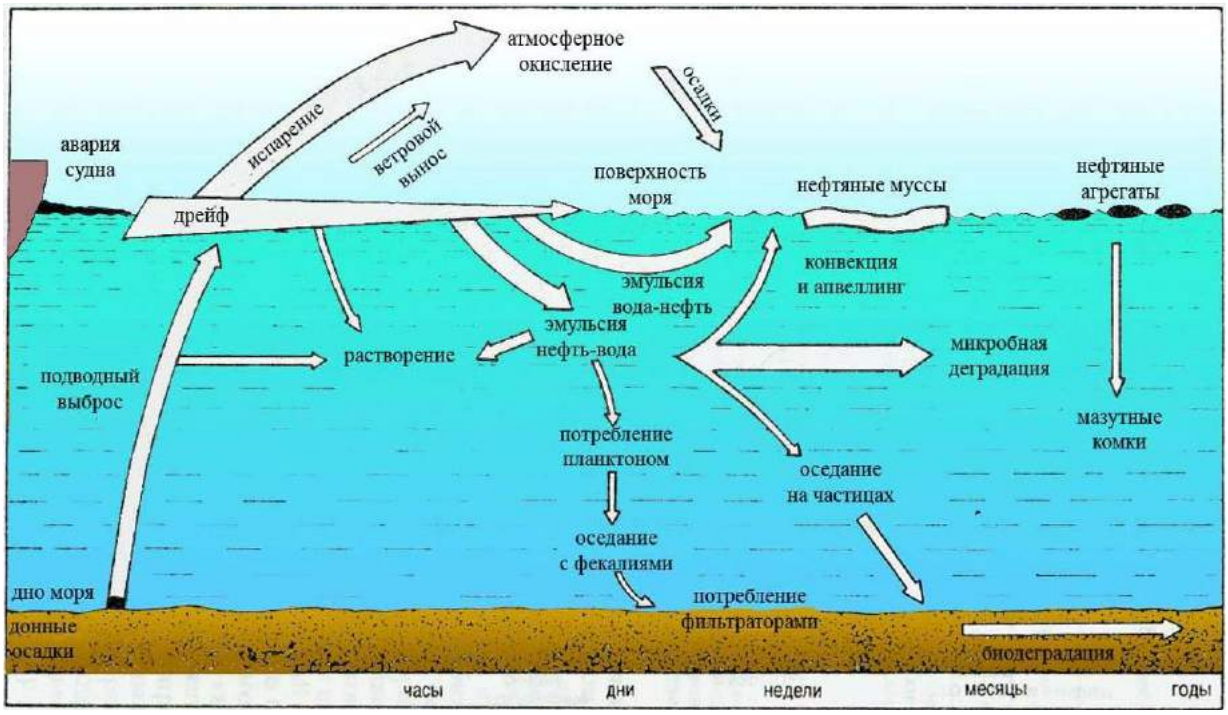


Рисунок 7.2 – Биогеохимические процессы трансформации и переноса нефти в море [Emerrson, 1994; цит. по: Фащук и др., 2003]

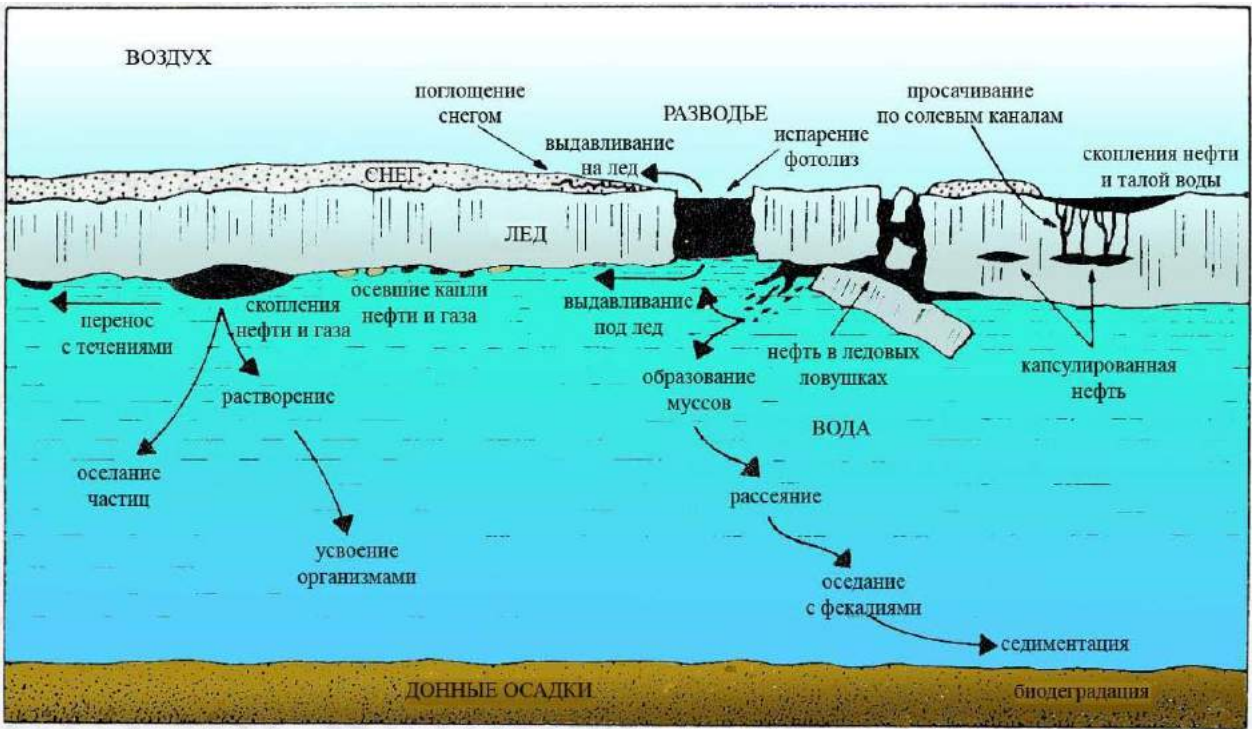


Рисунок 7.3 – Поведение нефти в море, покрытом льдом [Emerrson, 1994; цит. по: Патин, 2001]

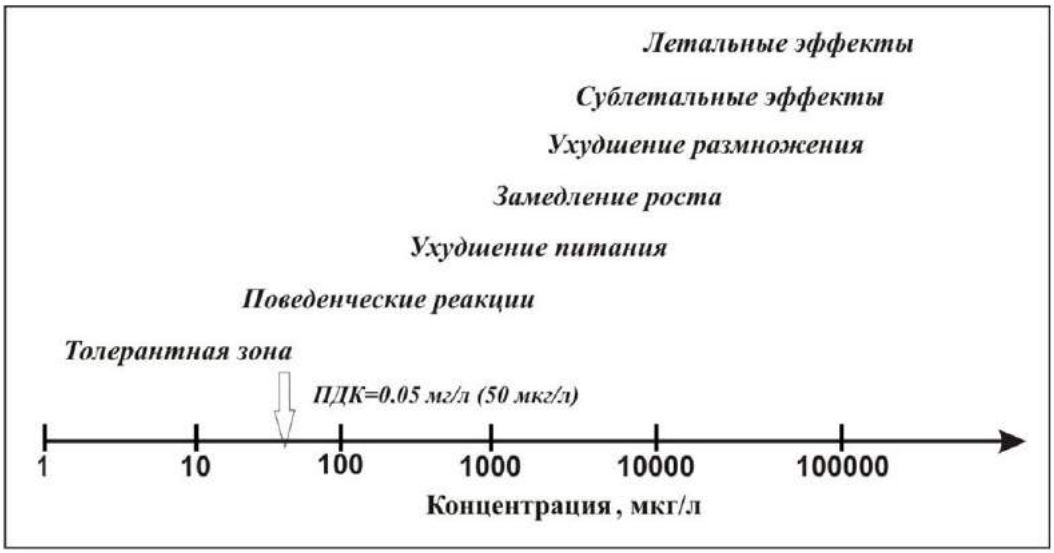


Рисунок 7.4 – Основные биологические эффекты, наблюдаемые у гидробионтов в зависимости от концентрации растворенных в морской воде НУ [Патин, 2001]

7.3 Существующие методики построения карт уязвимости

7.3.1 Обзор существующих методик построения карт уязвимости

Существуют различные методики разработки карт уязвимости морских акваторий и береговой линии от разливов нефти.

Международная ассоциация представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (IPIECA) совместно с Международной морской организацией (IMO), а в последние годы и с Организаций производителей нефти и газа (OGP) подготовили ряд докладов по составлению карт чувствительности экологически уязвимых зон при ликвидации разливов нефти (ЛРН) [IMO, IPIECA, 1994; 2000; IMO et al., 2012] и различным аспектам воздействия разливов нефти на гидробионты [IPIECA. 1992; 1993; 1994; 1995; 2000; 2000a; 2000b; 2004;].. В этих руководствах рекомендуется на картах указывать чувствительность береговой линии по индексам экологической чувствительности ESI [Gundlach, Hayes, 1978, NOAA, 2002] и отображать чувствительные для природы и человека объекты в прилегающей акватории. Подобные карты чувствительности сделаны для побережий Кувейта, Казахстана, Индонезии, о. Маврикий, Новой Зеландии, Бразилии, Турции, Панамs, Нигерии, Саудовской Аравии [Environmental Sensitivity…, 2014]

В США и Канаде все морское побережье картографировано по индексу ESI, дополнительно на этих картах также принято представлять распределение основных групп биоты в прибрежных акваториях штатов по месяцам. Эта информация доступна через GoogleEarth в Интернете [ESI data…, 2014]. Метод на основе использования индекса ESI широко применяется также в различных модификациях во многих европейских странах. Картирование уязвимости литовского побережья Балтийского моря от аварийных разливов нефти представлено в работе [Depellegrin et al., 2010]. В Германии принят проект плана по аварийной борьбе с загрязнением (VPS), включающий алгоритм автоматической классификации индекса экологической чувствительности (ESI) и построения соответствующих карт для части Северного и Балтийского Морей прилегающего к побережью этой страны [Schiller et al., 2005]. Имеются такие разработки и в Японии [Goto et al., 2006].

Во многих странах разработаны собственные методики для построения карт чувствительности (уязвимости) прибрежных и морских зон от нефти. Карты уязвимости от нефти построены для отдельных прибрежных и морских зон Гренландии [Sensitivity atlas, 2014]. В Норвегии используется Методика классификации приоритетности природных ресурсов к нефтяному загрязнению в прибрежной зоне (МОВ) [SFT, 2004]. В рамках проекта BRISK предложена общая методология расчета экологической чувствительности от разливов нефти для стран Балтийского моря [BRISK, 2009]. В Великобритании разработан метод классификации прибрежных районов на основе чувствительных ключевых беспозвоночных в определенных биотопах [McMath et al., 2000], который затем был доработан и модифицирован в рамках Информационной сети о морской жизни MarLIN [Hiscock, Tyler-Walters, 2006]. В Голландии был представлен Метод построения карт экологической уязвимости (V-map) для исключительной экономической зоны этой страны [Offringa, Låhr, 2007], который однако не нашел реального применения и был упрощен [Låhr et al., 2007].

В России также есть методические разработки по картографированию уязвимости береговой линии и прибрежных акваторий от нефти. Это в основном работы компании ЗАО «Экопроект» [Погребов, 2010; Погребов, Пузаченко, 2003].

Аналогичные работы опубликованы ПИНРО по Баренцеву морю [Новиков, 2004, 2006, 2013]. Разработки этого вопроса ведутся в ММБИ [Шавыкин и др., 2008а, Шавыкин, Ильин, 2010], в Институте защиты моря во Владивостоке [Блиновская, 2002; 2004; 2004а; 2005; 2005а; 2005b; 2006; 2010; Блиновская и др., 2003]. Группой российских специалистов под руководством Всемирного фонда дикой природы (WWF–Россия) подготовлены методические рекомендации по разработке карт уязвимости [WWF, 2012], основанные главным образом на подходе, предлагаемом В.Б. Погребовым (ЗАО «Экопроект»).

Далее несколько подробнее остановимся на некоторых из указанных выше методиках.

7.3.2 Анализ российских разработок карт уязвимости

Методика ЗАО «ЭКОПРОЕКТ» (г. Санкт-Петербург) – разработана для интегральной оценки уязвимости морской и прибрежной биоты от различных видов антропогенного воздействия, в том числе нефтяной пленки и диспергированной нефти. Описание методики, предложенной группой специалистов, возглавляемой д.б.н. В.Б. Погребовым, дается по обзорной статье [Погребов, 2010], там же есть ссылки на все другие публикации этой группы авторов по данному вопросу. Работы В.Б. Погребова были самыми первыми в России в отношении построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Ценность всех работ этой группы очень велика, так как именно эти публикации в наибольшей степени способствовали развитию данного направления в РФ.

В отношении этой методики необходимо сделать несколько замечаний. *Во-первых*, наши предложения по построению таких карт частично основаны на этой методике и в определенной степени устраняют ее пробелы и во многом совершенствуют. *Во-вторых*, многие карты уязвимости, построенные этой группой, входили и входят в различные российские планы ЛРН. *В-третьих,* прямым продолжением рассматриваемой методики являются «Методические подходы к созданию карт…» [WWF, 2012]. Они разработаны группой специалистов под руководством «Всемирного фонда дикой природы» России и имеют непринципиальные изме-

нения в базовом алгоритме по сравнению с методикой ЗАО «Экопроект». Указанная публикация [WWF, 2012], насколько нам известно, предложена для ФБУ "Морспасслужба Росморречфлота" РФ в качестве основы для подготовки и утверждения нормативного документа этой организации.

В этой методике уязвимость акватории вполне обоснованно определяется пребыванием на ней групп организмов с различной уязвимостью и их обилием [Погребов, 2010, с. 46]. «Методика предполагает проведение дифференцированной оценки по сезонам года, учитывающей изменение динамику состава сообществ» [Там же, с. 48]. Предполагается построение карт уязвимости акватории от нефти (пленки и диспергированной нефти) и от пневмоисточников, взвеси, дампинга [Там же, таблица 2.1]. Но не совсем ясно, как одновременно учитывается воздействие пленки нефти и ее диспергированной фракции, и как учитывать действие растворенной и затонувшей нефти.

Согласно описываемому подходу используются современные ГИС-технологии. В число чувствительных объектов включаются не только биотические компоненты морских экосистем (от фитопланктона до птиц), но также и абиотические: социо-хозяйственные объекты, ООПТ. Вместе с тем не ясно, как выбирать для абиотических компонентов коэффициенты чувствительности / уязвимости и в какой степени учитывать их вклад в общую уязвимость акваторий.

Относительная уязвимость биологических объектов ограничена диапазоном 1–5. Нам представляется, что такой диапазон, скорее всего, действительно наиболее оптимален, но в публикациях этих авторов мы не нашли обоснование этого. Все конкретные значения коэффициентов уязвимости, как поясняется, предлагаются экспертами. При оценке уязвимости биоты во внимание принимается только ее чувствительность и восстанавливаемость, хотя, на наш взгляд, необходимо рассматривать различие в потенциальном воздействии (вероятности воздействия) нефти на разные группы/подгруппы/виды биоты.

В определенной степени мы старались, разрабатывая наш подход (см. далее), учесть все, указанные выше, а также и другие неясные моменты методики.

Методология оценочного эколого-рыбохозяйственного картографирования морских акваторий (ПИНРО, г. Мурманск). В работах М.А. Новикова [2004, 2006] главное внимание уделено методическим подходам к интегральной оценке морских акваторий на примере Баренцева и Белого морей. При этом говорится в целом об уязвимости акваторий от антропогенного воздействия, без указания на конкретный вид такого воздействия (воздействия нефти, химических веществ, взвеси, акустического шума …), хотя, на наш взгляд уязвимость не может быть абстрактной, не зависящей от вида воздействия. В поздней публикации [Новиков, 2013] автором предложены более четкие алгоритмы и результаты расчета уязвимости акваторий от нефти, газового конденсата, углеводородного газа и др. веществ. При этом расчет делается как с использованием программы Excel, так и с помощью программы ArcGIS. Карты уязвимости Баренцева моря построены не по сезонам, а в целом для теплых и холодных лет с расчетами по отдельным ячейкам (расчет проводится по участкам акватории средним размером около 274 км). Это делает такие карты, на наш взгляд, неподходящими для ликвидаторов на месте, хотя и имеющими определенную ценность с точки зрения стратегического планирования ЛРН. Учитывается токсикологическая уязвимость (ПДК или LC_{50}). Но не ясно как учитывается вероятность воздействия нефти на биоту (разная вероятность действия легкой, средней и тяжелой нефти на разные группы биоты – птиц, бентоса, рыб…). Кроме того, при расчетах считается, что в каждой ячейке уязвимость определяется не всеми учитываемыми группами/подгруппами/видами биоты, а только тем биологическим объектом, для которого произведение его нормированного обилия на коэффициент уязвимости максимален [Новиков, 2013, стр. 15]. Также, на наш взгляд, необходимо учитывать морских млекопитающих и птиц, что существенно для арктических морей. Важным на наш взгляд, является подход, предложенный А.М. Новиковым [2013], учитывающий и абиотические факторы, влияющие на уязвимость – глубину места и течение, что ранее нигде, как нам представляется, не рассматривалось.

Принципы создания карт чувствительности прибрежных и морских зон к загрязнению нефтью (Институт защиты моря, г. Владивосток). Согласно

[Блиновская, 2010, стр. 40], интегральная чувствительность участков прибрежно-морской зоны, представляет собой сумму индексов чувствительности побережья [береговой линии], биоты и объектов природопользования. Индекс чувствительности береговой зоны представляет собой предлагаемый IMO индекс ESI, как функцию литологической структуры берега и процессов, происходящих при попадании на него нефти. Критериями являются ценность объекта (экономическая – промысловые объекты и экологическая – особо охраняемые объекты), его возместимость и уязвимость к нефтяному загрязнению. Чувствительность прибрежно-морской биоты к нефтяному загрязнению представляет собой сумму весовых значений ценности, возобновимости и уязвимости. «Интегральная чувствительность участка прибрежно-морской зоны рассматривается как сумма индексов чувствительности береговой черты, биоты, находящейся здесь в определенной стадии жизненного цикла. Для объектов природопользования принята относительная индексация, поэтому при оценке интегральной чувствительности учитывается лишь наличие какого-либо производства» [Там же, стр. 19]. Однако, не совсем ясно, как происходит суммирование полигонов, описывающих эти объекты.

Карты чувствительности побережья от нефтяного загрязнения представляют собой информационную систему, позволяющую оперативно определять приоритеты при ликвидации разливов, моделировать и прогнозировать процесс, связанный с разливами нефти, а также оценивать предварительный ущерб, нанесённый в результате выбросов нефти на побережье.

7.3.3 Рекомендации международных организаций и разработки зарубежных стран

Составление карт экологически уязвимых зон при ликвидации разливов нефти по рекомендациям международных организаций IMO и IPIECA. Рекомендуется использовать многоуровневый подход к ликвидации разлива [IMO, IPIECA, 1994], различая три типа разлива: 1) небольшие локализованные разливы на отдельных объектах; 2) разливы среднего масштаба; 3) крупномасштабные происшествия. Рекомендуется использовать различные типы карт – объектные

для небольших разливов (масштаб 1:10 000), тактические и стратегические карты (масштабы ~1:100 000 и 1: 000 000) с разной детализацией для более крупных разливов и более высокого уровня руководства.

На карты должны быть нанесены: 1) типы берегов к их уязвимости от нефти по индексу ESI (индекс ESI подробно рассмотрен далее в этой главе); 2) среда обитания ниже приливоотливной зоны (коралловые рифы, растительный слой морского дна, слой бурых водорослей); 3) дикая природа и защищённые районы, где на картах должны быть показаны зоны наивысшей уязвимости видов; 4) районы распространения рыб, моллюсков, районы рыболовства и аквакультуры; 5) социально-экономические особенности; 6) особенности ликвидации разлива нефти (возможность применения диспергентов). Интегрального индекса уязвимости не предполагается. Основная информация на картах – уязвимость по ESI.

Норвежская методика классификации приоритетности природных ресурсов к нефтяному загрязнению в прибрежной зоне (МОБ) [SFT, 2004]. Методика построена по принципу унификации ограниченного и упрощенного ряда сгруппированных полуколичественных оценок. Рассматриваются социо-экономические и природные ресурсы: биологические, географические, физические (химические) компоненты природной среды. Оценка критерия приоритетности дается только для определённых ресурсов: морских птиц и среды их обитания (биотопов), морских млекопитающих, рыбных стад, бентосных сообществ, типов берегов, охраняемых природных территорий, объектов природопользования (рекреационных территорий, участков рыболовства, других производственных и обслуживающих отраслей). Для них осуществляется классификация по четырём факторам V_x: 1) естественность [V_I=1, 2], 2) восстанавливаемость или возместимость [V_{II}=1, 2] , 3) охранная ценность [V_{III}=0, 1, 2, 3], 4) степень чувствительности к нефтяному загрязнению [V_{IV} = 0, 1, 2, 3].

На основании факторных оценок V_x для ресурса вычисляется индекс приоритетности P или индекс методики классификации ($P= V_I \times V_{II} \times V_{III} \times V_{IV}$, диапазон для P: от 0 до 36), который и трансформируется в одну из пяти категорий приоритетности (от A до E), с учётом возможной нулевой приоритетности. Районы

распределения ресурсов с указанием их индексов P (P>0) наносятся на карту участков прибрежной зоны. Рекомендуемый масштаб карт не меньше 1:200 00, формат карт A1, A2. Информация о ресурсах помещается в таблицах, прилагаемых к картам, поэтому сезонные карты не строятся. Суммирования индексов приоритетности нескольких перекрывающихся ресурсов не проводится [SFT, 2004]. Важно, что такие карты построены во все губерниях Норвегии для всего побережья страны, это – тактические карты. Они могут быть использованы ликвидаторами разливов, реально – путем соответствующих указаний ликвидаторам со стороны сотрудников администрации губерний, которые подготовили эти карты.

В голландской методике SaretyatSea, представленной H. Offringa и J. Låhr [2007] подробно рассматриваются различные аспекты построения карт уязвимости. Методика включает определение значимых компонентов экосистемы, на основе которых будут строиться карты уязвимости, идентифицируется конкретная нефть (тяжёлая, средняя, лёгкая) которая может появиться в картографируемом районе, классифицируется и характеризуется поведение нефти и нефтепродуктов в воде и потенциальные эффекты их воздействия на биоту. На этой основе определяется уязвимость (V) учитываемых видов биоты с учётом потенциального воздействия (E) на них нефти, чувствительности (S), восстанавливаемости (R) самой биоты: $V=E\times S/R$. Выделяются сезоны и по относительно сложным формулам строятся карты уязвимости с учетом разбиения моря на исходные квадраты. Методика оказалась сложной и, по информации самих авторов, не используется на практике. Вместе с тем из неё могут быть взяты отдельные полезные решения и подходы, в частности – определение уязвимости на основе потенциального воздействия нефти, чувствительности видов и их восстанавливаемости.

7.4 Нормативные документы РФ в отношении карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти

В России принято несколько нормативных документов, которые определяют действия по планированию и непосредственной ликвидации разливов нефти. Это документы, утверждённые Постановлениями Правительства РФ N 613 от

21.08.2000; N 240 от 15.04.2002; N 794 от 30.12.2003; N 607 от 23.07.2009 [РФ. Правительство. Основные требования …, 2000; РФ. Правительство. О порядке организации …, 2001; РФ. Правительство. Положение о единой …, 2003; РФ. Правительство. О присоединении …, 2009], Приказом МЧС N 621 [РФ. Правительство. Правила разработки …, 2004]. К ликвидации разливов нефти имеет отношение и ряд федеральных законов РФ: «Об охране окружающей среды» [РФ. Законы. Об охране …, 2002; «О животном мире» [РФ. Законы. О животном…, 1995], «Об особо охраняемых территориях»; [РФ. Законы. Об особо …, 1995].

Фактически только в [РФ. Правительство. Правила разработки …, 2004] говорится в той или иной степени о конкретных объектах окружающей природной среды, которые должны учитываться в планах ЛРН (таблица 7.2).

С учётом установившейся терминологии, можно говорить о том, что согласно этому документу только особо охраняемые природные территории и особо охраняемые природные объекты должны учитываться в планах ЛРН.

Следует также указать еще на один документ [РФ. Правительство. Основные требования …, 2000] – таблица 7.3. Но что понимается в этом документе под «другими особенностями» или «другие условия» не раскрывается.

Таблица 7.2 – «Правила разработки и согласования планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории РФ» – извлечение (утверждены Приказом МЧС N 621 от 28.12.2004)

Приложение № 1 к Правилам «Структура Плана ЛРН» *1. Общая часть*	
подраздел 2.1. Основные характеристики организации и прогнозируемой зон зоны загрязнения в случае ЧС(Н)	2.1.4. … Гидрометеорологические и экологические особенности района
2. Оперативная часть Подраздел 2.2. Оперативные планы ЛЧС(Н).	2.2.3. … Защита районов повышенной опасности, особо охраняемых природных территорий и объектов

Таблица 7.3 – «Основные требования к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» – извлечение (утверждены Постановлением Правительства РФ N 613 от 21.08.2000; ред. от 15.02.2014)

раздел 4. Планом должны предусматриваться:	и) географические, навигационно-гидрографические, гидрометеорологические и другие особенности района разлива нефти и нефтепродуктов, которые учитываются при организации и проведении операций по его ликвидации
Раздел 5. При расчете необходимого количества сил и средств должны учитываться:	ж) гидрометеорологические, гидрогеологические и другие условия в месте расположения объекта

В ноябре 2014 г. Правительство РФ Постановлением № 1189 от 13.11.2014 утвердило «Правила организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» [РФ. Правительство. Правила организации …, 2014]. Соглсно п. 2.в этих Правил План по ЛРН должен содержать «прогнозируемые зоны распространения разливов нефти и нефтепродуктов при неблагоприятных гидрометеорологических условиях с описанием возможного характера негативных последствий разливов нефти и нефтепродуктов для окружающей среды, населения и нормального функционирования систем его жизнеобеспечения». Таким образом, в этом Постановлении также ничего не говорится о картах уязвиости/чувствительности, в плане должно быть только **описание** возможных негативных последствий.

Вызывает опасение и пункт 2.м требований к содержанию Плана: «мероприятия по реабилитации загрязненных территорий и (или) водных объектов в соответствии с проектами (программами) рекультивации земель и восстановления нарушенного состояния водных объектов и водных биологических ресурсов» [Там же]. Такие мероприятия должны проводиться с учетом уязвимости/чувствительности биоты как района воздействия, так и соседних районов, для чего необходимы карты уязвимости/чувствительности и и исходная информация о

биоте, на которой эти карты построены. Но об этом в данном пункте ничего не говориться.

Согласно СП 47.13330.2012 [2012], утвержденному Минрегионразвития в 2012 году, по итогам инженерно-экологических изысканий в районах воздействия проекта освоения месторождения на шельфе, также должны составляться «карто-схемы, содержащие информацию о распределении **и уязвимости** к основным видам антропогенного воздействия: бактерипланктона, фитопланктона и фотосинтетических пигментов, зоопланктона, ихтиопланктона, макробентоса, ихтиофауны, птиц и млекопитающих. … В итоге составляют комплексную карту уязвимости природных комплексов (экосистем) к основным ожидаемым видам антропогенного воздействия, содержащую сведения о границах и характере выявленных природоохранных ограничений природопользования…» [СП 47.13330.2012, 2012, п. 8.4.12]. Но и в этом документе ничего не говориться. На основе какой методики и как строить карты уязвимости отдельных экологических групп и всего района воздействия в целом.

Если же обратиться ***к рекомендациям международных организаций в части ликвидации разливов нефти***, то выявится следующее. В руководстве Международной ассоциации представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (IPIECA) напрямую говорится: ***«Составление и обновление карт уязвимых зон является ключевым моментом процесса планирования. Эти карты дадут важную информацию ликвидаторам разлива, показав, где находятся различные прибрежные ресурсы и обозначив экологически чувствительные зоны».*** Это – текст из «Руководства по планированию действий в чрезвычайных ситуациях при разливах нефти на воде» [IPIECA, 2000c, с. 15]. Считая данный вопрос очень важным, IPIECA совместно с Международной морской организацией (IMO), подготовили специальный доклад «Составление карт экологически уязвимых зон при ликвидации разливов нефти» [IMO, IPIECA, 1994], представленный на сайте IPIECA, в том числе и русском языке. В 2010 и 2012 годах вышли переработанные и уточнённые варианты такого доклада [IMO, IPIECA, 2010; IMO et al., 2012], в которых говорится: ***«Карты чувствительно-***

сти применяются для разработки стратегии ответных действий при планировании непредвиденных обстоятельств в случае аварийного разлива нефти и должны включаться в эти планы».

Проблема необходимости использования информации о чувствительности окружающей среды для решения вопросов ее охраны поднималась в различных публикациях. Так, в статье М.Н.Мансурова [2013] (ООО «ВНИИГАЗ») говорится: «Эффективное планирование и проведение операций по ликвидации последствий аварий с разливами нефти требует разработки методов оценки чувствительности естественной среды прибрежной полосы к нефтяным загрязнениям …». Как уже отмечалось, в России есть и наработки по этому вопросу.

К сожалению, проблема подготовки и использования карт уязвимости, как основы стратегии и тактики действий при ЛРН вообще не затрагивалась при обсуждении вопросов правового регулирования охраны морей от нефтяного загрязнения в Комитете по природным ресурсам, природопользованию и экологии Госдумы РФ [Решение заседания …, 2010] и в ходе парламентских слушаний в этом Комитете [Стенограмма парламентских …, 2010].

Принятый в конце 2012 г. ГосДумой и подписанный в январе 2013 г. Президентом закон № 287 «О внесении изменений в ФЗ “О континентальном шельфе Российской Федерации” и ФЗ “О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации”» [РФ. Законы. О внесении изменений в ФЗ …, 2012] часто называют «Законом о защите морей от нефтяного загрязнения». Он вступил в силу 01.07.2013, но не содержит ничего в части карт уязвимости морских и прибрежных зон от нефти, хотя этим законом предписывается обязательное наличие планов предупреждения и ЛРН для всех организаций, осуществляющих операции с нефтью на морском шельфе и прохождение этих планов госэкспертизы.

Таким образом, в России в настоящее время нет нормативных документов, предписывающих обязательное использование в планах ЛРН карт уязвимости/чувствительности. Отсутствует и единая российская методика построения таких карт.

7.5 Картосхемы уязвимости от нефти различных участков акватории восточной части Баренцева моря

Ниже представлены наши разработки по этому вопросу – построению карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти и предложения по российской методике создания таких карт.

В работе [Шавыкин, Ильин, 2010] приведены результаты разработки мелкомасштабных картосхем уязвимости от нефти восточной части Баренцева моря (на основе работ по гранту с WWF [Отчёт по х/д. Оценка интегральной …, 2009b]. Наиболее важные моменты построения этих картосхем и полученные при этом результаты представлены в Приложении И.1.

В основу положена упрощенная модель воздействия нефти на экосистему после разлива, что и определяет уязвимость каждого небольшого участка: нефть имеет достаточно большую плотность, но не тонет сразу после разлива, и может (при большом объеме разлива) воздействовать на все компоненты экосистемы от планктона до бентоса и птиц. Объем разлившейся нефти достаточно велик (более нескольких тысяч тонн), так что воздействие оказывается на обширной акватории. Уязвимость каждого участка акватории, на который попадает нефть, определяется присутствием на нем биоты (на поверхности воды, в толще и на дне) и ее уязвимостью от нефти: чем больше обилие биоты, то есть ее численность или биомасса (обилие на единицу площади или объема) на данном участке моря, и чем больше уязвимость от нефти присутствующей там биотических компонентов экосистемы, тем больше уязвимость этого участка. При этом предполагается, что указанные зависимости являются линейными. Интегральная уязвимость участка определяется как результат суммирования произведений ранжированной (ранги 1, 2, 3) численности (или биомассы) компонента биоты в конкретный сезон на коэффициент уязвимости этого компонента от действия нефти. В качестве инструмента для расчета интегральной уязвимости (ИУ) Баренцева моря в среде ArcGIS 9.0 на языке программирования Visual Basic for Applications был создан программный модуль, позволяющий производить «суммирование» картосхем распределения различных параметров с использованием следующей формулы:

$$ИУ = W_p \cdot Y_p + W_z \cdot Y_z + W_i \cdot Y_i + W_b \cdot Y_b + W_f \cdot Y_f + W_m \cdot Y_m + W_o \cdot Y_o \quad (7.1)$$

где: **ИУ –** интегральная уязвимость участка моря в условных единицах;

Y_p, Y_z, Y_i, Y_b, Y_f , Y_m, Y_o, – ранжированная численность или биомасса объекта (компонента экосистемы); значения рангов от 0 до 3 для фито- (p), зоо- (z), ихтиопланктона (i), бентоса (b), орнитофауны (птиц) (o); значения рангов от 0 до 5 для рыб (ихтиофауны) (f) и морских млекопитающих (m);

W_p, W_z, W_i, W_b, W_f, W_m, W_o, – установленные весовые коэффициенты (коэффициенты относительной уязвимости) для каждого из анализируемых компонентов экосистемы (таблицы 7.4 и 7.5).

В этом проекте использовались коэффициенты уязвимости, основанные на расчетах оценок летальных воздействий нефти на учитываемые экологические группы биоты. Обоснование значений коэффициентов уязвимости, представленных в таблице 7.4 [Шавыкин, Ильин, 2010] приведено в Приложение И.1.2. Уже здесь видно, что основываясь на летальных для гидробионтов концентрациях нефти, мы получаем коэффициенты уязвимости различных групп биоты различаются на порядки. Поэтому использовать такие значения вряд ли целесообразно и мы использовали процедуру логарифмирования, чтобы получить коэффициенты уязвимости в меньшем диапазоне. Последовательность и результаты расчета (в том числе промежуточные) картосхем уязвимости биоты восточной части Баренцева моря представлены в Приложении И.1.3.

Для учета различий в концентрациях биоты между сезонами использовались нормированные межсезонные коэффициенты (Приложение И.1.3 – таблица И.7). Они позволяют учитывать сезонные различия вклада значений концентрации гидробионтов в уязвимость картографируемого района и сравнивать уязвимость одного и того же или разных участков между собой в разные сезоны. Для этого коэффициенты таблицы 7.4 до использования в формуле 7.1 умножались на соответствующие коэффициенты таблицы И.7 Приложения И.1.3. Окончательные коэффициенты, на которые умножались значения ранжированной численности или биомассы, даны в таблице 7.5 (повтор таблицы И.8) [Там же].

Таблица 7.4 – Коэффициенты относительной уязвимости основных групп гидробионтов при нефтяном загрязнении Баренцева моря

Группа гидробионтов	Индекс	Исходный	Скорректированный с учетом числа рангов	Итоговый
Фитопланктон	p	4.3	4.3	43
Зоопланктон	z	5.3	5.3	53
Ихтиопланктон	i	6.3	6.3	63
Бентос < 50 м	b	4.9	4.9	49
Бентос > 50м		4.9	4.9:2 = 2.4	24
Рыбы	f	3.1	3.1·(3:5) = 1.9	19
Морские млекопитащие	m	1.0	1.0·(3:5) = 0.6	6
Птицы	o	6.3	6.3	63

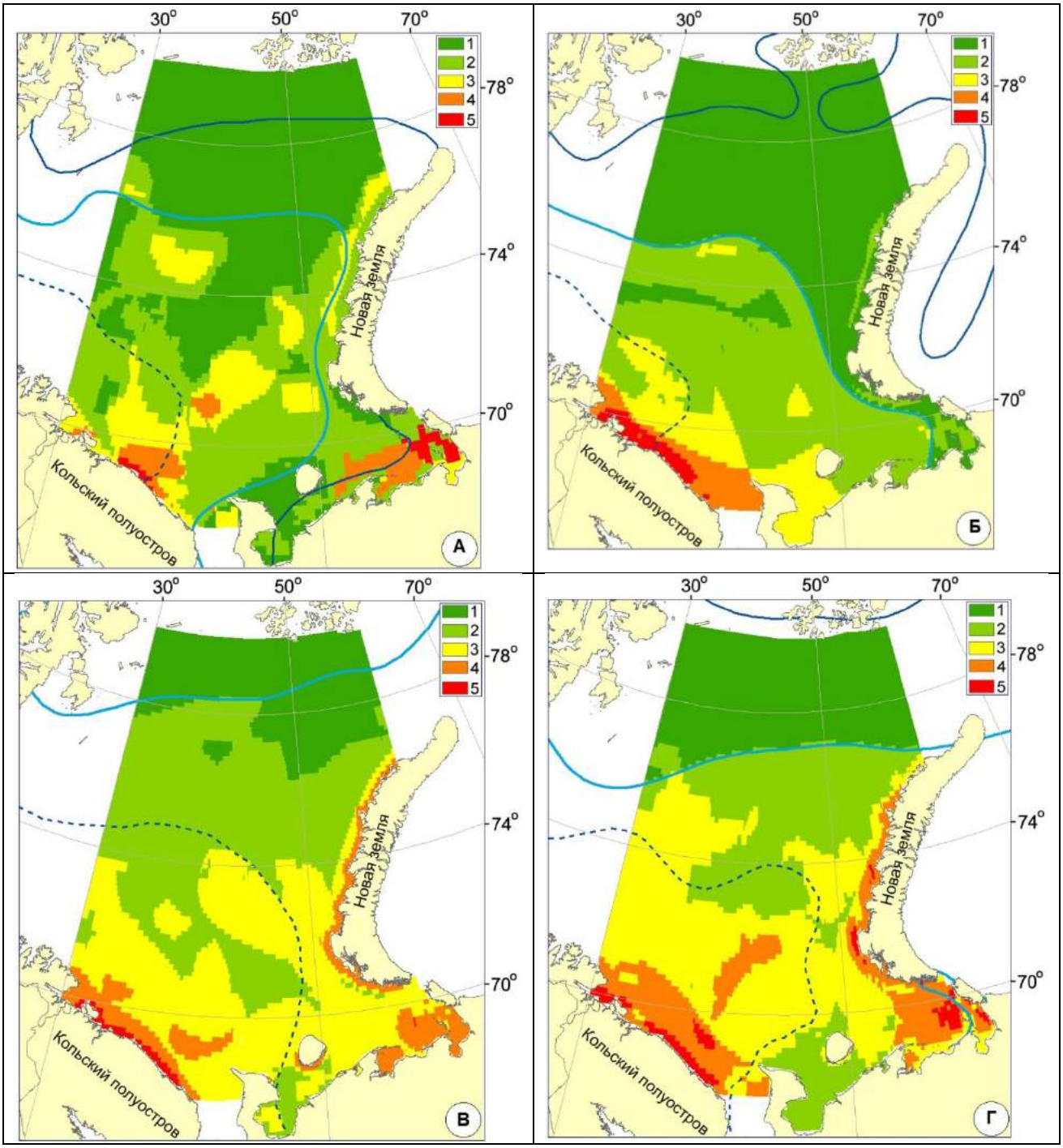
Таблица 7.5 – Результаты умножения коэффициентов уязвимости экологических групп биоты (таблица 7.4) на нормированные межсезонные коэффициенты (таблица И.7 Приложения И.1.3) для сравнения интегральной уязвимости районов Баренцева моря между сезонами

Компонент экосистемы	Зима (I кв.)	Весна (II кв.)	Лето (III кв.)	Осень (IV кв.)
Фитопланктон	172	16 512	3 311	1 505
Зоопланктон	265	6 572	13 091	6 572
Ихтиопланктон	1 890	18 270	11 340	0
Бентос*	2 880	2 880	3 360	2 880
Пелагические рыбы	418	2 071	817	1 653
Донные рыбы	209	418	2 052	1 862
Проходные рыбы	0	0	0	0
Морские млекопитающие	120	900	1 800	180
Птицы	1 260	10 080	16 380	3 780

Примечание:

Коэффициенты таблицы 7.4 для бентоса брались равными 24 для всех картосхем распределения бентоса (а не 49 для районов, где глубина меньше 50 м, и 24 для остальных глубин), так как на картосхеме распределения бентоса для полигонов, где глубина 50 м и менее, изначально присвоены удвоенные значения рангов (то есть ранги для них 2, 4, 6, а не 1. 2 и 3)

Картосхемы «относительной» уязвимости, построенные с использованием этих коэффициентов уязвимости учитываемых экологических групп и их сезонного распределения в картографируемом районе, приведены на рисунке 7.5.



А – зима (I кв.), Б – весна (II кв.), В – лето (III кв.), Г – осень (IV кв.). Учтено распределение семи компонентов экосистемы (таблица 7.4). Диапазон изменчивости для каждого сезона свой и разделен на 5 равных интервалов

Рисунок 7.5 – Картосхемы «относительной» интегральной уязвимости биоты Баренцева моря с учетом сезонных различий в показателях распределения гидробионтов [Шавыкин, Ильин, 2010]

*Таким образом, н*аиболее уязвимыми районами Баренцева моря (ранги 5 и 4) являются прибрежные районы. В первую очередь, это прибрежные районы Мурмана – полоса шириной от 20 км зимой, до 35–160 км весной, 20–70 км летом и до

160 км осенью вдоль побережья Кольского полуострова. Уязвима также прибрежная полоса шириной до 30–40 км вдоль западного побережья архипелага Новая Земля («относительная» уязвимость в рамках конкретного сезона – летом и осенью). Уязвимыми являются и восточные районы Печорского моря (также летом и осенью). Остальные районы Баренцева моря имеют меньшую уязвимость относительно указанных районов для каждого сезона.

С учетом карт «абсолютной» уязвимости и при сделанных предположениях можно утверждать, что весь исследуемый район Баренцева моря (включая и районы покрытые льдом) в летний и весенний сезоны примерно в 8–9 раз более уязвим, чем в зимний и более чем в 2.5 раза более уязвим, чем осенью. Летом средней уязвимостью характеризуется южный район Баренцева моря до 74º с.ш. («абсолютная» уязвимость, ранг 3), весной – примерно до 71º–72º с.ш. и в отдельных районах у кромки льда (также «абсолютная» уязвимость, ранг 3).

В целом, самые уязвимые сезоны – весна и лето, причем различие в уязвимости между ними не значимо. Наименее уязвим зимний сезон, хотя с точки зрения рисков аварийных разливов именно зима и осень – наиболее опасные сезоны. Подробно полученные результаты описаны в Приложении И.1.4.

Представленные результаты дают обобщенную оценку последствий крупных аварийных разливов для Баренцева моря в целом. При интенсификации промышленного освоения ресурсов Баренцева моря необходимо создание детализированного атласа карт уязвимости, дополненного картами отдельных районов моря. Как показывает мировой опыт ликвидации разливов нефти, наиболее важным при этом являются действия вблизи берегов и защита тех или иных береговых участков. Поэтому и для Баренцева моря актуальна задача создания таких карт, что в свою очередь требует детального исследования береговой линии, литорали и сублиторали соответствующих районов, прилегающих к берегу.

7.6 Предлагаемая методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти

7.6.1 Основные положения предлагаемой методики построения карт уязвимости

На основе обобщения различных методик построения карт уязвимости и опыта разработки таких карт нами была предложена следующая методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон и акваторий от нефти. Краткое изложение алгоритма этой методики приведено в этом параграфе ниже, подробное описание – в Приложении И.2. Алгоритм методики учитывает рекомендации международных организаций [IMO, IPIECA, 1994; 2010; IMO et al., 2012], опыт зарубежных стран и российских специалистов, в том числе разработки В.Б. Погребова [2010]. В планы ликвидации разливов нефти (ЛРН) по разработанной нами методике предлагается включать:

1) карты «относительной» интегральной уязвимости прибрежных и морских зон;
2) карты чувствительности берегов по индексу ESI [IMO et al., 2012];
3) электронную базу фото и видеоматериалов береговой линии морей.

Карты «относительной» уязвимости показывают уязвимость картографируемого района для каждого сезона (здесь и далее – для каждого месяца, если есть возможность, то есть вся необходимая информация, для построения карт по месяцам) в диапазоне *min–max* значения уязвимости в конкретный сезон. Соответственно, на них всегда присутствуют участки с рангами уязвимостью 1-3 (или 1-5, что зависит от принятого числа рангов, на которое делится интервал интегральной уязвимости).

По этой же методике параллельно разрабатываются и карты «абсолютной» уязвимости, предназначенные в первую очередь для природоохранных целей и рационального природопользования, но и они могут включаться в планы ЛРН как вспомогательные. Карты «абсолютной» уязвимости для конкретного сезона показывают уязвимость участков района в диапазоне *min–max* значения уязвимости за весь год. Поэтому для этого сезона на картах «абсолютной» уязвимости могут не

присутствовать участки с высокой или низкой уязвимостью, и на них могут быть представлены только один или два ранга 3-х или 5-ти ранговой шкалы. Это не позволяет использовать такие карты непосредственно в планах ЛРН.

Все наборы карт («относительной» и «абсолютной» уязвимости и чувствительности берегов по индексу ESI), должны быть 3-х масштабов и различаются детализацией: стратегические (1:2 000 000 – 1 : 500 000); тактические (1 : 250 000 – 1 : 100 000) и объектные карты (1 : 10 000 – 1 : 50 000). Под картографируемым районом здесь и далее понимается район, включенный в ту или иную стратегическую или тактическую карту (для каждой такой карты это свой район), и район, для которого строится набор из нескольких объектных карт.

На картах исходных данных, по которым строятся карты интегральной уязвимости, наносится следующая информация: 1) распределение уязвимых биотических компонентов – важных компонентов биоты (ВКБ); 2) положение особо значимых эколого-хозяйственных объектов (ОЗО) – экологические, социокультурные ресурсы и объекты хозяйственной деятельности прибрежных зон; 3) расположение природоохранных территорий (ПОТ) – заповедников …, районов обитания краснокнижных видов, планируемых ООПТ и т.д.. Таких карт с исходными данными – с отдельно представленными на них объектами и для разных сезонов – может быть несколько десятков или сотен даже для одного картографируемого района.

Предполагается, что в том или ином объёме собрана необходимая информация (базы геоданных, результаты экспедиционных исследований, публикации, отчеты по ОВОС, ИЭИ, ПЭМ, фото- и видеоматериалы судовых, авиа- и дистанционных съемок…), проведены, если требуется, дополнительные экспедиционные исследования по сбору недостающей информации для картографируемого района (районов). Тогда **основные этапы построения карт уязвимости / чувствительности прибрежных и морских зон от нефти будут следующими:**

1) Определяют перечень учитываемых объектов: важных компонентов биоты (ВКБ), особо значимых социально-экономических объектов (ОЗО); природоохранных территорий (ПОТ).

2) Определяют границы сезонов или решают строить карты по месяцам.
3) Строят сезонные разномасштабные карты распределения ВКБ, ОЗО, ПОТ.
4) Оценивают коэффициенты уязвимости для ВКБ, ОЗО, ПОТ.
5) Строят сезонные разномасштабные карты уязвимости ВКБ, ОЗО, ПОТ.
6) Рассчитывают карты интегральной уязвимости «относительной» и (при необходимости) «абсолютной» уязвимости картографируемого района.
7) Строят разномасштабные карты чувствительности береговой линии по индексу ESI.

Краткие пояснения к этапам построения карт уязвимости.

Общая схема алгоритма предлагаемой методики построения карт уязвимости/чувствительности прибрежных и морских зон от нефти и нефтепродуктов представлена в Приложении И.2 (в таблице И.11). Далее, в этом § 7.6, для простоты описан алгоритм построения карт уязвимости, когда в экологических группах не выделены подгруппы и отдельные виды; в полном объеме алгоритм и соответствующие формулы в общем виде представлены в таблице И.11 (Приложение И.2).

1). Составляют перечень учитываемых объектов. Определяя перечень учитываемых, наиболее значимых ВКБ (групп/подгрупп/видов биоты), как правило, фито- и зоопланктон не принимают во внимание. Но включать эти экологические группы в ВКБ возможно, и даже необходимо, если их концентрация может достигать очень больших значений и тем самым влиять на поведение нефти в воде. Определяют перечень ОЗО и ПОТ.

2). Определяют временные границы сезонов для картографируемых районов. Границы сезонов должны быть заданы с учетом биологической изменчивости компонентов морской экосистемы и природных климатических условий картографируемого района. Пример подробного обоснования выбора границ сезонов для восточной части Баренцева моря [Шавыкин, Ильин, 2010] приведен в Приложении И.1.1.

3). Строят сезонные разномасштабные карты распределения ВКБ, ОЗО и ПОТ в картографируемом районе. При этом возможны два варианта.

3.1). Вариант 1 (данные о распределении ВКБ имеются в полном объеме). Исходные карты распределения ВКБ (B^{sg}) для каждого *s*-го сезона строят в единицах измерения, принятых для данного вида/подгруппы/группы видов (в г/м^2, т/час траления, экз/км^2…). Карты распределения групп/подгрупп/видов нормируют на *среднегодовое* значения обилия (P^{gy}) соответствующих групп в картографируемом районе: $B^{sg[y]} = B^{sg}/P^{yg}$, где: $P^{yg} = \langle \sum_q B_q^{sg} \times S_q \rangle$, S_q – площади всех полигонов q в пределах карты для соответствующей g-ой группы; треугольные скобки означают усреднение за год с учетом длительности сезонов.

3.2). Вариант 2 (данных для реализации варианта 1 недостаточно, но возможны экспертные оценки распределения ВКБ в рангах). Сезонные карты распределения строят в рангах, например, полигоны с рангами 3, 2, 1 и 0 (от максимального значения возможного диапазона изменчивости концентрации групп/подгрупп/видов биоты на полигонах, до нулевого значения, где ВКБ отсутствуют. Дополнительно на основе опубликованных данных и экспертных оценок рассчитывают соотношения обилия каждой учитываемой *g-ой* группы гидробионтов в картографируемом районе: $A^{s_1 g} : A^{s_2 g} : A^{s_3 g} : \ldots$. При этом $\sum_s A^{sg} = 1$ (или 100). Это необходимая дополнительная процедура, так как ранги (1, 2, 3) не отражают вклада (соотношения) обилия групп/подгрупп/видов биоты ни в конкретный сезон, ни между сезонами. Ссоотношение между разными группами в один сезон или для разных сезонов может меняться до нескольких порядков. Пример такого расчета дан в работе [Шавыкин, Ильин, 2010] (см. Приложение И.1.3).

Строят карты исходного распределения ОЗО ($\boldsymbol{C^{se}}$) для каждого *s*-го сезона: $\boldsymbol{C^{se} = 1}$ в пределах полигона ОЗО, и 0 – вне его.

Также готовят карты исходного распределения ПОТ (D^{sf}), в общем случае – сезонные. Полигонам D^{sf} присваивают значения *1*, остальной акватории – *0*.

4). *Определяют коэффициенты уязвимости ВКБ и коэффициенты приоритетной защиты ОЗО и ПОТ.*

Коэффициенты уязвимости V_b^g каждого g-го компонента ВКБ рассчитывают, принимая подход, предложенный в [Offringa, Låhr, 2007]:

$$V_b^g = (S^g \times E^g)/R^g \quad (7.2)$$

где: S^g – чувствительность к нефти соответствующего компонента биоты,
E^g – потенциальное воздействие нефти на него,
R^g – способность этих компонентов биоты к восстановлению.

Оценки S^g, E^g, R^g делают для разных типов нефти (легкой, средней, тяжелой), в общем случае – обязательно для нефти, которая может оказаться в этом районе (например, для нефти регулярно транспортируемой вдоль картографируемого побережья). Оценки S^g, E^g, R^g могут быть полностью экспертными, так и основанными на их реальных или относительных значениях (отношений к максимальным).

Определяют **коэффициенты приоритетности защиты ОЗО – коэффициенты V_c^e**, исходя из экологической, социо-культурной и хозяйственной значимости каждого ***e***-го объектов.

Коэффициенты приоритетной защиты ПОТ V_d^f оценивают по природоохранной значимости территорий. Примеры таблиц коэффициентов уязвимости и приоритетной защиты для Кольского залива приведены далее. Детально это представлено в Приложении И.2. (§ И.2.5, таблицы И.16. и И.17).

5). Строят сезонные разномасштабные карты уязвимости каждого из трех основных компонентов – ВКБ, ОЗО и ПОТ.

5.1). Построение карт уязвимости важных компонентов биоты (ВКБ).

5.1.1). Для варианта 1. Для каждого сезона «складывают» исходные карты распределения ВКБ с учётом их коэффициентов уязвимости V_b^g:

$$Y_b^s = \sum_g B^{sg[y]} \times V_b^g \quad (7.3).$$

Полученные карты нормируют на максимальное значение уязвимости за сезон (на $maxY_b^s$ *за сезон s)* для карт «относительной» уязвимости или за год (*н а* $maxY_b^y$ *за год*) для карт «абсолютной» уязвимости и переходят в диапазон значений уязвимости $minY_b^{s(s)} \div 100$ усл. ед. соответственно. *Алгоритм варианта*

1 используется для построения объектных карт, когда в любом случае должны быть получены все необходимые данные для района воздействия от конкретного объекта, а также для тактических и стратегических карт, если по району есть все необходимые данные по ВКБ.

5.1.2). Для варианта 2. Рассчитывают значения уязвимости биоты прибрежно-морской зоны для каждого s-го сезона, используя также коэффициенты V_b^g:

$$Y_b^s = \sum_g A_b^{sg} \times B^{sg} \times V_b^g \qquad (7.4).$$

Значения уязвимости полигонов для полученных карт для сезона s нормируют на максимальное значение общей уязвимости в этот сезон (на $maxY_b^s$ *за сезон* s) и переходят в шкалу уязвимости $minY_b^{s(s)} \div 100$ усл. ед. для карт «относительной» уязвимости. Для построения карт «абсолютной» уязвимости поступают аналогичным образом, но нормировку производят на максимальное значение уязвимости за год ($maxY_b^y$ *за год*). Получают, соответственно, карты распределения $Y_b^{s(s)}$ и $Y_b^{s(y)}$. *Алгоритм варианта 2 используется для построения тактических и стратегических карт, когда данных о биоте для картографируемого района недостаточно.*

5.2). Построение карт уязвимости особо значимых объектов (ОЗО). Проводят «сложение» полученных карт для каждого сезона в отдельности с учетом их коэффициентов приоритетной защиты V_c^d:

$$Y_c^s = \sum_e C^{es} \times V_c^e \qquad (7.5).$$

Значения уязвимости Y_c^s ОЗО нормируют на максимальное значение уязвимости в сезон – на ($maxY_c^s$ за сезон s) и переходят в шкалу $minY_c^{s(s]} \div 100$ для карт «относительной» уязвимости. Нормируя на ($maxY_c^s$ за год), получают карты «абсолютного» распределения $Y_c^{s(y])}$ в диапазоне $\min Y_c^{s(y]} \div 100$ усл.ед.

5.3). Построение карт уязвимости природоохранных территорий (ПОТ). «Складывают» полученные карты D^{sf} отдельно для каждого s-го сезона с учетом их коэффициентов приоритетной защиты V_p^f:

$$Y_d^s = \sum_f D^{fs} \times V_d^f \qquad (7.6).$$

Нормируют полученные карты как для ОЗО на ($maxY_d^s$ за сезон s) и ($maxY_d^s$ за год) и получают карты распределения $Y_d^{s(s)}$ и $Y_d^{s(y)}$ с диапазоном *min÷100 усл.* ед. каждая. Как и при построении карт уязвимости ВКБ, важным моментом этапов 5.2 и 5.3 является обоснованный выбор значений коэффициентов «уязвимости» ОЗО и ПОТ.

6). *Рассчитывают и строят карты интегральной уязвимости картографируемого района*. Выполняют «сложение» карт *«относительной» уязвимости* ВКБ, ОЗО и ПОТ:

$$Y_\Sigma^{s(s)} = K_b \times Y_b^{s(s)} + K_c \times Y_c^{s(s)} + K_d \times Y_d^{s(s)} \qquad (7.7).$$

Диапазон значений уязвимости $Y_\Sigma^{(s)}$ для каждого сезона делится на 3 или 5 равных (!) поддиапазонов. Эти карты «относительной» интегральной уязвимости включают в планы ЛРН. Участки с высоким рангом – районы приоритетной защиты. Аналогично получают карты «абсолютной» интегральной уязвимости:

$$Y_\Sigma^{s(y)} = K_b \times Y_b^{(y)} + K_c \times Y_c^{s(y)} + K_d \times Y_d^{s(y)} \qquad (7.8).$$

Эти карты используют для природоохранных и научных целей. Значения $K_b,\ K_c,\ K_d$ в (7.8) и (7.9) выбирают на основе экспертных оценок (например, 0.3, 0.2 и 0.5, соответственно, или другие значения, принимаемые экспертами) с учетом вклада ВКБ, ОЗО и ПОТ в общую уязвимость.

7). Строят разномасштабные карты чувствительности береговой линии по индексу ESI. Для оценки степени негативного воздействия нефти и нефтепродуктов на береговую зону в международной практике применяется индекс ESI (Environmental Sensitivity Index) [Environmental Sensitivity…, 2014]. Данный индекс характеризует интегральную восприимчивость побережья к нефтяному загрязнению при разливах нефти, топлива и других нефтепродуктов. Система индексов ESI впервые была предложена американскими специалистами в 1978 году [Gundlach, Hayes, 1978]. Индекс ESI – индекс экологической чувствительности – это базовая интегральная оценка восприимчивости побережья к нефтяному загрязнению. В основе ранжирования лежит качественная и количественная характеристика побережья, отражающая связь между строением, структурой берега и

физическими процессами, происходящими при попадании нефти на берег. Параметрами, определяющими значение ESI, согласно подходу NOAA, служат:

- Геоморфологическая характеристика побережья;
- Ветро-волновая нагруженность побережья;
- Климатические показатели;
- Условия и длительность естественного сохранения нефти;
- Степень проникновения нефти по вертикали и вглубь пород слагающих берег;
- Возможность естественного захоронения нефти и перемещения грунта;
- Условия естественной биодеградации нефти;
- Техническая сложность уборки нефти с береговой черты.

Данная система индексов позволяет разбить типы берегов по 10 категориям (см. таблицу И.21 в Приложении И.4. В основе лежат базовые принципы, суть которых в том, что чувствительность к нефти возрастает по мере увеличения защищенности берега от воздействия волн, проникновения нефти в подстилающий слой почвы, времени естественного удержания нефти на берегу и биологической продуктивности береговых и прибрежных сообществ. Цифры на шкале не представляют собой фактической чувствительности, выраженной количественно, например, ESI 5 не означает пятикратного увеличения по сравнению с ESI 1. Индекс ESI является удобным способом учета информации, но он не принимает во внимание использование берега биологическими объектами или людьми.

7.6.2 Подготовка карт уязвимости Кольского залива от нефти по предлагаемой методике

Учитываемые группы биоты. Организмы, обитающие в Кольском заливе, подразделяются на основные экологические группы: зоо- и фитобентос, морские птицы (ихтиофауна, ихтиопланктон и морские млекопитающие не учитываются, т.к. данных об их распределении в Кольском заливе нет). При рассмотрении воздействия нефти, дополнительно в группах определены подгруппы и виды орга-

низмов, что необходимо для учета различного характера воздействия на них нефти.

1). Зообентосные организмы подразделяются на 2 подгруппы:

- ***макрозообентос***, донные беспозвоночные 1.5-30.0 мм,
- ***мегазообентос***, донные беспозвоночные животные размером 30-500 мм:
  - ***мобильный*** (способный передвигаться и мигрировать на большие расстояния) и
  - ***немобильный*** (прикрепленный, малоподвижный) бентос.

2). Морские и водоплавающие птицы разделены на 3 подгруппы:

- «***парители***», виды, большую часть времени проводящие в полете, питающиеся у поверхности воды;
- «***ныряльщики***», виды, большую часть времени проводящие на воде, кормящиеся в толще воды;
- «***околоводные***», виды, обитающие вдоль береговой линии, кормящиеся в зоне заплеска.

Для фитобентоса, на основании характера рассматриваемого воздействия, выделения дополнительных подгрупп не проводилось.

В общем случае, деление на группы/подгруппы/виды может быть другим.

Деление на сезоны. С учетом особенностей присутствия и распределения обилия групп/подгрупп биоты в Кольском заливе принято деление на пять сезонов: зима, ранняя весна, весна, лето, осень (таблица 7.6).

Оценка коэффициентов уязвимости биоты от нефти. Биологическая уязвимость для групп/подгрупп/видов биоты B^g (V_b^g – biological vulnerability) вычислялась по формуле (7.2) $V_b^g = (S^g \times E^g)/R^g$, где S^g (sensitivity) – чувствительность; E^g (exposure) – потенциальное воздействие; R^g (recoverability) – восстанавливаемость g-ой группы/подгуппы/вида гидробионтов.

Таблица 7.6 – Деление года на сезоны для учитываемых групп/подгрупп биоты

Экологические группы/подгруппы	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Макрофитобентос												
Макрозообентос												
Мегазообентос (немобильный)												
Мегазообентос (мобильный)												
Птицы*												
"парители"												
"ныряющие"												
околоводные												
Сезоны, для построения картосхем уязвимости	**З**	**Ранняя весна**		**Весна**			**Лето**		**Осень**		**Зима (З)**	

Примечание:
разным серым цветом для групп/подгрупп отмечены периоды с различным сезонным пространственным распределением плотности или видового состава

Конкретные значения параметров, определяющих уязвимость, ранжируются с учетом экспертных оценок и знаний о биологии организмов и влияния на них различных типов нефти:

- *потенциальное воздействие* (E^g) *на выделенные группы организмов* – это вероятность контакта организмов с нефтью;
- *чувствительность выделенных групп* (S^g) – свойство организмов реагировать на воздействие нефти в зависимости от ее концентрации;
- *восстанавливаемость организмов* (R^g) – способность групп организмов восстанавливаться до исходного состояния после оказания на него воздействия.

Учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы в порядке возрастания их скорости восстановления: 1 –птицы подгрупп парители и околоводные; 2 – ныряющие птицы; 3 – мегабентос мобильный; 4 – мегабентос немобильный; 5-макрозообентос; 6-макрофитобентос. Присвоенные порядковые ранги фактически определяют их восстанавливаемость (R^g) и используются далее для расчета уязвимости (таблица 7.7).

Таблица 7.7 – Экспертные значения чувствительности, восстанавливаемости, потенциального воздействия для нефти среднего типа и вычисленные коэффициенты уязвимости для каждой g-ой группы организмов $V_b^g=(S^g \times E^g)/R^g$

группы/подгруппы биоты*	E^g	S^g	R^g	$V_b^g=(S^g \times E^g)/R^g$
Макрофитобентос (до 20 м)	6	1	6	**1.0**
Макрозообентос (до 20 м)	4	4	5	**3.2**
Мегабентос, немобильный (до 20 м)	5	3	4	**3.8**
Мегабентос, мобильный (до 20 м)	2	2	3	**1.3**
Птицы "парители"	3	5	1	**15.0**
Птицы "ныряющие"	7	5	2	**17.5**
Птицы околоводные	1	5	1	**5.0**

Примечание:
* – если виды, относящиеся к какой либо из групп/подгрупп, входят в список краснокнижных, то для них вводится дополнительный коэффициент 2

Коэффициенты эколого-хозяйственной уязвимости (V_c^e). Уязвимость экологических, социо-культурных ресурсов и объектов хозяйственной деятельности C^e определяется соответственно их значимости для экосистемы, ценности для человека и хозяйственного использования. Коэффициент V_c^e тем выше, чем выше его значимость для функционирования экосистемы и больше важность для человека (таблица 7.8). Как и группы биоты, учитываемые типы ОЗО были ранжированы в порядке увеличения их эколого-хозяйственной уязвимости. Минимальная уязвимость присвоена инженерно-техническим конструкциям, таким как порт и портовые сооружения. Районы и участки, связанные с различными биологическими ресурсами имеют повышенную уязвимость, причем при ранжировании учитывается тип биоты, с которым связан тот или иной ОЗО. Известно, что биологические организмы на ранних стадиях развития наиболее уязвимы [Патин, 2008], поэтому районам размножения крабов и развития их личинок присвоена максимальная значимость, средними по значимости ОЗО являются устья нерестовых рек семги (таблица 7.8).

В целом существует проблема более строгого выбора (расчета) и обоснования коэффициентов уязвимости, используемых для построения таких карт. В том

числе учет при этом разных типов нефти (легкой, средней, тяжелой). Подробно этот вопрос в данной работе не рассматривается.

Таблица 7.8 – Коэффициенты (ранги) уязвимости особо значимых объектов (ОЗО) $\boldsymbol{V_c^e}$

Тип особо значимых объектов	$\boldsymbol{V_c^e}$
Порты и портовые сооружения	**1**
Устья нерестовых рек семги (май-октябрь)	**2**
Районы размножения крабов и развития личинок (февраль-июнь)	**3**

Индексы уязвимости ESI для Кольского залива. Применение индекса ESI в исходном виде [IMO, IPIECA, 1994] для арктических морей не вполне корректно. В классификации присутствуют типы берегов, которые, как правило, не встречаются в арктических морях. Рекомендации международных организация предполагают, что данные индексы могут быть пересмотрены для учета локальных особенностей картографируемых районов [Там же]. Опираясь на исходную систему индексов ESI, а так же перечень параметров определяющих чувствительность система индексов ESI можно на первых этапах использовать только 10 основных типов береговой линии:

Индекс 1: Искусственные конструкции и портовые сооружения;
Индекс 2: Скально-глыбовые развалы, выходы трещиноватых пород;
Индекс 3: Мелкопесчаные пляжи;
Индекс 4: Крупнопесчаные пляжи;
Индекс 5: Песчано-галечные пляжи;
Индекс 6: Гравийные и щебнистые пляжи; каменная осыпь;
Индекс 7: Осыхающие отмели;
Индекс 8: Плоские гравийно-песчаные пляжи с крупными валами водорослей и трав;
Индекс 9: Защищенный осыхающий берег;
Индекс 10: Зарастающие, заболоченные земли.

Существенным моментом при дальнейшем развитии системы ESI для Арктических морей является вопрос учета льда. На данном этапе мы не располагаем подходами по учету влияния наличия льда на чувствительность берегов. Проработка данного вопроса должна быть одной из задач в дальнейших исследованиях.

Картосхемы уязвимости. Результаты расчета сезонных разномасштабных картосхем уязвимости акватории Кольского залива для одного сезона и двух масштабов представлены на рисунках 7.6 – 7.7. Для остальных сезонов такие картосхемы приведены в Приложениях И.3.3 – И.6 (масштаб 1 150 000 – рисунки И.5 – И.11; масштаб 1:25 000 – рисунки И.12 – И.18). На рисунках 7.8 и 7.9 показаны картосхемы уязвимости береговой линии Кольского залива по индексу ESI в двух разных масштабах.

7.7 Нерешенные проблемы и предложения по разработке российской методики построения карт уязвимости от нефти

Таким образом, нами разработана и предложена методика построения карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти, учитывающая границы распределения биоты, важных социоэкономических участков и ПОТ, которая позволяет на основе 1) четкого алгоритма, 2) знания сезонного (или по месяцам) распределения компонентов экосистемы, 3) их уязвимости 4) и роли в экосистеме учитываемых биотических и абиотических компонентов строить разномасштабные сезонные или по месяцам карты уязвимости для планов ЛРН (карты «относительной» уязвимости) и для природоохранных целей (карты «абсолютной» уязвимости), а также карты результатов ИЭИ (карты уязвимости отдельных биотических групп и всей биоты в целом района воздействия). Эти карты дополняются разномасштабными картами распределения индекса ESI береговой линии, которые строятся на основе фотоснимков береговой линии и создаваемой базы данных таких снимков.

Построены картосхемы уязвимости от нефти для Баренцева (восточная часть), а также для Кольского залива этого моря. Выявлены наиболее уязвимые от нефти в разные сезоны участки этих морей (районы с максимальными рангами).

Для внедрения разработанной или любой подобной методики построения карт уязвимости для планов ЛРН требуют решения организационно-правовые вопросы: 1) выработка и согласование единого российского подхода к таким картам и соответствующим образом утверждение такой методики, 2) решение норматив-

но-правовых вопросов включения подобных карт в российские планы ЛРН разного уровня.

Не до конца решены некоторые научные и практические вопросы в этой области. Требуется: 1) более строгое обоснование коэффициентов уязвимости от нефти групп/подгрупп/видов биоты разных типов (легкой, средней, тяжелой) - это могло бы решаться в рамках всестороннего анализа морской природной среды (см. гл. 2 и 8); 2) согласование отдельных карт уязвимости при их пространственной «стыковке» (или перекрытии), когда для протяженных участков прибрежно-морской зоны строятся тактические (и возможно, стратегические) карты уязвимости; 3) решение вопросов детализации/генерализация информации для карт разного масштаба; 4) уточнение индексов ESI береговой линии арктических морей, в том числе для участков берега с припайным льдом. Все эти вопросы должны быть также обсуждены и согласованы с ликвидаторами разливов – пользователями таких карт.

Кроме того, разработка и построение таких карт требует наличия достаточно большого объема различной информации о количественном распределении по сезонам и/или месяцам групп/подгрупп/видов учитываемой уязвимой от нефти биоты, то есть наличия информации о состоянии морских экосистем. Для арктических морей, да и многих других российских морей, это – большая проблема. Но сбор такой информации для построения карт уязвимости в свою очередь будет также способствовать пониманию функционирования экосистем больших морских районов, в которых проводятся те или иные операции с нефтью, и разработке оптимальных мер по охране окружающей природной среды этих районов.

Предложенная методика построения карт уязвимости может служить основой при обсуждении единой российской методики.

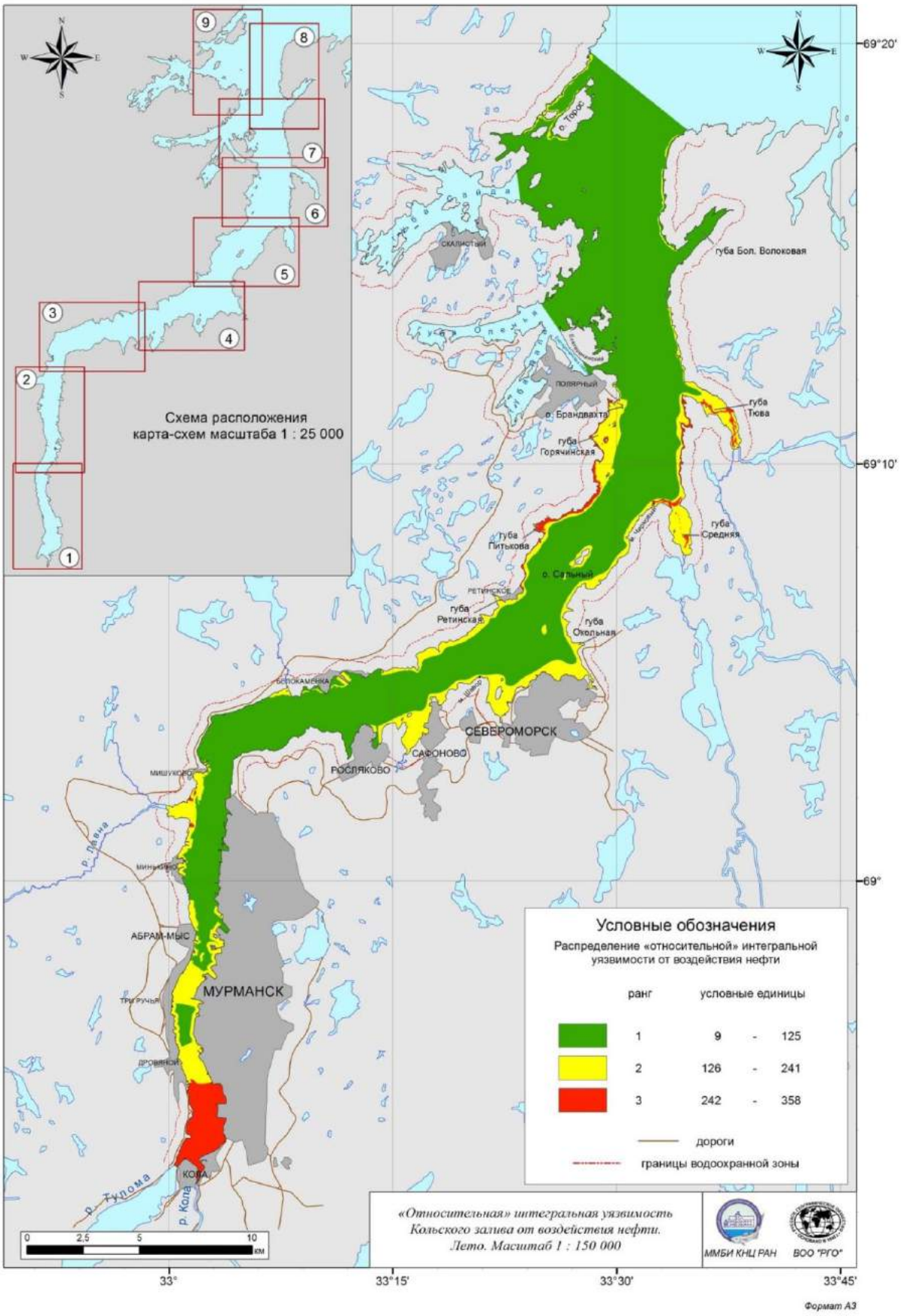


Рисунок 7.6 – Карта «относительной» интегральной уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Лето (июль – август). Карта предназначена для печати в формате А3

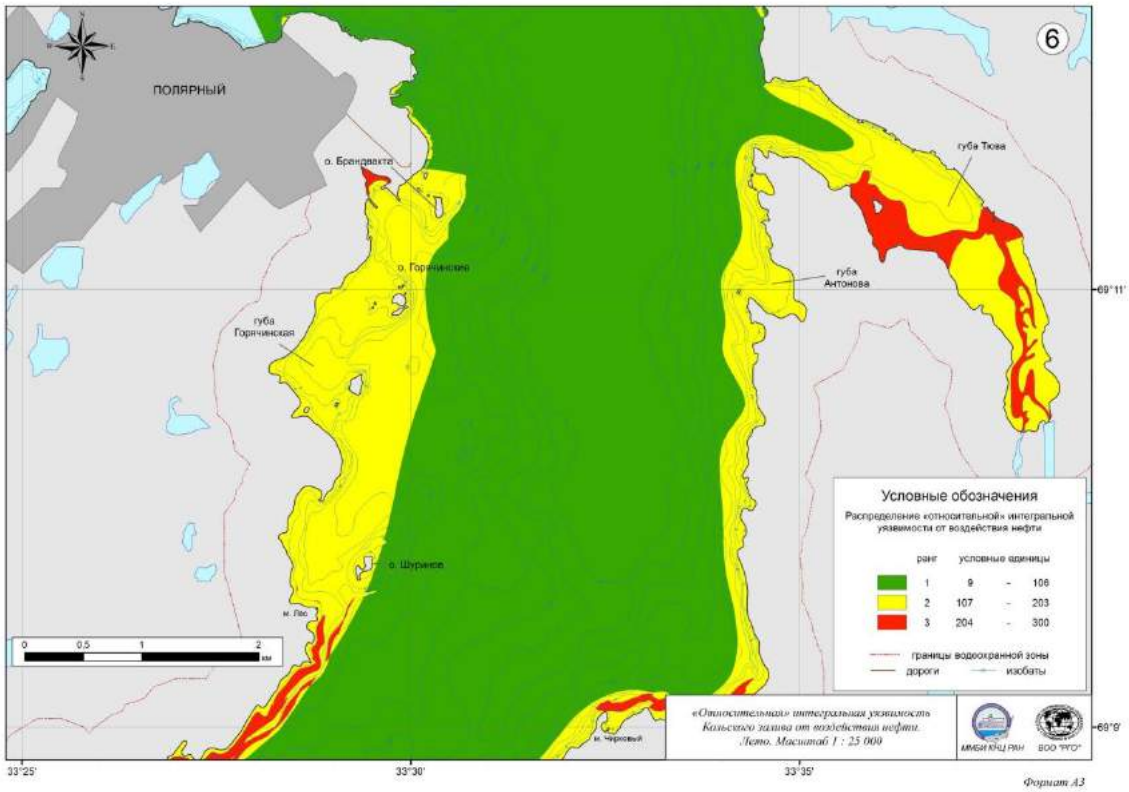


Рисунок 7.7 – Карта «относительной» интегральной уязвимости Кольского залива от воздействия нефти (район 6). Лето (июль – август). Карта предназначена для печати в формате А3

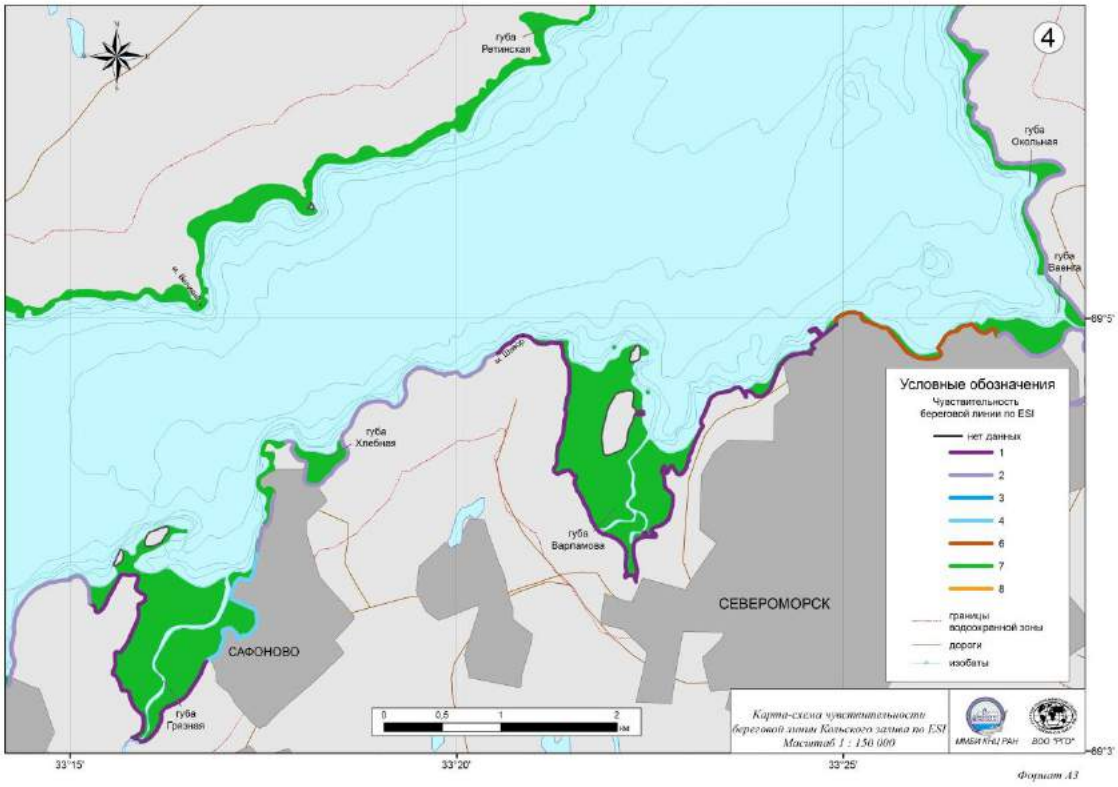


Рисунок 7.8 – Картосхема чувствительности береговой линии Кольского залива (район 4) по индексу ESI. Масштаб 1:25 000 при размере картосхемы А3

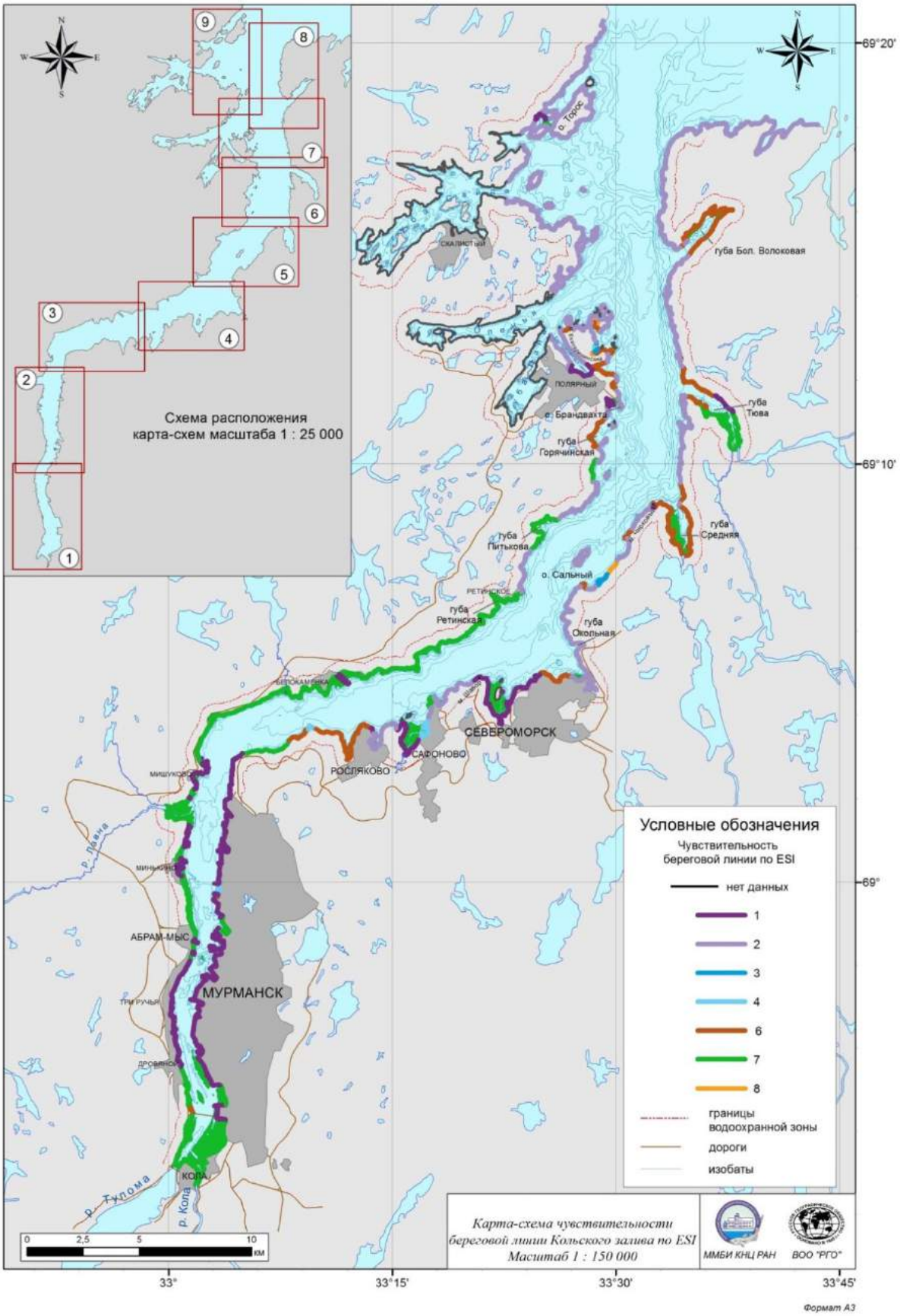


Рисунок 7.9 – Картосхема чувствительности береговой линии Кольского залива по индексу ESI. Масштаб 1:150 000 при размере картосхемы А3

ГЛАВА 8 КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОСИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА КАК ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА

На данном этапе ставилась *задача* на основе обобщения опыта проведения эколого-океанологического сопровождения освоения шельфа *сформулировать концепцию экосистемного мониторинга,* которая позволила бы решить многие проблемы, с которыми приходилось сталкиваться в ходе работ по подготовке ОВОС для различных арктических проектов, проведению инженерно-экологических изысканий, разработке программ экологического мониторинга разного уровня, построению карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти.

8.1 Общие положения

Основные нормативно-правовые документы, лежащие в основе организации экологического мониторинга (государственного экологического мониторинга водных объектов, а также экологического мониторинга водного пространства и континентального шельфа, проводимого частными компаниями или по их заказу различными организациями):

- Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 14.10. 2014).
- Федеральный закон от 30.11.1995 № 187-ФЗ (ред. от 14.10.2014) «О континентальном шельфе РФ».
- Федеральный закон от 31.07.1998 N 155-ФЗ (ред. от 03.02.2014) «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации».
- Федеральный закон от 19.07.1998 № 113-ФЗ (ред. от 21.11.2011) «О гидрометеорологической службе».
- Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 12.03.2014) «Об охране окружающей среды».
- Постановление Правительства РФ от 10.04.2007 № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов».

- Постановление Правительства РФ от 06.06.2013 № 477 «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды» (вместе с Положением о государственном мониторинге состояния и загрязнения окружающей среды).
- Постановление Правительства РФ от 09.08.2013 № 881 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды).
- СП 47.13330.2012. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [СП 47.13330.2012, 2012].

Дополнительно при рассмотрении экологического мониторинга арктических морей необходимо учитывать еще ряд документов, относящихся к арктической зоне РФ и ее развитию, наиболее важные из которых:

- «Морская доктрина РФ на период до 2020 г.» (утверждена Президентом РФ В.В. Путиным 2001.07.27, Пр-1387).
- «Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.» (утверждена Президентом РФ В.В. Путиным 2012.02.20).
- «Государственная программа РФ “Охрана окружающей среды” на 2012-2020 годы» (Утверждена Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 326).
- Государственная программы Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года" (утверждена Постановлением Правительства РФ от 21.04.2014 N 366).

Далее предлагается общий подход к экологическому мониторингу – экосистемный мониторинг, объединяющий работы и исследования, выполняемые в этом направлении различными организациями.

Определение. ***Экосистемный мониторинг*** шельфовых, в том числе арктических, морей это общая, комплексная система экологических исследований морей проводимых а) государственными организациями в рамках ГЭМ, б) различными организациями в рамках ПЭМ, ИЭИ, ПК, ЭРИ, ОВОС, подготовки материалов по ООС …по заказу частных компаний, осваивающих шельфовые месторождения, в) различными НИИ и фирмами по заказу государства и частных компаний и напрямую не связанными с ГЭМ и освоением месторождений, г) другими организациями, в той или иной мере проводящих эколого-океанологиченские исследования шельфовых морей (экологические службы ВМФ, гидрографическая служба ВМФ, структуры ООПТ, неправительственные экологические организации…).

Связь экосистемного мониторинга с системой нормативно-правовых документов разного уровня. Экосистемный мониторинг в полном объеме должен функционировать на основе принятых и действующих российских нормативно-правовых документов (Законов РФ, указов Президента, Постановлений Правительства, приказов министерств и ведомств, ГОСТов и других нормативных документов). При этом практика реализации основных положений концепции должна быть основой совершенствования нормативно-правовой базы в сфере реализации этой концепции.

Основываясь на авторитетных оценках общей экологической ситуации в экосистеме Земли (в том числе все большее приближение экосистем отдельных морей к утрате способности к самоочищению), уже проводимых в России работ по экологическому мониторингу в районах освоения шельфовых месторождений (Северный Каспий, Сахалинский шельф, Балтийское море, Баренцево море…), анализе различных разработок и предложений по такому экологическому мониторингу (Г.Г. Матишов, С.А. Патин, О.Я. Сочнев, С.Л. Дженюк, С.К. Монахов, Л.И. Лобковский, А.П. Хаустов, В.П. Савиных, В.Б. Погребов и многих других), проведенном кратких обзоре и анализе нормативно-правовых требований к экологическому сопровождению освоения нефтегазовых месторождений и на положениях различных международных документов, относящихся к этому вопросу,

можно сформулировать общую концепцию проведения экологического (в нашем случае – экосистемного) мониторинга морей при освоении шельфовых месторождений нефти и газа.

Использование концепции экосистемного мониторинга. Предлагаемая концепция может быть использована:

– для выработки государственной политики и соответствующих нормативно-правовых норм в области а) государственного экологического мониторинга и различного вида экологического мониторинга (инженерно-экологических изысканий, производственного экологического мониторинга, производственного контроля, эколого-рыбохозяйственных исследований…), проводимого частными компаниями; б) проведения фундаментальных и прикладных океанологических исследований;
– для объединения усилий государственных организаций и ведомств, а также частных компаний в области экологических исследований, мониторинга и охраны окружающей морской природной среды.

8.2 Определения основных понятий

Континентальный шельф, шельф,– выравненная часть подводной окраины материка, примыкающая к суше и характеризующаяся общим с ней геологическим строением, включает в себя морское дно и недра подводных районов; (как правило, рассматривается в пределах 200 мильной экономической зоны).

Пояснение. Согласно «Закону о континентальном шельфе РФ» континентальный шельф включает в себя морское дно и недра подводных районов, находящиеся за пределами территориального моря РФ на всем протяжении естественного продолжения ее сухопутной территории до внешней границы подводной окраины материка [РФ. Законы, О континентальном шельфе …, 1995]. Но это большей частью юридические границы шельфа. «В соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву под Континентальным шельфом понимают районы морского дна и их недра, простирающиеся от внешней границы территориального моря на всем протяжении естественного продолжения сухопутной (материковой

или островной) территории государства до внешней границы подводной окраины или на расстояние 200 морских миль от исходной линии, когда внешняя граница подводной окраины материка не простирается на такое расстояние» [Снакин, 2008, с. 339].

Акватория – участок водной поверхности в пределах естественных, искусственных или условных границ.

Пояснение. Согласно Водному кодексу акватория – водное пространство в пределах естественных, искусственных или условных границ [РФ. Законы. Водный …, 2006]. Принимаемое нами определение более соответствует общепринятому подходу к пониманию акватории, а также соответствует ст. 65, п. 6 Водного кодекса, где указано, что акватория как поверхность, а не пространство измеряется в единицах площади.

Морская природная среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов находящихся в пределах континентального шельфа и водного пространства над ним.

Пояснение. Часто под морской природной средой понимается или только среда без биоты, или собственно морская среда, обитающая здесь биота, а также расположенные в этих пределах природно-антропогенные объекты. Принимаемое нами определение основано на таковом, приводимом в Законе ФЗ-7 «Об охране окружающей среды» [РФ. Законы. Об охране …, 2002].

Всесторонний анализ морской природной среды *(ВАМПС)*– совокупность различных исследований, проводимых, как правило, государственными организациями, включающая анализ различных воздействий на природную среду, экологическое нормирование, стратегию регулирования качества морской природной среды.

Пояснение. Более подробно содержание исследований, которые составляют ВАМПС, изложено в [Израэль, 1979; 1984] и кратко представлено в главе 2.

Государственный экологический мониторинг (ГЭМ) – комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процес-

сами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды [РФ. Законы. Об охране …, 2002], а также оценки прогнозируемого состояния. (В данном случае под природной средой понимается морская природная среда).

Пояснение. Дополнение определения экологического мониторинга четвертым блоком (оценка прогнозируемого состояния) сделано с учетом принимаемого в настоящей Концепции подхода к мониторингу, предложенного Ю.А. Израэлем [1979; 1984]. Без оценки прогнозируемого состояния сами оценки во многом теряю смысл, так как становятся неопределёнными.

Производственный экологический мониторинг (ПЭМ) – исследования по экологическому мониторингу, проводимые различными компаниями и организациями в рамках инженерно-экологических изысканий, включающие комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, оценка и прогноз изменений состояния окружающей среды, а также оценки прогнозируемого состояния.

Пояснение. Определение ПЭМ отсутствует в федеральных нормативно-правовых актах, но это понятие используется в СП 47.13330.2012, п. 8.4.23 (без его определения) [СП 47.13330.2012, 2012]. Мы приводим это определение с учетом содержательной части ПЭМ в указанном документе и с учетом понятия ГЭМ. В более широком плане под ПЭМ мы будем понимать экологический мониторинг, проводимый различными компаниями и организациями как в рамках инженерно-экологических изысканий, так и на других стадиях экологического сопровождения проекта освоения месторождения (фактически ПЭМ включает все исследования экологических условий морской природной среды).

Контроль в области охраны окружающей среды (экологический контроль) - система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды [РФ. Законы. Об охране …, 2002].

8.3 Проблемы экологического мониторинга морской природной среды

В настоящее время проводится много различных геолого-разведочных работ на арктическом шельфе и работ по подготовке месторождений к освоению. Основная решаемая при этом задача эколого-океанологического сопровождения – минимизация воздействия на окружающую среду и сохранение природы Арктики. Эта задача может быть решена на основе объединения усилий государственных организаций, проводящих государственный экологический мониторинг (ГЭМ), с одной стороны, и частных компаний, выполняющих производственный экологический мониторинг (ПЭМ), и организаций, проводящих НИР, не связанных с ГЭМ, с другой. Многие проблемы, возникающие при этом, часто снижают эффективность экологического мониторинга:

- отсутствует государственный экологический мониторинг многих прибрежных и морских районов;
- не проводится в полном объеме всесторонний анализ морской природной среды и биоты, в том числе отсутствуют многие данные, необходимые для расчетов ОВОС, соответствующих ущербов, а также подготовки материалов по ООС;
- разобщены информационные потоки о состояния среды и биоты, получаемые в ходе государственного экологического мониторинга и экологических исследований, выполняемых частными компаниями;
- существуют большие трудности сбора уже имеющихся экологических данных о среде и биоте, необходимых для расчетов в рамках ОВОС и для подготовки мероприятий по охране окружающей среды;
- практически нет координации действий государственных и частных компаний при экологических (в том числе мониторинговых) исследованиях в одних и тех же или близких прибрежных и морских районах;
- для уже действующих проектов не проводятся корректные оценки воздействия на морскую природную среду, основанные на реальных пара-

метрах, а не на их оценочных (приближенных) значениях, принятых на предпроектной и проектной стадиях;

– объемы различных измерений (количество станций и измеряемых на них параметрах) часто не вполне обоснованы и не являются оптимальными.

Перечисленные и ряд других проблем экологического мониторинга морской природной среды рассмотрены далее при раскрытии основных положений концепции. Основные причины того, что такие проблемы существуют:

1) недостаточное государственное финансирование работ по ГЭМ;
2) слабый государственный и общественный контроль выполнения требований уже принятых законов и других нормативно-правовых актов в этой сфере;
3) отсутствие фундаментальных и прикладных исследований по ряду направлений эколого-океанологического сопровождения, в том числе из-за недостаточного финансирования;
4) противоречивость и неразработанность нормативно-правовой базы экологического мониторинга в частности и экологического сопровождения проектов в целом.

8.4 Цель и задачи концепции экосистемного мониторинга

Цель предлагаемой концепции – ***объединение, интеграция усилий*** государственных организаций, действующих в рамках государственного экологического мониторинга, и частных компаний, выполняющих экологические исследования в ходе освоения месторождений шельфа, а также всех других организаций, проводящих эколого-океанологические исследования на шельфе, и ***оптимизация процесса экологического мониторинга на различных уровнях для обеспечения сохранения морской природной среды и биоты***, в том числе в арктических морях.

Это интеграция усилий и оптимизация экологического мониторинга реализуется при решении следующих задач:

1. Совершенствование государственного экологического мониторинга, в том числе: проведение всестороннего анализа морской природной среды

и биоты, пополнение государственного фонда данных ГЭМ (ГФДГЭМ) не только данными ГЭМ.

2. Совершенствование компаниями-операторами месторождений эколого-океанологического сопровождения проекта освоения месторождения и создание Информационной базы экологических данных проекта (ИБ-ЭДп) на основе обмена данными с государственными базами данных.
3. Координация работ между государственными организациями и частными компаниями при проведении работ в рамках государственного экологического мониторинга и эколого-океанологического сопровождения освоения шельфа.
4. Оптимизация мониторинговых измерений (количества измеряемых параметров, числа станций и горизонтов, общего объема измерений) на основе нормативных документов и результатов математического моделирования.
5. Периодическое проведение процедур оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и Стратегической Экологической Оценки (СЭО) проектов освоения шельфа для районов локального и аварийного воздействий.
6. Решение вопроса свободного обмена эколого-океанологическими данными и доступа к этим данным всех физических и юридических лиц, связанных с эколого-океанологическими исследованиями.

8.5 Основные положения, лежащие в основе концепции

Настоящая концепция предполагает реализацию следующих принципов и основных положений:

1. Полнота и постоянное совершенствование проведения государственного экологического мониторинга (ГЭМ) и экологического сопровождения проектов на основе всестороннего анализа морской природной среды и последних достижений науки и техники.

2. Непрерывность эколого-океанологического сопровождения проекта компаниями-операторами месторождений.
3. Постоянное накопление и обработка информации, поступающей в ходе работ по государственному экологическому мониторингу и экологическому сопровождению проектов, а также информации по смежным эколого-океанологическим исследованиям.
4. Объединение усилий и координации работ всех субъектов в области экологического мониторинга и исследований морской природной среды.
5. Свободный доступ к результатам обработки и исходным данным экологического мониторинга морской природной среды на основе взаимного обмена информаций.
6. Использование последних достижений науки и техники при выполнении работ в рамках экосистемного мониторинга (при планировании работ, проведении измерений, обработке данных и их хранении).
7. Предосторожность (учет максимально возможных негативных последствий для морской природной среды от различных проектов) при планировании программ экологического мониторинга для последующей разработки мероприятий по защите морской природной среды.
8. Периодичность контроля корректности оценок воздействия проектов и всей антропогенной деятельности на экосистемы арктических морей и их отдельных районов.
9. Оптимизация мониторинговых измерений (количества измеряемых параметров, число станций и горизонтов, общее количество измерений) на основе последних достижений науки, действующих нормативных документов и результатов математического моделирования.
10. Контроль со стороны государства и гражданского общества экологической информации о морской природной среде, получаемой на всех этапах экосистемного мониторинга.
11. Единство методических подходов к изучению морской природной среды и единого метрологического обеспечения все выполняемых измерений.

12. Развитие сотрудничества с зарубежными странами и международными организациями, в том числе обмен данными.
13. Постоянное совершенствование нормативно-правовой базы функционирования экосистемного мониторинга.
14. Анализ изменений в целом в экосистеме районов воздействия проектов (в том числе районов локального и аварийного воздействия).

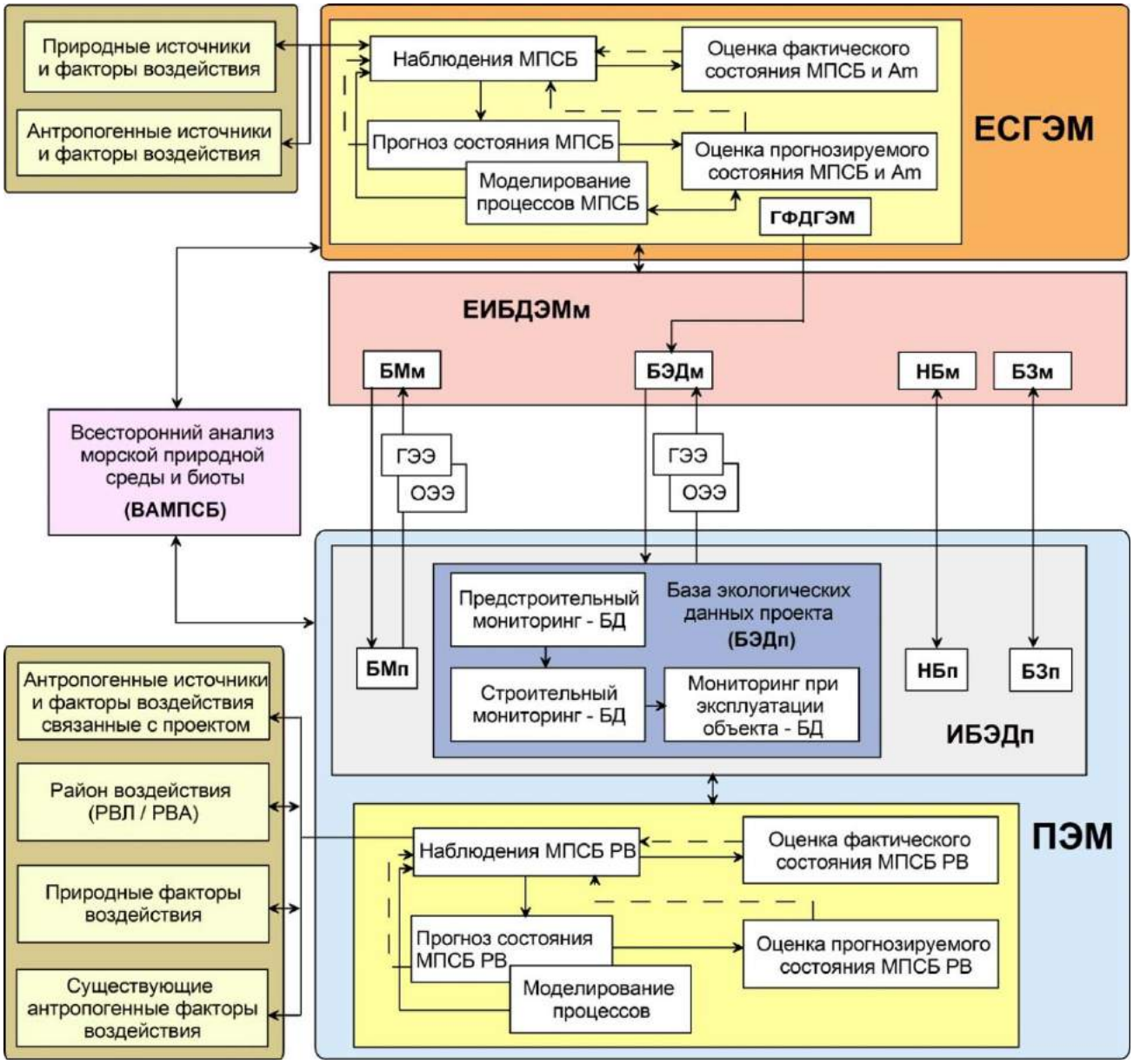
8.6 Сфера действий концепции экосистемного мониторинга

Действие предлагаемой концепции распространяется на следующие сферы:

1. Проведение государственного экологического мониторинга.
2. Эколого-океанологическое сопровождение освоения месторождений углеводородов и других полезных ископаемых на шельфе.
3. Охрана морской природной среды и биоты, в том числе морских биологических ресурсов и биоразнообразия.
4. Выполнение фундаментальных и прикладных океанологических исследований.
5. Учебные и образовательные процессы в вузах.

8.7 Общая схема концепции экосистемного мониторинга

Общая схема концепции экосистемного мониторинга может быть представлена следующей схемой (рисунок 8.1) – верхний блок ЕГСЭМ, включая также всесторонний анализ морской природной среды и биоты (ВАМПСБ) и контроль природных и антропогенных источников и факторов воздействия, нижний блок – производственный экологический мониторинг и другие мониторинговые исследования проводимые частными компаниями в рамках эколого-океанологического сопровождения проектов. Для того чтобы не загромождать схему на рисунке не показаны исследования вне рамок ГЭМ и ПЭМ (пп. «в» и «г» определения экосистемного мониторинга § 8.1)



МПСБ – морская природная среда и биота, Am -ассимиляционная емкость экосистемы, ГФДГЭМ – государственный фонд данных ГЭМ, ГЭЭ – государственная экологическая экспертиза, ОЭЭ – общественная экологическая экспертиза, БМм – база математических моделей морей, БЭДм – база экологических данных морей, НБм – нормативная база морей, БЗм – база знаний морей; РВЛ – район воздействия локальный, РВА – район воздействия аварийный, БМп – база математических моделей проектов, НБп – нормативная база проектов, БЗп – база знаний проектов

Рисунок 8.1 - Схема экосистемного мониторинга: общая схема (алгоритм) реализации ГЭМ, выполняемого по заказу государства в рамках ЕСГЭМ (единой системы государственного экологического мониторинга) – верхняя часть схемы, и общая схема реализации ПЭМ, выполняемого компанией при реализации проекта освоения шельфового месторождения

8.8 Механизм реализации концепции экосистемного мониторинга

Рассмотрим решение указанных задач и основных положений, а также элементы схемы концепции комплексного экосистемного мониторинга подробно.

8.8.1 Полнота выполнения работ и постоянное совершенствование государственного экологического мониторинга

(1). В полном объеме необходимо проводить **Государственный Экологический Мониторинг российских, в рассматриваемом случае - арктических морей**, в том числе в районах предполагаемой разработки шельфовых месторождений и потенциальных районах воздействия от их освоения (см. § 2.2 главы 2). ГЭМ выполняется организациями, ответственными за его проведение согласно Единой Системы Государственного Экологического мониторинга (ЕСГЭМ). В рамках этого государственного мониторинга необходимо **проводить всесторонний анализ морской природной среды и биоты отдельных морей (ВАМПСБ)**.

По крайней мере, такая задача должна стоять перед организациями, отвечающими за выполнение ГЭМ. Возможно, и даже неизбежно, что первоначально этот анализ будет основан на неполных данных. Всесторонний анализ морской среды и биоты может выполняться с привлечением научно-исследовательских организаций различного профиля и ведомственной принадлежности (не только входящих в систему Минприроды РФ, но и академических и отраслевых НИИ, возможно специалистов университетов и частных компаний).

Государственный экологический мониторинг морской природной среды и биоты выполняемый государственными организациями должен включать регулярные судовые измерения, спутниковый мониторинг. Все это необходимо дополнять постоянными измерениями с буйковых и донных станций, в том числе в зоне ледовых полей. Требуются систематические, практически регулярные (в каждом (!) рейсе ледокола) наблюдения и измерения с борта атомных и обычных ледоколов независимо от маршрута их движения и сезона работы. Большой опыт таких ледокольных океанологических экспедиций имеет ММБИ КНЦ РАН [Матишов и др., 2005].

Как уже отмечалось в главе 2 (§ 2.2), важно иметь результаты исследований по анализу реакцией организмов арктической биоты на антропогенные воздействия на первом этапе – а) самых массовых и б) охраняемых видов, последствий

такого воздействия, выявление критических факторов воздействия на самые чувствительные элементы морских экосистем. Определить допустимые нагрузки на отдельные организмы и популяции, на сообщества и большие экосистемы районов арктических морей и отдельных морей в целом.

Необходимо, чтобы были выработаны критерии по ограничению источников воздействия с учетом комплексности воздействия (нормы предельно допустимых выбросов, сбросов, уровней гидроакустического шума и т.д.) и закрепить эти нормы в соответствующих правовых документах. Выполненные нами исследования (в диссертации: главы 5 – по подводному шуму, 6 – по взвеси, 7 – по картам уязвимости), показывают, что отсутствие этой информации подчас не позволяет проводить в полной мере корректные оценки в рамках ОВОС и разрабатывать мероприятия по охране окружающей среды.

Фактически нет четких нормативов для оценки воздействия пневмоисточников как на планктон и бентос, так и на ихтиофауну и морских млекопитающих; гидроакустического шума судов - на рыб и морских млекопитающих; взвеси - на бентос при засыпке слоем разной толщины; нефти и ее компонентов - на биоту; выбросов в атмосферу Арктики различных химических веществ и твердых частиц - на морскую среду, биоту и ледовые поля; различных химических веществ, которые могут поступать с платформ, судов и буровых установок – на морскую биоту. Сложное положение с сезонным описанием биоты, за исключением, пожалуй, только рыбных биоресурсов в Баренцевом море (из всех арктических морей), хотя и здесь есть еще много проблем. До сих пор не проведена стратегическая экологическая оценка (СЭО) для отдельных районов и всего Баренцева моря, для каждого из российских арктических морей при реализации программы освоения месторождений углеводородов. Хотя предпосылки для этого есть, и имеются модельные, пусть предварительные (демонстрационные) расчеты уровня загрязнения арктических морей радионуклидами, тяжелыми металлами (для этого загрязнения – для части боты), углеводородами нефти [Крапивин, 1995; Савиных и др., 2007; Крапивин и др., 2008; 2008a, 2008b]. Для проведения оценок адекватности имитационной модели динамики загрязнений в Арктическом бассейне (ИМ-

ДЗАБ), как пишет автор этой работы [Крапивин, 1995] не хватает достоверных данных измеренных in situ. *Заказчиком всех исследований, описанных в данном пункте, как и всего ГЭМ, должно быть государство, финансирование – госбюджет.*

8.8.2 Непрерывность эколого-океанологического сопровождения проекта освоения месторождения

(2). На каждом этапе освоения месторождения компания, владеющая лицензией на освоение месторождения, обеспечивает проведение экологических исследований и мониторинга различного вида (ИЭИ, ПЭМ, ПЭК), что должно составлять единую неразрывную последовательность работ для районов воздействия от начала разведочных работ до ликвидации проекта, даже при смене владельца лицензии (см. рисунок 8.1 и таблицу 2.1 в главе 2,), хотя объем исследований и наблюдений на разных этапах освоения месторождения может и должен быть различным. (Далее для некоторого упрощения мы будем иногда объединять ИЭИ, ПЭМ, ПЭК в единое понятие ПЭМ, что будет ясно из контекста. Это вполне правомерно, если рассматривать и ИЭИ и ПЭК как составляющие общего процесса экологического мониторинга). После того, как нефтегазовая компания получила лицензию на освоение конкретного месторождения на шельфе, или лицензионный участок, на котором еще необходимо провести детальные исследования, то начиная с этого момента реализуется единая схема (последовательность) связанных между собой этапов эколого-океанологического сопровождения проекта, в том числе производственного экологического мониторинга в широком смысле. Это работы по ОВОС и экологическому мониторингу для планируемых или проведенных сейсмоакустических исследований (САИ) и разведочного бурения (РБ), строительства, освоения и консервации и/или ликвидации освоенного месторождения.

Компания привлекает различные организации к сейсмоакустическим исследованиям, разведочному бурению, инженерным изысканиям, обоснования подготовки различной проектной документации (от документов территориального пла-

нирования до проектной документации), собственно обустройству самого месторождения, возможной прокладки подводных трубопроводов, строительству береговых баз и портовых сооружений для обеспечения своей деятельности по данному проекту, заводов по переработке газа и нефтепродуктов (например, заводов СПГ и НПЗ), транспортировке добываемой продукции. Для всех этих этапов экологическое сопровождение должно составлять единую неразрывную последовательность, когда для решения экологических задач на каждом этапе используется вся информация, полученная ранее (на всех предыдущих этапах). Примерная схема реализации ПЭМ показана на рисунке 8.1 – включая нижний блок, связанный с антропогенными и природными источниками и факторами воздействия. *Заказчик – компания-оператор месторождения, финансирование – средства нефтегазовой компании, владеющей лицензией на освоение месторождения.*

8.8.3 Накопление и обработка эколого-океанологической информации по морской природной среде и биоте

(3). Государственными организациями, отвечающими за ГЭМ, должна проводится работа по развитию и пополнению Государственного фонда данных государственного экологического мониторинга (рисунок 8.1). Это в том числе предписывается законом «Об охране окружающей среды» [РФ. Законы. Об охране …, 2002] и Постановлением Правительства РФ № 681 [РФ. Правительство. Положение о государственном …, 2013]. Указанный фонд является основой всей дальнейшей работы по реализации экосистемного мониторинга. Вместе с тем, как вариант, такой основой может быть либо БД Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении [РФ. Правительство. Положение о создании …, 1999], или БД Единой государственной системы информационной обстановки в Мировом океане – ЕСИМО [РФ. Правительство. Концепция Федеральной …, 1997]. Пока, как нам представляется, ни для Государственного фонда данных ГЭМ, ни для БД ЕСИМО, ни для БД Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении не решены вопросы: 1) размещения в этих БД ***всех*** первичных дан-

ных ***всех*** морских экспедиционных исследований проводимых в России; 2) свободного доступа к первичным данным этих БД. Все эти проекты (Государственный фонд данных ГЭМ, ЕСИМО, Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении) реализуются медленно и с большим трудом, хотя с Указа президента о создании ЕСИМО прошло 17 лет, первое Постановление Правительства РФ «О создании и ведении Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении» принято почти 15 лет назад, а о ЕГСЭМ, а соответственно и о хранении получаемой при этом информации впервые сказано в Постановлении Правительства более 20 лет назад [РФ. Правительство. О создании Единой …, 1993]. *Заказчик – государство, финансирование – госбюджет.*

(4). Компания-оператор месторождения на основе результатов различных экологических исследований создает свою Информационную Базу Экологических Данных Проекта (ИБЭДп) - лицензионного участка, районов подводных трубопроводов, всей возможной зоны воздействия, причем как локального района воздействия (РВЛ), так и аварийного (РВА) (см. рисунок 8.1 и таблицу 2.1 в главе 2).

Важно, чтобы все экологические материалы, которые получены на разных этапах освоения месторождения (в ходе ИЭИ, результаты ОВОС и материалы по охране окружающей среды, отчеты по ПЭК и ПЭМ) были собраны в единой базе данных проекта, даже если менялся владелец лицензии и процесс освоения прерывался. К сожалению, это не наблюдалось для известного мегапроекта – Штокмановского. Как уже упоминалось, экологические данные о среде и биоте, собранные на этапе подготовке проекта освоения компанией ООО «Севморнефтегаз», так и остались в этой компании и официально не были переданы в компанию «Штокман Девелопмент АГ» вместе с лицензией. Экологические материалы первого проекта освоения Штокмановского месторождения (девяностые годы) также не вошли в базу данных Штокмановского проекта ни компании «Севморнефтегаз», ни компании «Штокман Девелопмент АГ».

Учитывая необходимость и неизбежность подготовки материалов по охране окружающей природной среды (ООС), оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) и экологическому мониторингу, в том числе с учетом требований Постановления правительственных органов [РФ. Правительство. Положение об оценке …, 2000; РФ. Правительство. Положение о составе разделов …, 2008] с самого начала компанией должны быть предусмотрены и начаты работы по созданию единой базы эколого-океанологических данных проекта. Целесообразно внести это требование в указанные нормативно-правовые документы и/или на начальном этапе вносить как требование в лицензионное соглашение. При этом на самом первом (первоначальном этапе – на стадии подготовки декларации о намерениях - ДОН) все экологические оценки должны, как правило, основываться на имеющихся уже данных ГЭМ и оценках ассимиляционной емкости экосистем района воздействия (если такие оценки имеются). Эти данные компания-оператор месторождения должна получить и продолжать получать регулярно от государственных организаций, проводящих ГЭМ, возможно за небольшую плату. Эта плата действительно должна быть небольшой (почти символической или нулевой) и определяться трудозатратами на выбор из базы данных ГФДГЭМ необходимых материалов и передачу их компании-оператору проекта. Причем очевидно, что район, в котором проводятся мониторинговые наблюдения и исследования, может меняться (уточняться, корректироваться), но он должен включать как минимум весь район возможного воздействия при крупной аварии на месторождении (аварийный выброс из скважины газа, газоконденсата, нефти, пластовой воды…). И очень важно, чтобы границы этого района были строго обоснованы. *Заказчик – компания-оператор месторождения (или компания владелец лицензии), финансирование – из средств этой нефтяной или газовой компании.*

(5). Для каждого российского моря **создается Единая Информационная База Данных Экологического Мониторинга Морей -** единая государственная БД о природной и техногенной среде отдельных морей РФ. Она включает ряд блоков (см. рисунок 8.1). На уровне первичных данных о среде и биоте **блок База экологических данных морей (БЭДм)** есть фактическое «объединение» данных,

которые поступают в Государственный фонд данных ГЭМ (ГФДГЭМ) в ходе выполнения Государственного экологического мониторинга и Базы экологических данных отдельных проектов (БЭДп), пополняемых компанией-оператором в ходе ПЭМ:

БЭДм = ГФДГЭМ ∪ БЭДп.

Объединенная база, в том числе база первичных данных (то есть БЭДм), должна включать следующие результаты мониторинга среды, биоты, источников и факторов воздействия (в обязательном виде - количественные параметры), полученные в ходе ГЭМ этого моря и эколого-океанологического сопровождения проектов, расположенных в этом морском районе:

- первичные данные о среде и биоте, полученные в ходе ГЭМ и ПЭМ (акты отбора проб и протоколы их обработки, полные отчеты с результатами проведения ГЭМ, с результатами ИЭИ, ПЭМ;
- первичные данные о существующих источниках воздействия, имеющих отношение к различным участкам морей, в том числе первичные материалы ПЭК;
- первичные данные о факторах воздействия, имеющих отношение к различным участкам морей;
- характеристики чувствительности/уязвимости компонентов биоты шельфовых районов к различным факторам воздействия (воздействия УВ, химических веществ, взвеси, акустического и гидроакустического воздействия…) – материалы всестороннего анализа морской природной среды и биоты (ВАМПСБ);
- первичные данные по мониторингу геологической среды (мы не останавливаемся на вопросе геологических данных подробно, так как это должен быть отдельный, детально проработанный блок в создаваемой ЕИБДЭМм);
- первичные снимки и результаты постоянного спутникового мониторинга шельфовых районов (температура и воды, волнение, загрязнение, ле-

довая обстановка, содержание хлорофилла….), а также результаты их обработки, если таковая выполнялась;

- все первичные данные, представленных в БЭДм, должны сопровождаться ссылками на подробные методики, по которым проводились измерения и их обработка.

В БЭДм должны быть и все отчеты и схемы экспедиционных мониторинговых исследований (как государственных, то есть выполненных в рамках ГЭМ, так и исследований всех других компаний и организаций), на основе которых составлена эта БЭДм. Эта база данных должна также включать отчеты НИИ и других компаний по результатам исследований в российских морях, подготовка которых финансировалась из федерального или регионального бюджетов, если первичные данные этих исследований включаются в БЭДм.

В ходе работ по экологическому сопровождению Штокмановского проекта для него нами была разработана картографическая база данных, включающая первичные данные океанологических станций нескольких ИЭИ [Архипова и др., 2008; 2009]. В определенной мере это – прототип БЭДп.

Вопросы объединения результатов исследований компаний и результатов ГЭМ неоднократно поднимались в различных публикациях. Как отмечается в работе [Лобковский и др., 2007] корпоративных информационных ресурсов часто бывает недостаточно для оценки и прогноза состояния и загрязнения морской среды в районах проведения работ. Причина - лабильность морских экосистем, находящихся под воздействием природных и антропогенных факторов. Недостаток информации может быть восполнен проведением наблюдений на Государственно наблюдательной сети, подведомственной Росгидромету. Более подробно об этой же проблеме пишет Н.А. Назарян [2011], что развитие идей ГИМС-технологий позволит провести: 1) объединение, интеграцию и координацию уже существующих государственных, ведомственных и отраслевых систем сбора первичной информации об окружающей природной среде на единой основе, а также 2) централизацию доступа к информации через международные информационные сети с максимальным расширением списка пользователей. Об этом же говорится

и в монографии [Савиных и др., 2007, с. 19]: Национальный Центр информационного обеспечения экологических исследований (НЦИОЭИ) должен собирать, сортировать и обрабатывать в едином стандарте данные наземных и спутниковых наблюдений за природными и антропогенными системами земли, обеспечивая широкий доступ к этой информации. Близкий к этому подход предлагал и С.Л. Дженюк [2001]. *Заказчик разработки БЭДм, как составной части единой информационной базы данных экологического мониторинга морей (ЕИБДЭМм) – государство, финансирование – госбюджет.*

(6). В рамках ЕИБДЭМм р**азрабатывается и создается (в том числе с учетом уже имеющихся разработок) База математических Моделей морей (БМм)** экосистем шельфовых районов**.** Эта база должна включать различные математические модели (имитационные – боксовые и непрерывные, качественные и др.…) шельфовых морей и их отдельных районов:

- термогидродинамические,
- гидрохимические,
- биологические,
- гидробиологические – ресурсные (возможно включенные в общую биологическую модель),
- геологические…

Аналогичные базы математических моделей морей для отдельных проектов (БМп) создаются компаниями в рамках разработки шельфовых месторождений для районов локального и аварийного воздействия проекта (соответственно, РВЛ и РВА).

Модели должны быть результатами научно-исследовательских разработок НИИ и различных организаций, занимающихся данной тематикой, и основываться, в том числе, на материалах ЕИБДЭМм. Это могут быть модели, разработанные по заказу государства, результаты различных исследований, полученные в ходе работ по тематике НИИ, по различным граната, в том числе зарубежным… В БМм должно быть подробное описание этих моделей, в том числе ограничений на их использование - граничных условий в которых могут использоваться разра-

ботанные модели (ограничения на исходные данные, их объем, точность…) и информация о погрешностях результатов расчетов по этим программам.

Должно быть предусмотрено *сохранение авторского права на такие математические программы.* Но в БМм обязательно должны быть помещены демонстрационные версии программ, описание программ и тексты всех публикаций, в которых отражены результаты разработки программ и результаты их использования. Должны быть помещены условия приобретения программ и/или возможность обращения к разработчикам за проведением разовых расчетов по предоставляемым исходным данным.

(7). В рамках ЕСГЭМ **создается Нормативно-правовая База документов**, относящихся к правовому регулированию действий на акваториях всех российских **морей (НБм)**, которая включает все нормативно-правовые документы (международные многосторонние и двухсторонние, российские, региональные, документы компаний) относящиеся к любой деятельности на шельфе российских морей. Аналогичная **база документов, относящаяся к конкретному российскому морю в целом или его большей части**, создается в компаниях, осваивающих месторождение(я) в этом море и реализующих те или иные шельфовые проекты **(НБп)**. Доступ к любой из этих баз данных (НБм и НБп) должен быть абсолютно свободным в любой момент времени (не в пример действующему сейчас порядку для отдельных сайтов правовой информации (даже очень полных и качественных, например, «КонсультантПлюс»).

(8). Одновременно разрабатываются Базы Знаний для российских морей в целом и для отдельных шельфовых проектов (БЗм и БЗп), которые должны содержать различную информацию, как опубликованную в открытой печати так и различные отчеты, соответственно, обо всех морях РФ на уровне ГЭМ и по конкретному морю на уровне проекта. Это должна быть различная информация о морях РФ: тематические карты, публикации (справочники, монографии, статьи, тезисы, авторефераты, диссертации), отчеты о НИР (выполняемых в НИИ), отчеты о проведенных ИЭИ, материалы по охране окружающей среды и ОВОС, программы исследований, Технические задания на исследования, Заклю-

чения ГЭЭ по материалам ОВОС и ООС…. Вся эта информация должна быть систематизирована и по запросу (например, по определенному указанному району исследования) должна выдаваться пользователю. Очевидно, что БЗм содержит всю информацию, включенную в различные БЗп, а БЗп также включают в себя всю информацию по конкретному морю, содержащуюся в государственной БЗм.

8.8.4 Пополнение единой информационной базы данных экологического мониторинга и доступ к ней

(9). Пополнение ЕИБДЭМ. Эта база данных *должна постоянно пополняться результатами ГЭМ*, в том числе, судового и спутникового мониторингов, данными с буйковых станций, то есть данными получаемыми в ходе выполнения ЕСГЭМ (рисунок 8.1). *Пополнение ЕИБДЭМ происходит также за счет результатов ИЭИ, ПЭМ,* выполняемых компаниями на различных стадиях реализации проектов (рисунок 8.1), обмена материалами на уровне Баз математических моделей (БМм ↔ БМп), нормативно правовых баз данных (НБм ↔ НБп), баз знаний (БЗм ↔ БЗп). Однако, учитывая возможные некорректности исходных данных (ПЭМ, ИЭИ), получаемых от компаний–операторов месторождений, и привлекаемых ими организаций исполнителей, все эти ***материалы от компаний должны в обязательном порядке проходить предварительный жесткий госконтроль – государственную экологическую экспертизу (ГЭЭ)***. Нам приходилось сталкиваться и с формальным подходом комиссий ГЭЭ к проведению экспертизы ОВОС шельфовых проектов. Поэтому для всех этих материалов ***должна быть доступна (хотя и необязательно) и общественная экологическая экспертиза (ОЭЭ)*** – рисунок 8.1.

Постановления Правительства РФ накладывают определенные обязательства на природопользователей в отношении передачи полученной ими информации о состоянии морской природной среды уполномоченным госорганам. Так, согласно Административному регламенту, утвержденному Приказом Минобрнауки от 28.12.2011 № 2900, для получения разрешения на проведение очередных морских научных исследований необходимо к запросу приложить документы, под-

тверждающие предоставление в государственные фонды данных РФ образцы копий данных, полученных в результате проведения последнего морского научного исследования [РФ. Правительство РФ. Административный регламент…, 2011, п. 22, п/п «г»]. В «Положении о предоставлении …», [РФ. Правительство РФ. Положение о предоставлении …, 2000, п. 2], утвержденным Постановление Правительства РФ говорится, что информацию о состоянии окружающей среды, ее загрязнении… «обязаны предоставлять юридические лица независимо от организационно – правовой формы и физические лица, осуществляющие сбор информации о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении». При этом в ЕГФД о состоянии ОПС, ее загрязнении предоставляется информация общего назначения и специализированная информация [РФ. Правительство РФ. Положение о предоставлении …, 2000, п. 4], хотя в «Положении о создании и ведении…» [РФ. Правительство. Положение о создании …, 1999], говорится, что специализированная информация в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, может передаваться в Мировой центр данных на основе договора. Кроме того, согласно Федеральному закону «О гидрометеорологической службе» «Юридические лица независимо от организационно-правовых форм и физические лица, осуществляющие сбор информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, обязаны предоставлять данную информацию в федеральный орган исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях» [РФ. Законы. О гидрометеорологической…, 1998, ст. 16, п.1].

Однако реально компании считают экологическую (эколого-океанологическую) информацию своей собственностью и никуда ее не направляют. Это касается в основном первичных данных и отчетов по ИЭИ, ПЭМ, ОВОС, материалов мероприятий по охране окружающей среды. Такое требование о передаче любой экологической информации в ЕИБДЭМм ко всем, кто провидит различные океанологические исследования, должно быть четко и строго прописано в различных документах: от лицензионного соглашения для компаний разработчиков месторождения до документов с условиями получения грантов научных фондов научно-исследовательскими организациями на выполнение различных НИР в

морях или получения лотов для реализации федеральных целевых программ типа ФЦП «Мировой океан». Дополнительно следует отметить, что согласно поправкам к Закону «Об охране окружающей среды», принятым в 2011 году [РФ. Законы. Об охране …, 2002], и Постановлению Правительства РФ от 09.08.2013 N 681 [РФ. Правительство. Положение о государственном …, 2013] в Государственный фонд данных ГЭМ должны направляться данные производственного контроля в области охраны окружающей среды.

(10). Доступ к Единой информационной базе данных экологического мониторинга морей (ЕИБДЭМм). Все компании, связанные с освоением шельфовых месторождений, организации, выполняющие исследования морей, отдельные специалисты должны иметь доступ и к ЕИБДЭМм и ко всем ее составляющим (рисунок 8.1), соответственно иметь и доступ к первичным данным, различным отчетам, демонстрационным программам БМм, прогнозам и оценкам по их результатам, к нормативно-правовой документации. Плата за такое обращение должна быть почти символическая (соответствующая затратам на подготовку материалов из базы данных по запросу, если данные не могут быть размещены на общедоступном сервере), так как все эти системы разрабатываются либо на бюджетные средства, то есть на деньги налогоплательщиков, либо за счет компаний, планирующих работы на тех или иных месторождениях, фактически принадлежащих государству. Вопрос свободного использования данных и других материалов, переданных нефтегазовыми компаниями, может вызывать возражения, однако это должно быть одним из условий лицензионного соглашения в отношении доступа к освоению месторождения, и тогда не будет возражений со стороны этих компаний. Кроме того, такая передача данных должна быть одним из условий доступа компаний к ЕИБДЭМ. В этом случае исключаются ситуации, когда по одному из анализируемых участков трудно собрать всю имеющуюся экологическую информацию, хотя существуют 1) подробные отчеты с первичными данными в нескольких частных компаниях, ранее проводивших здесь исследования по ИЭИ или ПЭМ, 2) отчеты государственных организациях, выполнявших НИР грантам иди заказу государства, 3) ряд обзоров, которые есть не во всех библиотеках, 4)

множество статей разбросанных по различным журналам, трудам и материалам конференций…

В принципе доступ к ЕИБЭДМ не должен быть совершенно свободным, как, например, к бесплатным интернет изданиям. Пользователь ЕИБДЭМ должен заключить соответствующее соглашение с администрацией этой государственной БД, в котором оговариваются условия пользования, в том числе условие не передавать получаемые данные третьей стороне и условие обязательной передачи результатов исследования, выполненного на основе полученных материалов, в эту ЕИБДЭМ.

Несанкционированное (без согласования с руководством ЕИБДЭМ) использование материалов этой БД различными организациями или отдельными пользователями должно наказываться, согласно подписанным ими соглашениям. Такими наказаниями могут быть: 1) исключение этих организаций или отдельных специалистов из списка тех, кто имеет доступ к материалам ЕИБДЭМ, 2) наложение определенного штрафа, 3) публикацией в Интернете списков таких организаций и специалистов. При желании решать в первую очередь вопросы охраны окружающей природной среды, а не финансовые вопросы (хотя это и не исключается), все эти проблемы доступа к ЕИБДЭМ могут быть обсуждены более детально и вполне решаемы.

8.8.5 Учет максимально возможных негативных последствий при разработке программ экологического мониторинга и мероприятий по охране окружающей среды

(11). Разработка программ ПЭМ для районов возможного воздействия проектов должна основываться на использовании всего комплекса возможных средств мониторинга, в том числе использовании адаптивных моделей (см. п. 8.8.3, пп. (6) выше). До начала непосредственной добычи УВ при любом развитии событий в районе месторождения должна начинать функционировать программа ПЭМ, основанная на информационной базе экологических данных проекта (ИБЭДп), включающая БЭДп и БМп для данного проекта. Причем этот производ-

ственный экологический мониторинг не должен ограничиваться районом локального воздействия, который является локальным только при безаварийном функционировании проекта. В локальном районе ПЭМ (обозначен РВЛ – район воздействия локальный), основанный на автоматизированной информационно-измерительной системе (АИИС), должен проводиться фактически в непрерывном режиме. Для района возможного воздействия аварийных ситуаций этот ПЭМ (обозначен РВА – район воздействия аварийный) следует проводить раз в 1-3 года с отработкой всего комплекса средств ПЭМ в радиусе, возможно, нескольких десятков километров или более (все зависит от конкретной ситуации). Это необходимо для того, чтобы все средства ПЭМ были готовы к длительным аварийным выбросам пластовых вод, газа, а главное нефти. Причем к выбросам много большим, чем это предусмотрено нормативами для ЧС(Н), то есть большими, чем 5 000 тонн. В противном случае последствия аварий будут более тяжелыми, даже более катастрофическими, чем при аварии танкера «Exxon Valdez» (1989, Аляска, залив Принца Уильяма) или на нефтяной платформе «Deepwater Horizon» (2010, Мексиканский залив, компания «British Petroleum»). Особенно это касается месторождений расположенных в шельфовых районах, периодически покрывающихся ледовыми полями. Здесь даже не столь огромные разливы (до нескольких тысяч тонн и «предусмотренные» нормативами МЧС) могут затрагивать районы расположенные на значительных расстояниях от места разлива из-за дрейфа нефти со льдом и под ледовыми полями.

(12). Для районов возможного воздействия проекта - акватории и прибрежных районов, если они попадают в зону воздействия – до начала реализации проекта **должны быть разработаны карты уязвимости от нефти и основных антропогенных факторов (взвеси, гидроакустического шума судов и сейсмоакустических исследований…)**. Согласно изменениям, внесенным Федеральным законом N 287-ФЗ от 31.12.2012 [РФ. Законы. О внесении изменений в ФЗ …, 2012] в «Федеральный закон о континентальном шельфе РФ» и в Федеральный закон «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне РФ» все организации и предприятия, связанные с добычей, транспортиров-

кой и перегрузкой нефти и нефтепродуктов должны с 01.07.2013 иметь планы ЛРН, которые прошли государственную экологическую экспертизу. Согласно п. 8.4.12 СП 47.13330.2012 [2012] (см. § 7.4 в главе 7) по результатам ИЭИ необходимо подготовить картосхемы уязвимости основных экологических групп биоты к основным видам антропогенного воздействия. И в итоге – «комплексную карту уязвимости природных комплексов (экосистем) к основным ожидаемым видам антропогенного воздействия» [Там же]. Такие карты должны быть построены на основе единой российской методики. Для этого требуются знания о сезонном (оптимально – по месяцам) распределении биоты в двух районах воздействия (аварийном и локальном), о хозяйственной деятельности, ООПТ и др. информация. С учетом предложений, сформулированных в главе 7, для района локального воздействия (РВЛ) разрабатываются операционные (крупномасштабные) и тактические карты, для районов аварийного воздействия (РВА) – тактические и стратегически карты: сезонные карты «относительной» уязвимости и, при необходимости, абсолютной» уязвимости.

8.8.6 Оптимизация мониторинговых измерений

(13). Выбор координат точек для мониторинга шельфа - станций отбора донных проб. Выбор и обоснование координат расположения точек отбора донных проб (отбор проб бентоса, донных осадков) и периодичности выполнения таких измерений, чтобы собранный материал был репрезентативным, – сложная и противоречивая задача, определяющая эффективность мониторинга - затраты труда и времени, ценность (точность, полнота, представительность, сравнимость, возможность истолкования) получаемого эмпирического материала [Дмитриев и др., 2008, с. 312, 313].

Проблема планирования системных натурных экологических исследований - в части определение мест расположения станций отбора донных проб - должна решаться на основе выбора характерных репрезентативных точек, которые удовлетворяли бы следующим требованиям: а) определенности положения в структуре ландшафтно-геоэкологическом пространстве; б) однозначности фиксации на

карте и возможно (для морских условий), уверенности отыскания при проведении исследования; в) минимизации зависимости измеряемых параметров от местных и локальных условий; г) представительности в них картируемых элементарных единиц дифференциации; д) максимальной информативности [Там же, с. 314].

Перечисленные требования выполнимы при использовании в качестве репрезентативных характерных точек в рельефе таких, которые образуются в результате пересечения каркасных линий двух взаимно-перпендикулярных систем структурной координатной сети и других характерных линий ландшафтно-геоэкологической оболочки (ЛГО) [Ласточкин, 2002, 2011; Дмитриев и др., 2008]. При выборе координат станций отбора донных проб должен также учитываться тип грунта (твердый, песчаный, илистый), так как он в том числе определяет степень накопления различных загрязняющих веществ. С учетом того, что для района лицензионной площадки и района подводного трубопровода будут подготовлены детальные крупномасштабные батиметрические карты, выбор таких точек для ПЭМ может выполняться на основе именно такого подхода, а не на основе равномерного [Патин, 2001; Программа производственного .., 2002; Иванов, 2006; The Barents Sea, 2011 и др.] или логарифмического закона [Guidelines for monitoring …, 1989] расположения станций в пространстве. Хотя в определенных ситуациях последние варианты также возможны.

(14). Для ПЭМ, как составной части экосистемного мониторинга, **перечень наблюдаемых параметров среды и биоты, источников и факторов воздействия на них** должен основываться на рекомендациях СП 47.13330.2012 [2012], С.А. Патина [2001], международных организаций [Guidelines for monitoring …, 1989], а также определяться принятой моделью воздействия проекта на окружающую природную среду и биоту в районе воздействия. В этот перечень необходимо включать мониторинг и контроль параметров 1) основных факторов внешнего (экзогенного) воздействия на биогенную и техногенную систему проекта, а также 2) источников и факторов воздействия самого проекта на ОПСБ. К первым относится гидрометеорологическая и сейсмическая обстановки, возможное воздействие всей параллельной антропогенной деятельности и других подобных

проектов в частности. Ко вторым – воздействия взвеси, гидроакустического шума, нефти и нефтепродуктов, химического загрязнения на экосистему моря при освоении месторождения.

8.8.7 Использование последних достижений науки и техники при выполнении работ в рамках экосистемного мониторинга

(15). В ходе производственного экологического мониторинга и ИЭИ, как частного случая ПЭМ, **должны широко использоваться методы непрерывного изменения (горизонтальное профилирование и вертикальное зондирование водной толщи)** *основных исследуемых параметров*, **дистанционные методы** (*спутниковые методы и измерения с самолетов-лабораторий),* что особенно важно для наиболее масштабных проектов. Сбор именно непрерывной (с малой пространственной и/или временной дискретностью) информации о среде и биоте, даже с учетом того, что такие исследования не являются регулярными, дадут, в том числе, возможность использовать ГИМС-подход (см. выше п. 2.3.7 в главе 2) к проведению экосистемного мониторинга морей и проведения ПЭМ. В любом случае, непрерывные измерения гидрологических, гидрохимических характеристик среды, которые в той или иной мере уже достаточно широко используются в исследованиях, а также гидробиологических параметров (хлорофилла фитопланктона - см. главу 3, орнитофауны – см. главу 4), наряду с непрерывными измерениями рыбных скоплений (тралово-акустические съемки) дадут значительно большее количество информации, чем измерения на отдельных станциях.

(16). Важным и перспективным является также **непрерывный биофизический мониторинг** (мониторинг окружающей среды с помощью неинвазивного контроля функционального состояния аборигенных беспозвоночных с жестким наружным покровом - компьютерный мониторинг реакции ракообразных, двустворчатых моллюсков и др. на внешние воздействия [Холодкевич, 2007; Гудимов, 2011]), позволяющий регистрировать воздействие на биоту любых химических веществ, а не только регистрируемых аппаратными гидрохимическими методами. Такой метод уже длительное время используется для контроля качества

воды, подаваемой жителям Санкт-Петербурга. Но для использования в арктических условиях требует дальнейшей разработки.

8.8.8 Объединение усилий и координация мониторинговых работ, проводимых государством и частными компаниями

(17). Должна быть постоянная координация работ при выполнении ПЭМ (включая ИЭИ) компаниями с одной стороны и ГЭМ с другой. Например, при проведении сейсмоакустических исследований (САИ) какой-либо компанией, параллельно выполняются государственные исследования по оценке воздействия гидроакустического шума на биоту и сбору информации, необходимой для разработки соответствующих нормативов. Причем это может касаться не только близкодействующего воздействия (на расстоянии до нескольких метров) пневмоисточников на планктон и бентос, но и исследования поведения рыбных скоплений и морских млекопитающих на большом удалении (до десятков километров) от района САИ.

8.8.9 Периодичность контроля корректности оценок воздействия проектов и всей антропогенной деятельности на экосистемы морей

(18). В настоящее время отсутствуют оценки длительного воздействия масштабных проектов освоения шельфовых месторождений на окружающую среду. Причем ОВОС, который готовится до начала освоения месторождения, выполняется не на реальных значениях параметров воздействия техногенной среды на экосистему моря, а основываясь на экспертных оценках такого воздействия (включая оценки для проектов-аналогов). В этой связи предлагается, чтобы **ОВОС для масштабных шельфовых проектов выполнялся раз в 5 лет**, если сам проект реализуется 10 и более лет от момента прохождения проектной документацией государственной экологической экспертизы. Компания должна представлять результаты таких исследований об ОВОС с учетом реальных параметров источников и уровней воздействия, а не экспертных оценок в период подготовки проекта к реализации. Эти отчеты должны включать оценки воздействия на

экосистему моря, в том числе на рыбные ресурсы, на хозяйственную деятельность в регионе, в частности на рыболовство, на социо-культурные и др. условия. Обязательным является также оценка воздействия на близлежащие ООПТ, даже если они не входят в районы воздействия проекта. Все это требует доработки и актуализации Положения об ОВОС [РФ. Правительство. Положение об оценке …, 2000].

(19). На основе государственных программ и планов частных компаний по освоению шельфа, материалов ОВОС отдельных проектов и исследований в рамках государственного экологического мониторинга периодически (раз в 8 – 10 лет) **по заказу государства должны выполняться разработки по стратегической экологической оценке воздействия этих программ и планов на экосистему конкретного моря**, как большой морской экосистемы (БМЭ – см. [Комплексные исследования…, 2011]). Во многом это соответствует начавшимся в России на разных уровнях разработкам комплексного морского пространственного планирования для российских морей, которое до сих пор отсутствовало в нашей стране, но давно реализовано за рубежом, например в Норвегии [Комплексное управление … , 2006; Oppdatering av forvaltningsplanen …, 2011].

8.8.10 Международное сотрудничество и обмен данными

(20). Должен быть решен **вопрос обмена данными по экологическому состоянию морей с зарубежными странами,** имеющими береговую линию с исследуемым морем. Например, для Баренцева моря – с норвежской стороной, для Берингова и Чукотского морей – с США.

8.8.11 Анализ изменений в экосистеме районов и морей в целом от воздействия проекта

(21). Таким образом, имея достаточно полную информацию о среде и биоте районов воздействия (локальных и аварийных), а также для всего моря в целом, должны выполняться в целом оценки долговременных изменений в состоянии экосистем районов воздействия. Причем, как указывал С.А. Патин, изменений в

их причинно-следственной связи с климатом и антропогенной деятельностью (см. п. 2.3.1 в главе 2). Но такое возможно только при условии достаточно полной реализации предыдущих пунктов предлагаемой концепции.

8.9 Ожидаемый социально-экономический эффект

Учитывая изложенное выше в настоящей главе, можно утверждать, что все результаты эколого-океанологических работ в шельфовых районах, проводимые государством (ГЭМ), организациями, выполняющими исследования по заказу государства (по грантам научных фондов или в рамках федеральных целевых программ), хозяйствующими субъектами (ИЭИ, ПЭМ, ПЭК), различными исследовательскими организациями, компаниями, занимающимися экологическим сопровождением проектов, все результаты таких исследований будут аккумулироваться в едином центре, типа МЦД (г. Обнинск) или даже именно в нем, как в ведущей организации по созданию ЕСИМО - межведомственной информационной системы для доступа к ресурсам морских информационных систем и комплексного информационного обеспечения морской деятельности. Причем для отдельных регионов или отдельных арктических морей могут быть созданы дублирующие региональные центры, выполняющие сбор такой информации по отдельным морским регионам и передающих их в единую информационную базу данных экологического мониторинга (ЕИБДЭМм).

В перспективе на основе такой собранной по каждому морю экологической информации должен быть сделан переход к созданию и использованию региональных и глобальных математических моделей, описывающих взаимодействие природных и антропогенных процессов [Крапивин, Потапов, 2011а; Назарян, 2011]. При этом региональные модели (для морей), если они разработаны, обязательно должны использоваться в ходе подготовки ОВОС и материалов ООС крупных проектов освоения шельфа, а глобальные модели - для мегапроектов, типа Штокмановского. Кроме того, глобальные модели системы Природа/Общество должны использоваться как инструмент экологической экспертизы крупномасштабных антропогенных проектов [Крапивин, Потапов, 2011, 2011а]. Это вполне

реально, с учетом того, что такие модели уже работают, в том числе для арктического бассейна [Крапивин, 1995; Крапивин и др. 2008; 2008a, 2008b].

Такая схема должна комплексировать подход к разработке экологической безопасности при освоении шельфа и позволит:

а) центрам единой информационной базы данных экологического мониторинга морей (ЕИБДЭМм) аккумулировать абсолютно всю (почти всю) информацию, относящуюся к экологии шельфовых морей,

б) специалистам этих центров самим или совместно с различными организациями на основе имеющейся исходной информацией и действующих математических моделей проводить исследования и давать прогнозы экологической обстановки в различных районах шельфа,

в) другим исследовательским организациям и компаниям иметь доступ к исходными данными для проведения ИЭИ, ОВОС, исследований и учебного процесса в вузах, университетах и т.д.,

г) обеспечить обмен самым передовым опытом проведения экологического мониторинга морских районов, в том числе районов освоения шельфовых месторождений углеводородов,

д) реализовать процесс, при котором пользователи данных, получающие их из единых информационных баз данных экологического мониторинга моря (ЕИБДЭМм), должны будут в обязательно порядке пополнять эту базу результатами своих исследований, полученных на такой основе; и эти результаты будут доступны для всех исследователей, а главное - разработчикам программ ИЭИ ПЭМ, других материалов эколого-океанологического сопровождения шельфовых проектов.

Все это позволит также самим хозяйствующим субъектам не тратить средства и время на повторное получение уже имеющейся информации, а собирать для ИЭИ, ПЭМ, ОВОС и материалов ООС только наиболее важную, отсутствующую в единой информационной базе данных экологического мониторинга морей (ЕИБДЭМм) информацию с учетом специфики их проекта. Таким образом, пред-

лагаемый подход в определенной степени удешевит эколого-океанологическое сопровождение проектов и государственный экологический мониторинг.

Необходимо также отметить еще один важный момент, без которого экосистемный мониторинг вряд ли может быть реализован. Это **совершенствование нормативно-правовых положений и требований в части разработки и проведения экологического мониторинга шельфа.** Учитывая существующее несоответствие законов, относящихся к экологическому мониторингу и реального положения дел (использование понятий, различие в требованиях законов и постановлений, относящихся к экологическому мониторингу…), необходимо в ближайшее время устранить это несоответствие. Необходимо принять ряд законов, в том числе закон о защите морей от нефти. Кроме того, при принятии к реализации изложенных выше положений концепции, необходимо закрепить эти положения в соответствующих нормативно-правовых документах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований сформулированы следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы, разработаны теоретико-методологические основы и практические решения по эколого-океанологическому сопровождению хозяйственного освоения континентального шельфа.

1. Сделан обзор основных источников и факторов воздействия на гидробионты при освоении месторождений углеводородов на шельфе. Показаны наиболее важные проблемы эколого-океанологического сопровождения проектов освоения морских месторождений.

2. Представлены общая схема экологического сопровождения проектов освоения месторождений на шельфе и общий подход к государственному экологическому мониторингу, обязательно включающий всесторонний анализ окружающей природной среды. Описан опыт экологического мониторинга при освоении шельфа России.

Разработана картографическая база данных Штокмановского проекта, которая может служить основой для Информационной базы экологических данных (ИБЭДп) подобных мега проектов.

3. Разработан и проверен на практике контактный флуориметрический метод непрерывного судового измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде, сформулированы основные положения методики выполнения измерений с использованием этого метода.

Для приповерхностного горизонта больших районов Баренцева и Азовского морей получены характеристики мелкомасштабной пространственной изменчивости полей хлорофилла, температуры и солености, в том числе для Баренцева моря – спектральные характеристики этих трех параметров.

Методика может быть использована для непрерывного измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в ходе инженерно-экологических изысканий и экологического мониторинга районов воздействия шельфовых проектов (произ-

водственного экологического мониторинга), для получения судовых данных, необходимых для калибровки спутниковых снимков, др. целей.

При реализации этой методики важно более точно определить границы ее применимости в части значений измеряемых концентраций хлорофилла «а» и получаемых при этом погрешностей результатов измерения.

4. Показана возможность применения метода выборочного авиаучета для оценок общей численности птиц на обширных морских акваториях. Сделаны оценки численности наиболее массовых видов морских птиц на обширных акваториях Баренцева моря, дано сравнение этих оценок с результатами учета в колониях.

В ходе вертолетных наблюдений в разные сезоны проведены учеты численности морских птиц вдоль побережий Мурмана, о-ва Колгуев и в Белом море.

Обобщены и дополнены рекомендации по мониторингу авифауны в Баренцевоморском регионе и рекомендации по совершенствованию авиаучета, а также оценке общей численности птиц над акваторией моря.

Использование авианаблюдений для исследований авифауны арктических морей требует обязательного представления погрешностей результатов наблюдений, планирования мониторинговых исследований на основе математических моделей распределения птиц над морем, активного применения фото- и видеосъемки, в том числе с беспилотных летательных аппаратов.

5. Показано, что при сейсмоакустических исследованиях на небольших глубинах необходимо учитывать не только воздействие в пределах нескольких метров от ПИ, но и интерференцию акустических волн, отраженных от поверхностей раздела (с дном и атмосферой). При глубине менее 8 – 10 м в результате интерференции вблизи дна образуется зона повышенного давления, вблизи поверхности воды существует зона ослабленного давления. Эти эффекты зависят от глубины места и глубины погружения ПИ.

Впервые для Баренцева моря получены количественные оценки зон гидроакустического воздействия крупнотоннажных судов (зона 120 дБ отн. 1 мкПа)

при различных работах по строительству и обустройству Штокмановского газоконденсатного месторождения.

Необходимы дополнительные исследования для учета возможного акустического воздействия на гидробионты (планктон, бентос, рыб, морских млекопитающих), так как пока есть только предварительные данные такого воздействия, что не позволяет корректно проводить ОВОС проектов и выполнять расчеты ущербов для компенсационных выплат. Такие исследования необходимо провести в рамках всестороннего анализа морской природной среды, как составной части государственного экологического мониторинга.

6. Научно обосновано, что при расчетах воздействия на биоту антропогенной взвеси при гидротехнических работах на шельфе необходимо учитывать и концентрацию взвеси, и время ее воздействия. Сформулированы количественные рекомендации по учету доз воздействия взвеси на планктон, что дает основу для корректного расчета ущербов биоте и всей экосистеме района при гидротехнических работах на шельфе.

Показано, что в заливах с сильными приливно-отливными течениями может отсутствовать влияния минеральной взвеси на зоопланктон при гидротехнических работах, что обусловлено комплексом различных факторов.

Учитывая необходимость проведения экологического мониторинга (производственного экологического мониторинга) в ходе проведении гидротехнических работ на шельфе, следует планировать такой мониторинг на основе результатов математического моделирования распространения взвеси. Оценки ущербов от таких работ следует корректировать, если данные мониторинга сильно расходятся с результатами моделирования.

Для учета всех действующих факторов, приводящих к гибели биоты при гидротехнических работах (в том числе загрязняющих веществ в грунте), необходимы дополнительные исследования, чтобы выявить неучтенные факторы и оценить их вклад в этот процесс.

7. Обоснована важность составления и обновления карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти, как ключевого элемента процесса планирования

операций по ликвидации разливов нефти (ЛРН) и ориентира в ходе этих операций, показывая, где находятся различные экологически чувствительные/уязвимые зоны. Использование карт позволит минимизировать ущерб при ликвидации разлива нефти и от самих операций ЛРН.

Разработана методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти, на основе которой построены сезонные карты и картосхемы уязвимости биоты и выявлены наиболее уязвимые участки акватории арктических морей.

По результатам построения картосхем получено: наиболее уязвимыми районами Баренцева моря являются прибрежные районы. Это прибрежные районы Мурмана – полоса шириной от 20 км зимой, до 35–160 км весной, 20–70 км летом и до 160 км осенью вдоль побережья Кольского п-ва. Построены разномасштабные сезонные карты уязвимости от нефти Кольского залива. Все эти картосхемы и карты следует использовать при планирования различных природоохранных мероприятий на региональном уровне и для планов ЛРН.

Необходимо обобщение российского опыта построения карт уязвимости от нефти прибрежных и морских зон, принятие единой российской методики построения таких карт и включение в нормативные российские документы положений об использовании карт уязвимости в планах и операциях по ЛРН. Предложенная методика построения карт уязвимости может служить основой при обсуждении единой российской методики, в том числе для карт уязвимости от основных антропогенных воздействий в соответствии с требованиями п. 8.1.14 СП 47.13330.2012 [2012].

8. Предложена концепция комплексного экосистемного мониторинга российских морей (в том числе – арктических) при освоении месторождений шельфа. Показана необходимость обязательного государственного экологического мониторинга морей и выполнения в его рамках всестороннего анализа морской природной среды и биоты. Должна быть координация действий государства и частных компаний при проведении экологического мониторинга шельфа, объединение и совершенствование баз экологических данных государственного и произ-

водственного экологических мониторингов, математических моделей морей и отдельных их районов, нормативных баз и баз знаний.

Необходимо разрабатывать программы производственного мониторинга не только для локального района воздействия, но и для значительно большего района возможного аварийного воздействия, что особенно важно для районов, периодически покрывающихся ледовыми полями.

Все эти положения важны для выработки государственной политики по экологическому сопровождению освоения шельфовых месторождений и для природоохранных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

А. с. 1496459 (ДСП) СССР. / В.П. Чиликин, Ю.Л. Кузнецов, В.И. Черноок, А.А. Шавыкин (СССР), 1989, Бюл. – № 27, – С. 281.

А. с. 1193544 СССР, МКИ^3 G 01 №21/64. Способ измерения концентрации хлорофилла / И.Л. Кузнецов, А.И. Лапшин, А.А. Шавыкин (СССР). – № 3732181/24–25 ; заявл. 19.03.84 ; опубл. 23.11.85, Бюл. № 43. – 4 с.

А. с. 1315877 СССР МКИ^3 G 01 № 21/64. Способ определения концентрации хлорофилла в природных водах / А.И. Лапшин, С.Б. Степин, А.А. Шавыкин (СССР). – № 3717620/28–25 ; заявл. 02.04.84 ; опубл. 07.06.87, Бюл. № 21. – 4 с.

А. с. 1352292 СССР, МКИ^3 G 01 № 1/10. Судовая система непрерывного отбора воды с приповерхностного горизонта / А.А. Шавыкин, Г.И. Шипунов, Н.Л. Селиверстов (СССР). – № 3987023/28-26 ; заявл. 10.10.85 ; опубл. 15.11.87, Бюл. – № 42. – 2 с.

А. с. 1473518 СССР, МКИ^3 G 01 № 21/64. Способ определения концентрации хлорофиллов а, в, с и их феофитинов / Э.И. Зенкевич, А.А. Шавыкин, Т.В. Зенкевич, В.М.Рыжов, Г.И. Несветова (СССР). – № 417548/28–25; заявл. 07.01.87; опубл. 24.01.90, Бюл. № 3. – 7 с.

Агеноров В.К. Об основных водных массах в гидросфере, о поверхностях и зонах, их разделяющих // Изв. АН СССР. 1944. – Т. 8, № 6. – С. 359–379.

Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 271 с.

Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. – М. : Наука, 2005. – 364 с.

Айбулатов Н.А, Артюхин Ю.В. Геология шельфа и берегов мирового океана. – Л. : Гидрометеоиздат, 1993. – 304 с.

Алексеев С.П., Добротворский А.Н., Яценко С.В., Красный М.Л., Малашенко А.Е., Храмушин В.Н. О комплексной системе обеспечений безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений Сахалина [Электронный ресурс] // Морские исследования и технологии изучения природы Мирового океана. – Владивосток: ДВО РАН. 2005. – Вып. 1. – URL: http://www.sakhgu.ru/expert/Ocean/01/02.html (Дата обращения: 12.08.2014).

Амбросимов А.К., Хохлов Г.В., Шавыкин А.А. О типах профилей плотности рыбных скоплений и пятен фитопланктона. Морской гидрофизический журнал. 1995. – № 1. С. 22–26.

Анисимова Н.А. Иглокожие (*Echinodermata*) Баренцева моря // Современный бентос Баренцева и Карского морей. – Апатиты : КНЦ РАН. 2000. – С. 228–347.

Архипова О.Е., Шавыкин А.А., Шарифуллин М.С. Опыт практической реализации картографической базы данных экосистемы Баренцева моря районов освоения и воздей-

ствия Штокмановского проекта. // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Матер. междунар. конф. Мурманск, 12-14 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2008. – С. 46–54.

Архипова О.Е., Шавыкин А.А., Шарифуллин М.С. Картографическая база данных экосистемы Баренцева моря районов освоения и воздействия Штокмановского проекта // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2009. – № 2. – С. 38–44.

Баканев С.В. Плодовитость и некоторые другие репродуктивные параметры камчатского краба в Баренцевом море // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Мурманск : Изд-во ПИНРО. 2003. – С. 78–88.

Балашканд М.И., Векилов Э.Х., Ловля С.А., Протасов В.Р., Рудаковский Л.Г. Новые источники сейсморазведки, безопасные для ихтиофауны. – М. : Наука, 1980. – 80 с.

Баринбойм Г.М. Мониторинг // Экологическая энциклопедия. В 6 томах / Редкол. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. и др,. – М. : ООО «Издательство «Энциклопедия»», 2011. – Т. 4. – С. 5.

Белонин М.Д, Прищепа О.М. Ресурсы нефти и газа Северо-Западного региона России и перспективы их освоения. – М. : ВНИГРИ, 2006.

Белопольский Л.О., Шунтов В.П. Птицы морей и океанов. – М. : Наука, 1980. – 186 с.

Белянкова Т.И., Анджикович И.Е., Шедаков Д.Н., Шавыкин А.А., Калинчук В.В. К расчету амплитуды первой волны давления морских пневмоизлучателей сейсмических сигналов // Вестник Южного научного центра РАН. 2007. – Т.3, № 2. – С. 3–11.

Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М. : Изд-во «Мир», 1989. – 540 с.

Бенилов А.Ю., Лозовацкий И.Д. Об инерционном интервале в спектрах турбулентности в стратифицированной жидкости (модель Гейзенберга-Монина) // Исследование изменчивости гидрофизических полей в океане. – М. : 1974. – С. 83–91.

Бердников С.В., Шавыкин А.А. Оценка возможного ущерба рыбным запасам при воздействии групповых пневмоисточников // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. – Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН. 2009. – С. 76–81.

Бердников С.В., Шавыкин А.А., Калинчук В.В., Белянкова Т.И. Оценка воздействия групповых пневмоисточников на гидробионты при проведении сейсморазведочных исследований на шельфе // Нефть и газ арктического шельфа – 2006: Матер. междунар. конф. Мурманск, 15-17 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2006. – С. 51–60.

Бианки В.В. Птицы Белого моря (Современное состояние, сезонное размещение и биология): Дис. докт. биол. наук (в форме науч. докл). СПб., 1993. – 49 с.

Биологический атлас морей Арктики 2000: планктон Баренцева и Карского морей / Г. Матишов, П. Макаревич, С. Тимофеев и др. – Мурманск, Вашингтон : Silver Spring, 2000. – 348 с.

Блиновская Я.Ю. Оценка чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью // Экология и безопасность жизнедеятельности: Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. – Пенза. 2002. – С. 208–210.

Блиновская Я.Ю. Принципы создания информационной системы «Карты чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью» // Вестник Дальневосточного отделения российской академии наук. 2004. – № 4. – С. 63–73.

Блиновская Я. Ю. Индексация побережий по степени их чувствительности к загрязнению нефтью // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток: Дальнаука, 2004a. – С. 90–96.

Блиновская Я.Ю. Карты чувствительности к нефтяному загрязнению береговой зоны Охотского моря // Геодезия и картография. 2005. – № 4. – С. 49–53.

Блиновская Я.Ю. Информационная поддержка принятия решений при аварийных разливах нефти // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005a. – № 12. – С. 15–18.

Блиновская Я.Ю. Оценка чувствительности береговой зоны Южного Приморья к нефтяному загрязнению // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005b. – № 12. – С. 19–20.

Блиновская Я.Ю. Карты чувствительности прибрежно-морской зоны северо-восточного Сахалина к загрязнению нефтью // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Вып. 2. – С. 101–109.

Блиновская Я.Ю. Методы комплексной оценки экологической чувствительности прибрежно-морских зон к нефтяному загрязнению (на примере юга Дальнего Востока) : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 03.00.08 / Блиновская Янна Юрьевна. – М., 2010. – 44 с.

Блиновская Я.Ю., Монинец С.Ю., Хованец В.А. Информационная система «Карты чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью» // ArcReview. 2003. – № 4 (27). – С. 18–19.

Богданов Ю.А., Лисицын А.П. Взвеси и коллоиды // Химия океана. Т.1. Химия вод океана. – М. : Наука, 1979. – С. 325–336.

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Поиск, разведка и освоение месторождений нефти и газа на шельфе Арктики [Электронный ресурс] // Бурение и нефть. 2011. – № 7-8. – URL: http://burneft.ru/archive/issues/2011-07-08/7 (Дата обращения: 12.05.2012).

Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2006. – 292 с.

Болч Б., Хуань К.Дж. Многомерные статистические методы для экономики / Пер. с англ. – М. : Статистика, 1979. – 317 с.

Большой новейший справочник необходимых знаний. – М. : РИПОЛклассик, 2005. – 1088 с.

Борисов В.М., Осетрова Н.В., Пономаренко В.П., Семенов В.Н., Сочнев О.Я. Влияние разработки морских месторождений нефти и газа на биоресурсы Баренцева моря. Методические рекомендации по оценке ущерба рыбному хозяйству. – М. : «Экономика и информатика», 2001. – 272 с.

Борисов Е.В., Гончарова А.А. Кравчук М.А., Лебедева И.М. Методы оперативного расчета рассеяния взвешенных материалов при дампинге грунта в море. // В сб. Итоги исследования в связи со сбросом отходов в море. – М. : Московское отд. Гидрометеоиздата. 1988. – С. 63–72.

Боркин И.В., Черноок В.И., Пономарев Я.И., Богомолов В.Ю., Гаврило М.В., Результаты авиасъемки морских птиц Баренцева моря // Исследование взаимоотношений популяций рыб в Баренцевом море. Матер. 6-го советско-норвежского симп. Мурманск, 12-16 августа 1991. г. Мурманск. 1992. – С. 205–216.

Булатов Р.П., Панфилова С.Г. Межгодовая изменчивость естественных гидрологических сезонов в энергоактивной зоне Гольфстрима // Метеорология и гидрология. 1995. – № 1. – С. 43–49.

Бульон Ю.А. Активность микрофлоры в прибрежных водах Земли Франца-Иосифа // Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. – М. 1985. – С. 101–108.

Бункин Ф.В., Власов Д.В., Герасименко Л.М., Слободян В.П. Исследование температурной зависимости спектра люминесценции фитопланктона in vivo // Докл. АН СССР. 1984. – Т. 278, № 6. – С. 1354-1358.

Ващенко П.С. Изучение влияние засыпки грунтом на выживаемость зообентосных организмов Кольского залива // Матер. XXVIII конф. мол. уч. Мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2010). – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2010. – С. 20–23.

Веденев А.И. Контроль критической дозы шума в районе нагула Охотоморской популяции серых китов (Eschrichtius robustus) как защитная мера от акустического воздействия на млекопитающих при строительстве морских нефтепромыслов // Тр. IV междунар. конф. «Морские млекопитающие Голарктики». – СПб., 2006. – С. 124–128.

Веденев А.И. Контроль шума при строительстве нефтепромысла в районе нагула серых китов (Eschrichtius robustus) на о. Сахалин с использованием автономных гидроакустических буев со спутниковой телеметрией // Тр. V междунар. конф. «Морские млекопитающие Голарктики». – Одесса. 2008. – С. 567–572.

Веденев А.И. Критерии и результаты акустического мониторинга района кормления серых китов вблизи строительства трассы нефтепровода на шельфе о. Сахалин // Акустика океана. – М. : ГЕОС. 2009. – С. 228–233.

Веденев А.И. О влиянии прибрежной сейсморазведки на нерестовые и покатные миграции лосося на острове Сахалин // Рыболовство в условиях освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа . Тез. докл. междунар. конф. 28-30 октября 2009 ПИНРО. Мурманск. 2009а.

Веденев А.И., Авилов К.В., Шавыкин А.А. Оценка шумов рыболовства и зон акустического воздействия на морских млекопитающих при строительстве объектов нефтега-зового комплекса в Баренцевом море [Электронный ресурс] // Морские млекопитающие Голарктики 2012. : Сб. науч. тр. Т. 1. : По матер. VII междунар. конф. Суздаль 24-28 Сентября 2012 г. – М. – С. 144–149.

Векилов Э.Х., Полонский Ю.В. Влияние сейсморазведки на биоту // Матер. междунар. сем. «Охрана морских биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе Российской Федерации и внутренних водных объектах». – М. : Изд-во «Экономика и информатика». 2000. – С. 21–25.

Векилов Э.Х., Пименов В.Д., Арабкина Н.М. Влияние новых невзрывных способов сейсморазведки на ихтиофауну // Рыбное хозяйство. 1971. – № 8. – С. 22–25.

Векилов Э.Х., Криксунов Е.А., Полонский Ю.В. Влияние на гидробионты упругих волн от сейсмоисточников для морской геофизической разведки (Информационно-справочное пособие). – М. : Госкомрыболовство РФ, ЗАО «Морнефть», МГУ, 1995. – 64 с.

Влияние дноуглубления и отвала грунта на гидробиоценозы Балтийского моря. – Рига: Зинатне, 1982. – 144 с.

Воздействие тралового промысла на донные экосистемы Баренцева моря и возможности снижения уровня негативных последствий [Электронный ресурс]. – Мурманск : WWF, 2013. – 52 с. – URL: http://www.wwf.ru/resources/publ/book/868 (Дата обращения: 15.09.2014).

Воробъев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупредение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М. : Ин-октаво, 2005. – 368 с.

ВРД 39–1.13-081–2003. Система производственного экологического мониторинга на объектах газовой промышленности [Электронный ресурс] : [Ведомственный руководящий документ ОАО «Газпром» (Введен в действие с 20.09.2003)]. Правила проектирования. – 44 с. – URL: http://www.tehlit.ru/e_rd_gazprom.htm (Дата обращения 12.06.2012).

Временные методические рекомендации по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов загрязняющих веществ для морских вод. – М. : Изд-во ВНИРО, 1999. – 47 с.

Вязилов Е.Д. Информационные ресурсы о состоянии природной среды. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 312 с.

Гаврилевский А.В. Экологический мониторинг при реализации сахалинских проектов: проблемы, результаты, перспективы // Сб. статей РЭА. 2009. – № 1, – С. 78–83.

Гаврило М.В. Белая чайка *Pagophila eburnea (Phipps, 1774)* в Российской Арктике дис. … канд. биол. наук : 03.02.04 / Гаврило Мария Владиславовна. – СПб., 2011. – 259 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Баренцево море / Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф. С. Терзиева и др. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – Т.1, Вып. 1. – 280 с.

Гирдюк Г.В. Оценка межсуточной изменчивости гидрометеорологических элементов и составляющих теплового баланса поверхности Баренцева моря // Тр. ААНИИ. 1992. – Т. 426. – С. 89–108.

Глухарева Е.К. Перспективы добычи и транспортировки нефтегазовых ресурсов запада российской Арктики [Электронный ресурс] // Проблемы прогнозирования. 2011. – № 5, – С. 65–75. – URL: http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=2011/5/05 (Дата обращения: 19.05.2012).

Говорушко С.М. Экологическое сопровождение хозяйственной деятельности. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 271 с.

Гольд В.М., Гаевский Н.А., Шатров И.Ю., Попельницкий В.А., Рыбцов С.А. Опыт исследования флуоресценции для дифференциальной оценки содержания хлорофилла а у планктонных водорослей // Гидробиологич. журн. 1986. – №. 22, № 3. – С. 80–85.

Гончаров А.А., Кравчук М.А. Цвецинский А.С. Оперативный метод расчета распространения взвеси в районе дампинга грунтов в приливном море // Тр. ГОИН. Исследование процессов при сбросе отходов в море. – М. : Гидрометеоиздат. 1985. – Вып. 174. – С. 98–107.

ГОСТ 17.1.04.02–90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». – Введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.

ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. – Введ. 2002–01–08. – М. : Госстандарт России, 2002. – 12 с.

ГОСТ Р 53241-2008. Геологоразведка морская. Требования к охране морской среды при разведке и освоении нефтегазовых месторождений континентального шельфа, территориального моря и прибрежной зоны. – Введ. 2010–01–01. – М. : Стандартинформ, 2009. – 15 с.

Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л., 1990. – 288 с.

Гудимов А.В. Сравнительные исследования экологии и функциональной активности морских организмов разных экосистем (на примере мидий Черного и Баренцева морей) // Комплексные исследования больших морских экосистем России. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2011. – С. 428–464.

Гусейнов Ч.С., Иванец В.К., Иванец Д.В. Обустройство морских нефтегазовых месторождений. – М., 2003. – 608 с.

Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Рейф И.Е. Перед главным вызовом цивилизации: Взгляд из России. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 224 с.

Дедков Н.П., Морозов Н.Н., Путинцев Н.М., Подобед В.А. Инновационные технологии по ликвидации морских аварийных разливов при транспортировке нефти судами // Вестник МГТУ. 2012. – Т. 15, № 3. – С. 575-579.

Демонстрационные и пилотные проекты. [Электронный ресурс]. – М. : Научный мир, 2011. – 112 с. – URL: archive.iwlearn.net/npa-arctic.ru/publications/demos_all.pdf (Дата обращения 13.07.2013).

Денисенко С.Г. Зообентос Баренцева моря в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. – Владивосток: Дальнаука. 2007. – С. 418–511.

Денисов В.В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2002. – 502 с.

Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 1. – М. : Изд-во «Мир», 1971. – 320 с.

Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 2– М. : Изд-во «Мир», 1972. – 288 с.

Дженюк С.Л. Информационное обеспечение и интерпретация данных в системах комплексного экологического мониторинга // Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. Тарасов Г.А., Хасанкаев В.Б. Проблемы и методы экологического мониторинга морей и прибрежных зон Западной Арктики. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2001. – С. 52–265.

Дженюк С.Л. Методология информационного обеспечения мониторинга окружающей среды : автореф. дис. … д-ра геогр. наук : 21.08.2002 / Дженюк Сергей Львович. – СПб. : РГГМИ, 2002. – 40 с.

Дженюк С.Л. Комплексное применение океанологической информации для изучения и использования ресурсов прибрежья // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан»). – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2004. – Вып. 1. – С. 55–63.

Дженюк С.Л. Экологический мониторинг как информационная технология // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. – М. : Наука, 2005. – С. 108–118.

Дженюк С.Л. К оценке океанологической изученности Баренцева и Белого морей // Вестник МГТУ. 2012. – Т. 15, № 4. – С. 739–748.

Дмитриев В.В., Жиров А.И., Ласточкин А.Н. Прикладная экология : учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 608 с.

Дроздов О.А. Унифицированная формула гидродинамической крупности наносов // Исследование влияния гидрометеорологических факторов на строительство и эксплуатацию водных путей и портов. – М. : В/О Мортехинформреклама. 1987. – С. 37–38.

Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане [Электронный ресурс] // Федеральная целевая программа «Мировой океан». Подпрограмма 10. – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева. – URL: http://esimo.pacificinfo.ru/res/ (Дата обращения 11.08.2014).

Жигульский В.А., Щащаев Ю.А., Шавыкин А.А., Карамушко О.В. Оценка ущербу животного миру на примере проекта транспортировки газа от Штокмановского месторождения до завода СПГ в губе Ура // RAO-05: Тр. 7-й междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа СНГ (г. Санкт-Петербург, 13-15 сентября 2005). – СПб., 2005. – С. 468–473.

Жизнь и условия ее существования в бентали Баренцева моря. – Апатиты : Изд-во КФ АН СССР, 1985. – 216 с.

Зайцев В.М., Клеванный К.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б. Оценка экологического состояния районов подводных отвалов грунта в Невской губе // Гидротехника. 2010. – № (2) 10. – С. 61–63.

Закс Л., Статистическое оценивание. – М. : Статистика, 1976. – 736 с.

Иванов Г.И. Геоэкология Западно-Арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. – СПб. : Наука, 2006. – 303 с.

Иванова Ю.В. Обеспечение экологической безопасности при проведении работ на континентальном шельфе в Российской Федерации: правовой аспект. [Электронный ресурс] // Академический вестник №1(15) – серия «Право». Тюмень: «Тюменская госуд. академия мир. экономики, управления и права» («ТГАМЭУП»), 2011. – С. 71–75. – URL: http://shkoleniy.ru/docs/470/index-795009.html?page=16#159770 (Дата обращения: 07.12.07.2013).

Измайлов В.В. Трансформация нефтяных пленок в системе океан-лед-атмосфера. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. –145 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л. : Гидрометеоиздат, 1979. – 375 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М. : Гидрометеоиздат, 1984. – 560 с.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Об ассимиляционной емкости Мирового океана // ДАН СССР, 1983. – Т. 272, № 3. – С. 702–704.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Экология и проблемы комплексного глобального мониторинга Мирового океана // Метеорология и гидрология. 1984. – № 8. – С. 18–33.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. – Л. : Гидрометеоиздат, 1989. – 527 с.

Изучение влияния новых источников сейсмических колебаний на ихтиофауну в условиях Арктики. / Рук. работ В.К. Утнасин. – Мурманск: НИИМОРГЕОФИЗИКИ, 1990. – 90 с.

Иллюстрированный атлас беспозвоночных Белого моря / Под общ. ред. Н.Н. Морфенина. – М. : Т-во научных изданий КМК, 2006. – 312 с.

Ильин Г.В. Гидрохимическая структура вод полярной фронтальной зоны Баренцева моря // Жизнь и среда полярных морей. – Л. : Наука, 1989. – С. 36–41.

Ильин Г.В. Физическая устойчивость вод и весеннее цветение фитопланктона в прибрежье Восточного Мурмана // Продукционно-деструкционные процессы в пелагиали прибрежья Баренцева моря. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1991. – С. 16–20.

Информационный бюллетень № 7. Состояние геологической среды континентального шельфа Баренцева, Белого и Балтийского морей. ФГУНПП «Севморгео». – СПб. : Севморгео, 2005. – 48 с.

Информационный бюллетень № 8. Состояние геологической среды континентального шельфа Баренцева, Белого и Балтийского морей. ФГУНПП «Севморгео». – СПб : Севморгео, 2006. – 48 с.

Информационный бюллетень № 9. Состояние геологической среды континентального шельфа Баренцева, Белого и Балтийского морей. ФГУНПП «Севморгео». – СПб. : Севморгео, 2007. – 55 с.

Информационный бюллетень № 10. Состояние геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей. ФГУНПП «Севморгео». – СПб : Севморгео, 2008. – 50 с.

Иохансон Э., Боемер В. Проверка расчетных методик оценки распространения грунта, удаляемого в открытую воду // Технология гидромеханизированных земляных работ. Матер. I междунар. симп. – М. : Транспорт. 1980. – С. 270–282.

Исаков Ю.А. Учет и картирование численности водоплавающих птиц // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М. : Наука, 1952. – С. 280–293.

Исправников В.О., Куценко В.В., Уриновский Е.И. Проблемы обеспечения экологической безопасности при освоении нефтегазовых месторождений Баренцева моря

[Электронный ресурс] / Материал к заседанию «Круглого стола» «Экологически безопасные технические и технологические решения при освоении нефтяных и газовых месторождений в Баренцевом море». Совет Федерации ФС РФ, г. Москва, 17.02.2010. – URL: www.ecoex.ru/downloads/Barents_sea.doc (Дата обращения: 12.07.2013).

Исследование пространственно-временных характеристик полей давления, создаваемых пневмоисточниками, их воздействие на морские организмы (для разработки экологических нормативов при проведении морской сейсморазведки). Отчет о НИР / Рук. работ В.В. Емельяненко. Комплекс «Энергия». – Харьков : Харьковская комплексная опытно-экспериментальная база «Энергия», 1991. – 42 с.

Казанин Г.С., Васильев А.И., Федухин Н.В., Федухина Т.Я., Кириллова-Покровская Т.А. Глубинное строение и нефтегазоносность Восточно-Баренцевского бассейна // Разведка и охрана недр. 2007. – № 9. – С. 19–22.

Калинка О.П., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Оценка чувствительности берегов Кольского залива к нефтяному загрязнению // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Матер. междунар. конф. Мурманск, 12-14 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2008. – С. 168–173.

Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометиздат, 1982. – 263 с.

Карабашев Г.С. Флюоресценция в океане – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. – 200 с.

Карабашев Г.С., Зангалис К.П. К методике флуоресцентного определения хлорофилла in vivo // Океанология. 1971. – Т. 11, № 4. – С. 735–738.

Карабашев Г.С., Соловьев А.Н. Суточный ритм флуоресценции хлорофилла фитопланктона в деятельном слое океана // Океанология. 1976. – Т. 16, вып. 2. – С. 316-323.

Карамушко О.В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии. 2008. – Т. 48, № 3. – С. 293–308.

Карлин Л.Н., Клюйков Е.Ю., Кутько В.П., Стасенко В.Н. Изменчивость термохалинной структуры верхних слоев океана. Обнинск, 1984. – 186 с.

Кириллов В.В. Деятельность Росприроднадзора в области охраны окружающей среды: экологические проблемы нефтегазодобывающей промышленности. Доклад руководителя Росприроднадзора РФ Кириллова В.В. на 16-ой междунар. конф. «Нефть и газ Сахалина – 2012» 26.09.2012 – URL: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/documents/doklady/sahalin_prezentaciya.ppt (Дата обращения: 15.08.2014).

Кищинский А.А. Учеты птиц с самолета // Тр. Окского заповедника. Рязань: Московский рабочий. 1973. – Вып. 9. – С. 196–235.

Клеванный К.А., Шавыкин А.А. Расчет распространения взвеси при укладке подводных трубопроводов Штокмановского проекта //Сб. аннотаций докл. 8-й междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континен-

тального шельфа стран СНГ (RAO / CIS Offshore 2007). 11–13 сентября 2007 года, Санкт-Петербург. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2007. – С. 71.

Клеванный К.А., Шавыкин А.А. Расчет распространения взвеси при укладке подводных трубопроводов Штокмановского проекта [Электронный ресурс] // Матер. VII-й междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO / CIS Offshore 2007). 11–13 сентября 2007 года, Санкт-Петербург. – СПб. 2007a. – № 229. – 13 с.

Клеванный К.А., Шавыкин А.А. Моделирование распространения и осаждения взвешенных веществ в при укладке подводного газопровода Штокмановского месторождения в Баренцевом море // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. – № 6. – С. 20–28.

Клеванный К.А., Шавыкин А.А. Моделирование распространения и осаждения взвешенных веществ при укладке подводного газопровода // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. Ростов н/Д : Изд-во. ЮНЦ РАН, 2009. – С. 209–222.

Клеванный К.А., Смирнова Е.В., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Распространение взвеси и ее воздействие на биоту при дноуглублении в Кольском заливе (Баренцево море). 1. Исходные данные и используемые модели // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. – № 3. – С. 18–24.

Клеванный К.А., Смирнова Е.В., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Распространение взвеси и ее воздействие на биоту при дноуглублении в Кольском заливе (Баренцево море). 2. Результаты моделирования в районе дноуглубления // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013a. – № 3. – С. 24–31.

Клеванный К.А., Смирнова Е.В., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Распространение взвеси и ее воздействие на биоту при дноуглублении в Кольском заливе (Баренцево море). 3. Результаты моделирования при дампинге // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013b. – № 3. – С. 31–39.

Кобленц-Мишке О.И. Фотосинтетическая первичная продукция // Биологические ресурсы океана. – М. 1985. С. 48–62.

Кольские карты 2006-2012. Обзорная карта Баренцева и Карского морей (© АМНГР, 2006). – URL: http://www.kolamap.ru/arh/shtokman.html (Дата обращения: 28.05.2012).

Комплексное управление морской средой Баренцева моря и морских районов, прилегающих к Лофотенским островам (план управления). [Электронный ресурс] Доклад правительства Стортингу № 8. 2005-2006. – Осло (Норвегия), 2006. – 178 с. – URL: http://www.regjeringen.no/upload/MD/Vedlegg/Svalbard%20og%20polaromraadene/Forvaltningsplan%20Barentshavet/Stm0080506-russisk-TS.pdf (Дата обращения: 08.08.2014).

Комплексные исследования больших морских экосистем России. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2011. – 516 с.

Коновалова Т.В., Белан Т.А., Христофорова Н.К. Количественные изменения бентоса на начальном этапе освоения Пильтун-Астохского нефтегазового месторождения (северо-восточный шельф Сахалина) [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Исследовано в России» – С. 1396–1406. – URL: http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/116.pdf (Дата обращения: 01.02.2010).

Короткевич О.Е., Барышева Л.Ф., Шавыкин А.А., Старун С.С., Черноок В.И. Исследование распределения хлорофилла в Онежском озере с помощью безэкстрактной флуоресцентной методики // Комплексный дистанционный мониторинг озер: Сб. науч. тр. – Л. : Наука, 1987. – С. 123–128.

Кошелева В.В., Мигаловский С.В., Касаткина В.Н., Мигаловская В.Н. Влияние новых источников сейсмических колебаний на гидробионтов Баренцева моря // Антропогенное воздействие на экосистемы рыбохозяйственных водоемов Севера: Сб. науч. тр. – Мурманск : ПИНРО. 1991. – С. 67–84.

Крапивин В.Ф. Имитационная модель для изучения динамики загрязнений в арктическом бассейне // Океанология. 1995. – Т. 35, № 3. – С. 366–375.

Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика. – СПб. : Изд-во С-Пб гос. ун-та, 2002. – 724 с.

Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Экоинформатика и экологическая экспертиза // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. ВИНИТИ. 2011. – Вып. 2. – С. 2–17.

Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Глобальная модель системы природа / общество как инструмент экологической экспертизы крупномасштабных антропогенных проектов // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. ВИНИТИ. 2011a. – Вып. 3. – С. 2–15.

Крапивин В.Ф., Назарян Н.А., Потапов И.И., Сунь И. Адаптивная система принятия решения в экологическом эксперименте // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. – ВИНИТИ РАН. 1997. – № 8. – С. 16–29.

Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю., Старцев А.А. Имитационная модель динамики загрязнителей в арктическом бассейне // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2008. – № 11. – С. 57–68.

Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю., Старцев А.А. Имитационные модели по оценке распространения загрязнителей в арктическом бассейне // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2008a. – №. 11. – С. 68–76.

Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. Мониторинг морских акваторий в зоне Штокмановского газо-конденсатного месторождения // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2008b. – №. 12. – С. 51–64.

Краснов Ю.В., Барретт Р.Т., Мониторинг морских птиц в Баренцевом море. Программное предложение // Русс. Орнитол. журн. Экспресс-выпуск. – СПб. – 2000. – № 113. – С. 3–22.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Современное распределение морских колониальных птиц на акватории Баренцева моря // Экосистема пелагиали морей Западной Арктики. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1996. – С. 101–113.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Экология и морфология морских и серебристых чаек Баренцева моря // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН. 1998. – С. 260–325.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Итоги комплексного изучения биологии моевки в Баренцевом море // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН. 1998а. – С. 180–260.

Краснов Ю.В., Черноок В.И. Морские птицы как индикатор биологически продуктивных зон при проведении осенней авиасъемки в открытых районах Баренцева моря // Инструментальные методы рыбохозяйственных исследований. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 1996. – С. 95–106.

Краснов Ю.В., Черноок В.И. Опыт использования тяжелых самолетов (летающих лабораторий) при учете мосрких птиц в открытых районах арктических морей //Рус. орнитол. журн. Экспресс-выпуск. – СПб. – 1999. – Т. 67. – С.18-23.

Краснов Ю.В., Шавыкин А.А. Практика мониторинга морских птиц в Баренцевом море. Проблемы и перспективы // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. – М. : Наука, 2005. – С.141–156.

Краснов Ю.В., Матишов Г.Г., Галактионов К.В., Савинова Т.Н. Морские колониальные птицы Мурмана. – СПб. : Наука, 1995. – 234 с.

Краснов Ю.В., Горяев Ю.И., Шавыкин А.А., Николаева Н.Г., Гаврило М.В., Черноок В.И. Атлас птиц Печорского моря: распределение, численность, динамика, проблемы охраны. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2002. – 164 с.

Краснов Ю.В., Спиридонов В.А., Шавыкин А.А., Николаева Н.Г. Предварительная оценка потенциальных угроз морским птицам Баренцева моря при разработке Штокмановского ГКМ // Нефть и газ арктического шельфа – 2004: Матер. междунар. конф. Мурманск, 17-19 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2004. – С. 138–147.

Краснов Ю.В., Стрём Х., Гаврило М.В., Шавыкин А.А. Зимовка морских птиц в полыньях у Терского берега Белого моря и на Восточном Мурмане // Орнитология. М. : Изд-во МГУ. 2004а. – Вып. 31. – С. 51–57.

Краснов Ю.В., Черноок В.И., Гаврило М.В., Шавыкин А.А., Терещенко В.А. Использование самолетов-лабораторий для мониторинга морских птиц и млекопитающих на акваториях арктических морей // Зоологический журнал. 2004b. – Т. 83, № 3. – С. 330–341.

Краснов Ю.В., Шавыкин А.А., Духно Г.Н., Николаева Н.Г. Практика и перспективы оценки воздействия на авифауну эксплуатации морских месторождений // Нефть и газ арктического шельфа – 2004: Матер. междунар. конф. Мурманск, 17-19 ноября. Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2004с. – С. 148–155.

Краснов Ю.В., Шавыкин А.А., Спиридонов В.А., Николаева Н.Г. Проблемы охраны морских птиц в условиях освоения углеводородных месторождений на шельфе арктических морей // RAO-2005: Тр. 7-й междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа российской Арктики и континентального шельфа СНГ (г. Санкт-Петербург, 13-15 сентября 2005). – СПб., 2005. – С. 513–518.

Краснов Ю.В., Стрем Х., Гаврило М.В., Шавыкин А.А. Численность и распределение птиц на прибрежных акваториях Кольского полуострова по данным авианаблюдений в позднелетний период 2003 года // Орнитология. М. : Изд-во Московского университета. 2006. – Вып. 33. – С. 125–137.

Краснов Ю.В., Гаврило М.В., Стём Х., Шавыкин А.А. О позднелетнем распределении птиц на острове Колгуев и в его прибрежных акваториях // Орнитология. 2008. – Т.35. – С. 83–96.

Краснов Ю.В., Гаврило М.В., Шавыкин А.А., Ващенко П.С. Половозрастная структура эндемичной беломорской популяции обыкновенной гаги *Somateria mollissima.* // Докл. РАН. 2010. – Т. 435, № 4. – С. 568–570.

Краснопевцев А.Ю., Федоров К.Н. Характеристика неоднородностей горизонтального распределения температуры и солености в поверхностном слое океана // Океанологические исследования. 1979. – № 30. – С. 82-85.

Краснопевцев А.Ю., Виноградова К.Г., Кузьмина Н.П. О пространственной изменчивости поля температуры в поверхностном слое океана (обзор) // Мезомасштабная изменчивость поля температуры в океане. – М. : 1977. – С. 6–32.

Красный М.Л., Храмушин В.Н. Единая система государственного мониторинга сахалинского шельфа как важнейший элемент обустройства морских акваторий. 2001.– [Электронный ресурс] Официальный сайт Сахалинского государственного университета. – Владивосток : ДВО РАН. – URL: www.sakhgu.ru/expert/Geography/2001/04/Index.html (Дата обращения: 15.08.2014).

Красный М.Л., Храмушин В.Н., Шустин В.А., Воловский В.В., Громов А.Б., Золотухин Е.Г., Пищальник В.М. Пути создания системы мониторинга шельфа Сахалинской области. – Южно-Сахалинск : Сахалинское книжное издательство, 1998. – 208 с.

Кремзер У., Озмидов Р. Турбулентность, диффузия примеси и микроструктура полей Балтийского моря // Исследования по динамике вод Балтийского моря. – М., 1977. – С. 152–197.

Кривонос Е.В. Нормативное обеспечение работ на шельфе // Экология производства. 2010. – № 12. – С. 29–32.

Кришнапан Б. Распространение грунта, удаляемого в виде компактной массы в глубокую воду // Технология гидромеханизированных земляных работ. Матер. I междунар. симп. – М. : Транспорт. 1980. – С. 251–269.

Кудерский Л.А., Лаврентьева Г.М. Оценка ущерба рыбохозяйственным водоемам от свалки грунтовых масс (применительно к восточной части Финского залива). – СПб. : ГОСНИОРХ, 1996. – 53 с.

Кузнецов В.В. Биология массовых и наиболее обычных видов ракообразных Баренцева и Белого морей. – М.–Л. : Наука, 1964. – 242 с.

Кузьмин И.Ф., Хахин Г.В., Челинцев Н.Г. Авиация в охотничьем хозяйстве. М. : Лесная промышленность, 1984. – 128 с.

Курапов А.А. Охрана природной среды при освоении нефтегазовых месторождений Северного Каспия : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.00.16 / Курапов Алексей Александрович. – Махачкала, 2006. – 40 с.

Курапов А.А., Кармюк М.И., Катунин Д.Н., Монахов С.К. Эколого-рыбохозяйственное районирование и охрана биологических ресурсов Северного Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005. – № 7. – С. 81–88.

Лапшин А.И., Трохан А.М., Шавыкин А.А. Измерения хемилюминесценции in situ в Баренцевом море // Докл. АН СССР. 1985. – Т. 281, № 1. – С. 154–157.

Ласточкин А.Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле (Геотопология, структурная география и общая теория геосистем). – СПб. : Изд-во НИИХ СПбГУ, 2002. – 762 с.

Ласточкин А.Н. Общая теория геосистем. – СПб. : Изд-во «Лема», 2011. – 980 с.

Левашов Д.Е. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований. – М. : Изд-во ВНИРО, 2010. – 400 с.

Лесенков С.В. Мезомасштабная и синоптическая изменчивость течений в проливе Дрейка по данным натурных наблюдений // Исследование течений океан. – М. 1985. – С. 5–16.

Лещинский В.Б., Михеев А.А., Сергеев Д.О., Сергеев О.Н., Старцев Ю.П., Явелов А.В. Разработка и апробация методики экологического сопровождения строительства магистральных газопроводов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. – № 3. – 264–273 с.

Лила А.Н. Об аппаратной функции проточных океанологических приборов // Океанология. – 1984.– Т. 24, Вып. 6. – С. 1027–1030.

Лила А.Н., Ханаев С.А. Двухканальный проточный флуориметр ДПФ-81 для морских исследований // Океанология. 1983. – Т.23, Вып. 5. – С. 897–899.

Лобковский Л.И., Ковачев С.А. Технология комплексного мониторинга акваторий в условиях освоения нефтегазовых месторождений // Инновационные технологии в исследовании окружающей среды. «RE: 2013 – Research Environments 2013» : Тр. междунар. симп. Ларнака. Кипр. 13-17 мая 2013 г. – М., Ларнака, Кипр : МФТИ, 2013. – С. 24–34.

Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазовых акваторий. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. – М. : Наука, 2005. – 326 с.

Лобковский Л., Зацепин А., Ковачев С., Копелевич О., Островский А., Флинт М., Монахов С. Технология многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Neftegaz.ru» – 31 августа 2007 г. – URL: http://neftegaz.ru/science/view/181 (Дата обращения 05.08.2014).

Лосев К.С., Потапов И.И., Чеснокова И.В., Т.П. Докукина Социально экономические тупики современной экономики // Экономика природопользования. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2008. – №. 4. – С. 3–7.

Лосев К.С., Потапов И.И., Чеснокова И.В. Рыночная экономика - механизм разрушения биосферы и человека // Экономика природопользования. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2009. – №. 2. – С. 3–11.

Макаревич П.Р., Дружкова Е.И. Функционирование пелагических и криопелагических экосистем в покрытых льдом участках Баренцева и Карского морей // Биология и океанография Северного морского пути. Баренцево и Карское моря. – М. : Наука, 2007. – С. 50–64.

Макаревич П.Р., Шавыкин А.А. Экологическое сопровождение проектов разработки и эксплуатации шельфовых месторождений нефти и газа (Опыт ММБИ КНЦ РАН) // Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты): Матер. междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 9-11 июня 2008 г.). – Ростов н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – С .161–163

Максимова О.Б. Влияние повышенной мутности воды на структурно-функциональные характеристики фитопланктона Сб. науч. тр. ФГНУ ГосНИОРХ. 2006. – Вып. 331. – С. 86–121.

Малинин В.Н., Гордеева С.М. Физико-статистический метод прогноза океанографических характеристик (на примере Северо-Европейского бассейна). – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2003. – 164 с.

Мансуров М.Н. Концепции обустройства месторождений арктического шельфа [Электронный ресурс] // Электронный журнал «ROSTEC – Российские нефтегазовые технологии». 2013. – URL: http://www.rogtecmagazine.com/ru-blog/концепции-обустройства-месторождени (Дата обращения: 02.04.2014).

Мансуров М.Н., Сурков Г.А., Журавель В.И., Маричев А.В. Ликвидация аварийных разливов нефти в ледовых морях / Под общ. ред. М.Н. Мансурова. – М. : ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – 424 с.

Марпл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Изд-во «Мир», 1990. – 584 с.

Матишов Г.Г. Общие причины кризисных явлений в экосистемах морей Северной Европы // Экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. – Апатиты : Изд-во КФ АН СССР, 1991. – С. 8–30.

Матишов Д.Г., Ильин Г.В. Исследование закономерностей распространения загрязняющих веществ в элементах морских экосистем (на примере Баренцева и Азовского морей) // Фундаментальные исследования океанов и морей. Кн. 2. – М. : Наука, 2006. – С. 476–491.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л., Тарасов Г.Л., Хасанкаев В.Б. Проблемы и методы экологического мониторинга морей и прибрежных зон Западной Арктики. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2001. – 278 с.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. Комплексный мониторинг морских акваторий и прибрежных зон // Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. Тарасов Г.А., Хасанкаев В.Б. Проблемы и методы экологического мониторинга морей и прибрежных зон Западной Арктики. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2001a. – С. 8–26.

Матишов Г.Г., Никитин Б.А., Сочнев О.Я. Экологическая безопасность и мониторинг при освоении месторождений углеводородов на арктическом шельфе. – М. : Газоил пресс, 2001b. – 232 с.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л., Макаревич П.Р., Шавыкин А.А., Шадский И.П., Шеломенцев А.Г., Ярыгин Г.А. Эколого-инженерные изыскания и экологический монитринг на этапах обустройства и эксплуатации Штокмановского ГКМ // RAO-03: Тр. междунар. конф. (Санкт-Петербург, 16-19 сентября 2003 г.). – СПб. 2003. – С. 394–397.

Матишов Г.Г., Шеломенцев А.Г., Шадский И.П., Макаревич П.Р., Шавыкин А.А., Щитов Б.В. Результаты и проблемы инженерно-экологических изысканий в районе освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения // Сб. науч. тр. по результатам научно-технологических работ за 2003 г. – М. : ОАО «ЦНИИТЭнефтехим» (НК «Роснефть»). 2004. – С. 310–321.

Матишов Г.Г., Шеломенцев А.Г., Шадский И.П., Макаревич П.Р., Шавыкин А.А., Щитов Б.В. Результаты и проблемы инженерно-экологических изысканий в районе освоения Штокмановского ГКМ // Нефть и газ арктического шельфа – 2004: Матер. междунар. конф. Мурманск, 17-19 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2004a. – С. 190–197.

Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Горяев Ю.И., Ежов А.В., Ишкулов Д.Г., Краснов Ю.В., Ларионов В.В., Моисеев Д.В. Труднодоступная Арктика. 10 лет биоокеанологических исследований на атомных ледоколах. – Мурманск, 2005. – 168 с.

Матишов Г.Г., Пиотровский А.С., Шавыкин А.А., Жигульский В.А., Макаревич П.Р., Новикова Т.А. ОВОС проекта транспортировки газа со Штокмановского месторождения до завода СПГ в губе Ура // RAO-05: Тр. 7-й междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа СНГ (г. Санкт-Петербург, 13-15 сентября 2005). – СПб. 2005a. – С. 464–468.

Матишов Г.Г., Шавыкин А.А., Макаревич П.Р., Духно Г.Н. Опыт проведения инженерно-экологических изысканий на Арктическом шельфе (на примере Штокмановского проекта) // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. – М. : Наука, 2005b. – С. 118–141.

Матишов Г.Г., Шавыкин А.А., Макаревич П.Р. Основные результаты работ ММБИ в 2005-2006 гг. по экологическому сопровождению освоения шельфа арктических морей // Нефть и газ арктического шельфа – 2006: Матер. междунар. конф. Мурманск, 15-17 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2006. – С. 182–190.

Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Макаревич П.Р. Экосистемы Баренцева и Белого морей и уровни антропогенного загрязнения // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН. 2007. – Вып. 2. – С. 20–64.

Матишов Г.Г., Бердников С.В., Денисов В.В., Дженюк С.Л., Макаревич П.Р., Шавыкин А.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых месторождений арктических и южных морей России // Матер. междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 9-11 июня 2008 г.). – Ростов н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН. 2008. – С. 5–13.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Шавыкин А.А. Теория и практика экологического сопровождения нефтегазовых разработок на арктическом шельфе (промежуточные итоги) // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Матер. междунар. конф. Мурманск, 12-14 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2008a. – С. 14–28.

Матишов Г.Г., Шавыкин А.А., Макаревич П.Р. Деятельность ММБИ в экологическом сопровождении освоения Арктики // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Матер. междунар. конф. Мурманск, 12-14 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2008b. – С. 211–217.

Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Дженюк С.Л., Денисов В.В. Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. – Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 500 с.

Матишов Г.Г., Поважный В.В. Бердников С.В., Мозес В.Дж., Гительсон А.А. Оценка концентрации хлорофилла-а и первичной продукции в Азовском море с использованием спутниковых данных // ДАН. 2010. – Т. 432, № 4. –С. 563–566.

Матишов Г.Г., Моисеев Д.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Яицкая Н.А., Шишкина А.В. Совместные подходы ММБИ, ЮНЦ и лаборатории климата океана НОАА (США) к организации океанографических и гидробиологических баз данных арктических и южных морей России // Тр. Кольского научного центра РАН. Океанология. 2013. –№ 2013 (14), Вып. 1. – С. 135–152.

Матюшкин В.Б. Особенности размножения камчатского краба во фьордовых водах Западного Мурмана // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Мурманск : Изд-во ПИНРО. 2003. – С. 88–100.

Методика по расчету платы за загрязнение акваторий морей и поверхностных водоемов, являющихся собственностью Российской Федерации, при производстве работ, связанных с перемещением и изъятием донных грунтов, добычей нерудных материалов из подводных карьеров и захоронением грунтов в подводных отвалах: утв. Председателем Гос. Комитета РФ по охране окружающей среды 29.04.1999. – М. 1999. – 32 с.

Методические рекомендации по дистанционным методам контроля качества поверхностных вод суши. Экспрессное определение концентрации хлорофилла «А» и фотосинтетической активности фитопланктона. – Л. : Гидрометеоиздат. 1989. – Вып. 3. – 48 с.

Миронов О.Г. Биологические ресурсы моря и нефтяное загрязнение. – М. : Пищепромиздат. 1972. – 105 с.

Мокеева Н.П. Отклик морских биоценозов на сброс грунта // В сб. Итоги исследования в связи со сбросом отходов в море. – М. : Московское отделение Гидрометеоиздата. 1988. – С. 89–104.

Монахов С.К. Экологический мониторинг Каспийского моря. – Астрахань : Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2012. – 194 с.

Монин А.С., Озмидов Р.В. Океанская турбулентность. – Л., 1981. – 320 с.

Морской добычной комплекс [Электронный ресурс] // вебсайт компании «Штокман Девелопмент АГ». – URL: http://www.shtokman.ru/project/about/offshore/ (Дата обращения: 24.09.2014).

Муравейко В.М., Беляев А.В., Шпарковский И.А. Влияние геофизических методов разведки шельфа морей на пелагические и донные биоценозы // экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. – Апатиты : Изд-во КФ АН СССР. 1991. – С. 78–84.

Муравейко В.М., Зайцев В.Б., Ивакина Ю.И., Тимашова Л.В. Биоэкспертиза групповых пневмоисточников. Препринт. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1992. – 45 с.

Муравейко В.М., Зайцев В.Б., Ивакина Ю.И. Оценка экологических последствий влияния техногенных акустических полей на гидробионты северных морей. Препринт. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1994. – 30 с.

Назарян Н.А. Гидрофизический эксперимент и новые информационные технологии // Экономика природопользования. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2011. – № 2. – С. 85–91.

Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. – СПб., 2006. – 367 с.

Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Под ред. Г.Г. Матишова и Б.А. Никитина. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1997. – 393 с.

Нельсон-Смит А. Нефть и экология моря / Пер. с англ. С.И. Бакума, Б.М. Затучной. – М. : Прогресс, 1977. – 303 с.

Несветова Г.И. Гидрохимические условия функционирования экосистемы Баренцева моря. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2002. – 295 с.

Николаев В.В., Мотычко В.В., Константинов В.М., Слинченков В.И., Щербаков В.А., Соколов Г.Н. Геоэкологические исследования в северной части Обской губы (Карское море). Экспедиционные исследования ВНИИ Океангеология в Арктике, Антарктике и Мировом океане в 2005 году [Электронный ресурс] // Ежегодный обзор. – СПб. : ВНИИ Океангеология. 2006. – С. 20–29. – URL: www.nord-stream.com/download/document/186/?language=ru (Дата обращения: 31.07.2012).

Новиков М.А. Оценочное эколого-рыбохозяйственное районирование морских акватории // Водные ресурсы. 2004. – Т.31, № 2. – С. 199–208.

Новиков М.А. Методология интегрированной оценки экологической уязвимости и рыбохозяйственной ценности морских акваторий (на примере Баренцева и Белого морей). – Мурманск : изд-во ПИНРО, 2006. – 250 с.

Новиков М.А. Интегрированная оценка эколого-рыбохозяйственной уязвимости морских акваторий: от теории к практике. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2013. – 124 с.

О введении шкалы практической солености, 1978 и нового международного уравнения состояния морской воды, 1980 // Океанология. – 1982. – Т. 22, № 2. – С. 337-343.

Обзор результатов мониторинга МНМ «Кравцовское» (Д-6): 2003-2004г ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». – Калининград, 2005. – 48 с.

Обзор результатов мониторинга МНМ «Кравцовское» (Д-6): 2005 г ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». – Калининград, 2006. – 41 с.

Обзор результатов экологического мониторинга морского нефтяного месторождения «Кравцовское» (Д-6): 2006. г. ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». – Калининград, 2007. – 45 с.

Обзор результатов экологического мониторинга морского нефтяного месторождения «Кравцовское» (Д-6): 2007 г. ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». – Калининград, 2008. – 51 с.

Ожигин В.К. О фронтальных зонах Баренцева моря // Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 1989. – С. 89–103.

Озмидов Р.В. Диффузия примесей в океане. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986. – 280 с.

Омар М.М.Э-Ш. Экологическая чувствительность морских прибрежных экосистем в районах строительства портовых комплексов. На примере Приморского порта, пролив Бъеркезунд Балтийского моря : дис. … канд. геогр. наук : 25.00.28 / Омар Мохсен Мохамед Эль-Ширбини. – М., 2005. – 111 с.

Отнес Р., Эконсон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. – М. Изд-во «Мир», 1982. – 428 с.

Отчет по х/д. Разработка оценки воздействия на окружающую среду при транспортировке сжиженного природного газа (СПГ) в составе «Обоснования инвестиций морской транспортировки сжиженного газа по маршруту Штокмановское месторождение-США». «Морские сооружения». 2 книги. : Заказчик ЗАО «Гипроспецгаз» : хоз. договор № 33-6851/314 от 29.12.2004 / рук. Матишов Г.Г., зам. рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2005. – 363 с.

Отчет по х/д. Оценка воздействия на морских млекопитающих и морскую орнитофауну сейсморазведочных работ в Баренцевом и Карском морях и море Лаптевых : Заказчик ОАО «Севморнефтегеофизика» : хоз. договор № 13/2005 от 26.12.2005 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2006. – 152 с.

Отчет по х/д. Оценка воздействия на окружающую среду и расчет ущерба водной среде при проведении геофизических исследований в акватории Байдарацкой губы Карского моря : Заказчик ГНЦ ФГУП «Южморгеология» : хоз. договор № 02/2006 от 23.03.2006 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2006а. – 146 с.

Отчет по х/д. Создание картографической базы данных экологической изученности территории Баренцева моря в районе Штокмановского ГКМ и по трассе трубопровода Кн. 1-4. : Заказчик ЗАО «Севморнефтегаз» : хоздоговор № 08/2007 от 25.06.2007 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2007. – 814 с.

Отчет по х/д. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению : Заказчик Всемирный фонд дикой природы – Россия (WWF-Россия) : хоз. договор № WWF 000109 от 12.05.2008 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2008. – 120 с.

Отчет по х/д. Оценка воздействия на окружающую среду и расчет ущерба водной среде и биоте при проведении геофизических исследований на акватории Тазовской губы Карского моря. Заказчик ГНЦ ФГУП «Южморгеология» : хоз. договор № 03/2009 от 12.05.2009 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2009. – 204 с.

Отчет по х/д. Порт Мурманск. Реконструкция Мурманской базы ООО «ГАЗФЛОТ» для обеспечения работ на арктическом шельфе РФ. Участок 2. Сооружения на акватории. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях. Заказ-

чик ООО «ГАЗФЛОТ» : хоз. договор № 0200-3887-21-ИГ-1.4.4, арх. № 74402 / исп. ОАО «ЛенморНИИпроект» – СПб., 2009a. –163 с.

Отчет по х/д. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению : Заказчик Всемирный фонд дикой природы – Россия (WWF-Россия) : хоз. договор № WWF 000325 от 12.01.2009 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2009b. – 300 с.

Отчет по х/д. Подготовка карт особой чувствительности прибрежных территорий к нефтеразливам в Баренцевом и Белом морях : Заказчик ООО Rambøll Barents : хоз. договор № 7090050 от 19.04.2010 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2010b. – 94 с. {Работа в рамках пилотного проекта «Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефтепродуктам прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей)» в рамках пилотного проекта по заказу Северной экологической финансовой корпорации (НЕФКО) и Дирекции Проекта ЮНЕП/ГЭФ «РФ – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды». – Руководитель проекта Никищенко И.М. (ООО «Рамболь Баренц». – Мурманск, 2010. – Т. 1. – 293 с. – URL: http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.ru/Documents/demos/new/rprts/oil_spills_rpt.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).}

Отчет по х/д. Моделирование распространения взвеси, расчет и обоснование эколого-экономического ущерба биологическим ресурсам Кольского залива от дноуглубления акватории пирса участка №2 при реконструкции морской базы ООО «Газфлот» для обеспечения работ на Арктическом шельфе РФ : Заказчик ОАО «Ленморниипроект» : хоз. договор № 02/2010 от 29.01.2010 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2010a. – 94 с.

Отчет по х/д. Проведение экспедиционных океанографических и гидробиологических работ, камеральной обработки экспедиционных и многолетних данных, подготовка документации в рамках НИР «Разработка проекта стратегической экологической оценки территорий при освоении северо-западного сектора Арктики» (Кн. 1 : 12) : Заказчик ООО «Питер Газ» : хоз. договор № 235/10 от 19.10.2010 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2011. – 1802 с.

Отчет по х/д. Предварительная оценка акустического и гидроакустического воздействия работ по строительству и эксплуатации морских объектов 1-ой фазы комплексного освоения ШГКМ на морскую биоту. Заказчик «Штокман Девелопмент АГ» : хоз. договор № COM-0800-266 от 15.08.2010 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2011a. – 239 с.

Отчет по х/д. Исследования прибрежья и береговой зоны северной части Кольского залива и разработка карт уязвимости всего залива от нефти. 4 книги : Заказчик ВОО «Русское географическое общество» : хоз. договор № 26/2013-НЗ от 02.04.2013 / рук. Шавыкин А.А. – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2014. – 798 с.

Охрана природы, мониторинг и обустройство сахалинского шельфа [Электронный ресурс] // Научно-просветительский сб. Сахалинского отделения Русского географического. – Владивосток : ДВО РАН. 2001 – URL: http://www.sakhgu.ru/expert/Geography/2001/Index.html (Дата обращения: 15.08.2014).

Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза: российско-германское методическое пособие [Электронный ресурс]. – Иркутск : Изд-во Инста географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2008. – 204 с. – URL: www.irigs.irk.ru/files/EE%20und%20OVOS%20russian%20version.pdf (Дата обращения: 11.07.2013).

Павленко В. И. Проблемы и перспективы освоения Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальных интересов в Арктике // Материалы совместного заседания Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики : 31 марта - 2 апр. 2010 г., г. Архангельск / РАН, Совет по координации деятельности регион. отд-ний и регион. науч. центров, Науч. совет по изучению Арктики и Антарктики. – Екатеринбург : УрО РАН. 2010. – С. 137–153.

Павлова Л.В., Зуев Ю.А. Распределение, динамика численности и размерно-возрастного состава камчатского краба в Кольском заливе в 2006–2008 гг. // Рыбное хозяйство. 2010. – № 6. – С. 66–69.

Панчев С.О. О существовании степенных зависимостей в спектрах океанической турбулентности // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1975. – Т. 2, № 6. – С. 620–624.

Паркер С. Фотолюминесценция растворов / Пер. с англ. – М. : Мир, 1972. – 512 с.

Пат. 2031399 Российская Федерация, G 01 № 21/64. Способ анализа хлорофилла фитопланктона в водной среде / А.А. Шавыкин, Л.Н. Завьялов, А.Е. Курашвили, Е.И. Тимофеев (Россия). – № 4454391/25 ; заявл. 06.07.88 ; опубл. 20.03.95, Бюл. № 8. – 5 с.

Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. – М. : Пищ. пром-ть. 1979. – 304 с.

Патин С.А. Добыча нефти и газа на морском шельфе: эколого-рыбохозяйственный анализ // Рыбн. Хоз-во.1994. – №5. – С. 30–33.

Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. – М. : Изд-во ВНИРО, 1997. – 350 с.

Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М. : ВНИРО, 2001. – 247 с.

Патин С.А. Оценка техногенного воздействия на морскую среду и биоресурсы при осовении нефтегазовых месторождений на шельфе // Водные ресурсы. – 2004. Т. 31. - № 4. – С. 451–460.

Патин С.А. Антропогенное воздействие на морскую среду и биоресурсы: методология оценок и современная ситуация // Антропогенное влияние на водные экосистемы . – М. : Изд-во МГУ, 2005. – С. 32-60.

Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. – М. : Изд-во ВНИРО, 2008. – 507 с.

Паффенгольц К.Н. Геологический словарь. – М. : Недра, 1978. – 486 с.

Петренко О.А., Себах Л.К. Фашук Д.Я. Некоторые экологические последствия дампинга в Черном море грунтов, извлеченных при дноуглублении в Керченском проливе // Водные ресурсы. 2002. – Т. 29, № 5. – С. 622–635.

Пирсон У.Х., Веденев А.И. Проект Программы НИР по мониторингу воздействия сейсморазведки на рыб и рыболовный промысел у западного побережья полуострова Камчатка. Отчет по заказу «Центра Дикого Лосося». – США, Портланд, 2010. – 35 с.

Плотицына Н.Ф. Жилин А.Ю., Шавыкин А.А. Предварительные оценки ущерба гидробионтам Баренцева моря при комплексном освоении Штокмановского месторождения // Нефть и газ арктического шельфа – 2006: Матер. междунар. конф. Мурманск, 15-17 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2006. – С. 213–220.

Погребов В.Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования. Монография. – СПб. : РГГМУ, 2010. – Т. 2. – С. 43–85.

Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю. Интегральная чувствительность морских экосистем к нефтяному загрязнению // Матер. 5-го науч. сем. “Чтения памяти К.М. Дерюгина”. – СПб. : Изд-во СПбГУ. 2003. С. 5–22.

Погребов В.Б., Шилин М.Б. Экологический мониторинг прибрежной зоны арктических морей. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2001. – 96 с.

Половинкина Ю.И. Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. – М. : Недра, – 1966. – 237 с.

Пономаренко В.П., Алексеев А.П., Дубинина В.Г., Осетрова Н.В., Никоноров С.И. Меры, необходимые для защиты рыболовства в районах разведки, обустройства и эксплуатации нефтегазовых скважин на морских шельфах России // Матер. междунар. сем. «Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах российской федерации». – М. : изд-во «Экономика и информатика». 2000. – С. 186–189.

*Потанин В.*А., *Ларин Б.В.* Динамика вод южной части Кольского залива //Природа и хозяйство Севера. – Мурманск : Север, 1989. – Вып. 17. – С. 66–71.

Предложения по организации и ведению экологического мониторинга [Электронный ресурс] // Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) Проект Сахалин I. 12.03.2001 – URL:

http://soilinst.msu.ru/~ladygin/ecomonitoring/doc/%CB%E0%E4%FB%E3%E8%ED/13.0%20EnvironMonitoring_RevC_R_ST_3Dec.doc (Дата обращения: 15.08.2014).

Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов “Ямал-Центр”. – М. : ГЕОС, 1997. – 432 с.

Программа для расчета гидродинамики и распространения загрязнений. [Электронный ресурс] Программный комплекс CARDINAL. – СПб. 2006. – URL: http://cardinal-hydrosoft.com/indexru.htm (Дата обращения: 02.03.2009).

Программа производственного экологического мониторинга ОАО «ЛУКОЙЛ» на Северном Каспии. ООО «Лукойл-Астраханьморнефть», ООО НИЦ «КаспНИЦ». – Астрахань : Изд-во «ПолиграфКом», 2002. – 80 с.

Птицы северных и южных морей России: фауна, экология. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2013. – 294 с.

Путов В.Ф. Природоохранные аспекты поиска и оценки нефтегазовых месторождений континентального шельфа дальневосточных морей РФ [Электронный ресурс] // Сб. статей РЭА. 2009. – № 1. – С. 14–21. – URL: http://ecoalliance.ru/?dl_name=14-21_putov.pdf (Дата обращения: 13.07.2013).

Рабкина Е.В. Геоэкологическая безопасность при освоении нефтегазовых ресурсов Печорского моря : дис. … канд. геол.-минер. наук : 25.00.36 / Рабкина Евгения Владимировна**. –** М., 2005. – 192 с.

Регламент выполнения работ. Оценка воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной деятельности в соответствии с российскими и международными требованиями (Impact Environmental Assessment). [Электронный ресурс] : Новокузнецк : ООО «ИНЭКА-КОНСА ЛТИНГ». – 2008 г. – 12 с. – URL: http://www.ineca.ru/download.php?consulting/services/&ovos.pdf (Дата обращения: 2015.03.01)

РД 51-01-11-85. Экологические исследования при инженерных изысканиях на континентальном шельфе. Требования к методам и результатам. – М. : ВНИПИморнефтегаз, 1986. – 16 с.

Реестр лососевых рек Мурманской области. Бассейн Баренцева моря. – Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2011. – 344 с.

Рекомендации Рабочей группы «Экологически ответственное развитие и энергетика» в рамках процесса Гражданской Двадцатки [Электронный ресурс]. Обеспечение безопасности морских экосистем при освоении континентального шельфа. Civil G20, июнь 2013 г. – 2 с. – URL: www.worldwewant2015.org/file/336868/download/366240 (Дата обращения: 06.07.06.2013).

Решение заседания Высшего экологического совета Комитета Государственной Думы ФС РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии от 07.06. 2010.

№ 9.2. «О проблемах правового регулирования охраны морей от загрязнения нефтью и другими вредными веществами». [Электронный ресурс]. – 10 с. – URL: http://komitet2-21.km.duma.gov.ru/file.xp?idb=1411030&fn...doc (Дата обращения: 02.04.2012).

Руководство по проведению морских работ по нефти и газу в Арктике. Арктический Совет. Рабочая группа по охране морской среды Арктики. 10 октября 2002 г. – 80 с.

РФ. Законы. О животном мире [Электронный ресурс] : [федер. закон № 52-ФЗ : принят Гос. Думой 24.04.1995 : (ред. от 07.05.2013)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146079 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Законы. О континентальном шельфе Российской Федерации [Электронный ресурс] : [федер. закон № 187-ФЗ : принят Гос. Думой 25.10.1995 : (ред. от 14.10.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169792/ (Дата обращения: 12.01.2015).

РФ. Законы. Об особо охраняемых природных территориях [Электронный ресурс] : [федер. закон № 33-ФЗ : принят Гос. Думой 14.03.1995 : (ред. от 12.03.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_160134 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Законы. О гидрометеорологической службе [Электронный ресурс] : [федер. закон № 113-ФЗ : принят Гос. Думой 19.07.1998 : (ред. от 21.11.2011)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121978 (Дата обращения: 24.08.2014).

РФ. Законы. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : [федер. закон № 7-ФЗ : принят Гос. Думой 10.01.2002 : (ред. от 12.04.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_117596/ (Дата обращения: 29.07.2014).

РФ. Законы. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : [федер. закон № 190-ФЗ : принят Гос. Думой 29.12.2004 : (ред. от 21.07.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/popular/gskrf (Дата обращения: 13.09.2014).

РФ. Законы. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : [федер. закон № 74-ФЗ : принят Гос. Думой 03.06.2006 : (ред. от 12.04.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/files/popular/000078.zip (Дата обращения: 24.08.2014).

РФ. Законы. О внесении изменений в ФЗ «О континентальном шельфе Российской Федерации» и ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» [Электронный ресурс] : [федер. закон № 287-ФЗ : принят Гос. Думой 30.12.2012 : (ред. 07.05.2013)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146215 (Дата обращения: 15.09.2014).

РФ. Правительство. Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах. [Электронный ресурс] : [утв. Минрыбхозом СССР 18.12.1989, утв. Госкомприроды СССР 20.10.1989] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94234/ (Дата обращения: 12.03.2015)

РФ. Правительство. О создании Единой государственной системы экологического мониторинга [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 1229 : утвер. 24.11.1993] : [справочно-правовая система «Инновации и предпринимательство: Гранты, Технологии, Патенты»]. – URL: http://www.innovbusiness.ru/pravo/DocumShow_DocumID_65309.html (Дата обращения: 21.08.2014).

РФ. Правительство. Инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности [Электронный ресурс] : [утверждена Приказом Минприроды России от 29.12.1995] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»] : – URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=300267;dst=100009 (Дата обращения: 25.12.2013).

РФ. Правительство. Концепция Федеральной целевой программы «Мировой океан» [Электронный ресурс]: [одобрена Указом Президента РФ от 17.01.1997 № 11 «О Федеральной целевой программе «Мировой океан»] : [справочно-правовая система «РЕФЕРЕНТ»]. – URL: http://www.referent.ru/1/20964 (Дата обращения: 2014.0821).

РФ. Правительство. Положение о создании и ведении Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 1410 : утвер. 21.12.1999 : (редакция от 06.06.2013)] : [ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»]. – URL: http://meteo.ru/egfd/145-metodical (Дата обращения: 21.08.2014).

РФ. Правительство. Основные требования к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] : [Постановление Правительства № 613 : утвер. 21.08.2000 : (ред. от 15.02.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15036 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Правительство. Положение о предоставлении информации о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнении и чрезвычайных ситуациях техногенного характера, которые оказали, оказывают, могут оказать негативное воздействие на окружающую природную среду [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 128 : утвер. 14.02.2000] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_26142 (Дата обращения: 21.08.2014).

РФ. Правительство. Положение об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации [Электронный ресурс] : [утверждено Приказом Госкомэкологии РФ № 372 от 16.05.2000]. – URL: http://eco.tatarstan.ru/rus/info.php?id=46927 (Дата обращения: 03.06.2012).

РФ. Правительство. О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 240: утвер. 15.04.2002 : (ред. от 15.04.2002)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_36284 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Правительство. Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 794 : утвер. 30.12.2003 : (ред. от 15.02.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159106/?frame=1 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Правительство. Правила разработки и согласования планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] : [утв. Приказом МЧС РФ № 621 от 28.12.2004 : (ред. от 12.09.2012 № 2)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110629 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Правительство. Положение об осуществлении государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс] : [утверждено Постановлением Правительства № 219 от 10.04.2007 : (ред. от 18.04.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162057 (Дата обращения: 24.08.2014).

РФ. Правительство. Положение о составе разделов проектной документации требованиях к их содержанию [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 87 : утвер. 16.02.2008 : (ред. от 26.03.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_161056/ (Дата обращения: 14.08.2014).

РФ. Правительство. О присоединении Российской Федерации к Международной конвенции по обеспечению готовности на случай загрязнения нефтью, борьбе с ним и сотрудничеству 1990 года [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 607 : утвер. 23.07.2009 : (ред. от 15.02.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_106362 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Правительство. Административный регламент Министерства образования и науки Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по выдаче иностранным и российским заявителям разрешений на проведение морских научных исследований во внутренних морских водах и территориальном море Российской Федерации, в ее исключительной экономической зоне и на ее континентальном шельфе [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 2900 : утвер. 28.12.2011 : (ред. от 20.09.2013)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_153089 (Дата обращения: 12.09.2014).

РФ. Правительство. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. [Электронный ресурс] : [утв. Федеральным агентством по рыболовству Минсельхоза РФ. Приказ № 1166 от 25.11.2011, зарегистр. в Минюсте РФ 05.03.2012 N 23404] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127115/ (Дата обращения: 12.03.2014).

РФ. Правительство. Положение о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) [Электронный ресурс] : [пост. Правительства № 681 : утвер. 09.08.2013 : (ред. от 10.07.2014)] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165541/#p19 (Дата обращения: 29.07.2014).

РФ. Правительство. Правила организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации (вместе с "Правилами организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации") [Электронный ресурс] : [утверждено Постановлением Правительства РФ N 1189 от 14.11.2014] : [справочно-правовая система «КонсультантПлюс»]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_170969/ (Дата обращения: 13.03.2015)

Рыжов В.М., Шавыкин А.А., Бойцов В.Д. Особенности развития фитопланктона в водах различного происхождения на западе Баренцева моря // Комплексные океанографические исследования Баренцева и Белого морей. – Апатиты : Изд-во КФ АН СССР. 1987. – С.52–66.

Савиных В.П., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Информационные технологии в системах экологического мониторинга. – М. : ООО «Геодезкартиздат», 2007. – 392 с.

Савиных В.П., Крапивин В.Ф., Бурков В.Д., Потапов И.И. Информационная технология для повышения экономической эффективности систем мониторинга окружающей среды // Экономика природопользования. Обзорная информация. – М. : ВИНИТИ РАН. 2008. – № 5. – С. 117–126.

Саматов А.Д., Немчинова И.А. Оценка воздействия пневмоисточников на зоопланктон при проведении сейсморабот в шельфовой зоне восточного Сахалина // Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах РФ: Сб. матер. междунар. сем. – М., 2000. – С. 196–207.

Саркова О.М. презентация на совещании по подведению итогов Пилотного проекта [Электронный ресурс] : «Проект РЕКОМЕНДАЦИЙ по проекту “Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктиче-

ских условиях для защиты особо чувствительных к нефти прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей)”» – Мурманск. 2010 – URL: http://vipsyst.com/ru/proekty/pilotnyy-proekt-sovershenstvovanie-sistemy-reagirovaniya-na-avariynye-razlivy-nefti-i (Дата обращения: 02.11.2012).

Сахалин Энерджи Инвестмент Компани. Глава 9 Технико-экономического обоснования (ТЭО) Проекта, “Охрана окружающей среды”, содержит оценку воздействия Проекта на окружающую среду [Электронный ресурс] // Проект разработки Пильтун-Астохского месторождения углеводородов (Этап 1: Астохская площадь) на шельфе о. Сахалин, Российская Федерация, на условиях раздела продукции. 1997. – 233 с. – URL: http://ecosakh.ru/data/51_Sahalin_Enerdzhi_Investment_Kompani_Ltd.doc (Дата обращения: 31.07.2012).

СВАРОГ. Материалы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Предварительный вариант // Комплексные морские инженерные изыскания в рамках освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения в Баренцевом море. – М. : ООО «СВАРОГ», 2012. – 553 с. – URL: http://www.geotochka.ru/SVAROG2012/SVAROG2012_OVOS.pdf (Дата обращения: 25.12.2013).

Семенов А.Д. Сейсморазведка: оценка негативных воздействий на морскую биоту и проблема компенсации наносимого ущерба // Актуальные задачи защиты водных биологических ресурсов от негативного воздействия по освоению нефтегазовых месторождений : сб. статей. – Владивосток : ТИНРО-центр. 2006. – С. 230–242.

Семенов В.Н., Архипов Б.В., Солбаков В.В. Методика оценки воздействия на планктонные организмы пневмоисточников, применяемых в сейсморазведке // «Нефть и газ арктического шельфа – 2004»: Матер. междунар. конф., г. Мурманск, 17-19 ноября 2004. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, 2004. – С. 245–249.

Смотрите в 3D [Электронный ресурс] // КОММЕРСАНТЪ BUSINESS GUIDE / Приложение к газете "Коммерсантъ", 01.12.2010. – №47 (47). – URL: http://www.kommersant.ru/doc/1544909 (Дата обращения: 09.01.2012).

Снакин В.В. Экология и природопользование в России. Энциклопедический словарь : – М.: Academia, 2008. – 816 с.

СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Госстрой России. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1996. – 50 с.

Советский энциклопедический словарь. – М. : «Сов. энциклопедия», 1983. – 1600 с.

Состояние популяций морских птиц, гнездящихся в регионе Баренцева моря. Норвежский полярный ин-т., 2003. – 216 с.

Сочнев О.Я. Анализ экологической безопасности ледостойких стационарных платформ для Штокмановского газоконденсатного месторождения в Баренцевом море. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН, АООТ «Гипроспецгаз», 1997. – 175 с.

Сочнев О.Я. Принципы экологического мониторинга и безопасности при освоении месторождений углеводородов на арктическом шельфе [Электронный ресурс] : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.15.12 : утв. 22.09.98 / Сочнев Олег Яковлевич. – М., 1998. – 32 с. – URL: http://tekhnosfera.com/printsipy-ekologicheskogo-monitoringa-i-bezopasnosti-pri-osvoenii-mestorozhdeniy-uglevodorodov-na-arkticheskom-shelfe (Дата обращения: 06.07.2013).

Сочнева И.О. Научно-методические основы обеспечения экологической безопасности работ по освоению месторождений арктического шельфа (на примере месторождений Обской и Тазовской губ) : дис. … канд. техн. наук : 25.00.18 / Сочнева Инга Олеговна. – М., 2005. – 165 с.

СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Госстрой России. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 50 с.

СП 11-114-2004. «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений» / Госстрой России. – М. : Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ФГУП «ПНИИИС») Госстроя России, 2004. – URL: http://www.complexdoc.ru/ntd/545826 (Дата обращения: 15.08.2014).

СП 47.13330.2012. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Издание официальное.– М. : Министерство регионального развития Российской Федерации. 2012. – 117 с.

Специальные экологические и рыбохозяйственные требования для проведения геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья в заповедной зоне в северной части Каспийского моря [Электронный ресурс] Утв. Мин-вом природных ресурсов РФ. Приказ от 16.09.1998. № 211. – URL: http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/geologija--geodezija-i-kartografija/6/prikaz-mpr-rf-ot-16-09-1998--211.pdf (Дата обращения: 12.08.2014).

Стенограмма парламентских слушаний Комитета Гос. Думы ФС РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии на тему «Законодательное обеспечение защиты морей от нефтяного загрязнения». 04.10.2010. – 68 с. – URL: http://komitet2-21.km.duma.gov.ru/site.xp/052050050124053051054.html (Дата обращения: 02.04.2012).

Субботина Е.В. Комплексная система техногеоэкологического мониторинга при освоении нефтяных и газовых месторождений восточной части Баренцева моря : автореф. … канд. геол.-минер. наук : 25.00.36 / Субботина Елена Владимировна. – М., 2005. – 25 с.

Суслопарова О.Н., Огородникова В.А., Волхонская Н.И. Воздействие повышенной мутности воды, возникающей при выполнении гидротехнических работ, на структурно-функциональные характеристики зоопланктона. Сб. науч. тр. ФГНУ ГосНИОРХ. 2006. – Вып. 331. – С. 274–334.

Теоретические основы акустики океана / Под ред. Л.М. Бреховский, Ю.П. Лысанова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1982. – 264 с.

Техника и технология локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Справ. / И.А. Мерициди, В.Н. Ивановский, А.Н. Прохоров и др. Под. ред. И.А. Мерициди. – СПб. : НПО «Профессионал», 2008. – 824 с.

Фащук Д.Я., Овсиенко С.Н., Леонов А.В., Егоров А.П., Зацепа С.Н., Ивченко А.А. Геоэкологические последствия аварийных морских разливов нефти // Изв. РАН. Сер. Географ., 2003. – № 5. – С. 57–73.

Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983. – 296 с.

Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. – Л., 1988. – 303 с.

Флуориметр «Квант-7»: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть III. – Барнаул, 1989. – 67 с.

Хаустов А.П., Редина М.М. Производственный экологический мониторинг : Учебное пособие. – М.: РУДН, 2008. – 502 с.

Хаустов А.П., Редина М.М. Экологический мониторинг : учебник для академического бакалавриата. – М. : Издательство Юрайт, 2014. – 637 с.

Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Под ред. И.А. Шпарковского. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1997. – 404 с.

Холодкевич С.В. Комплексное обеспечение химической безопасности водоснабжения населения городов для предотвращения и минимизации последствий чрезвычайных ситуаций (на примере Санкт-Петербурга) : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.26.02 / Холодкевич Сергей Викторович. - СПб., 2007. - 39 с.

Цукерман В.А. Состояние и перспективы рационального природопользования и инновационно-технологического развития экономики Арктики // Экология промышленного производства. 2007. – № 4. – С. 74–80.

Челинцев Н.Г. Теоретическое и математическое обоснование методов учета охотничьих животных. // Современные проблемы охотничьего хозяйства. М., 1989. – С. 38–49.

Челинцев Н.Г. Математические основы выборочных учетов животных. // Бюл. МОИП. отд. биол. 1992. – Т. 97, Вып. 5. – С. 3–13.

Челинцев Н.Г. Математические основы учета животных. – М., 2000. – 431 с.

Черноок В.И. Методология и практика самолетного многоспектрального зондирования арктических морей для промышленного рыболовства : автореф. дисс. … д-ра геогр. наук : 25.00.36 : / Черноок Владимир Ильич. – СПбГУ, 2001. – 39 с.

Чичинин И.С. Вибрационное излучение сейсмических волн. – М. : Недра, 1984. – 224 с.

Шавыкин А.А. О методике экспрессного количественного определения хлорофилла "а" в морском фитопланктоне // Исследования биологии, морфологии и физиологии гидробионтов. – Апатиты : Изд-во КФ АН СССР. 1983. – С. 28–34.

Шавыкин А.А. Разработка контактных люминесцентных методов и средств изучения полей хлорофилла в воде : автореф. дис. … канд. техн. наук: 11.00.08 / Шавыкин Анатолий Александрович. – М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1990. – 18 с.

Шавыкин А.А. Выбор единиц измерения концентрации хлорофилла фитопланктона / РАН, Кольский научный центр, Мурманский морской биологический институт. – Мурманск, 1992. – 20 с.

Шавыкин А.А. Особенности распределения хлорофилла фитопланктона в Центральной части Баренцева моря // Экологические исследования зоны промышленного освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения на шельфе Баренцева моря (материалы экспедиционных исследований НИС "Дальние Зеленцы", июнь, 1993 год): Препр. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1994. – С. 19–23.

Шавыкин А.А. Флуориметрический метод непрерывного измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде в проточном режиме: Препринт. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1995. – 54 с.

Шавыкин А.А. Вопросы градуировки при непрерывном флуориметрическом измерении концентрации хлорофилла фитопланктона в воде // Метрологическое обеспечение и стандартизация / Тез. докл. XII всеакадемической междунар. шк. по проблемам метрологического обеспечения и стандартизации. Санкт-Петербург, 23–27 мая 1995 г. – СПб. 1995a. – С. 65–70.

Шавыкин А.А. Оценка погрешности результатов непрерывного флуориметрического измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде // Метрологическое обеспечение и стандартизация // Тез. докл. XII всеакадемической междунар. шк. по проблемам метрологического обеспечения и стандартизации. Санкт-Петербург, 23–27 мая 1995 г. СПб. 1995b. – С.71–75.

Шавыкин А.А. Контактный флуориметрический метод непрерывного измерения концентрации хлорофилла фитопланктона в воде // Планктон морей Западной Арктики. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН. 1997. – С. 185–223.

Шавыкин А.А. Бойцов В.Д. Характеристики пространственной изменчивости хлорофилла фитопланктона, температуры солености поверхностного слоя южной части Баренцева моря // Планктон морей Западной Арктики. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1997. – С. 223–265.

Шавыкин А.А., Иванов А.А. Модернизация флуориметра "Квант" для экспрессного определения хлорофилла фитопланктона в воде // Гидробиол. журн. – 1986. – Т. 22, № 6. – С. 83–87.

Шавыкин А.А., Ильин Г.В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. – Мурманск : Изд-во ММБИ КНЦ РАН, 2010. – 110 с.

Шавыкин А.А., Коваленко В.Н. Пространственная изменчивость океанологических параметров приповерхностного слоя Онежского залива Белого моря. // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы «Исследования природы Мирового океана» федеральной целевой программы «Мировой океан»). Вып.2.– Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2007. – С. 173–185.

Шавыкин А.А., Краснов Ю.В. Мониторинг птиц в северных морях // Птицы северных и южных морей России: фауна, экология. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2013. – С. 178–209.

Шавыкин А.А., Рыжов В.М. Применение судовых флуориметров для изучения фитопланктонных сообществ / 1. Определение хлорофиллов: особенности методов, рекомендации по их применению, оценка результатов, полученных в натурных условиях: Препр. – Апатиты : Изд-во КФ АН СССР, 1989. – 48 с.

Шавыкин А.А., Рыжов В.М., Кочукова О.В. Флуоресценция хлорофилла *in vivo*, хлорофилл «а» и биомасса фитопланктона на полигоне в Баренцевом море // Второй Всесоюзный съезд океанологов. Ялта, 10-17 декабря 1982 года. Тез. докл. Вып. 6. Биология Океана. – Севастополь: Морской гидрофизический инст-т. 1982. – С. 28–29.

Шавыкин А.А., Кочукова О.В., Черноок В.И. Выбор режима измерения интенсивности флуоресценции хлорофилла in vivo дискретных проб // Исследование и рациональное использование биоресурсов дальневосточных и северных морей СССР и перспективы создания технических средств для освоения неиспользуемых биоресурсов открытого океана: Тез. докл. Всесоюзн. сов. – Владивосток. 1985. – С. 138–139.

Шавыкин А.А., Степин С.Б., Старун С.С., Короткевич О.Е., Шумаков Ф.Т. Некоторые вопросы применения без экстрактной флуоресцентной методики экспрессного определения хлорофилла во внутренних водоемах // Комплексный дистанционный мониторинг озер: Сб. науч. тр. – Л. : Наука. 1987. – С. 129–139.

Шавыкин А.А., Рыжов В.М., Фишер Я., Стычиньска-Юревич Е. Исследование сестона в Гданьском заливе оптическими методами (октябрь 1992 г.). Препринт. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1994. – 52 с.

Шавыкин А.А., Матишов Г.Г., Жигульский В.А. ОВОС проекта транспортировки газа со Штокмановского месторождения до завода СПГ в губе Ура // НефтьГазПромышленность. 2006. – № 2(22). – С. 28–31.

Шавыкин А.А., Калинка О.П., Духно Г.Н., Сапрыгин В.В. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению [Электронный ресурс] : Сб. аннотаций докл. 8-й междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континент. шельфа стран СНГ (RAO / CIS Offshore 2007), Санкт-Петербург, 11–13 сентября 2007 г. – СПб. : Химиздат, 2007. – № 230. – С. 240.

Шавыкин А.А., Калинка О.П., Шарифуллин М.С. Некоторые вопросы экологического сопровождения нефтегазовых проектов в Арктике // Матер. междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 9-11 июня 2008 г.). – Ростов н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – С. 269–272.

Шавыкин А.А., Калинка О.П., Духно Г.Н., Сапрыгин В.В., Зырянов С.В. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008a. – № 3. – С. 13–22.

Шавыкин А.А., Калинчук В.В., Белянкова Т.И., Ващенко П.С., Карнатов А.Н. Оценка влияния на окружающую среду сейсмоакустических исследований в мелководных районах (на примере Тазовской губы Карского моря). // Тр. 9-ой междунар. конф. и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO / CIS Offshore 2009). 15-18 сентября 2009 года, Санкт-Петербург. – СПб. : Химиздат. 2009. – Т. 2. – С. 106–112.

Шавыкин А.А., Бердников С.В., Сапрыгин В.В., Вербицкий Р.Е. Непрерывные измерения океанологических параметров в приповерхностном слое Таганрогского залива. Определение хлорофилла «а» флуориметрическим методом // Вестник ЮНЦ РАН. – 2010. – Т.6, №3. – С. 39–48.

Шавыкин А.А., Ильин Г.В., Калинка О.П., Иванов С.А. Оценка уязвимости Баренцева моря от разливов нефти // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: Тез. докл. междунар. науч. конф., Мурманск, 10-12 марта 2010 г. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2010a. – С. 225–226.

Шавыкин А.А., Ващенко П.С., Карнатов А.Н. Некоторые проблемы экологического сопровождения освоения шельфа арктических морей // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: Тез. докл. междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 10-12 марта 2010 г.). – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2010b. – С. 223–224.

Шавыкин А.А., Калинчук В.В., Белянкова Т.И., Ващенко П.С., Карнатов А.Н. Оценка влияния на окружающую среду сейсмоакустических исследований в мелководных районах (на примере Тазовской губы Карского моря) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010c. – № 8. – С. 11–17.

Шавыкин А.А., Соколова С.А., Ващенко П.С. Взвесь при гидротехнических работах на шельфе. I. Время существования и размеры зон распространения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. – № 2. – С. 8–12.

Шавыкин А.А., Соколова С.А., Ващенко П.С. Взвесь при гидротехнических работах на шельфе. II. Оценка воздействия на биоту при расчете ущерба рыбным запасам // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011a. – № 3. – С. 30–35.

ШДАГ (Штокман Девелопмент АГ). Комплексное освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения. Фаза 1. Проект организации строительства. План морских операций : RU-SH1-81-F001-08-ПОС-090115, 2009. – 47с.

ШДАГ (Штокман Девелопмент АГ). Комплексное освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения. Фаза 1, 1-А Этап: Подводный добычной комплекс с системами подсоединения технологического судна. ТОМ 1.1. Пояснительная записка : RU-SH1-81-F001-08-ПЗ-090101–06, 2010. – 192 с.

Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А. Морские геолого-геофизические исследования и их экологические последствия // Бюл. моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2000. – Т. 75, Вып. 3. – С. 52–56.

Шум в океанах опасен для китов и дельфинов [Электронный ресурс] // вебсайт – Киты и дельфины. По материалам РИА Новости от 18:25 15.09.2008. – URL: http://www.cetacea.ru/news/news2008.htm(Дата обращения: 15.09.2014).

Экологический мониторинг // Экологическая энциклопедия. В 6 томах / Редкол. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. и др,. – М. : ООО «Издательство «Энциклопедия»», 2013. – Т. 6. – С. 554–555.

Экология как сфера глобального взаимодействия [Электронный ресурс] Третий Невский международный экологический конгресс. Круглый стол № 2. Рекомендации. 14 мая 2010 Санкт-Петербург, 2010. – 8 с. – URL: http://old.ecocongress.info/3_docs/table_2.doc (Дата обращения: 22.07.2013).

Ярыгин Г.А., Долотовская Л.З., Темкин В.М., Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Шавыкин А.А. Концепция создания системы производственного экологического мониторинга Штокмановского проекта (морской добычной комплекс и морской газопровод) // Нефть и газ арктического шельфа – 2004: Матер. междунар. конф. Мурманск, 17-19 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2004. – С. 302–309.

Ярыгин Г.А., Равикович В.И., Самойлов О.Ю., Маслобоев В.А., Шавыкин А.А. Инженерно-экологические изыскания на проектируемых площадках и в зоне влияния завода СПГ в п. Видяево Мурманской области как первый этап создания системы производственного экологического мониторинга // Нефть и газ арктического шельфа – 2006: Матер. междунар. конф. Мурманск, 15-17 ноября. – Мурманск : ММБИ КНЦ РАН. 2006. – С. 318–321.

Abbott M.R., Richerson P.J., Powell T.M. In situ response of phytoplankton fluorescence to rapid variations in light // Limnol. Oceanogr. 1982. – Vol. 27, № 2. – P. 218–225.

Amante C., Eakins B.W. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, March 2009. 2009. – 19 p. – URL: http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html (Дата обращения: 15.09.2014).

AMAP (the Arctic Monitoring and Assessment Programme) Assessment 2007: Oil and gas activities in the Arctic – effects and potential effects. Volume 2. – Norway, Oslo : AMAP, 2010. – 277 p.

Anker-Nilssen T. Lundens populasjonsokologi pa Røst i 1998 // NINA Oppdragsmelding № 571. – Trondheim: NINA. 1998. – P. 1–32.

API (American Petroleum Institute). A critical review of toxicity values and evaluation of the persistence of petroleum products for use in natural resource damage assessments. – USA, Wilmington : American Petroleum Institute, 1995. – Publication № 4594.

API (American Petroleum Institute). Fate of spiled oil in marine waters. An information booklet for decision-makers. – Health and Environmental nScience Department. – Publication No. 4691, 1999. – 42 p. (цит. по [Патин, 2008])

API (American Petroleum Institute). Crude Oil Category. Category Assessment Document. – USA : American Petroleum Institute, 2011. – Publication № 201-16852B. – 108 p.

Awbrey F.T., Stewart B.S. Behavioral responses of wild beluga whales (*Delphinapterus leucas*) to noise from oil drilling // J. Acoust. Soc. Am. 1983. – Vol. 74, Issue S1. – P. S54.

Baker C.S., Herman L.M., Bays B.G., Stifel W.F. The impact of vessel traffic on the behavior of humpback whales in southeast Alaska. – Seattle : Kewalo Basin Marine Mammal Laboratory, University of Hawaii, 1982. – 78 p.

Banner A., Hyatt M. Effects of noise on eggs and larvae of two estuarine fishes // Trans. Amer. Fish. Soc. 1973. – Vol. 102. – P. 134–136.

Biassoni N., Miller P.J., Tyack P.L. Preliminary results of the effects of SURTASS-LFA sonar on singing humpback whales. Technical Report # 2000-06. – Massachusetts : Woods Hole Oceanographic Institute, 2000. – 23 p.

Bolt Technology corporation [Электронный ресурс] official website– URL: http://www.bolt-technology.com (Дата обращения: 15.09.2014).

BRISK (Project on sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea). Method note. Document no. P- 070618-1-01. – Admiral Danish Fleet HQ, National Operations, Maritime Environment. 2009. – Ver. 0.2. – 42 p. – URL: http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=83433&folderId=504938&name=DLFE-38440.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

Bryant P.J., Lafferty C.M., Lafferty, S.K. Reoccupation of Guerrero Negro, Baja California, Mexico, by gray whales. In The gray whale, Eschrichtius robustus. Edited by M.L. Jones, S.L. Swartz, and S. Leatherwood. – Orlando, Florida : Academic Press, 1984. – 375–87 p.

Buckstaff K.C. Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, Tursiops truncatus, in Sarasota Bay, Florida // Mar. Mamm. Sci. 2004. – Vol. 20. – P. 709–725.

Burger A.E. Estimating the mortality of seabirds following oil spills: Effects of spill volume // Marine Pollution Bulletin. 1993. – Vol. 26, №. 3, – P. 141–143.

Camphuysen C.J., Calvo B., Durinck J., Ensor K., Follestad A., et al., Consumption of discards by seabirds in the North Sea // Final Report to the European Commission Study Contract BIOECO/93/10, NIOZ-Report 1995. – Vol. 5. – 202 p.

Carlson T.J., Hastings M.C., Popper A.N. Update on recommendation for revised interim sound exposure criteria for fish during pile driving activities. – California : Dep. of Transportation, 2007. 8 p. – URL: http://www.caltrans.ca.gov/hq/env/bio/fisheries_bioacoustics.htm (Дата обращения: 15.09.2014).

Chen C.T., Millero F.J. Speed of sound in seawater at high pressures // J. Acoust. Soc. Am. – Vol. 62, issue 5. 1977. – P. 1129–1135.

Cisewski B., Strass V. H., Rhein M., Kragefsky S. Seasonal variation of diel vertical migration of zooplankton from ADCP backscatter time series data in Lazarev Sea, Antarctica // Deep-Sea Research. 2010. – № 57. – P. 78–94.

Clark R.B. Impact of Oil Pollution on Seabirds // Environmental Pollution. 1984. – Series A, 33. – P. 1–22.

Collins M.A. Dredging-induced near-field resuspended sediment concentrations and source strengths [Электронный ресурс] // Miscellaneous Paper D-95-2, US Army engineer waterways experiment station, 1995. – 299 p. – URL: http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/mpd-95-2/mpd952.pdf
(Дата обращения: 02.03.2009).

Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals Ocean Noise and Marine Mammals. – Washington DC : National Academies Press, 2003. – 204 p.

Cork Rep. The 2nd International Conference on “The Effects of Noise on Aquatic Life”, 15-20 August. – Ireland, Cork, 2010.

Cosens S.E., Dueck L.P. Ice breaker noise in Lancaster Sound, N.W.T, Canada: implications for marine mammal behavior // Mar. Mamm. Sci. 1993. – Vol. 9, issue 3. – P. 285–300.

Costa D.P., Crocker D.E., Gedamke J., Webb P.M., Houser D.S., Blackwell S.B., Waples D., Hayes S.A., Le Boeuf B.J. The effect of a low-frequency sound source (acoustic thermometry of the ocean climate) on the diving behavior of juvenile northern elephant seals, Mirounga angustirostris // J. Acoust. Soc. Amer. 2003. – Vol. 113. – P. 1155–1165.

Cramp S., Simmons K.E.L. The Birds of the Western Palearctic. – New York, Oxford : Oxford University Press, 1977. – Vol. I. – 722 p.

Cramp S., Simmons K.E.L. The Birds of the Western Palearctic. – New York, Oxford : Oxford University Press, 1983. – Vol. III. – 913 p.

Croll D.A., Clark C.W., Calambokidis J., Ellison W.T., Tershy B.R. Effects of anthropogenic low-frequency noise on the foraging ecology of Balaenoptera whales // Anim. Conserv. 2001. – Vol. 4. – P. 13–27.

Cullen J.J., Renger E.H. Continuous measurement of the DCMU-induced fluorescence response of natural phytoplankton population // Mar. Biol. 1979. – Vol. 53. – P. 13–20.

Dalen J. Impact of seismic impulsive energy on marine organisms // Workshop on offshore oil activities and fisheries interactions. – Swakopmund, Namibia. 1994. – P. 60–75.

Dalen J. Effects of seismic surveys on fish, fish catches and sea mammals. Report for the Cooperation group - Fishery Industry and Petroleum Industry. Report no.: 2007-0512. – DNV Energy. 2007. – 33 p.

Dalen J., Knudsen G.M. Scaring effect in fish and harmful effects on eggs, larvae and fry by offshore seismic exploration // H.M. Merklingtr (ed.) Progress in underwater acoustics. - Ass. Simp. on Underwater acoustic, Halifakx, N.S., 1986. – New York : Plenum Publishing Gorp. 1987. – P. 93–102.

Denman K., Okubo A., Platt T. The chlorophyll fluctuation spectrum in the sea // Limnol. Oceanogr. 1977. – Vol. 22, № 6. – P. 1033–1038.

Depellegrin D., Blažauskas N., de Groot R. Mapping of sensitivity to oil spills in the Lithuanian Baltic Sea coast. – Baltica, Vilnius. 2010. – Vol. 23, issue 2. – P. 91–100.

Det Norske Veritas. Assessment of the Risk of Pollution from Marine Oil Spills in Australian Ports and Waters [Электронный ресурс]. Final Report, 2011. – 50 p. – URL: http://www.amsa.gov.au/forms-and-publications/environment/publications/Other-Reports/documents/DNV_Final_Report.pdf (Дата обращения: 21.02.2014).

Ecosystem Barents Sea / Ed. E. Sakshaug. Tapir Academic Press, Trondheim, 2009. – 586 p.

Emerrson R. Oil spill risk analysis // Environmental risk assessment for oil and gas development on the continental shelf of the Russian Far East (Seminar Presentation, February 1994, Magadan). 1994. – P. 34–40.

Engås A., Lokkeborg S., Ona E., og Soldal A.V. Effekter av seismisk skyting pa fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse // Fisken og Havet. 1993. – № 3. – 111 p.

Engås A., Lokkeborg S., Ona E., Soldal A.V. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (Gadus morhua) and haddock (Melanogrammus aeglefinus) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – Vol. 53, issue 10. 1996. – P. 2238–2249.

Enger P. S. Frequency discrimination in teleosts-central or peripheral? // Hearing and Sound Communication in Fishes, edited by W. N. Tavolga, A. N. Popper, and R. R. Fay. – New York : Springer-Verlag, 1981. – 243–255 p.

Environmental Sensitivity Index (ESI) Experience [Электронный ресурс]. Oil-Spill-Info.com (E-Tech International Inc.). 2014. – URL: http://www.oil-spill-info.com/sum_esi.html (Дата обращения: 18.02.2014).

Environmental Status of the Varanger-Kola Coastal Area: Akvaplan-niva report. № APN-414.2127. – Tromso (Norway), 2003. – 203 p.

Erikstad K.E., Anker-Nilssen T., Barrett R.T., Tveraa T. Demografi og voksenoverlevelse i noen norske sjøfuglbestander // NINA Oppdragsmelding 515. Trondheim : NINA. 1998. – P. 1–15.

ESI data in Google Earth [Электронный ресурс] ESI online. 2014. – URL: http://esionline.researchplanning.com (Дата обращения: 18.02.2014).

Esler D., Bowman T.D., Trust K.A., Ballachey B.E., Dean T.A., Jewett S.C., O'Clair C.E. Harlequin duck population recovery following the Exxon Valdez oil spill: progress, process and constraints // Mar Ecol-Prog Ser. 2002. – Vol. 241. – P. 271–286.

Etkin D.S., Nauke M., Koefoed J., Johnston P., Wells P., Campbell J., Meyer .T., Grey C. Estimates of oil entering the marine environment in the past decade: GESAMP Working Group 32 Project // Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference. – Washington D.C. : API. 1999. – P. 25–30.

Fashman M.J.R., Pugh P.R. Observation of the horizontal coherence of chlorophyll a and temperature // Deep-Sea Res. 1976. – Vol. 23. – P. 527–538.

Fauchald P., Erikstad K.E. The predictability of the spatial distribution of guillemots (Uria spp.) in the Barents Sea // Seabirds population in the Northern Barents Sea / Ed. K. Isaksen. Oslo. (Norsk Polar Inst/ Meddelese). 1995. – № 135. – P. 105–122.

Fauchald P., Erikstad K.E., Skarsfjord H. Physical and biological environmental properties as predictors of the broad scale spatial distribution of pelagic seabirds // NINA-NIKU Project Rep. 1996. – № 6. – P. 1–20.

Fay R.R. Hearing in Vertebrates: A Psychophysics Databook. – Winnetka, Il : Hill-Fay Assoc., 1988. – 621 p.

Fernández A., J.F. Edwards, F. Rodriquez, A.E. de los Monteros, P. Herráez, P. Castro, J.R. Jaber, V. Martin, and M. Arbelo. Gas and fat embolic syndrome involving a mass stranding of beaked whales (Family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals // Veterinary Pathology. – Vol. 42, issue 4. 2005. – P. 446-457.

Finley K.J., Miller G.W., Davis R.A., Greene C.R. Reactions of belugas, Delphinapterus leucas, and narwhals, Monodon monoceros, to ice-breaking ships in the Canadian high arctic // Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. – Vol. 224. 1990. – P. 97-117.

Finneran J.J., Schlundt C.E. Effects of intense pure tones on the behavior of trained odontocetes. Technical Report #1913. – San Diego : SSC San Diego, 2004. – 22 p.

Ford R.G. A Risk Analysis Model for Marine Mammals and Seabirds: A Southern California Bight Scenario. Final Report. – Los Angeles : Ecological Consulting, 1985. – 236 p.

Franeker J. A. van. A comparison of methods for counting seabirds at sea in the Southern Ocean // J. Field Ornithology. 1994. – Vol. 65, № 1. – P. 96–108.

Frankel A.S., Clark C.W. Results of low-frequency playback of M-sequence noise to humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in Hawai'i // Canadian Journal of Zoology. 1998. – Vol. 76. – P. 521–535.

French-McCay D.P. Oil spill impact modeling: development and validation // Environmental toxicology and chemistry. 2004. – Vol. 23, № 10. – P. 2441–2456.

French-McCay D. State-of-the-art and research needs for oil spill impact assessment modeling // Proceedings of the 32nd AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, Emergencies Science Division. – Canada, Ottawa : Environment Canada, 2009. – P. 601–653.

Gala W.R., Rausina G.A., Ammann M.J., Harvey E.A. Predicting the toxicity of crude oils // Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference. – Washington, D.C. : API. 2001. – P. 935–940.

Genin Amatzia, Jules S. Jaffe, Ruth Reef, Claudio Richter, Peter J.S. Franks. Swimming Against the Flow: A Mechanism of Zooplankton Aggregation // Science. 2005. – Vol. 308 – P. 860–862.

GEO 5 (Global Environment Outlook – Глобальная экологическая перспектива). [Электронный ресурс] Программа ООН по окружающей среде. – UNEP, 2012. – 10 с. – URL: www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5-Global_PR_RU.pdf (Дата обращения: 20.07.2013).

GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine environment // GESAMP Reports and Studies. 1993. – №. 50. – 180 p.

Gordon J.C.D., Leaper R., Hartley F.G., Chappell O. Effects of whale watching vessels on the surface and underwater acoustic behavior of sperm whales off Kaikoura, New Zealand // Science and Research Series. 1992. – № 52. – 64 p.

Goto S., Masumi Y., Seiichi H., Nobuhiro S., Kunihisa S. & Kazuko S. Environment sensitivity analysis for near shore region using GIS based ESI map [Электронный ресурс] // The International Symposium on Disaster Prevention, 9-11 March 2006. – Japan, Kochi. 2006. – URL: http://management.kochi-tech.ac.jp/PDF/ISMD/ISMD_Goto.pdf (Дата обращения: 11.11.2013).

Gould P.J., Forsell D.J. Techniques for shipboard surveys of marine birds // Fish and Wildlife Technical Rep. Washington. 1989. – Vol. 25. – 22 p.

Guidelines for monitoring methods to be used in the vicinity of platform in the North Sea. – Paris Commission, 1989. – 33 p.

Gundlach E.R., Hayes M.O. The AMOCO CADIZ Oil Spill // NOAA/EPA Special Report. 1978. – P. 85–196.

Hannay D., MacGillivray A., Laurinolli M., Racca R. Source level measurements from 2004 Acoustics Program SEIC (Sakhalin Energy Investment Company). – JASCO Research. 2004. – 66 p.

Hassel A., Knutsen T., Dalen J., Skaar K., Lokkeborg S., Misund O.A., Ostensen O., Fonn M., Haugland E.K. Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (Ammodytes marinus) // ICES J. Mar. Sci. – Vol. 61. 2004. – P. 1165-1173.

Hastings M.C., Popper A.N., Finneran J.J., Lanford, P.J. Effect of low frequency underwater sound on hair cells of the inner ear and lateral line of the teleost fish Astronotus ocellatus // J. Acoust. Soc. Am. – Vol. 99, issue 3. 1996. – P. 1759–1766.

HELCOM (Helsinki Commission) Third Periodic Assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea, *1989-1993*. Background document [Электронный ресурс] // Helsinki Commission, Baltic Sea Environment Proceedings, 1996. – No.64B. – 111 p. – URL: http://helcom.fi/Lists/Publications/BSEP64B.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

Herbland A. The soluble fluorescence in the open sea: distribution and ecological significance in the equatorial Atlantic Ocean // J. exp. mar. Biol. Ecol. 1978. – Vol. 32, № 3. – P. 275–284.

Herbland A., Voitures B., Relation chlorophyll “a” – dans l’Atlantique tropical. Influence de la structure hydroloque // Can. O.R.S.T.O.M., ser. Oceanogr. 1977. –Vод. 15, № 1. – P. 67–77.

HESS (High Energy Seismic Survey). High Energy Seismic Survey review process and interim operational guidelines for marine surveys offshore Southern California // High energy seismic survey review process report. – California : Calif. State Lands Comm. and U.S. Minerals Manage. Serv. 1999. – 98 p.

Hiscock K., Tyler-Walters H. Assessing the seabed sensitivity of species and biotopes – the Marine Life Information Network (MarLIN) // Hydrobiologia. 2006. – Vol. 555. – P. 309–320.

Holliday D.V., PieperR.V., Clarke M.E., Greenlaw C.F. Effects of airgun energy releases on the eggs, larvae and adults of the Northern anchovy (Engraulis mordax). – USA : American Petroleum Institute. 1987. – 108 p.

Holmes W.N. Petroleum pollutants in the marine environment and their effects on seabirds / Environmental Toxicology. Reviews. I.E. Hodgson (ed.). – Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1984. – P. 251–317.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment. – Copenhagen : ICES, 2000. – 263 p.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea). AGISC (Ad-Hoc Group on the Impact of Sonar on Cetaceans) // International Council for the Exploration of the Seas. – Copenhagen, Denmark. 2005. – 61 p.

IMO, IPIECA (International Maritime Organization, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Составление карт экологически уязвимых зон при ликвидации разливов нефти [Электронный ресурс]. – Лондон : IPIECA, 1994. – Т. 1. – 26 p. – URL: http://www.caspianenvironment.org/newsite/OSPRI/Other%20Reports/Russian/IMO_Vol1_ru.pdf (Дата обращения: 10.04.2012).

IMO, IPIECA (International Maritime Organization, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). A guide to contingency planning for oil spill on water (2nd edition). – London : IPIECA, 2000. – Vol. 1. – 30 p.

IMO, IPIECA (International Maritime Organization, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association) Sensitivity mapping for oil spill response. – London : IPIECA. 2010. – 27 p.

IMO, IPIECA, OGP (International Maritime Organization, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, International Association of Oil & Gas Producers) Sensitivity mapping for oil spill response. – London, 2012. – 39 p. – URL: http://www.ipieca.org/publication/sensitivity-mapping-oil-spill-response-0 (Дата обращения: 12.09.2014).

Introduction to Environmental Sensitivity Index Maps [Электронный ресурс] //Office of response and restoration. – USA : NOAA, 2008. – 56 p. – URL: http://response.restoration.noaa.gov/maps-and-spatial-data/anatomy-esi-maps.html (Дата обращения: 11.11.2013).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Biological Impacts of Oil Pollution: Coral Reefs. IPIECA report series. – London : IPIECA, 1992. – Vol. 3. – 20 p. – URL: http://www.ipieca.org/publication/biological-impacts-oil-pollution-coral-reefs (Дата обращения: 15.09.2014).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Biological Impacts of Oil Pollution: Mangroves. IPIECA report series. – London : IPIECA, 1993. – Vol. 4. – 24 p. – URL: http://www.ipieca.org/publication/biological-impacts-oil-pollution-mangroves (Дата обращения: 15.09.2014).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Biological Impacts of Oil Pollution: saltmarshes. IPIECA report series. – London : IPIECA, 1994. – Vol. 6. – 24 p. – URL: http://www.ipieca.org/publication/biological-impacts-oil-pollution-saltmarshes (Дата обращения: 15.09.2014).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Биологическое воздействие загрязнения окружающей среды нефтью: скалистые берега. IPIECA. Серия докладов. – Лондон : IPIECA, 1995. – Том 7. – 24 с. – URL: http://www.ipieca.org/sites/default/files/publications/Vol7_RockyShores-rus.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Биологическое воздействие загрязнения окружающей среды нефтью: рыбные ресурсы. IPIECA. Серия докладов. – Лондон : IPIECA, 2000. – Том 8. – 32 с. – URL: http://www.ipieca.org/sites/default/files/publications/Vol8_FISHERIES_rus.pdf (Дата обращения: 20.01.2014).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Биологическое воздействие загрязнения окружающей среды нефтью: берега, образованные осадочными породами. IPIECA. Серия докладов. – Лондон : IPIECA, 2000a. – Том 9. – 24 с. – URL: http://www.ipieca.org/sites/default/files/publications/Vol9SEDDY_SHORES_0.pdf (Дата обращения: 20.01.2014).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Biological impacts of oil pollution: minimize damage. IPIECA report series. – London : IPIECA. 2000b. – Vol. 10. – 24 p.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). Руководство по планированию действий в чрезвычайных ситуациях при разливах нефти на воде. Серия докладов IPIECA. 2-й том. Великобритания, Лондон, Блэкфрайс-роуд, 209-215, 5-й этаж. – 2-е издание. – 2000с. – 30 с

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). The main directions of the biological impacts of oil pollution. IPIECA report series. – London : IPIECA. 2004. – Vol. 1. – 24 p.

Irima-Hurdugan O., Hazareanu G. The incidence of zooplankton speed and sampling depth on the sampling efficiency. Preliminary comparative data // Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle «Grigore Antipa». 2011. – Vol. LIV (1). – P. 283–291.

ISO 10253:1995. Качество воды. Испытание на замедление роста морских водорослей Skeletonema costatum и Phaeodactylum tricornutum [Электронный ресурс] : ISO 10253:1995. Введ. 1995.10.01. – Международная организация по стандартизации, 1995. – 12 стр. – URL: http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=18294&ICS1=13&ICS2=060&ICS3=70 (Дата обращения: 02.03.2009).

ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation). Fate of marine oil spills. Technical information paper. – London : ITOPF, 2002. – 8 p. – URL: www.itopf.com/_assets/documents/tip2.pdf (Дата обращения 24.04.2014).

Jacobs S.R., Terhune J.M. The effectiveness of acoustic harassment devices in the Bay of Fundy, Canada: seal reactions and a noise exposure model // Aquat. Mamm. 2002. – Vol. 28. – P. 147–158.

Jenssen B.M. Review article: effects of oil pollution, chemically treated oil, and cleaning on the thermal balance of birds // Environmental Pollution. 1994. – Vol. 86, Issue 86 (2). – P. 207–215.

Jepson P.D., M. Arbelo, R. Deaville, I.A.P. Patterson, P. Castro, J.R. Baker, E. Degollada, H.M. Ross, P. Herráez, A.M. Pocknell, F. Rodríguez, F.E. Howie, A. Espinosa, R.J. Reid, J.R. Jaber, V. Martin, A.A. Cunningham, and A. Fernández. Gas-bubble lesions in stranded cetaceans // Nature. 2003. – Vol. 425. – P. 575-579.

JIP 2006 – 2010 (Joint Industry Programme). E&P Sound and Marine Life Joint Industry Programme: Research and Development to Inform Decision Making, Risk Reduction and Management. [Электронный ресурс] // International Association of Oil & Gas Producers. 2010. – 15 p. – URL: http://www.oceancouncil.org/site/pdfs/13%20Marine%20Mammals%201-John%20Young.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

Joint I.R. The microbial ecology of the Bristol Channel // Mar. pollut. bull. 1984. – Vol. 15, № 2. – P. 62-67.

Karlsen H.E., Piddington R.W., Enger P.S., Sand O. Infrasound initiates directional fast-start escape responses in juvenile roach Rutilus rutilus // J. Exp. Biol. 2004. – Vol. 207. – P. 4185- 4193.

Kastelein R.A., Mosterd P., B. van Santen, Hagedoorn M., D. de Haan Underwater audiogram of a Pacific walrus (Odobenus rosmarus divergens) measured with narrow-band frequency-modulated signals // J. of the Acoustical Society of America. 2002. – Vol. 112. – P. 2173–2182.

Kastelein K.A., Jennings N.V., VerboomW.c., de Haan d., Schoonemann N.M. Differences in the response of a striped dolphin (stenella coeruleoalba) and harbor porpoise (Phoecoena phocoena) to an acoustic alarm // Marine Ernvironm. Res. 2006. – Vol. 61. – P. 363–378.

Kerr S.J. Silt, turbidity and suspended sediments in the aquatic environment: an annotated bibliography and literature review. [Электронный ресурс] / Ontario Ministry of Natural Resources, Southern Region Science & Technology Transfer Unit Technical Report TR–008, 1995. – 277 p. – URL: http://www.mnr.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@mnr/@letsfish/documents/document/228131.pdf (Дата обращения: 02.03.2009).

Kiefer D.A. Chlorophyll *a* fluorescence in marine centric diatoms: responses of chloroplasts to light and nutrient stress // Mar. Biol. 1973. – Vol. 23. – P. 39–46.

King J.G., Sanger G.A. Oil vulnerability index for marine oriented birds // Conservation of marine birds of Northern North America. U.S. Fish and Wildlife Service. Wildlife Research Report 11. – Washington, DC, 1979. – P. 227–239.

Knudsen F.R., Schreck C.B., Knapp S.M., Enger P.S., Sand, O. Infrasound produces flight and avoidance responses in Pacific juvenile salmonids // J. Fish. Biol. 1997. – Vol. 51. – P. 824–829.

Komdeur J., Bertelsen J., Cracknell G. (Eds.). Manual for Aeroplane and Ship Surveys of Waterfowl and Seabirds. IWRB Special Publ, 1992. – Iss. № 19. – 37 p.

Kostyuchenko L.P. Effect of elastic waves generated on fish, on fish eggs in Black Sea // Hydrobiological J. 1973. – Vol. 9, issue 5. – P. 72–75.

Låhr J., de Lange H.J., Janssen J.A.M., van Lanen R., de Jong D.J. Vulnerability maps for emergency oil spill in tidal waters. Description of the method. Preliminary maps of the Western Scheldt, the Eastern Scheldt, Wadden Sea in the North Sea [Карты уязвимости при аварийном разливе нефти в приливно-отливных водах. Описание методики. Предварительные карты районов Западной Шельды, Восточной Шельды, Ваддензе в Северном море]. Altera Report. – Netherlands. 2007.

Large Marine Ecosystems: Patterns, Processes and Yields / K. Sherman, L. Alexander, B. Gold (Eds.). – Washington D.C. : American Association for the Advancement of Science, 1990. – 242 p.

Launder B.E., Morse A., Rodi W., Spalding D.B. Prediction of free shear flows - a comparison of the performance of six turbulence models // Free Turbulent Shear Flows, Conf. Proc., 1973. – Vol.1, NASA Rep. # SP-321, – P. 361–422.

LGL Ltd. and Greeneridge Sciences. Reactions of beluga whales and narwhals to ship traffic and ice-breaking along ice edges in the eastern Canadian High Arctic: 1982-1984 // Environmental Studies. – Indian and Northern Affairs Canada. 1986. – 329 p.

List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters / B.I. Sirenko (Eds.) // Exploration of the fauna of the seas. St.-Petersburg, 2001. – 131 p.

Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations [Электронный ресурс] / Anchor Environmental CA, 2003. 140 p. – URL: http://www.coastal.ca.gov/sediment/Lit-ResuspendedSediments.pdf (Дата обращения: 02.03.2009).

Loeng H., Ozhigin V., Adlandsvik B. Water fluxes through the Barents Sea // ICES Journal of Marine Science. 1997. – Vol. 54. – P. 310–317.

Loftus M.E., Seliger H.H. Some limitation of the in vivo fluorescence technique // Chesapeake Sci. 1975. – Vol. 16, № 2. – P. 79–92.

Lokkeborg S., Soldat A.V. The influence of seismic exploration with airguns on cod (Gadus morhua) // ICES Marine Science Symp. 1993. – P. 62–67.

Lorentsen S.H. Det nasjonale overvåkingsprogrammet for sjøfugl. Resultater fra hekkesesongen 1998 // NINA Oppdragsmelding 565. – Trondheim : NINA. 1998. – P. 1–75.

Lorenzen C.J. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration // Deep - Sea Res. 1966. – Vol. 13. – P. 223–227.

Mackas D.L., Owen R.W. Temporal and spatial resolution of pump sampling systems // Deep-Sea Res. – 1982.– Vol. 29, N 7A. – P. 883-892.

Malme C.I., Miles P.R., Clark C.W., Tyack P., Bird J.E. Investigations of the potential effects of underwater noise from petroleum industry activities on migrating gray whale behav-

ior // BBN Rep. 5366. for U.S. Minerals Manage. Serv., Anchorage, AK. NTIS PB86-174174. – Cambridge : Bolt Beranek and Newman Inc, 1983. – 407 p.

Malme C.I., Miles P.R., Clark C.W., Tyack P., Bird J. E. Investigations of the potential effects of underwater noise from petroleum industry activities on migrating gray whale behavior. Phase II // BBN Rep. 5586. for U.S. Minerals Manage. Serv. – Cambridge : Bolt Beranek and Newman Inc, 1984. – 358 p.

Malme C.I., Würsig BC., Bird J.E., Tyack P. Behavioral responses of gray whales to industrial noise: Feeding observations and predicative modeling. Outer Continental Shelf Environmental Assessment Program. Final Reports of Principal Investigations. BBN Report No 6265.OCS Study MMS 88-0048. – Anchorage : NOAA, 1986. – P. 393–600.

Malme, C. I., Würsig, B., Bird, J. E., & Tyack, P. Observations of feeding gray whale responses to controlled industrial noise exposure // W.M. Sackinger et al. (eds.) , Port and ocean engineering under arctic conditions. – Geophys. Inst., Univ. Alaska, Fairbanks. – 1988. – Vol. 2. – P. 55-73

Matishov G.G. The reaction of bottom-fish larvae to airgun pulses in the context of the Vulnerable Barents Sea ecosystem // Second Intern. Conf. on fish. and offsh. Petr. Explor. - Norway, Bergen. 1992.

Matishov G.G., Denisov V.V. Ecosystems and bioresources of the Russian European seas at the turn of the XXI century. – Murmansk : Company “MIP–999”, 2000. – 118 p.

Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L. Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem // Large Marine Ecosystems of the World: Trends in Exploitation, Protection and Research. – Berlin : Elsevier, 2003. – P. 41–74.

Maurer D., Keck R.T., Tinsman J.C., Leathem W.A. Vertical migration and mortality of benthos in dredge material – part II: *Crustacea* // Marine environmental research. 1981. Vol. 5, № 4. – P. 301–318.

Maurer D., Keck R.T., Tinsman J.C., Leathem W.A. Vertical migration and mortality of benthos in dredge material – part III: *Polycheta* // Marine environmental research. 1982. – Vol. 6, № 1. – P. 49–68.

Maurer D., Keck R. T., Tinsman J. C., Leathem W. A., Wethe C., Lord C., Church T. M. Vertical migration and mortality of marine benthos in dredged material: a synthesis // Int. Rev. GESAMP. Hydrobiol. 1986. – Vol. 771, № 1. – P.49–63.

McCauley R.D., Cato D.H., Jeffery A.F. A study of the impacts of vessel noise on humpback whales in Hervey Bay. – Australia, Townsville : James Cook University of North Qld, 1996. – 137 p.

McCauley R., Fewtrell J., Popper A.N. Effects of anthropogenic sounds on fish ears // J. Acoust. Soc. Am. 2003. – Vol. 113, № 1. – P. 638– 642.

McFarland V.A., Peddicord R.K. Lethality of a suspended clay to a diverse selection of marine and estuarine macrofauna // Arch. environm. contam. toxicol. 1980. – Vol. 9, № 6. – P. 733–741.

McMath A., Cooke A., Jones M., Emblow C.S., Wyn G., Roberts S., Costello M.J., Cook B., Sides E.M. Sensitivity and mapping of inshore marine biotopes in the Southern Irish Sea (SensMap). Final report. – Countryside Council for Wales, Maritime Ireland-Wales INTERREG, 2000. – 300 p.

Mehlum F. Summer distribution of seabirds in northern Greenland and Barents Sea // Norsk Polarinst. Skr. 1989. – № 191. – 56 p.

Mehlum F., Gabrielsen G.W. Energy expenditure and food comsumption by seabird population in the Barents Sea region // Ecology of Fjords and Coastal Waters. Skjodal H.R., Hopkins C., Erikstad K.E., Leninass H.P. (eds.). Elsivier Sci. 1995. B.V. – P. 457–470.

MMS (US Department of the Interior, Minerals Management Service). Outer continental shelf natural gas and oil resource management program: Cumulative effects (1987-1991). – OCS Report MMS 95-0007. 1995. – 220 p.

Monteiro-Neto C., Avila F.J.C., Araujo D.S., Campos A.A., Martins A.M.A., Parente C.L., Furtado-Neto M.A.A., Lien J. Behavioral responses of Sotalia fluviatilis (*Cetacea, Delphinidae*) to acoustic pingers, Fortaleza, Brazil. // Marine Mammals. 2004. – Vol. 20, Issue 1. – P. 141–151.

Monterey G. I., Levitus S. Climatological cycle of mixed layer depth in the world ocean. [Электронный ресурс] // NOAA Atlas NESDIS 14. – USA, U.S. Gov. Printing Office, NOAA NESDIS. 1997. – 102 P. – URL: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.nodc.woa94.html (Дата обращения: 15.09.2014).

Moore S.F., Dwyer R.L., Katz A.M. A preliminary assessment of the environmental vulnerability of Machies Bay, Maine, to Oil Supertankers. TR № 162, – USA : Massachusetts Institute of Technology, 1973. – 162 p.

Morisaka T., Shinohara M., Nakahara F., Akamatsu T. Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations // J. of Mammalogy. 2005. – Vol. 86, Issue 3. – P. 541–546.

Moriyasu M., Allain R., Benhalima K., Claytor R. Effects of seismic and marine noise on invertebrates: A literature Review [Электронный ресурс]. Research Document 2004/126. – Canada : Canadian science secretariat, 2004. – 44 p. – URL: http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/Csas/DocREC/2004/RES2004_126_e.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

Morton A.B., Symonds H.K. Displacement of Orcinus orca (L.) by high amplitude sound in British Columbia // ICES J. Mar. Sci. 2002. – Vol. 59. – P 71–80.

Moses W.J., Gitelson A.A., Berdnikov S.V., Povazhnyy V.V. Estimation of chlorophyll-a concentration in case II waters using MODIS and MERIS data-successes and chellenges // Environ. Res. Lett. – 2009. – 8 p.

Mozeley W.B., Del Balzo D.R. Horizontal random temperature structure of the ocean // J. Of physical oceanography. 1976. – Vol. 6. – P. 267–280.

MSFD (Marine Strategy Framework Directive) 2008/56/Ec of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 // Official J. of the European Union. 2008.

Nachtigall P.E., Pawloski J.L., Au W.W.L. Temporary threshold shifts and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) // J. Acoust. Soc. Amer. 2003. – Vol. 113. – P. 3425–3429.

NCM (Nordic Council of Ministers). Short- and long-term effects of accidental oil pollution in waters of the Nordic Countries. – Copenhagen : Nordic Council of Ministers, 2008. – 69 p.

Nedwell J., Langworthy J., Howell D. Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. Report No. 544 R 0424. – UK, Newbury: COWRIE, 2003. – 72 p. – URL: http://www.subacoustech.com/information/publications.shtml (Дата обращения: 15.09.2014).

NMFS (National Marine Fisheries Service). Small takes of marine mammals incidental to specified activities; offshore seismic activities in southern California. Notice of issuance of an incidental harassment authorization. – Federal Register, 60 (200, 17 Oct.), 1995. – P. 53753-53760.

NMFS (National Marine Fisheries Service). Taking marine mammals incidental to conducting oil and gas exploration activities in the Gulf of Mexico. – Federal Register, 68. 2003. – P. 9991–9996.

NMFS (National Marine Fisheries Service). Assessment of acoustic exposures on marine mammals in conjunction with USS Shoup active sonar transmission in Haro Strait Washington, 5 May, 2003. – USA, Washington : NMFS, 2005. – 13 p.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Outer continental shelf environmental assessment program (OCSEAP). Final reports of principal investigators. Vol.36. Part 1 of 2. – USA, Seattle : NOAA, 1985.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Environmental sensitivity index guidelines. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Version 2.0. – USA, Seattle: NOAA, 1997. – 79 p.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Environmental Sensitivity index guidelines. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11. Version 3.0. – USA, Seattle: NOAA, 2002. – 192 p.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Endangered fish and wildlife; Notice of intent to prepare and environmental impact statement. – Federal Register, 70. 2005. – P. 1871–1875.

Nord Stream AG. Отчёт по экологическому мониторингу морского участка российской секции газопровода Nord Stream в соответствии с требованиями Минприроды России за 2011 год [Электронный ресурс], 2012. – 193 с. – URL: www.nord-stream.com/download/document/186/?language=ru (Дата обращения: 31.07.2012).

Nowacek D., Johnson M.P., Tyack P.L. North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) ignore ships but respond to alerting stimuli // Proc. Biological Sciences. 2004. – Vol. 271 (1536). – P. 227–231.

Nowacek D.P., Thorne L.H., Johnston D.W., Tyack P.L. Responses of cetaceans to anthropogenic noise // Mammal. 2007. – Rev 37, Issue 2. – P. 81–115.

Nowacek D.P., Vedenev A.I., Brandon L., Southall B.L., Racca R. Development and implementation of criteria for exposure of Western Gray Whales to oil and gas industry noise // Proceedings of the 2nd International Conference "The Effects of Noise on Aquatic Life". – Cork, Ireland, 2010. – P. 523–524.

NRC (National Research Council). Marine mammal populations and ocean noise: Determining when noise causes biologically significant events. – Washington D.C., The National Academies Press. 2005. – 126 p.

NRL (Naval Research Laboratory). Acoustic modeling results of the Haro Strait for 5 May 2003. Naval Research Laboratory report. – US : University of Washington, Naval Research Laboratory, 2004.

NRL (Naval Research Laboratory). EEEL analysis of SHOUP transmissions in the Haro Strait on 5 May 2003 / Naval Research Laboratory briefing of 2 September 2004. – US : University of Washington, Naval Research Laboratory. 2004a.

Offringa H., Låhr J. SafetyatSea. An integrated approach to map ecologically vulnerable ereas in marine waters in the Netherlands (V-maps). Report № A09. Revision No 4. – Centre for Ecosystem Studies, 2007. – 93 p.

Oil spill science and technology. Prevention, Response, and Cleanup / Edit. By M. Fingas. – Gulf Professional Publishing, Elsever. 2011. – 1156 p.

Oppdatering av forvaltningsplanen for det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofote [Электронный ресурс]. Meld. St. 10 (2010–2011) Melding til Stortinget. – Det Kongelige Miljøverndepartement, 2011. – 144 p. – URL: http://www.regjeringen.no/pages/16007995/PDFS/STM201020110010000DDDPDFS.pdf (Дата обращения: 08.08.2014).

OSPAR (Oslo and Paris convention). Quality Status Report 2000, Region II – Greater North Sea. OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. – London : OSPAR Commission, 2000. – 136 p.

OSPAR (Oslo and Paris convention). Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic [Электронный ресурс] // Biodiversity and Ecosystems Series. Publication Num. 441/2009. – 134 p. – URL: http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00441_Noise%20Background%20document.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

O'Sullivan A.J., Jacques T.G. Impact reference system. Effects of Oil in the Marine Environment: Impact of Hydrocarbons on Fauna and Flora. – Belgium : European Commission, 2001. – 79 p.

Owens N.J.P., Woodward E.M.S., Aiken J., Bellan I.E., Rees A.P. Primary production and nitrogen assimilation in the North Sea during July 1987 // Neth. J. sea res. 1990. – Vol. 25 (1/2). – P. 143–154.

Palka D., Hammond P.S. Accounting for responsive movement in line transect estimates of abundance // Can. J. of Fish. Aquat. Sci. 2001. – Vol. 58. – P. 777–787.

Pavlenko V.I., Glukhareva E.K. Environmental Changes in the Arctic and Development of Transcontinental Transportation // Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference. – Beijing. 2010. – 1095–1102 p.

Percy J.A. Responses of Arctic marine crustaceans to crude oil and oil-tained food // Environ. Poll. 1976. – Vol. 10. – P. 155–162.

Percy J.A., Mullin T.S. Effects of crude oils on the locomotory activity of Arctic marine invertabrates // Mar. Poll. Bull. 1977. – Vol. 2, №.2. – P. 35–39.

Pihl S., Frikke J., Counting birds from aeroplane /Eds. Komdeur J., Bertelsen J., Cracknell G. Manual for Aeroplane and Ship Surveys of Waterfowl and Seabirds. IWRB Special Publ. Iss. 1992. – № 19. – 24 p.

Pinto A.M.F., Sperling E.V., Moreira R.M. Chlorophyll-a determination via continuous measurement of plankton fluorescence: methodology development // Water Research. 2001. – Vol. 35, № 16. – P. 3977–3981.

Popper A.N., Carlson T.J. Application of sound of other stimuli to control fish behavior // Transactions of the American Fisheries Society. 1998. – Vol. 127, issue 5. – P. 673-707.

Popper A.N., Hastings M.C. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. review paper // Journal of Fish Biology. 2009. – Vol. 75. – P. 455–489.

Popper A.N., Carlson T.J., Hawkins A.D., Southall B.L., Gentry R.L. Interim criteria for injury of fish exposed to pile driving operations: a white paper. – USA : Washington state department of transport, 2006. – 15 p. – URL: http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/84A6313A-9297-42C9-BFA6-750A691E1DB3/0/BA_PileDrivingInterimCriteria.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

Record N.R., Young B. Patterns of diel vertical migration of zooplankton in acoustic Doppler velocity and backscatter data on the Newfoundland Shelf // Can. J. Aquat. Sci. 2006. – № 63. – P. 2708–2721.

Reeves R.R., Brownell R.L., Jr., Burdin A., Cooke J.G., Darling J.D., Donovan G.P., Gulland F.M.D., Moore S.E., Nowacek D.P., Ragen T.J., Steiner R.G., VanBlaricom G.R., Vedenev A., Yablokov A Impacts of Sakhalin II Phase 2 on Western North Pacific Gray Whales and Related Biodiversity. Report of the Independent Scientific Review Panel. – Switzerland, Gland : International Union for the Conservation of Nature, 2005. – 129 p.

Richardson W.J., Jr. Greene C.R., Koski W.R., Malme C.I., Miller G.W., Smultea M.A., Würsig B. Acoustic effects of oil production activities on bowhead and white whales visible during spring migration near Pt. Barrow, Alaska – 1989 phase. Report № NTIS Pb91-105486 for U.S. Minerals Management. – USA : LGL Ltd. Service, 1990. – 284 p.

Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I., Thomson D.H. Marine mammals and noise. – San Diego : Academic Press, 1995. – 576 p.

Ricker W.E. Linear regression in fishery research // J. Fish. Res. Board Can. 1973. – Vol. 30. – P. 409–434.

Riebel P.N., Percy J.A. Acute toxicity of petroleum hydrocarbons to the arctic shallow-water mysid, *Mysis oculata* (fabricius) // A Nordic journal of marine biology Sarsia. – Bergen. 1990. – Vol. 75, № 3. – P. 223–232.

Romano T.A., Keogh M.J., Kelly C., Feng P., Berk L., Schlundt C.E., Carder D.A., Finneran J.J. Anthropogenic sound and marine mammal health: measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2004. – Vol. 61. – 1124–1134.

Rowe J. McCay D.F., Whittier N. Estimation of natural resource damages for 23 Florida cases using physical fates and biological modeling [Электронный ресурс] // Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy. 2007. – Vol. 12, Article 34. – URL: http://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol12/iss1/34 (Дата обращения: 15.09.2014).

Saetre R., Ona E. Seismiske undersokelser og skader pa fiskeeegg og-larver // Fisken og Havet. 1996. – № 19. – P. 8–18.

Samiullah Y. Biological effects of marine oil pollution // Petrochemical Pollution. – England : Elsevier Applied Science Publishers Ltd. 1985.– Vol. 2, №.4. – P. 235–264.

Samuels W.B., Ladino A. Calculations of seabird populations recovery from potential oil spills in the mid-Atlantic region of the United States // Ecological Modelling. 1984. – Vol. 21, Issue 1-2. – P. 63–84.

Samuels W.B., Lanfear K.J. Simulations of seabird damage and recovery from oil spills in the Northern Gulf Of Alaska // Journal of Environmental Management. 1982. – Vol. 15(2). – P. 169–182.

Sand O., Enger P.S., Karlsen H.E., Knudsen F.R. Detection of infrasound in fish and behavioral responses to intense infrasound in juvenile salmonids and European silver eels: a minireview // Am. Fish. Soc. Symp. 2001. – Vol. 26. – P. 183–193.

Schiller H., Bernen C., Krasemannn H.L. Automated classification of an environmental sensitivity index // Environmental Monitoring and Assessment. – Vol. 110, Issue 1-3. 2005. – P. 291–299.

Scott D. A., Rose P. M. Atlas of Anatidae populations in Africa and Western Eurasia. – Wageningen. The Netherlands: Wetlands International, 1996. – P. 1–336.

Seip K.L., Sandersen E., Mehlum F., Ryssdel J. Damages to seabirds from oil spills: comparing simulation results and vulnerability indexes // *Ecological Modelling.* 1991. – Vol. 53. – P. 39–59.

Sensitivity atlas [Электронный ресурс] Institute for bioscience. 2014. – URL: http://environmental-atlas.dmu.dk (Дата обращения: 18.02.2014).

SFT (Statens forurensningstilsyn). Beredskap mot akutt forurensning. Modell for prioritering av miljøressurser ved akutte oljeutslipp langs kysten. TA-nummer 1765/2000. – Oslo : Statens forurensningstilsyn, 2004. – 16 p. [Методика классификации приоритетности природных ресурсов к нефтяному загрязнению в прибрежной зоне. – Осло: Государственное управление по контролю загрязнения окружающей среды, 2004. – 27 с.].

Shavykin A.A., Fischer J. Fluorometrical method for simultaneous measurement of chlorophyll and dissolved organic matter in marine water // Estuarine ecosystems and species / Proceedings of the 2-nd International Estuary Symposium held in Gdansk, October 18-22, 1993. - Grangon -Issues of the Marine Biology Centre in Gdynia. Gdynia, 1996. – №1. – P.181–188.

Shavykin A.A., Fischer J., Rhyzov W.M., Styczynska-Jurewich E. Distribution of Chlorophyll, dissolved organic matter and suspended particles in the surface water of the Gulf of Gdansk (Baltic Swa) at fall 1992 // Estuarine ecosystems and species / Proceedings of the 2-nd International Estuary Symposium held in Gdansk, October 18-22, 1993. - Grangon-Issues of the Marine Biology Centre in Gdynia. Gdynia, 1996. – №1. – P.189–201.

Skalski J.R., Pearson W.H., Malme C.I. Effects of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (Sebastes ssp.) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1992. – Vol. 49. – P. 1357–1365.

Smagorinsky J. General circulation experiments with the primitive equations // Monthly Weather Review, 1963. – Vol. 91, № 3. – P. 99–165.

Smith M.E., Kane A.S., Popper A.N. Acoustical stress and hearing sensitivity in fishes: Does the linear threshold shift hypothesis hold water? // J. of Experimental Biology. 2004. – Vol. 207. – P. 3591–3602.

Smith M.E., Kane A.S., Popper A.N. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (Carassius auratus) // J. of Experimental Biology. 2004a. – Vol. 207. – P. 427–435.

Sonny D., Knudsen F.R., Enger P.S., Kvernstuen T., Sand O. Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant // J. Fish. Biol. 2006. – Vol. 69. – P. 735–748.

Southall B.L., Bowles A.E., Ellison W.T., Finneran J.J., Gentry R.L., Greene C.R., Kastak D, Ketten D.R., Miller J.H., Nachtigall P.E., Richardson W.J., Thomas J.A., Tyack P.L. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations // Aqu. Mam. 2007. – Vol. 33, issue 4. – P. 412–522.

Stiling P. Ecology: theories and applications. 3ed. – New Jersey, Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999. – 638 p.

Stramsky R.W., Dickey T.D. Shot-term variations of the biooptical properties of the ocean in response to cloud-induced irradiance fluctuations// J. Geophys. Res. 1992. – Vol. 97, № C4. – P. 5713–5721.

Strass V. On the calibration of lage-scale fluorometric chlorophyll measurements from tower undulating vechicles // Deep-Sea Res. 1990. – Vol. 37, № 3. – P. 525-540.

Strickland J.D.H., Parsons T.R. A practical handbook of seawater analysis (2nd ed.) // Bull. Fish. Res. Board Con. 1972. – Vol. 167. – 311 p.

Sunken and submerged oils – behavior and response. A report for the maritime and coastguard agency RP595 by Rymell Matthew (ed). – Ontario : Cordah Limited, 2009. – 149 p.

Swedmark M., Granmo A., Kollberg S. Effects of oil dispersants and emulsifiers on marine animals // Water Res. 1973. – Vol. 7. – P. 1649–1672.

Tasker M.L., Jones P.H., Dixon T. J., Blake B.F. Counting seabirds from sea at ships: a review of methods employed and a suggestion for a standartized approach // Auk. 1984. – Vol. 101. – P. 567–577.

Tasker M.L., Amundin M., Andre, A. Hawkins W., Lang T., Merck, A. Scholik-Schlomer J., Teilmann F., Thomsen S., Werner & M. Zakharia Underwater noise and other forms of energy [Электронный ресурс] // MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE. Task Group 11. Report. Joint Report. European Commission Joint Research Centre, Editor: N. Zampoukas, 2010. – URL: http://www.ices.dk/projects/MSFD/TG11final.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).

The Barents Sea. Ecosystem, Resources, Management. Half a century Russian – Norwegian cooperation / Edit. by T. Jakobsen, V.K. Ozhigin. – Trondheim, Norway : Tapir Academic Press, 2011. – 825 p.

Thompson S.K. Adaptive cluster sampling: Designs with primary and secondary units // Biometrics. 1991. – Vol. 47. – P. 1103–1115.

Todd S., Stevick P., Lien J., Marques, F., Ketten, D. Behavioral effects to underwater explosions in humpback whales (Megaptera novaeangliae) // Can. J. Zool. 1996. – Vol. 74. – P. 1661–1672.

Turk T.D., Risk M.J. Effects of sedimentation on infaunal invertebrates population of Cobequid Bay, bay of Fundy // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1981. – Vol. 38 (6). – P. 642–648.

Turnpenny A.W.H., Nedwell J.R. The effects on marine fish, diving mammals and birds of underwater sound generated by seismic surveys. Cunsultancy Report FCR 089/94. – Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd., 1994. – 40 p.

Vadas R.L., Wright W.A., Miller S.L. Recruitment of *Ascophyllum nodosum*: wave action as a source of mortality // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1990. –Vol. 61. – P. 263–272.

Van Parys M., Dumon G., Pieters A., Claeys S., Lanckneus J., Van Lancker V., Vangheluwe M., Van Sprang P., Speleers L., Janssen C.R. Environmental monitoring of the dredging and relocation operations in the coastal harbors in Belgium. [Электронный ресурс] / MOBAG, 2000. – 14 p. – URL: http://users.telenet.be/dvatestbank/Van%20Parys%20%20WODCON%20Kuala%20Lumpur%202001.pdf (Дата обращения: 02.03.2009).

Varoujean D.H., Baltz D.M., Allen B., Power D., Schroeder D.A., Kempner K.M. Seabird-oil spill behavior study. – Portland : Nero and Associates Inc, 1983. – 365 p.

Vedenev A.I. Acoustic monitoring of endangered GW feeding area near oil and gas activity off Sakhalin island: New techniques and noise exposure criteria // 21 Annual Conference of the Europe citation Society. – Spain, Donostia – San Sebastian. 2007. – P. 27–28.

Vedenev A.I. Coastal exploration Seismic impact on spawning and downstream salmon migration to the Sakhalin island // International Conference Fisheries in the context of hydrocarbon resource development on the continental shelf, PINRO, 28-30 October. – Murmansk. 2009. – 4 p.

Vedenev A.I., Nowacek D. Development and application of noise exposure criteria for gray whale monitoring off Sakhalin Island, Russia // Proceeding of the 23 Annual Conference of the Europe citation Society. – Turkey, Istanbul. 2009. – P. 89–91.

Vedenev A., Avilov K., Shavykin A. Assessment of zones of the acoustic impact on the Arctic marine mammals at industrial activity in Barents Sea // Information and Ideas Worth Sharing : 26th European Cetacean Society Conference. 26h-28 March 2012. – Ireland, Galway. 2012. – P. 285.

Venesjärvi R. The effects of oil spills on the marine environment // Environmental administration guidelines : The ecological effects of oil spills in the Baltic Sea – the national action plan of Finland. – Helsinki. 2012. – P. 27–28.

Walmsley D. (ed) The Effects of Noise on Aquatic Life // The 1st International Conference. – Denmark, Nyborg. 2007.

Wardle C.S., Carter T.J., Urquhart G.G., Johnstone A.D.F., Ziolkowski A.M., Hampson G., Mackie D. Effects of seismic air guns on marine fish // Cont. Shelf Res. 2001. – Vol. 21, issue 8-10. – P.1005–1027.

Watkins W.A., Schevill W.E. Sperm whales (*Physeter catodon*) react to pingers // Deep Sea Research. 1975. – Vol. 22, Issue 3. – P. 123–129.

Webb A., Harrison N.M., Leaper G.M., Steel R.D., Tasker M.L., Pienkowski M.W. Seabird distribution west of Britain // Nature Conservancy Council. Final report. Aberdeen. 1990. – 282 p.

Weilgart L. An Overview of the Uses of Sound by Marine Mammals and the Impacts from Anthropogenic Underwater Noise Sources // Report of the workshop on alternative technology to seismic airgun surveys for oil and gas exploration and their potential for reducing impacts on marine mammals. Weilgart L (ed). Okeanos - Foundation for the Sea, Monterey, California, USA, 31st August – 1st September. 2009.

Wenz G.M. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources // J. Acoust. Soc. Am. 1962. – Vol. 34. – P. 1936–1956.

Wiese F.K. Estimation and impacts of seabirds mortality from chronic marine oil pollution off the coast of Newfoundland. PhD thesis. – Canada, Newfoundland, 2002. – 321 p. – URL: research.library.mun.ca/1153/3/Wiese_FrancisK.pdf *(Дата обращения: 10.03.2014).*

Wilber D.H., Clark D.G. Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries // North Amer. J. of fish. manag. 2001. – № 21. – P. 855–875.

Wilhelm S.I., Robertson G.J., Ryan P.C., Tobin S.F., Elliot R.D. Re-evaluating the use of beached bird oiling rates to assess long-term trends in chronic oil pollution // Marine Pollution Bulletin. 2009. – Vol. 58. – P. 249–255.

Wright A.J. (ed) International Workshop on Shipping Noise and Marine Mammals. Hamburg, Germany, 21st-24th April 2008. – Germany, Darmstadt : Okeanos - Foundation for the Sea. 2008. – 42 p.

Wright A.J. (ed). Report of the Workshop on Assessing the Cumulative Impacts of Underwater Noise with Other Anthropogenic Stressors on Marine Mammals: From Ideas to Action. Monterey, California, USA, 26th-29th, August, 2009. – USA, Monterey : Okeanos - Foundation for the Sea. 2009. – 74 p.

WWF (World Wildlife Fund) Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] / Я.Ю. Блиновская, М.В. Гаврило, Н.В. Дмитриев, В.Б. Погребов, А.Ю. Пузаченко, С.М. Усенков, А.Ю. Книжников, М.А. Пухова, М.Б. Шилин, Г.Н. Семанов. – Владивосток, Москва, Мурманск, Санкт-Петербург, 2012. – 60 с. – URL: http://www.wwf.ru/resources/publ/book/478 (Дата обращения: 12.08.2013).

Wyatt R. Review of Existing Data on Underwater Sounds Produced by the Oil and Gas Industry // Joint Industry Programme on Sound and Marine Life. – UK : Seiche Measurements Limited. 2008. – Issue 1. – 106 p.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

УДК 256.18(268.45)

ШАВЫКИН
АНАТОЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ЭКОЛОГО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА (НА ПРИМЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ)

Приложения

Специальность 25.00.28 - «океанология»

Диссертация на соискание ученой степени
доктора географических наук

Мурманск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ А ПЕРЕЧЕНЬ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ ПРОЕКТОВ, В КОТОРЫХ ПРИНИМАЛ УЧАСТИЕ АВТОР ДИССЕРТАЦИИ **6**

А.1 Инженерно-экологические изыскания 6
А.2 Подготовленные ОВОС проектов освоения арктических месторождений 8
А.3 Разработанные программы производственного экологического мониторинга и создания картографической базы данных 10
А.4. Разработанные карты чувствительности/уязвимости прибрежных и морских зон от нефти 12

ПРИЛОЖЕНИЕ Б СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОБЩИЕ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ ПРОЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ **13**

ПРИЛОЖЕНИЕ В АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЙ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА ОАО «ГАЗПРОМ» ВРД 39-1.13-081-2003 ..... **16**

ПРИЛОЖЕНИЕ Г ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОЯСНЕНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ИЗМЕРЕНИИ ХЛОРОФИЛЛА В ВОДЕ **23**

Г.1 Характеристики технических средств судового гидрооптического комплекса для непрерывного измерения хлорофилла в воде 23
Г.2 Характеристики галсов и методика обработки результатов измерений пространственной изменчивости океанологических параметров поверхностного слоя южной части Баренцева моря 28
Г.3 Градуировочное уравнение для расчета концентрации хлорофилла в приповерхностном слое Таганрогского залива 36

ПРИЛОЖЕНИЕ Д МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ ПТИЦ, ИХ ЧИСЛЕННОСТИ И ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ **39**

Д.1 Модель выборочного учета 39
Д.2 Алгоритм расчета плотности птиц, их численности и погрешности оценки численности 39
Д.3 Расчет доверительных пределов оценки численности птиц 44
Д.4 Применяемые программы и некоторые особенности расчетов 45

ПРИЛОЖЕНИЕ Е ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО МЕТОДИКАМ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА НА ГИДРОБИОНТЫ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТАКИХ РАСЧЕТОВ **50**

Е.1 Методика расчета амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей 50
Е.2 Численный расчет амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей "BOLT" на мелководье (пример для участка в Тазовской губе) 60
Е.2.1 Результаты расчета для малых глубин 8.5 – 3.0 м 60
Е.2.2 Результаты расчета для очень малых глубин - глубины 3.0 – 1.25 м 63
Е.3 Дополнительная информация по результатам расчетов параметров зон, в которых гибнут гидробионтов 64
Е.4 Морские млекопитающие, обитающие в Баренцевом и Карском морях 66
Е.5 Таблицы критических уровней подводного звука, вызывающие негативные изменения в поведении морских млекопитающих и рыб 70
Е.5.1 Уровни биологической значимости поведенческого отклика морских млекопитающих 70
Е.5.2 Данные поведенческого отклика китообразных и ластоногих (в воде) на не импульсный тип шума и критические уровни шума 72
Е.6 Техническое описание подводного добычного комплекса Штокмановского месторождения и возможные источники промышленного шума от него 76
Е.6.1 Краткое описание подводного добычного комплекса 76
Е.6.2 Источники промышленного шума при проведении работ по строительству морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ 77
Е.6.3 Состав судов и прогнозируемые уровни шума при типовых операциях 79
Е.6.4 Очаги одновременного излучения промышленного шума 82
Е.7 Дополнительные данные по оценка размеров зон гидроакустического воздействия на морскую биоту при строительстве морских объектов 1-й фазы освоения ШГКМ 83

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж УСЛОВИЯ В РАЙОНАХ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗВЕСИ НА БИОТУ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ **86**

Ж.1 Исходные данные и системы математических уравнений для моделирования взвеси при строительстве подводного трубопровода от Штокмановского месторождения на берег 86
Ж.1.1 Объемы земляных работ 86
Ж.1.2 Системы используемых математических уравнений 87
Ж.1.3 Исходные данные и процедура расчета полей мутности 90
Ж.2 Распространение взвеси при дноуглубительных работах в Кольском заливе 92
Ж.2.1 Исходные данные и используемые модели 92
Ж.2.1.1 Гидрологическая и геологическая характеристики рассматриваемого участка 92
Ж.2.1.2 Технология выполнения дноуглубительных работ в районе Абрам мыса 94
Ж.2.1.3 Гидрологические модели 94
Ж.2.1.4 Определение мощностей источников взвеси при дноуглублении 97

Ж.2.1.5 Определение мощности источника взвеси при сбросе грунта в районе отвала *100*
Ж.2.1.6 Обоснование возможности выполнения расчетов при задании средневзвешенной скорости оседания *100*
Ж.2.2 Расчеты распространения взвеси при дноуглублении 102
Ж.2.2.1 Исходные данные и допущения *102*
Ж.2.2.2 Результаты расчетов *103*
Ж.2.3 Расчеты распространения взвеси при дампинге 104
Ж.2.3.1 Исходные данные и допущения *104*
Ж.2.3.2 Результаты расчетов объемов облаков взвеси *105*

ПРИЛОЖЕНИЕ И ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕННЫХ КАРТОСХЕМ УЯЗВИМОСТИ ОТ НЕФТИ ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНОВ АРКТИКИ И ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТАКИХ КАРТ **111**

И.1 Построение картосхем уязвимости восточной части Баренцева моря 111
И.1.1 Годовая цикличность функционирования экосистемы Баренцева моря по различным показателям 111
И.1.2 Коэффициенты уязвимости групп биоты на основе расчетов оценок летального воздействия 117
И.1.3 Картосхемы уязвимости биоты восточной части Баренцева моря 120
И.1.4 Особенности сезонной уязвимости отдельных районов восточной части Баренцева моря от нефти 130
И.2 Предлагаемая методика построения карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти 133
И.2.1 Общий подход к построению карт уязвимости / чувствительности прибрежных и морских зон для планов ЛРН и рационального природопользования 133
И.2.2 Основные учитываемые объекты на картах 140
И.2.3 Определение границ сезонов 142
И.2.4 Построение карт распределения биоты и абиотических компонентов 143
И.2.4.1 Построение карт распределения биоты при наличии достаточных исходных данных *143*
И.2.4.2 Построение карт распределения биоты при отсутствии достаточных исходных данных *144*
И.2.4.3 Построение карт распределения абиотических компонентов *144*
И.2.5 Определение коэффициентов уязвимости биоты и абиотических компонентов 145
И.2.6 Построение сезонных карт уязвимости учитываемых объектов 155
И.2.6.1 Построение карт уязвимости биоты при наличии достаточных исходных данных о ее распределении *155*
И.2.6.2 Построение карт уязвимости биоты при отсутствии достаточных исходных данных о ее распределении *157*
И.2.6.3 Построение карт уязвимости особо значимых объектов *157*

И.2.6.4 Построение карт уязвимости природоохранных территорий 158
И.2.7 Построение карт интегральной уязвимости 158
И.3 Построения картосхем уязвимости Кольского залива от нефти 161
И.3.1 Расчет коэффициентов уязвимости важных компонентов биоты (ВКБ) для условий Кольского залива 161
И.3.2 Типы особо значимых объектов (ОЗО) Кольского залива и их коэффициенты уязвимости 170
И.3.3 Примеры тактических картосхем (масштаб 1:150 000) «относительной» уязвимости Кольского залива от нефти – все сезоны..... 173
И.3.4 Примеры тактических картосхем (масштаб 1:150 000) «абсолютной» уязвимости Кольского залива от нефти – два сезона 178
И.3.5 Примеры объектных картосхем (масштаб 1:25 000) «относительной» уязвимости Кольского залива от нефти 180
И.3.6 Примеры объектных картосхем (масштаб 1:25 000) «абсолютной» уязвимости Кольского залива от нефти 182
И.4 Таблица коэффициентов чувствительности берегов по индексу ESI..... 184

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПЕРЕЧЕНЬ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫХ ПРОЕКТОВ, В КОТОРЫХ ПРИНИМАЛ УЧАСТИЕ АВТОР ДИССЕРТАЦИИ

А.1 Инженерно-экологические изыскания

Специалисты ММБИ КНЦ РАН выполнили несколько исследований в рамках инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) проектов освоения нефтегазовых месторождений в российской Арктике (в первую очередь – Штокмановского проекта). При участии и руководстве со стороны автора настоящей диссертации были выполнены следующие ИЭИ:

1. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 02/2003 от 11.03.2003 «Инженерно-экологические изыскания под строительство объектов обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения (морские и береговые изыскания)». Заказчик – ЗАО «Севморнефтегаз» / Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2003. – Кн. 1 – 4, 776 с.
2. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 09/2005-СЗ-2.43.05 от 15.08. «Инженерно-экологические изыскания под строительство объектов обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения». Заказчик ЗАО «Севморнефтегаз» / Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2005. – Кн. 1–2, 449 с.
3. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 10/2005 от 15.08.2005 «Инженерно-экологические изыскания при реконструкции базы снабжения и строительства нефтеперегрузочного комплекса п. Лавна». Заказчик ОАО «Ленморниипроект» / Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2005. – Кн. 1–2, 320 с.

4. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 03.2006 от 05.06.2006 «Инженерно-экологические изыскания для ТЭО «Портовые комплексы для угля и генеральных грузов в составе Мурманского портового транспортного узла». Заказчик ОАО «Ленморниипроект»/ Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2006. – 269 с.

5. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 12/2007 от 17.02.2007 «Инженерно-экологические изыскания в Кольском заливе для объектов ООО «Газфлот»». Заказчик ОАО «ЛенморНИИпроект»/ Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. Исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2007. – Кн. 1–2, 359 с.

6. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № ЭС-29-06 от 29.08.2006 «Проведение инженерно-экологических изысканий для проекта комплексного освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения и трассы трубопровода от Штокмановского ГКМ до берега в районе пос. Видяево». Заказчик ЗАО «ИТЦ «Эконефтегаз»/ Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2007. – Кн. 1–12, 2186 с.

7. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 1-07/07 от 19.07.2007 «Проведение инженерно-экологических изысканий для проектирования портового транспортно-технологического комплекса в районе п. Видяево (участок морской акватории от уреза воды до изобаты 25 м)». Заказчик ЗАО НПФ «ДИЭМ»/ Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2007. – Кн. 1–4, 837 с.

8. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 04/2009 от 15.04.2009 «Проведение инженерно-экологических изысканий для строительства Северной приливной электростанции в губе Долгая Баренцева моря». Заказчик – ОАО «НИИЭС» /Научный рук. – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – АММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2009. – Кн. 1–2, 676 с.

9. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 179/10 от 23.08.2010 «Инженерно-экологические изыскания на акватории губы Корабельная для строительства объекта «Морской порт в губе Териберская» в составе «Комплексного освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения. 2 и 3 фазы». Заказчик ООО «ПитерГаз»/ Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2011. – Кн. 1–2, 472 с.

А.2 Подготовленные ОВОС проектов освоения арктических месторождений

Были также выполнены работы по оценке воздействия на окружающую среду при освоении арктических месторождений, в том числе в рамках Штокмановского проекта:

10. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 33-6851/314 от 29.12.2004 «Разработка оценки воздействия на окружающую среду при транспортировке сжиженного природного газа (СПГ) в составе «Обоснования инвестиций морской транспортировки сжиженного газа по маршруту Штокмановское месторождение – США»» «Морские сооружения». Заказчик ЗАО «Гипроспецгаз» / Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2005. – Кн. 1–2, 363 с. [Отчет по х/д. Разработка оценки …, 2005].

11. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 06/2005 от 03.10.2005 «Разработка разделов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при производстве сжиженного природного газа (СПГ) в составе «Обоснования инвестиций морской транспортировки сжиженного газа по маршруту Штокмановское месторождение – США»» «Береговая часть»». Заказчик «ГТ Морэкология» / Научный рук. работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2006. – 136 с.

12. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 2-10/06 от 13.10.2006 «Разработка раздела ОВОС в составе «Обоснования инвестиций комплексного освоения Штокмановского ГКМ. Заказчик ЗАО «НПФ «ДИЭМ»/ Научный рук.

работ – Г.Г. Матишов, зам. научн. рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2006. – Кн. 1–2, 440 с.

13. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 13/2005 от 26.12.2005 «Оценка воздействия на морских млекопитающих и морскую орнитофауну сейсморазведочных работ в Баренцевом и Карском морях и море Лаптевых». Заказчик – ОАО «Севморнефтегеофизика» / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2006. – 152 с. [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006].
14. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 02/2006 от 23.03.2006 «Оценка воздействия на окружающую среду и расчет ущерба водной среде при проведении геофизических исследований в акватории Байдарацкой губы Карского моря». Заказчик – ГНЦ ФГУП «Южморгеология» / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. Исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2006а. – 146 с. [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006а]
15. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 03/2009 от 12.05.2009 «Оценка воздействия на окружающую среду и расчет ущерба водной среде и биоте при проведении геофизических исследований на акватории Тазовской губы Карского моря». Заказчик – ГНЦ ФГУП «Южморгеология» / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2009. – 204 с. [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009].
16. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 09/2009 от 12.11.2009 «Предварительная оценка воздействия на окружающую среду международного морского порта «Печенга»». Заказчик – ООО «НК «Севнефть» /Научный руководитель – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2009. – Кн. 1–3, 393 с.
17. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 04/07-1-2010 от 16.09.2010 «Предварительная оценка воздействия на морские биоресурсы при освоении месторождений углеводородного сырья в северной части Обской губы». За-

казчик ЗАО «НПЦ «СибГео» / Рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2010. – 63 с.

18. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 02/2010 от 29.01.2010 «Моделирование распространения взвеси, расчет и обоснование эколого-экономического ущерба биологическим ресурсам Кольского залива от дноуглубления акватории пирса участка №2 при реконструкции морской базы ООО «Газфлот» для обеспечения работ на Арктическом шельфе РФ». Заказчик ОАО «Ленморниипроект»/ Научный рук. работ – .А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2010а. - 94 с. [Отчет по х/д. Моделирование распространения …, 2010а].

19. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 235/10 от 19.10.2010 «Проведение экспедиционных океанографических и гидробиологических работ, камеральной обработки экспедиционных и многолетних данных, подготовка документации в рамках НИР «Разработка проекта стратегической экологической оценки территорий при освоении северо-западного сектора Арктики». Заказчик ООО «Питер Газ»/ Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2011. – (Кн. 1 – 12), 1802 с. [Отчет по х/д. Проведение экспедиционных…, 2011].

20. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № COM-0800-266 от 15.08.2010 «Предварительная оценка акустического и гидроакустического воздействия работ по строительству и эксплуатации морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ на морскую биоту». Заказчик – Компания «Штокман Девелопмент АГ» / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2011а. – 239 с. [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а].

А.3 Разработанные программы производственного экологического мониторинга и создания картографической базы данных

21. Отчет о выполнении работ по хоздоговору «Концепция создания системы производственного экологического мониторинга (ПЭМ) Штокмановского

проекта». Книга 1. «Производственный экологический мониторинг (ПЭМ) морского добычного комплекса и морского газопровода Штокмановского проекта». 2003. Заказчик – ИТЦ «Оргэкогаз» ДОАО «Оргэнэргогаз» ОАО «Газпром». 184 с.

22. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 04/2005 от 29.09.2005 «Разработка раздела «Производственный экологический мониторинг в составе ОВОС «Обоснование морской транспортировки сжиженного газа по маршруту Штокмановское месторождение – США» (Морская часть). Заказчик – ЗАО «НПФ ДИЭМ» / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2005. – 103 с.

23. Отчет о выполнении работ по хоздоговору № 08/2007 от 25.06.2007 «Создание картографической базы данных экологической изученности территории Баренцева моря в районе Штокмановского ГКМ и по трассе трубопровода». Заказчик – ЗАО «Севморнефтегаз» / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2007. – Кн. 1–4, 814 с. [Отчет по х/д. Создание картографической…, 2007].

Все указанные отчеты по хоздоговорам (ИЭИ, ОВОС, Программы мониторинга) были приняты заказчиками (подписаны акты выполненных работ) и использованы ими в дальнейших работах по экологическому обоснованию проектов. Некоторые из этих отчетов (при необходимости) успешно прошли государственную экологическую экспертизу.

Именно участие автора настоящей диссертации в качестве руководителя и непосредственного исполнителя указанных выше работ позволило сформулировать основные проблемы экологического сопровождения нефтегазовых проектов, и разработать концепцию экосистемного мониторинга, а также разработать отдельные методы экологического обеспечения (методы для оценок воздействия и методы мониторинга) при освоении шельфа.

А.4. Разработанные карты чувствительности/уязвимости прибрежных и морских зон от нефти

24. Отчет о выполнении работ по договору № WWF000325 (договор возмездного оказания услуг от 12 января 2009 г.) «Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению» : Заказчик Всемирный фонд дикой природы – Россия (WWF- Россия) / Научный рук. Шавыкин А.А. – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2009. – 300 с. [Отчет по х/д. Оценка интегральной …, 2009b].

25. Подготовка карт особой чувствительности прибрежных территорий к нефтеразливам в Баренцевом и Белом морях : Заказчик ООО Rambøll Barents : хоз. договор № 7090050 от 19.04.2010 / Научный рук. работ А.А. Шавыкин – Мурманск, ММБИ КНЦ РАН, 2010b. – 94 с. {Работа в рамках пилотного проекта «Совершенствование системы реагирования на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в арктических условиях для защиты особо чувствительных к нефтепродуктам прибрежных районов (на примере Баренцева и Белого морей)» в рамках пилотного проекта по заказу Северной экологической финансовой корпорации (НЕФКО) и Дирекции Проекта ЮНЕП/ГЭФ «РФ – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды». – Руководитель проекта Никищенко И.М. (ООО «Рамболь Баренц». – Мурманск, 2010b. – Т. 1. – 293 с. – URL: http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.ru/Documents/demos/new/rprts/oil_spills_rpt.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).} [Отчет по х/д. Подготовка карт …, 2010b]

26. Заключительный отчет о выполнении работ по гранту Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» «Исследования прибрежья и береговой зоны северной части Кольского залива и разработка карт уязвимости всего залива от нефти». : Заказчик ВОО «Русское географическое общество» : хоз. договор № 26/2013-НЗ от 02.04.2013 / Научный рук. работ – А.А. Шавыкин. Орг. Исполнитель – ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2014. – Кн. 1–4, 798 с. [Отчет по х/д. Исследования прибрежья …, 2014].

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОБЩИЕ ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ШЕЛЬФОВЫХ ПРОЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Таблица Б.1 – Экспертные оценки антропогенного воздействия и его последствий для морских регионов при добыче нефти и газа на шельфе (оценки относятся к характерным ситуациям с учетом максимальных рисков) [Патин, 2005]

Вид деятельности и факторы воздействия	**Характер, масштаб и степень опасности последствий**					
	экологические			**рыбохозяйственные**		
	Л(М)	**Р(СР)**	**Г**	**Л(М)**	**Р(СР)**	**Г**
Добыча нефти и газа на шельфе						
Сейсморазведка	+++	+	-	++	+	-
Удаление отходов буровых и промысловых работ	++	-	-	+	-	-
Строительство платформ, терминалов, трубопроводов	+++	+	-	+	+	-
Захоронение конструкций	+	-	-	+	-	-
Аварийные ситуации	+++	++	-	++	+	-
Дноуглубительные работы						
Разрушение берегов и дна	+++	++	-	+++	+	-
Повышение мутности	+++	+	-	+	-	-
Морской дампинг (сброс отходов)						
Нарушения на дне, повышение мутности	++	+	-	+	-	-
Судоходство						
Сброс и слив судовых отходов	++	+	-	+	+	-
Физические воздействия	+	+	-	++	-	-
Морские перевозки нефти						
Сброс балластных вод	++	+	-	+	-	-
Аварии танкеров	+++	++	-	+++	+	-
Инвазия организмов-вселенцев	++	?	-	?	?	-

Примечания:

1. Масштаб воздействия:

Л(М) – локальный (местный), Р(СР) – региональный (субрегиональный), Г – глобальный.

2. Степень опасности:

+++ сильная, ++ умеренная, + слабая, - отсутствие, ? неопределенная.

3. Определение масштабов и степени опасности даны в таблице Б.2.

* - виды деятельности, сопровождаемые загрязнением

Таблица Б.2 – Шкала масштабов воздействия и градация экологических последствий при разных видах морской деятельности: в квадратных скобках указаны индексы (рейтинги) относительных воздействий и нарушений; итоговые оценки - сумма индексов [Патин, 2004]

Масштаб воздействия, эффекты	**Показатели воздействий и нарушений**
Пространственный масштаб	
Точечный (1)	Площадь воздействия < 100 м^2
Локальный (2)	Площадь воздействия от 100 м^2 до 1 км^2
Местный (3)	Площадь воздействия 1 - 100 км^2
Субрегиональный (4)	Площадь воздействия > 100 км^2
Региональный (5)	Площадь воздействия охватывает весь регион
Временной масштаб	
Кратковременное (1)	От нескольких минут до 24 ч
Временное (2)	От 24 ч до одного сезона
Долговременное (3)	От одного сезона до одного года
Хроническое (4)	Более одного года
Обратимость изменений	
Обратимые (0) (острый стресс)	Параметры состояния среды и биоты восстанавливаются за время от нескольких часов до одного сезона
Слабо обратимые (3)	Параметры состояния среды и биоты восстанавливаются за время от одного сезона до трех лет
Необратимые (5) (хронический стресс)	Нарушения параметров среды и биоты сохраняются более трех лет
Итоговые оценки	
Незначительные ($\sum$ = 2-4)	Изменения среды и биоты отсутствуют или неразличимы на фоне природной изменчивости
Слабые ($\sum$ = 5 – 7)	Возможны регистрируемые нарушения среды и обратимые (кратковременные) стрессы в биоте ниже порога минимума реакций на уровне популяций
Умеренные ($\sum$ = 8 – 10)	Наблюдаются нарушения среды и стрессовые изменен7ия в биоте без признаков деградации и утраты способности системы к самовосстановлению
Сильные ($\sum$ = 11 – 14)	Проявляются устойчивые структурные и функциональные перестройки сообществ (> 10 % нормы параметров состояния популяций и сообществ)

Таблица Б.3 – Обобщенные оценки техногенных воздействий и экологических последствий по материалам исследований и наблюдений на основных этапах освоения нефтегазовых месторождений в открытых водах на шельфе (в скобках – индексы в соответствии со шкалой и критериями, приведенными в таблице 1.4; ОЭР – ориентировочный экологический риск) [Патин 2004]

Этапы и виды деятельности	Масштаб воздействия		Характеристика эффектов и последствий		
	пространственный	временной	обратимость	общая оценка	ОЭР
Геолого-геофизические изыскания					
Сейсмическая разведка	Субрегиональный (4)	Временный (2)	Слабообратимые (3)	Умеренные ($\sum = 9$)	$10^{-2} – 10^{-1}$
Бурение одиночных скважин*	Локальный (2)	Кратковременный (1)	Обратимые (0)	Незначительные ($\sum = 3$)	$< 10^{-7}$
Строительные работы					
Строительство терминалов	Местный (3)	Временный (2)	Слабообратимые (3)	Умеренные ($\sum = 8$)	$10^{-6} – 10^{-3}$
Строительство платформ	Местный (3)	Временный (2)	Слабообратимые (3)	Умеренные ($\sum = 8$)	$10^{-6} – 10^{-3}$
Прокладка трубопроводов	Местный (3)	Временный (2)	Обратимые (0)	Слабые ($\sum = 5$)	10^{-7}
Промысловые работы					
Бурение скважин с платформ*	Местный (3)	Временный (2)	Обратимые (0)	Незначительные ($\sum = 5$)	$< 10^{-7}$
Добыча углеводородов**	Местный (3)	Хронический (4)	Слабообратимые (3)	Умеренные ($\sum = 10$)	10^{-5}
Транспортировка углеводородов					
Морские трубопроводы	Местный (3)	Хронический (4)	Обратимые (0)	Слабые ($\sum = 7$)	10^{-7}
Операции на терминалах	Местный (3)	Хронический (4)	Обратимые (0)	Слабые ($\sum = 7$)	10^{-5}
Танкерные перевозки	Местный (3)	Временный (2)	Обратимые (0)	Незначительные ($\sum = 5$)	$< 10^{-7}$
Аварийные ситуации					
Разливы нефти в море	Местный (3)	Временный (2)	Обратимые (0)	Слабые ($\sum = 5$)	$< 10^{-7}$
Разливы нефти в прибрежной зоне	Локальный (2) – сублокальный (4)	Временный (2) – хронический (4)	Обратимые (0) – слабообратимые (3)	Слабые – сильные ($\sum = 4 - 11$)	$10^{-6} – 10^{-3}$

* В состав удаляемых отходов не входят нефтесодержащие буровые растворы и шламы.

** При условии отсутствия сброса в море пластовых вод.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЙ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА ОАО «ГАЗПРОМ» ВРД 39-1.13-081-2003

Основные цели и задачи производственного экологического мониторинга (ПЭМ), как это сформулировано в нормативном документе ОАО «Газпром» «Система производственного экологического мониторинга на объектах газовой промышленности. Правила проектирования ВРД 39-1.13-081-2003, 2003» [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003], состоят в следующем.

«**4.1. Назначение системы ПЭМ**

4.1.1. Система ПЭМ объекта ОАО «Газпром»- это автоматизированная измерительно-информационная система регулярных наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей природной среды в зоне воздействия на нее объекта ОАО «Газпром».

4.1.2. Основной целью системы ПЭМ на объектах ОАО «Газпром» является автоматизированное получение и своевременное обеспечение руководства объекта, природоохранных служб, руководства ОАО «Газпром» (далее пользователь) достоверной информацией об экологическом состоянии на объекте ОАО «Газпром» и в зоне его влияния для информационной поддержки принятия управленческих решений в области природоохранной деятельности.

4.1.3. В соответствии со своим назначением система ПЭМ на объектах ОАО «Газпром» должна решать следующие задачи:

- сбор первичной информации, создание и ведение баз данных об источниках выбросов, сбросов, отходов, состоянии и загрязнении компонентов природной среды в зоне влияния объекта ОАО «Газпром»;
- формирование на основе первичной информации комплексной оценки экологического состояния природных сред при эксплуатации объекта ОАО «Газпром;
- анализ текущей экологической обстановки и прогнозирование динамики ее развития в процессе эксплуатации объекта ОАО «Газпром»;
- предоставление надежной и своевременной информации руководству объекта ОАО «Газпром» для принятия плановых и экстренных управленче-

ских решений в области природоохранной деятельности на объекте, предприятии и в ОАО «Газпром» в целом;

- автоматизированная подготовка, ведение и оформление отчетной документации по результатам ПЭМ, в том числе обеспечение природоохранной службы предприятия данными для заполнения установленных форм государственной статотчетности;
- получение данных об эффективности природоохранных мероприятий, в том числе предусмотренных экологической политикой ОАО «Газпром» в рамках системы управления окружающей средой согласно ВРД 39-1.13-011-2000 (2000).
- получение в установленном порядке от государственных органов экологической информации;
- другие задачи.

4.2. Общие требования к системе ПЭМ

4.2.1. Система ПЭМ объекта ОАО «Газпром» должна отвечать требованиям признанных Россией международных правовых документов, законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации и ее субъектов, на территории которых располагается объект ОАО «Газпром», а также требованиям ведомственных нормативных документов ОАО «Газпром», в том числе настоящих *Правил.*

4.2.2. Система ПЭМ отдельного объекта ОАО «Газпром» должна функционировать как элемент единой системы ПЭМ ОАО «Газпром».

4.2.3. Система ПЭМ объекта должна обеспечивать возможность обмена информацией с ЕГСЭМ.

4.2.4. Система ПЭМ должна предоставлять пользователю информацию о параметрах загрязнения контролируемых природных сред как в штатном режиме работы объекта(в виде регулярных сводок и по запросу), так и в случае возникновения аварийных ситуаций (в виде экстренного сообщения).

4.2.5. Система ПЭМ на объекте ОАО «Газпром» должна представлять собой минимально достаточную с точки зрения научно-технической, хозяйственной и экономической целесообразности систему, обеспечивающую полноту, достоверность, надежность и сопоставимость информации о состоянии контролируемой природной среды.

4.2.6. Система ПЭМ в целом и отдельные ее элементы должны отвечать требованиям безопасности. Требования безопасности при эксплуатации системы ПЭМ должны устанавливаться в специальных разделах эксплуатационной документации системы».

В таблице В.1 представлено описание предлагаемых нами составных частей системы производственного экологического мониторинга (второй столбец таблицы) и сравнение этой системы с положениями ПЭМ ОАО «Газпром» (столбец 3). Предлагаемые нами положения системы ПЭМ далее подробно рассмотрены в главе 8.

Таблица В.1 - Предлагаемые положения ПЭМ и их сравнения с основными положениями ВРД 39-1.13-081-2003, 2003

	Предлагаемые положения системы ПЭМ	**Сравнение с [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003]**
1.	**Определение всех антропогенных факторов воздействия,** связанных с проектом: выявляются все возможные факторы, так или иначе воздействующие на ОПС.	Нет в п. 4.1.2, в пункте 5.3 частично есть – ссылка на материалы ОВОС и ООС, данные инвентаризации источников выбросов, сбросов… и пр. Очевидно, что включение в перечень обязательных сразу всех компонентов ОПС (п. 4.3.4) предполагает , что на всех на них будет оказываться воздействие. Вместе с тем, более корректным был бы подход, когда анализируются все источники и факторы воздействия от конкретного производственного объекта, и на этой основе определяются объекты мониторинга и (для каждого фактора) район воздействия.
2.	**Определение района воздействия** от проектируемого объекта, что предполагает как экспертные оценки, так и в первую очередь расчетные оценки распространения факторов воздействия в ОПС (распространение взвеси и других ЗВ в воде, распространение ЗВ в атмосфере, распространение шума в водной среде и в атмосфере; причем оценки должны быть сделаны для всех этапов – строительства, освоения, ликвидации и для возможных аварийных ситуаций).	Присутствует в общем виде в п. 4.1.2, специально на этот вопрос серьезного внимания не акцентируется, так в части требований к подсистеме мониторинга атмосферного воздуха говорится о подсистему мониторинга атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны и селитебной территории в зоне влияния выбросов объекта, что явно не подходит для объектов добычи на

	Предлагаемые положения системы ПЭМ	Сравнение с [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003]
		шельфе. Как указано в предыдущем пункте необходим детальны анализ источников, факторов воздействия и района воздействия по каждому фактору, так как для многих факторов они могут быть различными
3.	**Максимально полное описание состояния ОПС района воздействия до начала освоения** месторождения, основанное на сборе данных о среде и биоте за последние 10 лет. (см. также ниже п.13)	Нет в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003).
4.	**Учет природных факторов воздействия и природной изменчивости контролируемых параметров** среды. Важно знать как сильно (в каких диапазонах) под действием природных факторов может изменяться каждый контролируемый параметр ОПС.	Нет в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003).
5.	**Учет и контроль существующих антропогенных факторов и источников**, действующих в районе воздействия проектируемого объекта. Возможна ситуация, когда в районе воздействия уже наблюдается влияние антропогенных факторов, непосредственно не связанных с проектируемым проектом. Такие факторы должны быть выявлены и учитываться в дальнейшем.	Нет в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003).
6.	**Учет и контроль «новых» антропогенных факторов и источников**, которые будут действовать в районе воздействия проектируемого объекта.	п. 4.1.3.
7.	**Определения параметров ОПС, за которыми будет проводиться мониторинг** в районе воздействия. Должен быть четкий перечень таких параметров, основанный на учете чувствительности компонентов среды и силы воздействия «новых» и уже действующих факторов воздействия. Во многих программах ПЭМ наблюдения ведутся за большим количеством контролируемых параметров среды и биоты, что не всегда обосновано и экономически неэффективно. Поэтому необходимо контролировать только те компоненты экосистемы, на которые оказывается непосредственное и косвенное воздействие, обусловленное реализацией конкретного проекта.	Нет четких указаний в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003): идет отсылка к другим нормативным документам п. 4.5.1.8 и 4.5.1.9, 4.5.2.3, 4.5.4.6; в п. 5.3.1 – отсылка к материалам ОВОС и ООС, нет ничего про параметры мониторинга биоты.

	Предлагаемые положения системы ПЭМ	Сравнение с [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003]
8.	**Определение пространственно-временных параметров мониторинга**, именно этот вопрос может помимо всего прочего представлять большую проблему, так как от решения этого вопроса зависит во многом и объем мониторинговых наблюдений. Решение по этому вопросу определяется в каждом конкретном случае, в том числе изменчивостью компонентов ОПС и изменчивостью факторов воздействия.	Нет четких указаний в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003): идет отсылка к другим нормативным документам в п. 4.5.1.9, 4.5.2.4, 4.5.4.8, 4.5.5.4; в п. 5.3.1 – отсылка к материалам ОВОС и ООС, и нет ничего про параметры мониторинга биоты.
9.	**Наблюдения в районе воздействия** - проведение мониторинга ОПС (по контролируемым параметрам) в районе воздействия. Наблюдения должны включать:	
	9.1. Судовые измерения с использованием контактных и дистанционных средств измерения в дискретном и непрерывном режимах	Напрямую нет в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003), хотя по этим можно понимать передвижные лаборатории, оснащенные комплексным оборудованием.
	9.2. Дистанционные самолетные и спутниковые наблюдения	п. 4.4.1.2.
	9.3. Квазинепрерывные наблюдения с платформ, буйковых и донных станций	Частично в п. 4.4.1.2, понимая по этим автоматические и обслуживаемые стационарные посты контроля параметров окружающей среды.
10.	**Прогноз состояния ОПС** в районе воздействия.	п. 4.1.3 но только в отношении компонентов среды без биоты.
11.	**Оценка фактического состояния ОПС** в районе воздействия.	п. 4.1.3, но только в отношении компонентов среды без биоты.
12.	**Оценка прогнозируемого состояния ОПС** в районе воздействия.	Нет в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003).
13.	**Формирование** (до начала освоения месторождения) постоянно пополняемой **базы экологических данных** и связанной с базой данных ГЭМ. Эта база данных является одним из основных компонентов всей системы мониторинга. Без нее реальный мониторинг невозможен, так не будет возможности делать оценку фактического стояния ОПС в районе воздействия и давать прогноз состояния ОПС. База данных формируется на основе материала, собранного	п. 4.4.2.3, 4.1.3; вместе с тем из текста (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003) напрямую не следует необходимость иметь ДО начала освоения месторождения информацию о среде и биоте за последние 10 лет. Самое главное – не предусматривается сбор данных о биоте.

	Предлагаемые положения системы ПЭМ	Сравнение с [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003]
	при описании состояния ОПС района воздействия до начала освоения месторождения, (данные о среде и биоте за последние 10 лет). Как уже отмечалось в подразделе 5.5, в этой связи для крайне уязвимого района - арктических морей, в том числе Баренцева и Карского, важным является требование СП 11-102-97 (СП 11-102-97, 1997) «Инженерно-экологические изыскания для строительства» (раздел. 4: Состав работ. Общетехнические требования, пункт 4.85): «***Изменения численности и другие изменения животного мира, связанные с антропогенным воздействием должны оцениваться на основе длительных наблюдений (в среднем за 10-летний период) и статистической обработки информации».*** Сейчас можно просто констатировать, что пока такой информации в полном объеме нет. Поэтому, исходя из требований того же СП 11-102-97 (СП 11-102-97, 1997) (пункт 4.89) ***необходимо организовать стационарные экологические наблюдения в зоне воздействия проектируемых объектов.*** Причем, все это соответствует требованиям пункта 4.90 СП 11-102-97 (СП 11-102-97, 1997): ***«стационарные экологические наблюдения следует проводить в следующих случаях: при проектировании и строительстве объектов повышенной экологической опасности…, при проектировании и строительстве объектов в районах с повышенной экологической чувствительностью природной среды к внешним воздействиям…».*** Все это в полной мере соответствует району Баренцева моря и всего северо-западного сектора Арктики (крайне экологически уязвимый район, объекты - повышенной экологической опасности).	
14.	**Мониторинг ОПС предполагает включение в объекты мониторинга не только абиотических компонентов, но и биоты.** ОПС - это не только собственно среда (водная толща, атмосфера, донные осадки, геологическая среда, подземные воды) но и обитающая в этой среде биота.	Нет в (ВРД 39-1.13-081-2003, 2003).
15.	**Разработка и использование в ходе мониторинга математических моделей функционирования района воздействия** (и/или отдельных его компонент). На основе таких математиче-	п. 4.4.3.1, «в частности в отношении компонентов среды» без подробного описания требований к компонентам биоты.

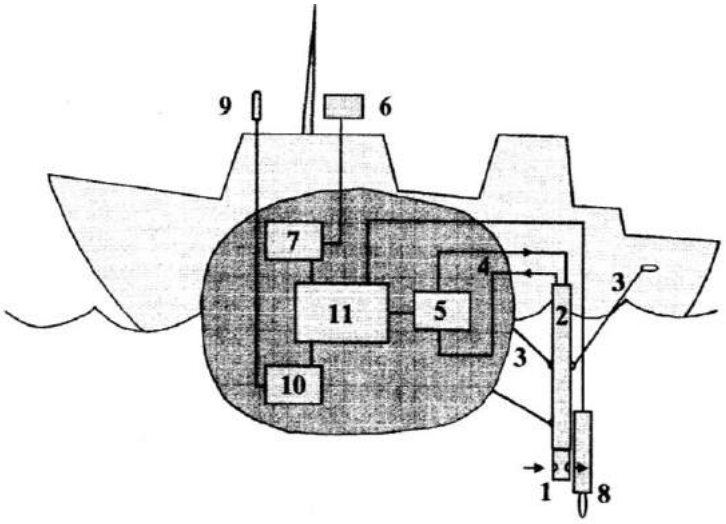
	Предлагаемые положения системы ПЭМ	**Сравнение с [ВРД 39-1.13-081-2003, 2003]**
	ских моделей в том числе проводится определение пространственно-временных характеристик измерений за наблюдаемыми параметрами, оцениваются зоны возможного воздействия от антропогенных факторов при нормальной (безаварийной) эксплуатации и при возможных аварийных ситуациях. Такие модели позволяют также принимать меры по защите ОПС при возникновении реальных аварийных ситуаций. Без набора нескольких моделей, отражающих изменения в экосистеме под воздействием реализуемого проекта невозможна оценка фактического состояния ОПС в районе воздействия, прогноз состояния ОПС, оценка прогнозируемого состояния ОПС. База данных для конкретного проекта является необходимой составной частью мониторинга района воздействия для проекта.	
16.	Кроме всего прочего, система **экологического мониторинга (в первую очередь, ее база данных) должна быть связана с единой государственной системой наблюдений (ЕГСН).** Это предполагает наличие обязательного обмена информацией системы ЭМ предприятия и государственной системы ЕГСН	п. 4.2.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОЯСНЕНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ИЗМЕРЕНИИ ХЛОРОФИЛЛА В ВОДЕ

Г.1 Характеристики технических средств судового гидрооптического комплекса для непрерывного измерения хлорофилла в воде

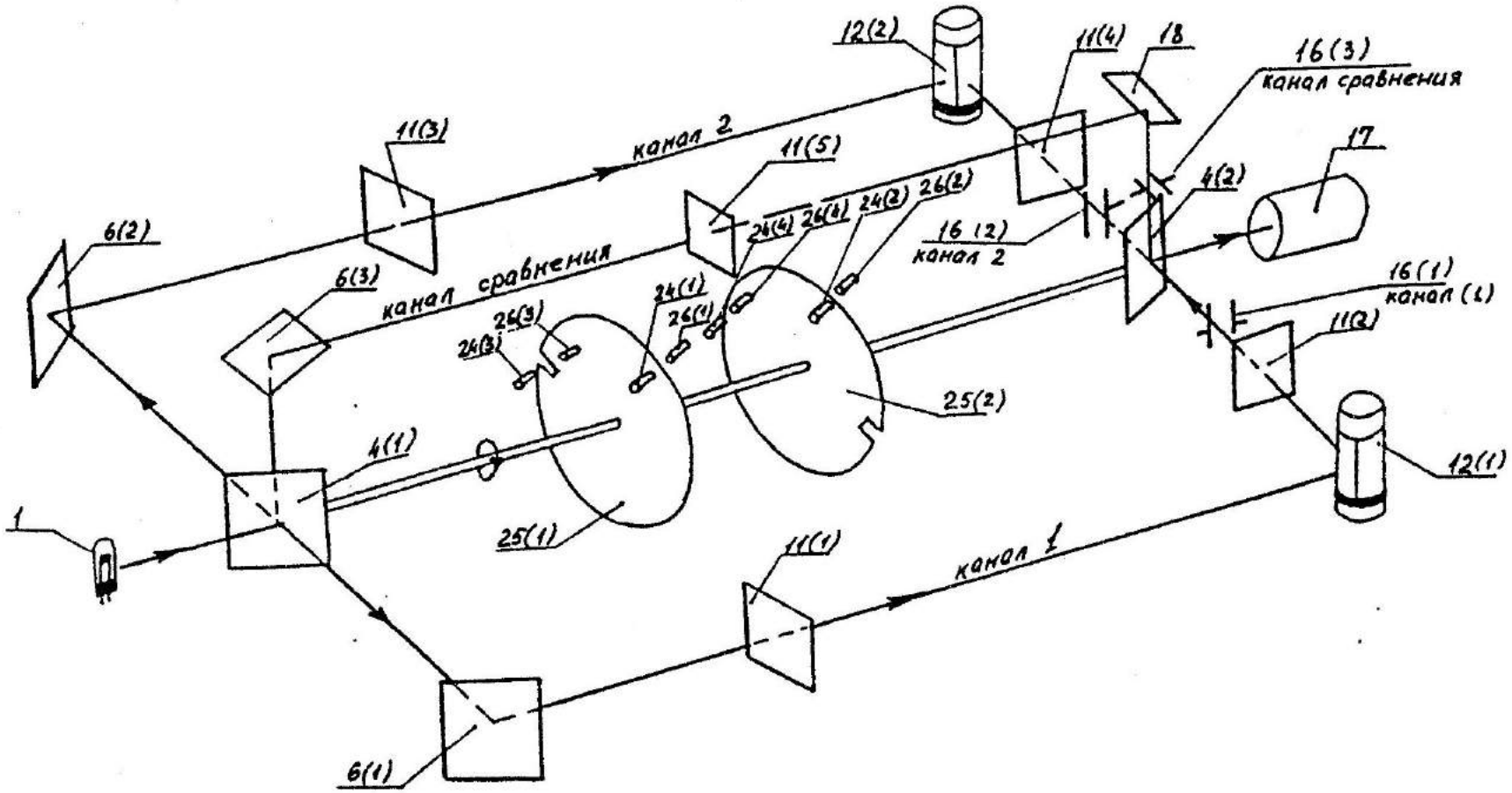
Схема судового гидрооптического комплекса приведена на рисунке Г.1. Далее приведено описание составляющих этого комплекса, использованного при работе в Баренцевом и Балтийском морях.



1 – насадка заборного устройства; 2 – штанга; 3 – тросы крепления штанги к борту судна; 4 – подающий и отводящий шланги системы прокачки; 5 – флуориметр «Квант-7»; 6 – датчик гидроквантометра; 7 – регистрирующий прибор гидроквантометра; 8 – измеритель температуры и электропроводности воды; 9 – антенна спутниковой навигационной системы; 10 – блок обработки спутниковой навигационной системы; 11 – компьютер

Рисунок Г.1 – Схема судового гидрооптического комплекса для измерения концентрации хлорофилла в воде [Шавыкин, 1995, 1997]

Двухканальный **флуориметр «Квант-7» с проточными кюветами**. Это серийный флуориметр, разработанный Барнаульским ОКБА НПО «Химавтоматика». Оптическая схема флуориметра приведена на рисунке Г.2 [Флуориметр «Квант-7», 1989; А. с. № 1496459, 1989]. Проточные кюветы флуориметра имеют внутреннее поперечное сечение 10×10 мм. Источник света – лампа накаливания, частота модуляции светового сигнала – 5 Гц. Процессор флуориметра производит усреднение измеряемых значений за 3 с.



1 - лампа накаливания; сканирующие зеркала: 4(I) - светового потока возбуждения, 4(2) - потока флуоресценции; 6(1), 6(2), 6(3) - поворотные зеркала; светофильтры первичные II(I) - канала I, II(3) -канала 2, II(5) - канала сравнения; светофильтры вторичные - II(2) - канала I, II(4) - канала 2; 12(1), 12(2), 12(3) - проточные кюветы; 24, 26 - светодиоды, фотодиоды; 16 - регулировочные диафрагмы; 17 - фотоэлектронный умножитель; 18 - матовое стекло

Рисунок Г.2 – Оптическая функциональная схема флуориметра «Квант-7» [А. с. № 1496459, 1989; Шавыкин, 1995, 1997]

Безнасосная **система подачи воды к флуориметру.** Нами были сделаны попытки разработать универсальную систему прокачки забортной воды [А. с. № 1352292, 1987]. Однако в конечном итоге в работе были использованы безнасосная (измерения в Баренцевом море и в Гданьском заливе Балтийского моря) и насосные (измерения в Онежском заливе Белого моря и в Таганрогском заливе Азовского моря) навесные системы прокачки.

При работе навесной безнасосной (гидродинамической) системы подачи воды к флуориметру, анализируемая вода отбиралась с горизонта 2.5 м с помощью водозаборника, разработанного в Атлантическом отделении Института океанологии АН СССР [Лила, Ханаев, 1983]. Водозаборник укреплялся на штанге (рисунок Г.1), которая устанавливается на расстоянии примерно равном 0.3 длины судна от его кормы. Расход воды в такой системе обеспечивается за счет динамического подпора на входном конце шланга и меняется с изменением скорости движения судна. Использовался прозрачный силиконовый шланг. Его общая длина – 35 м при его длине от входного отверстия насадки до штуцера проточной кюветы флуориметра 15.5 м. Внутренний диаметр шланга 8 мм.

Особенностью такой системы является зависимость время задержки системы от скорости судна. Поэтому были проведены специальные измерения параметров системы прокачки. В общем случае время задержки $t_{зад}$ есть среднее время прохождения импульсного сигнала (δ-функции) от входного отверстия системы закачки до измерительной кюветы флуориметра. При прохождении такого «сигнала» по шлангу происходит его «размазывание», так что регистрируемый сигнал имеет уже колоколообразный несимметричный вид (рисунок Г.3). При определении времени задержки мы основывались на результатах и рекомендациях, изложенных в работе [Mackas, Owen, 1982]. В соответствии с ними, время задержки (среднее время пребывания воды в системе) определяется формулой:

$$t_{зад} = \sum_{i=1}^{N} Fl_i \cdot i \cdot \Delta t / \sum_{i=1}^{N} Fl_i , \qquad (Г.1)$$

где:

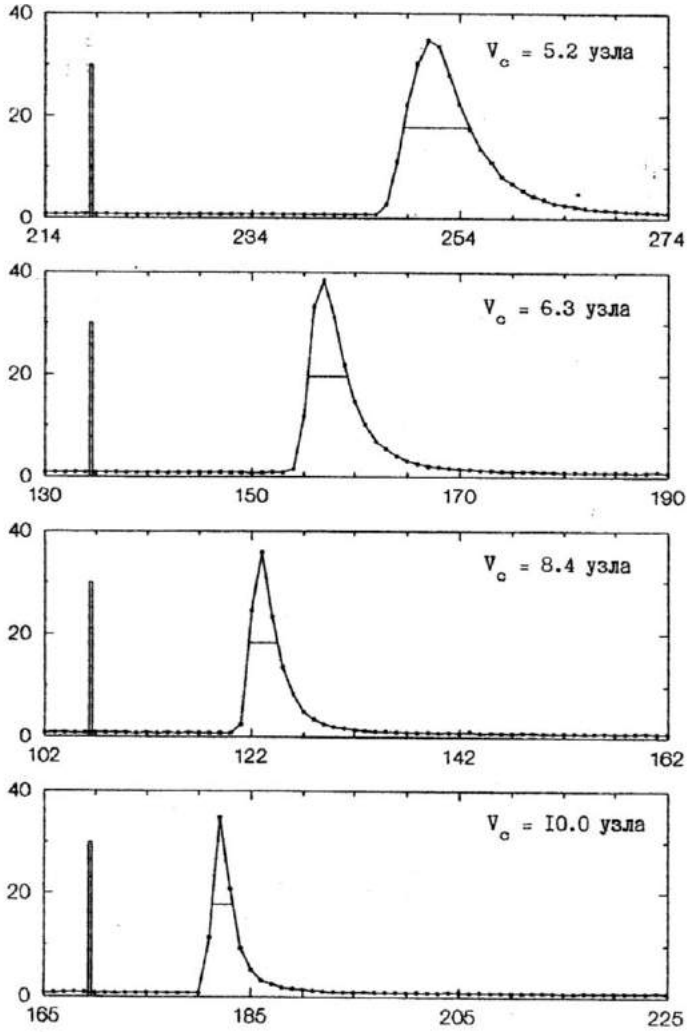
Fl_i значения сигнала, регистрируемого по первому каналу флуориметра, соответствующее i-му интервалу;

i номер интервала дискретизации;

Δt интервал дискретизации сигнала (в нашем случае $\Delta t = 2.92$ с);

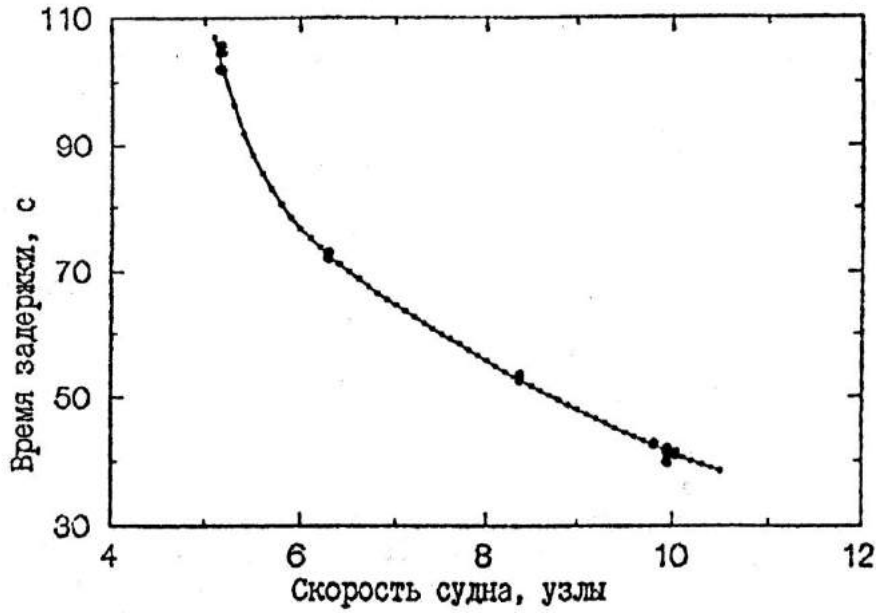
N число интервалов, на которые разбивается выходной регистрируемый сигнал от момента ввода контрастного вещества, до момента исчезновения регистрируемого сигнала.

Ширина этой кривой на уровне 0.5 от ее максимального значения F_{max} есть временная разрешающая способность системы. Пример записи аппаратной функции измерительной системы при разных скоростях представлен на рисунке Г.3. График зависимости $t_{зад}$ этой гидродинамической системы прокачки от скорости судна V_c приведен на рисунке Г.4.



Ось абсцисс – номера отсчетов (показаний) флуориметра; ось ординат – интенсивность флуоресценции по первому каналу (F1). Слева - положения δ-функции. Горизонтальная черта - ширина аппаратной функции. Баренцево море, июнь 1993

Рисунок Г.3 – Аппаратные функции безнасосной системы прокачки воды при различных скоростях судна [Шавыкин, 1995; 1997]



● - точки, соответствующие экспериментальным данным; • - точки, определенные по аппроксимирующей кривой. Баренцево море, июнь 1993

Рисунок Г.4 – Зависимость времени задержки $t_{зад}$ гидродинамической системы прокачки от скорости судна Vc, определенной по спутниковой навигационной системе GPS [Шавыкин, 1995; 1997]

Данные измерений показали, что пространственное разрешение безнасосного проточного прибора в общем случае зависит от скорости судна и выводы, изложенные в работе А.Н. Лилы [1984] вряд ли справедливы в полном объеме. Поэтому при использовании безнасосной системы следует экспериментально определять не только разрешающую способность, но и время задержки для всего диапазона скоростей судна.

Измеритель освещенности и поверхности моря. Для учета влияния внешней облученности на отношение $F_{хл} / C_{хл}$ и расчета градуировочных уравнений $C_{хл} = f(F_{хл})$ необходимо проводить соответствующие измерения освещенности поверхности моря солнечным светом. Мы использовали гидроквантометр HIQ-2, измеряющий фотосинтетически активную квантовую радиацию (число фотонов, достигающих единицы площади горизонтальной поверхности в единицу времени). Его датчик устанавливался на верхней палубе судна. Спектральный диапазон измерений равен 360 - 710 нм. Диапазон измерений облученности: 1-3000 мкЭйнштейн $\cdot$ $м^{-2} \cdot с^{-1}$ с тремя линейными диапазонами 1-30, 1-300, 1-3000. Измеряемые значения облученности (аналоговый выход) вводились в ЭВМ через плату

аналогоцифрового преобразователя (АЦП) DT-2811. При определении $C_{хл}$ данным методом на одной и той же глубине, например, на глубине 2.5 м, достаточно измерять освещенность (облученность) на поверхности моря, а не на той глубине. Мы принимаем, что освещенность поверхности моря и освещенность на глубине 2.5 м отличаются постоянным множителем, определять который нет необходимости.

Измеритель температуры и электропроводности воды. Для измерения гидрологических характеристик использовался датчик температуры и солености ЭПТ-65, установленный на глубине до 2.5 м в месте отбора воды в систему прокачки (рисунок Г.1). Аналоговый сигнал датчика вводился в ЭВМ через плату АЦП DT-2811.

Канал измерения электропроводности:

- диапазон преобразования равен 0.5 - 5 См·м$^{-1}$;
- коэффициент преобразования равен 0.991 В/См·м$^{-1}$;
- погрешность измерения солености (S), определенная по сопоставлению с данными, полученными на солемере – не более 0.05 ‰; использовалась Практическая шкала солености 1978 г. [О введении..., 1982].

Канал измерения температуры:

- диапазон преобразования равен 0-17 °С;
- коэффициент преобразования: 0.30 В/ °С;
- погрешность измерения температуры (Т), определенная по сопоставлению с данными, полученными на батометрической серии, не превышает 0.05 °С.

Для проверки градуировки датчиков в ходе всего рейса, примерно 1 раз в сутки, выполнялись совместные измерения Т и S измерителем ЭПТ-65 и судовым солемером с использованием батометрического метода.

Г.2 Характеристики галсов и методика обработки результатов измерений пространственной изменчивости океанологических параметров поверхностного слоя южной части Баренцева моря

В таблице приведены характеристики галсов и обобщенные значения измеренных на них параметров среды для полигона в Баренцевом море.

Таблица Г.1 – Характеристики галсов и обобщенные значения измеренных на них параметров среды [Шавыкин, 1997]

Галс	Время выполнения			Координаты			Температура			Соленость			Хлорофилл		
$N_{ст}\rightarrow$ $\rightarrow N_{ст}$	Дата	Начало Оконч.	Δt	Начало N // E	Оконч. N // E	N_m	$\overline{T}$	ΔT	$R_{TT}(0)\cdot 10^3$	$\overline{S}$	ΔS	$R_{SS}(0)\cdot 10^3$	$\overline{Chl}$	ΔChl	$R_{CC}(0)\cdot 10^3$
	д / м	ч : м : с		град мин			°C		$(°C)^2$	‰		$(‰)^2$	нмоль/л		$(нмоль/л)^2$
a		12:27:12		73°28.8′	73°30.0′										
02_03	11/06	13:37:00	1:09:48	43°28.9′	43°11.8′	476	0.648	0.191	2.01	34.758	0.135	1.14	0.613	0.636	5.25
b		12:27:11		73°10.8′	73°08.3′										
04_05	12/06	14:02:57	1:35:46	42°57.3′	43°50.7′	638	2.216	0.870	56.1	34.890	0.085	0.158	0.169	1.623	11.2
c		21:52:09		73°11.0′	73°29.2′										
06_01*	12/06	23:47:29	1:55:20	44°20.5′	44°39.1′	776	1.915	0.581	34.5	34.877	0.099	0.257	0.451	0.821	29.4
f		14:18:47		70°08.0′	69°59.7′										
27_28	22/06	16:52:25	2:33:38	40°08.9′	38°59.3′	1022	5.254	1.197	50.4	34.679	0.157	1.56	0.826	0.697	26.8
a		12:27:12		73°28.8′	73°30.0′	495									
02_03	11/06	13:37:00	1:09:48	43°28.9′	43°11.8′	19.7	0.648	0.183	2.01	34.759	0.126	1.11	0.611	0.490	3.51
b		12:27:11		73°10.8′	73°08.3′	729									
04_05	12/06	14:02:57	1:35:46	42°57.3′	43°50.7′	29.1	2.217	0.869	57.0	34.890	0.070	0.141	0.165	0.350	6.80
c		21:52:09		73°11.0′	73°29.2′	868									
06_01*	12/06	23:47:29	1:55:20	44°20.5′	44°39.1′	34.6	1.911	0.578	34.5	34.877	0.089	0.225	0.454	0.796	28.4
f		14:18:47		70°08.0′	69°59.7′	1166									
27_28	22/06	16:52:25	2:33:38	40°08.9′	38°59.3′	46.6	5.254	1.155	48.3	34.679	0.153	1.48	0.829	0.628	26.3

Примечание:
верхняя половина строк: по исходным измеренным данным - до выполнения процедуры равномерной дискретизации; нижняя половина - после выполнения процедуры равномерной дискретизации;
обозначения величин см. в таблице Г.2

Таблица Г.2 – Перечень обозначений, принятых в таблице Г.1

Обозначение	Расшифровка обозначения
Y	Одна из трех величин:
T	температура воды, °С
S	соленость воды, ‰
Chl	концентрация хлорофилла фитопланктона в воде, нмоль/л
$\bar{Y}$	Среднее значение величины Y
ΔY	Размах – разность между максимальным и минимальным значениями величины Y
$R_{YY}(0)$	Дисперсия величины Y
N_m	Число точек в исходном ряде измерений на галсе
N_d	Число точек в массиве измерений после применения процедуры равномерной дискретизации
D	Общая длина записи ряда, км

Сглаживание значений скорости судна. Значение скорости движения судна, получаемое по GPS, есть результат расчетов по измеренным координатам. Оказалось, они имеют значительную погрешность. При сглаживании скорости ее значение в каждой точке (в каждый момент времени t_i, для которого были выполнены измерения) приравнивается среднему взвешенному скоростей точек, отстоящих от данной точки не более, чем на половину заданного интервала сглаживания (T_{av} – интервал сглаживания скорости). Среднее значение скорости для данного момента времени вычисляется по формуле трапеций. Интервал сглаживания подбирался экспериментально. Однократное сглаживание с интервалами 300 и 600 с дает не вполне гладкую скорость судна [Шавыкин, 1995]. Процедура усреднения скорости судна сводилась к двойному сглаживанию скользящим средним с интервалом усреднения, равным 600 с.

Устранение задержки, обусловленной движением воды в системе прокачки. Значения F1 сдвинуты во времени по отношению к значениям величин температуры, электропроводности, освещенности, навигационным параметрам, так как вода подается по шлангу. Чтобы привести все измеренные значения к одной и той же анализируемой воде, необходимо указанная задержка устранялась. Для момента времени измерения t_i время задержки $T_{зад}$ определяется скоростью судна по кривой, полученной экспериментально (см. рисунок Г.4). Истинные (без

задержки) значения *F1* для момента t_i определяются линейной интерполяцией по значениям *F1* для двух моментов времени, ближайших к моменту $t_i + T_{зад}$: ближайшему до и ближайшему после него. Использовался режим, при котором $T_{зад}$ для каждого момента времени определяется по таблице значений [V_c, $T_{зад}$], введенной в калибровочный файл.

Усреднение значений освещенности поверхности моря. С учетом методики выполнения измерений (§ 3.4 и 3.5 основного текста), усреднение значений освещенности поверхности моря производится по формулам, аналогичным для усреднения скорости судна, но значения освещенности усредняются за интервал ΔT_E только до заданного момента времени. Длина файла этой процедурой не изменяется. Однако с учетом возможной большой погрешности среднего значения освещенности для начального участка галса (где число точек, по которым производится усреднение, значительно меньше, чем вдали от края, а для первой точки сглаживание не производится совсем) начальные точки могут быть впоследствии удалены из массива. Это нами и делалось, если освещенность в тот период измерений менялась значительно, т. е. наблюдалась переменная облачность.

Получение значений измеряемых параметров, равномерно дискретизированных по маршруту. Результаты прямых измерений параметров *F1, T, S, E* таковы, что промежутки времени между моментами, в которые они были измерены, не строго постоянны. Скорость судна может значительно изменяться на маршруте. Это приводит к тому, что расстояние между точками, в которых проводились измерения, также не является постоянным. Последнее обстоятельство затрудняет дальнейшую обработку (проведение спектрального и корреляционного анализа, использования других видов анализа). Поэтому использовалась процедура равномерной дискретизации, чтобы получить ряды значений измеренных величин, расположенных вдоль маршрута на постоянном, заданном оператором расстоянии *dL*.

За основу бралась сглаженная скорость судна и моменты времени t_i, в которые были проведены измерения. Для данного момента времени t_j, рассчитанного или начального, вычисляется новый момент времени t_{j+1}, для которого «измере-

ния выполнены» на заданном расстоянии *dL* от предыдущего. По формулам линейной интерполяции для этого момента t_{j+1} рассчитываются новые значения анализируемых величин. По скорости, рассчитанной для момента t_j и скоростям в последующие моменты времени t_i, для которых проводились измерения ($t_i > t_j$), по формуле трапеций вычисляется пройденное судном расстояние ΔL. При этом в расчеты включаются все новые и новые последующие моменты времени t_i, пока вычисленное пройденное расстояние ΔL не станет равным или большим, чем заданное значение *dL*. После достижения этого условия ($\Delta L \geq dL$) последний член суммы отбрасывается и расчет повторяется, но с меньшим временным шагом. Расстояние, рассчитываемое от момента времени t_j, будет включать расстояние, пройденное между фиксированными моментами времени (моментом времени t_j и измеренными моментами $t_i > t_j$) и увеличивающееся расстояние от последнего момента t_i. Этот переменный член, содержащий, например, *m* членов, вычисляется по интерполированной скорости с шагом по времени в 0.1 с. Суммирование прекращается при превышении всей суммой значения *dL*. При этом, для нечетных *j* берется m членов суммы последнего слагаемого суммы (пройденное расстояние чуть больше, чем *dL*); для четных значений *j* берется *m*-1 членов суммы (пройденное расстояние оказывается чуть меньше, чем *dL*).

В результате применения процедуры равномерной дискретизации длина массива (количество точек) может, как увеличиться, так и уменьшиться (таблица Г.1, верхняя и нижняя части). При расчетах значение шага дискретизации *dL* принималось не меньшее, чем среднее значение расстояния между точками в исходном массиве результатов измерений.

Начала галсов (время, координаты) до и после процедуры равномерной дискретизации (таблица Г.1) одинаковы. Координаты и время окончания измерений различны, что обусловлено процедурой обработки (см. подробное описание процедуры обработки в работе А.А. Шавыкина [1995]). Для галсов 11_12k и 13_14k в силу разных причин (разрыв в записи, большой объем данных) взяты участки галсов (70–80 %) от начальной точки, поэтому в их обозначениях присутствует «k». Обработка рядов измерений несколько меняет средние значения, размах и дис-

персию рядов однако мы предполагаем, что это влияние лежит в пределах погрешности измерения исходных параметров и в пределах погрешности обработки, обусловленной применением спектрального анализа.

Расчет спектральной плотности. Для анализа изменчивости полей *T, S, Chl* в указанном масштабе (100 м – 100 км) нами использовался математический аппарат цифрового спектрального анализа [Дженкинс, Ваттс, 1971, 1972; Бендат, Пирсол, 1989; Марпл-мл., 1990]. Формулы расчета спектров соответствуют таковым в работе Дженкинса и Ваттса [1971, 1972]. Наши цифровые данные y_t при t=1 ... N_d (t – номер точки, N_d – число измерений после выполнения равномерной дискретизации) соответствуют значениям сигнала *y(t)*, отсчитанного через интервал $dL=\Delta$=40 м.

Выборочная оценка АКФ для ряда y_t вычислялась по формуле

$$R_{yy}(m) = \frac{1}{N_d}\sum_{t=1}^{Nd-m}(y_t - \bar{y})(y_{t+m} - y) \qquad (Г.2)$$

где $y = \frac{1}{N_d}\sum_{t=1}^{Nd-m} y_t$ является выборочным средним значением всего ряда.

Спектр случайной величины y рассчитывался по формуле (значения на нулевой частоте не оценивались)

$$P(f_i) = 2 \cdot \Delta \cdot [R_{yy}(0) + 2\sum_{m=1}^{L-1} R_{yy}(m) \cdot w(m) \cdot \cos(2\pi f m \Delta)] , 0 \le f \le \frac{1}{2\Delta} \qquad (Г.3)$$

где $R_{yy}(m)$ – автоковариационная функция;
$R_{yy}(0)$ – дисперсия процесса;
$L=m/\Delta$ – число запаздываний – число значений АКФ, используемых для расчета спектральной плотности;
m – длина запаздывания в единицах измеряемой величины (в данном случае – км);
$N = D/\Delta$ – число точек в записи ряда;
D – общая длина записи ряда (км);
$w(m)$ – окно Парзена.

Относительная спектральная плотность $p(f_i)$ рассчитывалась делением $P(f_i)$ на дисперсию процесса: $p(f_i)=P(f_i)/R_{yy}(0)$. Для уменьшения дисперсии выборочной спектральной плотности проводилось сглаживание с помощью корреляционного окна Парзена.

Удаление тренда. Чтобы исключить влияние низкочастотного тренда и соответственно влияние большой оценки спектра на нулевой частоте на оценки

спектра на других частотах, а также сохранения положительной определенности выборочной оценки АКФ, из всех исходных данных удалялся линейный тренд независимо от того значим он или нет.

Расчет доверительного интервала для спектральной плотности. 100 (1–α) %-ный доверительный интервал для спектральной плотности в логарифмическом масштабе вычислялся по формулам с использованием χ^2-распределения:

$$\lg P_{xx}(f) + \lg \frac{\nu}{\chi^2_{1-\alpha/2;\nu}} \quad \text{– верхняя граница,} \qquad \lg P_{xx}(f) + \lg \frac{\nu}{\chi^2_{\alpha/2;\nu}} \quad \text{– нижняя граница,}$$

где ν – число степеней свободы.

С учетом этого при построении выборочной оценки спектра доверительный интервал для всех частот указывается одним вертикальным отрезком. Использовались графики зависимости $\nu/\chi^2_{1-\alpha/2;\nu}$ и $\nu/\chi^2_{\alpha/2;\nu}$ от ν, приведенные в [Дженкинс, Ваттс, 1971], и/или таблицы χ^2-распределения. Рассчитывались несколько сглаженных выборочных оценок, взяв сначала широкую полосу окна, и затем постепенно сужая ее. Процесс стягивания окна останавливают, когда выявляются все существенные детали спектра. В нашем случае при $L = 0.1 \cdot N_d$ все основные детали спектров выявились и дальнейшее стягивание окна оказывалось нецелесообразным. Выбор $L = 0.1 \cdot N_d$ наиболее приемлем и соответствует рекомендациям других авторов [Болч, Хуань, 1979; Отнес, Эконсон, 1982]. Такие же значения L часто использовались и другими авторами при анализе спектров поверхностной температуры и хлорофилла [Stramsky, Dickey, 1992 и др.].

Выделение составляющих различного пространственного масштаба. Для выделения синоптических ($\lambda > 10$ км), мезомасштабных (10 км $> \lambda >$ 1 км) и мелкомасштабных ($\lambda < 1$ км) составляющих мы применяли фильтр Поттера, аналогичный тому, который используется в отечественной статистической программе «Мезозавр». Свойство этого фильтра описано в работе Р. Отнеса, Л. Эноксона [1982]. Граничными значениями соответствующих фильтров были n=25 (=1000 м) и n = 250 (10 000 м) точек.

Гидрометеорологические условия. Район исследований расположен в южной части Баренцева моря между 70°00’–73°30’ с.ш. и 36–44° в.д. (рис. 3.13). До-

статочно большая его протяженность с севера на юг (около 240 миль) и с запада на восток (около 100 миль) определили значительные различия параметров водных масс и состояние фитоценозов.

Метеорологические условия. В начальный период проведения съемки (09–12 июня) над акваторией исследований преобладающим являлся слабый и умеренный ветер северных направлений (5–10 м/с). В середине июня наиболее часто наблюдался ветер восточных румбов, в отдельные сутки скорость которого усиливалась до 8–13 м/с. 21 июня после выполнения океанографической станции 26 над районом исследований наблюдалось прохождение циклона, которое вызвало усиление ветра (до 15–18 м/с) и ветрового волнения. Это сказалось на термохалинной вертикальной структуре водных масс верхнего слоя относительно мелководного участка моря (120–180 м). Но сравнительный анализ данных, полученных с помощью батометрических подвесных станций, не выявил существенных различий вертикального распределения параметров до и после прохождения циклона. Это объясняется большой дискретностью наблюдений по вертикали при проведении измерений на стандартных горизонтах. Последующий анализ непрерывных записей океанологических параметров показал, что циклон оказал существенное влияние на мезо- и мелкомасштабное распределение параметров. В частности, это проявилось в возникновении внутренних волн на обширной акватории (см. далее) и их влиянии на мезо- и мелкомасштабные характеристики практически всех параметров.

Океанографические условия. По океанографическим параметрам полигон наблюдений можно разделить на три части.

Район А: к северу от 72°30′ с.ш. (гидрологические станции 1–9) над Центральной впадиной располагалась Полярная фронтальная зона. Она разделяла баренцевоморскую водную массу и атлантические воды, переносимые основной ветвью Мурманского течения и его продолжением: Новоземельским и Колгуево-Печорским течениями. Температура воды верхнего перемешанного слоя, средняя толщина которого составляла около 30 м, изменялась от 0.5 до 3.5 °С, а соленость была около 34.90 ‰.

Район B: океанографические станции средней части полигона (ст. 10–19) были выполнены над Центральной впадиной и над свалом глубин, отделяющим ее от Канинского плато. Глубина на них менялась от 240 до 350 м. Верхний перемешанный слой воды толщиной 20–50 м имел более высокую температуру (3–5 ^{o}C) и более низкую соленость (менее 34.90 ‰), чем к северу от 72^{o}30′ с.ш. Эта часть полигона также находилась в зоне действия вод основной ветви Мурманского течения.

Район C: к югу от 71^{o} с.ш. район наблюдений располагался над Северо-Канинским и Южно-Канинским плато, а также над Мурманской возвышенностью (станции 20–30). Глубина на этом участке изменялась от 60 до 240 м. Ввиду мелководности района средняя толщина верхнего квазиоднородного слоя по температуре и солености составила 15 м, что почти в два раза меньше, чем на более северной акватории полигона.

Г.3 Градуировочное уравнение для расчета концентрации хлорофилла в приповерхностном слое Таганрогского залива

Определение параметров модели измерения. Для двух каналов измерения по проточным кюветам было проведено семь измерений F1 и F2 (рассчитывали среднее для серии из 10 значений) дистиллированной воды с целью учёта рассеивания света водой. Полученные значения $S_{дв}^{[хл]}$, $S_{дв}^{[ров]}$ изменялись в диапазонах от 0.202 до 0.339 и от 0.026 до 0.077 отн. ед. и в среднем составили $S_{дв}^{[хл]}$ = 0.273 (отн. ед.), $S_{дв}^{[ров]}$ = 0.053 (отн.д.).

Фильтрат, получаемый из проб после осаждения фитопланктона на мембранные фильтры для определения КХ спектрофотометрическим методом), также измеряли на флуориметре для определения коэффициента К. Для каждого канала (F1 и F2) получали по десять измерений и определяли среднее для каждой пробы. Было рассчитано среднее значение коэффициента $K = F_{ров}^{[хл]} / F_{ров}^{[ров]}$ = 0.267 (изменения в пределах 0.172 – 0.448).

После определения всех параметров имеем следующее соотношения для расчета:

$$F_{ров}^{[хл]} = (F1 - 0.273) - 0.267 \bullet (F2 - 0.053), \qquad F_{ров}^{[ров]} = F2 - 0.053 \qquad (Г.4).$$

Градуировочное уравнение. Для определения КХ по измеряемой флуориметром ИНФХ рассчитано градуировочное уравнение $C_{хл} = f(F1, F2)$. Для калибровки использованы значения концентрации хлорофилла а, полученные экстрактным спектрофотометрическим методом, и ИНФХ, определенной по показаниям флуориметра, усредненным за время отбора пробы.

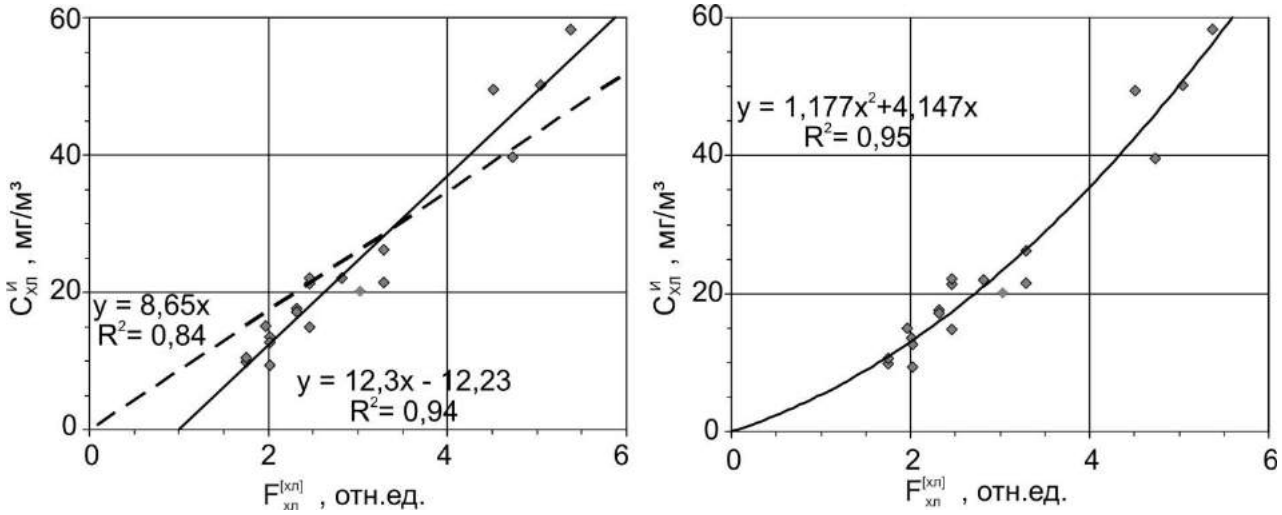
Замечание. При малых концентрациях флуоресцирующего вещества в растворе (для слабо поглощающих растворов) справедлива линейная зависимость интенсивности флуоресценции от концентрации флуоресцирующих веществ [Паркер, 1972]. При измерении флуоресценции взвеси клеток фитопланктона мы имеем дело со сложной структурой, резко отличающейся от обычного люминесцирующего раствора, даже имеющего высокую концентрацию. Пигменты, поглощающие возбуждающий свет (хлорофиллы, каратиноиды и др.), и молекулы флуоресцирующего хлорофилла а находятся в хлоропластах, в которых все они плотно "упакованы" одна к одной. Поэтому эта "взвесь" отдельных "твердых" образований не является слабо поглощающим (разбавленным) раствором. Но при не очень большой концентрации фитопланктона, малом размере самих клеток и, главное, при неизменном или слабо меняющемся видовом составе фитопланктона зависимость ИФХ от КХ в достаточно большом диапазоне концентрации клеток является линейной [Методические рекомендации…, 1989; Шавыкин, 1997; Pinto et al., 2001].

Очень высокие концентрации клеток фитопланктона приводят к тому, что линейная связь искажается и с ростом КХ в воде ИНФХ растет медленнее, чем КХ. Поэтому расчет был сделан в предположении не линейной, а квадратичной зависимости между КХ и ИНФХ (рисунок Г.5):

$$C_{Хл}^{P} = (1.177 \cdot F_{Хл}^{[Хл]} + 4.147) \cdot F_{Хл}^{[Хл]}, \qquad (N=19,\ R^2=0.949) \qquad (Г.5).$$

После подстановки уравнение для расчета КХ по измеряемым значениям F1 и F2 имеет вид (рисунок Г.5):

$$C_{ХЛ}^{P} = 1.177 \cdot F1^{2} + 0.0839 \cdot F2^{2} - 0.628 \cdot F1 \cdot F2 + 3.54 \cdot F1 - 0.945 \cdot F2 + 0.995 \qquad (Г.6)$$



Слева – линейные зависимости в предположении пересечения линии регрессии с началом координат (1) и без учета пересечения (2), R2 - коэффициент детерминации (квадрат линейного коэффициента регрессии); Справа – квадратичная зависимость в предположении пересечения линии регрессии с началом координат [Шавыкин и др., 2010]

Рисунок Г.5 – Градуировочные уравнения $C_{ХЛ}^{И} = f(F_{ХЛ}^{[ХЛ]})$

Учет влияния облученности. Анализ полученных данных показал, что влиянием света на связь между ИНФХ и КХ можно пренебречь, т.к. коэффициент корреляции между облученностью и отношением ИНФХ/КХ R=0.25 (R^2 = 0.063) и значимо не отличаются от нуля [Шавыкин и др., 2010].

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ ПТИЦ, ИХ ЧИСЛЕННОСТИ И ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ

Д.1 Модель выборочного учета

Принималась следующая простая модель выборочного учета [Челинцев, 2000]. На территории площадью Q размещается G птиц данного вида. Каждая из групп имеет вероятность p_u находиться в u-ой зоне территории, имеющей площадь Q_u. Среднее число особей в группах равно $\bar{b}$, так что численность птиц на всей территории равна $N = G \times \bar{b}$. На территории случайным образом размещаются m учетных площадок, имеющих в общем случае разные размеры q_k ($k=1 \div m$). При размещении площадок они не перекрывают друг друга. Чтобы были возможны все теоретические варианты размещения выборки на данной территории, необходимо, чтобы площадь каждой из зон Qu была больше или равна суммарной площади выборки $q = \sum_{k=1}^{m} q_k$, то есть, необходимо, чтобы $q \le Q_u$. Из этого условия, в частности, следует, что если суммарная площадь выборки больше половины территории, то зоны не выделяются.

Д.2 Алгоритм расчета плотности птиц, их численности и погрешности оценки численности

Оценка средней плотности населения на всей территории по расчетным значениям плотности населения D_k на m выборочных площадках может быть найдена по формуле средней взвешенной

$$\tilde{D} = \sum_{k=1}^{m} D_k \times w_k \quad , \quad D_k = \frac{n_k}{q_k} \quad , \quad \sum_{k=1}^{m} w_k = 1 \quad , \qquad (Д.1)$$

где w_k – некоторые весовые коэффициенты, которые могут быть определены из условия минимума дисперсии оценки плотности. После проведения соответствующих выкладок получается выражение для дисперсии плотности населения на выборочной площадке. Оно определяется двумя слагаемыми, Величина первого слагаемого обусловлена случайность попадания на все выборочные площадки того или иного числа групп животных и вариацией числа животных в группах, и

не зависит от числа неравномерности размещения групп животных на всей территории (от параметра λ). Величина второго слагаемого прямо пропорциональна показателю неравномерности размещения λ и не зависит от случайной вариации попадающего на площадки числа групп животных. С учетом этих двух вариантов находят значения весовых коэффициентов w_k .

Для одного варианта (**варианта А**), в предположении, что животные на территории размещены достаточно равномерно (λ≈0), имеем:

$$\textbf{вариант А:}\quad w_{k,\text{опт}} = \frac{q_k}{q}\ ,\quad q = \sum_{k=1}^{m} q_k\ \ ,\ \ , k=1 \div m\ , \qquad \text{(Д.2)}$$

Соответствующая этим весовым коэффициентам формула оценки плотности населения имеет вид:

$$\widetilde{D} = \frac{1}{q}\sum_{k=1}^{m} D_k \times q_k = \frac{1}{q}\sum_{k=1}^{m} \frac{n_k \times q_k}{q_k} = \frac{n}{q},\ \ n = \sum_{k=1}^{m} n_k \qquad \text{(Д.3)}$$

Для второго варианта (**варианта Б**), случайная вариация числа групп, попадающих на каждую из площадок, невелика по сравнению с вариацией, обусловленной неравномерностью размещения птиц на территории из-за наличия зон разной плотности. В этом случае весовые коэффициенты равны:

$$\textbf{вариант Б:}\quad w_{k,\text{опт}} = \frac{1}{m},\quad k=1 \div m\ \ , \qquad \text{(Д.4)}$$

Соответствующая этим одинаковым весовым коэффициентам формула оценки плотности населения приводится к виду

$$\tilde{D} = \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m} D_k\ . \qquad \text{(Д.5)}$$

Для выбора того или иного варианта расчета плотности и численности населения, оценки дисперсии определяется значение коэффициента μ, равного разности дисперсий оценок плотности населения соответственно для весовых коэффициентов вариантов А и Б. Величина μ может рассматриваться как относительная мера того, при какой системе коэффициентов статистическая ошибка оценки плотности населения животных будет меньше. Значение μ определяет количественно выигрыш (в долях единицы) в величине статистической ошибки при переходе от расчета оценки плотности населения при одной системе коэффициентов к расчету оценки плотности при другой системе коэффициентов.

1). Если размеры выборочных площадок одинаковы, то $\tilde{\mu}_A$=0 и формулы расчета плотности сводятся к формуле (Д.5) на основе средней арифметической.

2). Если размеры площадок неодинаковы, , то при $\tilde{\mu}$<0 меньшую статистическую ошибку дает применение весовых коэффициентов **варианта А** (Д.2) и расчет плотности населения по формуле (Д.3).

3). При $\tilde{\mu}$**>0** меньшую ошибку дает применение весовых коэффициентов **варианта Б** (Д.4) и расчет плотности населения по формуле (Д.5).

Таким образом, при случайном размещении групп животных на всей территории меньшая статистическая ошибка при неравных размерах площадок будет при использовании весовых коэффициентов **варианта А**, при агрегированном или стратифицированном размещении животных, проявляющемся в выборке, меньшая ошибка будет при использовании весовых коэффициентов **варианта Б**.

Представленный выше подход использовался в реализации метода адаптивного деления территории с получением «квазирандомизированных» проб, который по рекомендациям Н.Г. Челинцева можно применять практически при любых вариантах размещения выборочной площади [Челинцев, 2000].

Адаптивное деление проводится следующим образом:

На картосхеме отыскиваются две наиболее удаленные точки района и они соединяются отрезком прямой.

Через середину этого отрезка проводится перпендикулярная линия, которая делит территорию района на две части.

Каждая из полученных при таком делении частей делится таким же образом, последовательное деление продолжается до тех пор пока:

а) в каждой из вновь получаемых частей есть участки учетных маршрутов достаточной протяженности (например, не менее 1/100 от общей протяженности маршрутов на территории района),

б) хотя бы в одной из получаемых частей на учетном маршруте есть обнаруженные животные.

Две части, получаемые при последнем делении, рассматриваются как отдельный «расчетный сектор», в котором проводится экстраполяционный расчет плотности населения и численности животных. Суммарная выборочная площадь в каждой части сектора рассматривается как одна «проба». При этом каждый сектор

содержит две пробы – по одной пробе в каждом из двух секторов. Следует отметить, что размеры расчетных секторов автоматически согласуются с густотой учетных маршрутов: где маршрутная сеть гуще – там размеры секторов меньше, где маршрутная сеть реже – там размеры секторов больше. В этом и состоит «адаптивность» деления. Из-за наличия в каждом секторе только двух проб – по одной пробе в каждой части сектора – практически снимается вопрос о соответствии размещения проб случайной модели. Поэтому изложенная выше схема образования и размещения проб названа Н.Г. Челинцевым «квазирандомизированной».

При двух пробах в расчетном секторе (*m=2*) формулы расчета плотности $\tilde{D}_S$ и численности населения птиц $\tilde{N}_S$ в секторе *s* и относительной статистической ошибки плотности птиц в этом секторе $e(\tilde{D}_S)$ сводятся к виду

для варианта А ($\mu < 0$),

то есть при весовых коэффициентах $w_1=q_1/q$ и $w_2=q_2/q$ $(q=q_1+q_2)$:

$$\tilde{D}_S = D_1\frac{q_1}{q} + D_2\frac{q_2}{q} = \frac{n_1+n_2}{q} = \frac{n}{q}\ , \quad D_1 = \frac{n_1}{q_1}\ , \quad D_2 = \frac{n_2}{q_2}\ , \quad \tilde{N}_S = \tilde{D}_S \cdot Q_S\ , \qquad (Д.6)$$

$$e(\tilde{D}) = e(\tilde{N}) = \sqrt{1-\frac{q}{Q}}\cdot\frac{|D_1-D_2|}{\tilde{D}}\cdot\frac{\sqrt{q_1 q_2}}{q}\ ; \qquad (Д.7)$$

для варианта Б ($\mu > 0$),

то есть при весовых коэффициентах $w_1=w_2=0.5$:

$$\tilde{D}_S = \frac{1}{2}(D_1+D_2) = \frac{1}{2}\left(\frac{n_1}{q_2}+\frac{n_2}{q_2}\right)\ , \quad D_1 = \frac{n_1}{q_1}\ , \quad D_2 = \frac{n_2}{q_2}\ , \quad \tilde{N}_S = \tilde{D}_S \cdot Q_S\ , \qquad (Д.8)$$

$$e(\tilde{D}) = e(\tilde{N}) = \sqrt{1-\frac{q}{Q}}\cdot\frac{|D_1-D_2|}{\tilde{D}}\cdot\ ; \qquad (Д.9)$$

Критерий выбора оптимальной системы весовых коэффициентов сводится при двух пробах к виду (когда расчет начинается **по варианту А**):

$$\tilde{\mu}_A = \frac{1}{2}\cdot\frac{\frac{\tilde{\lambda}_A g(q_1-q_2)^2}{2q^2} - \frac{(q_1-q_2)^2}{4q_1q_2}}{\frac{\tilde{\lambda}_A g(q_1^2+q_2^2)^2}{q^2}+1-\frac{q}{Q}} \qquad (\tilde{\lambda}_A \geq 0)\ , \qquad (Д.10)$$

а оценка показателя неравномерности сводится к виду:

$$\tilde{\lambda}_A \approx \left[e^2(\tilde{D}_A) - \frac{1}{g}(1-\frac{q}{Q}) \right] \frac{q^2}{q_1^2 + q_2^2} \ , \qquad (Д.11)$$

где $e(\tilde{D}_A)$ - относительная статистическая ошибка, рассчитываемая по формуле (Д.7).

Если расчет сразу начинается **по варианту Б**, то критерий выбора μ и показатель неравномерности λ считаются по следующим формулам:

$$\tilde{\mu}_Б = \frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{\tilde{\lambda}_Б g (q_1 - q_2)^2}{2q^2} - \frac{(q_1 - q_2)^2}{4q_1 q_2}}{\frac{\tilde{\lambda}_Б g}{2} + \frac{q^2}{4q_1 q_2} - \frac{q}{Q}} \qquad (\tilde{\lambda}_Б \geq 0) , \qquad (Д.12)$$

$$\tilde{\lambda}_Б \approx e(\tilde{D}_Б) - \frac{q^2}{2nq_1 q_2} \ , \qquad (Д.13)$$

где $e(\tilde{D}_Б)$ - относительная статистическая ошибка, рассчитываемая по формуле (Д.9).

После расчета оценок плотности населения и численности птиц и их статистических ошибок в отдельных секторах по формулам (Д.6), (Д.7) или по формулам (Д.8), (Д.9) средневзвешенная оценка плотности населения на всей территории природного района рассчитывалась по формуле

$$\tilde{D}_r = \frac{1}{Q} \sum_S \tilde{D}_S Q_S = \frac{1}{Q_r} \sum_S \tilde{N}_S \ , \qquad Q_r = \sum_S Q_S \ , \qquad (Д.14)$$

где $\tilde{D}_S$ - оценка плотности населения в s-м секторе,

$\tilde{N}_S$ - оценка численности животных в s-м секторе,

Q_S - площадь s-го сектора,

Q_r - площадь района.

Оценка численности животных на всей территории района равна

$$\tilde{N}_r = \tilde{D}_r Q_r = \sum_S \tilde{N}_S \ . \qquad (Д.15)$$

Относительная статистическая ошибка оценки плотности населения $\tilde{D}_r$ и численности $\tilde{N}_r$ в районе рассчитываются по формуле

$$e(\tilde{D}_r) = e(\tilde{N}_r) = \frac{1}{\tilde{D}_r Q_r}\sqrt{\sum_S e^2(\tilde{D}_S)\tilde{D}_S^2 Q_S^2} = \frac{1}{\tilde{N}_r}\sqrt{\sum e^2(\tilde{N}_S)\tilde{N}_S^2}\ , \qquad (Д.16)$$

где $e(\tilde{D}_S) = e(\tilde{N}_S)$.

Д.3 Расчет доверительных пределов оценки численности птиц

Оценка численности животных, получаемая при экстраполяции данных выборочных учетов, будучи неотрицательной, случайной величиной, имеет асимметричное вероятностное распределение. При достаточно больших значениях относительной статистической ошибки, часто встречающихся при выборочных учетах животных, расчет доверительных пределов по формулам, исходящим из предпосылки симметричных нормального или распределения или t-распределения Стьюдента, будет давать искаженные значения пределов, и при очень больших значениях статистической ошибки будет получаться отрицательный нижний доверительный предел.

Одним из возможных способов получения более реальных значений доверительных пределов может быть использование модели логнормального распределения оценки численности.

Односторонний верхний доверительный предел (для уровня доверия 95 %) N_U оценки численности птиц, исходящий из логнормального распределения оценки:

$$\tilde{N}_U = \tilde{N}_O \exp\left\{1.64\tilde{\sigma} - 0.5\sigma^2\right\}, \qquad \tilde{\sigma} = \sqrt{\ln[1+e^2(\tilde{N}_O)]}\ . \qquad (Д.17)$$

где $\tilde{N}_O$ - расчетная оценка численности,

$e(\tilde{N}_O)$ - ее относительная статистическая ошибка.

Односторонний нижний доверительный предел (для уровня доверия 95 %) N_L оценки численности птиц:

$$\tilde{N}_L = \tilde{N}_O \exp\left\{-1.64\tilde{\sigma} - 0.5\sigma^2\right\}, \qquad \tilde{\sigma} = \sqrt{\ln[1+e^2(\tilde{N}_O)]}\ . \qquad (Д.18)$$

При расчете *двустороннего доверительного интервала* для того же уровня доверия 95 % верхний и нижний пределы рассчитываются по аналогичным формулам, но при замене множителя 1.64 на 1.96:

$$\tilde{N}_U = \tilde{N}_O \exp\left\{1.96\tilde{\sigma} - 0.5\sigma^2\right\}, \qquad \tilde{\sigma} = \sqrt{\ln[1+e^2(\tilde{N}_O)]}\,. \qquad \text{(Д.19)}$$

$$\tilde{N}_L = \tilde{N}_O \exp\left\{-1.96\tilde{\sigma} - 0.5\sigma^2\right\}, \qquad \tilde{\sigma} = \sqrt{\ln[1+e^2(\tilde{N}_O)]}\,. \qquad \text{(Д.20)}$$

Доверительные пределы оценки численности животных имею особое значение для целей управления популяциями. При установлении квот добычи следует исходить из одностороннего нижнего доверительного предела оценки численности популяции на данной территории, чтобы не подорвать способность популяции к воспроизводству. При планировании биотехнических мероприятий (подкормки, устройства убежищ) необходимо исходить из верхнего доверительного предела, чтобы не оставить часть популяции без необходимой помощи. Двусторонние доверительные интервалы используются при построении и анализе динамических рядов тех или иных видов животных, а также при сравнении плотности населения вида на разных территориях [Челинцев, 2000].

Д.4 Применяемые программы и некоторые особенности расчетов

Все построения и расчеты сделаны на основе цифровой карты юго-восточной части Баренцева моря масштаба 1:250 000 (GEBCO-97). Построения и вычисления первого этапа (деление на выборочные площадки - полигоны) проводились с помощью программы ArcView GIS (версия 3.1). Использовалась равновеликая коническая проекция Альберта, мировая геодезическая система 1984 г. (главный меридиан - 57.024° E, широта полюса истинных координат – 69.18° N, главная параллель 1 – 68.47° N, главная параллель 2 – 69.98° N). Выбор указанной проекции был обусловлен тем, что именно она давала наименьшую погрешность при проверочном расчете площадей одноградусных квадратов на широте Печорского моря.

Деление всего района площадью 31 600 км^2, выделенного для оценки в нем общей численности птиц, на отдельные полигоны (сектора) выполнялось одновременно и на бумаге и на компьютере (процедуры ArcView GIS). После адаптивного деления все подготовительные расчеты (длина маршрутов в пределах полигонов, площади полигонов) выполнялись с помощью скрипта calcapl.ave программы ArcView GIS. Последующие расчеты численности и погрешностей – по

программе Exel (Office 1997/2000). Ширина учетной полосы, равная высоте полета, в данном случае численно равна 150 м. Суммарная площадь выборки равна 201.5 км^2 , что составляет 0.6 % площади всего выделенного для учета района. Номера секторов (полигонов), на которые был разделе район исследования указаны на схемах и в соответствующих таблицах. При этом номер сектора совпадает с номером полигона, если в нем нет учитываемого вида птиц и он образован не на последнем этапе деления; два полигона полученных на последнем этапе деления составляют один сектор, номер которого образован номерами полигонов (проб), полученных от этого последнего деления.

Обозначения в таблицах Д.1 и Д.2 соответствуют обозначениям в монографии Н.Г. Челинцева [Челинцев, 2000]. Дополнительно показано, по формулам какого варианта (варианта А или варианта Б) выполнялись расчеты. Так запись D_s(**А**,**Б**) означает, что значение величины D_s могло быть получено по формулам варианта *А* (тогда численное значение результата записывается в таблице жирным шрифтом), или по формулам варианта *Б* (тогда результат записывается в таблице курсивом). Это относится также к значениям величин $e(D_s)$ N_s(**А**,**Б**). Значения величин λ_s(**А**) и μ_s(**А**), как следует из обозначений, рассчитаны по формулам варианта *А*. При этом, учитывая смысл величины μ_s (разность статистических ошибок подсчитанных по варианту *А* и *Б*, отнесенная к статистической ошибке варианта *А* – см. формулу 6.45 в [Челинцев, 2000]), мы переходили к расчету по формулам варианта *Б* только когда μ_s была больше 0.04 (больше 4 %). Это имело место один раз (при расчете численности гаг, см. расчеты в [Краснов и др., 2002]), во всех остальных случаях использовались формулы варианта *А*.

Отрицательные значения показателя неравномерности λ_s подчеркнуты, это означает, что при расчетах критерия выбора оптимальной формулы μ_s значение λ_s принимается равным нулю.

Нижняя строка всех таблиц содержит результаты, относящиеся ко всему району выделенному для учета.

Таблица Д.1 (начало) – Экстраполяционный расчет плотности и общей численности девяти видов птиц на акватории восточной части Печорского моря

Номер полигона	**Номер сектора**	**Номер пробы в секторе**	**Длина Маршрута на полигоне, км**	**Площадь пробы, км^2**	**Число птиц в пробе**	**Число групп птиц в пробе**	**Плотность птиц в пробе, ос./км^2**	**Плотность птиц в секторе, ос./км^2**	**Относительная ошибка оценки плотности**	**Площадь полигона, км^2**	**Площадь сектора, км^2**	**Оценка численности птиц в секторе**	**Показатель неравномерности размещения**	**Критерий выбора оптимальной формулы**
	s	k	L	q_k	n_k	g_k	D_k	D_s (**А**,*Б*)	e(D_s) (**А**,*Б*)	Q_p	Q_s	N_s (**А**,*Б*)	λ_s (**А**)	μ_s (**А**)
1		1	14.66	2.20	0	0	0	**1.37**	**1.004**	568.5	940.0	**1 291**	**0.0271**	**0.0000**
2	1-2	2	14.46	2.17	6	1	2.77			371.5				
3		1	46.39	6.96	0	0	0	**0.370**	**1.34**	1678.8	2995.4	**1 107**	**1.47**	**-0.0080**
4	3-4	2	25.78	3.87	4	1	1.03			1316.6				
5	5	-	48.22	7.23	0	0	0	**0**		1253.7	1253.7			
6	6	-	38.45	5.77	0	0	0	**0**		768.5	768.5			
7		1	21.40	3.21	4	2	1.25	**7.16**	**0.709**	743.0	1283.6	**91 92**	**0.335**	**-0.0038**
8	7-8	2	28.88	4.33	50	1	11.5			540.6				
9	9	-	41.07	6.16	0	0	0	**0**		948.5	948.5			
10		1	48.76	7.31	58	4	7.93	**5.21**	**0.631**	1020.2	1593.7	**8 304**	**0.494**	**0.0045**
11	10-11	2	33.13	4.97	6	3	1.21			573.5				
12	12	-	24.08	3.61	0	0	0	**0**		821.4	821.4			
13		1	31.09	4.66	1	1	0.214	**0.503**	**0.682**	739.8	1450.5	**730**	**0.420**	**-0.0015**
14	13-14	2	21.90	3.28	3	3	0.913			710.7				
15		1	17.98	2.70	0	0	0	**17.9**	**0.867**	300.6	694.1	**12 439**	**0.828**	**0.0009**
16	15-16	2	23.69	3.55	112	3	31.5			393.6				
17		1	37.05	5.56	1202	4	216	**120**	**0.891**	598.4	1377.8	**165 586**	**1.08**	**0.0022**
18	17-18	2	29.63	4.44	0	0	0			779.4				
19		1	17.46	2.62	1	1	0.382	**0.0837**	**1.879**	607.3	1598.0	**134**	**3.86**	**0.0210**
20	19-20	2	62.14	9.32	0	0	0			990.7				
21		1	26.84	4.03	2	2	0.497	**0.547**	**0.0811**	552.2	1353.9	**741**	**-0.379**	**-0.0073**
22	21-22	2	34.10	5.11	3	3	0.587			801.7				
23		1	29.92	4.49	2	2	0.446	**0.295**	**0.358**	752.2	1968.0	**580**	**-0.215**	**-0.0651**
24	23-24	2	60.54	9.08	2	2	0.220			1215.8				

Таблица Д.1 (окончание)

Номер полигона	Номер сектора	Номер пробы в секторе	Длина Маршрута на полигоне, км	Площадь пробы, км^2	Число птиц в пробе	Число групп птиц в пробе	Плотность птиц в пробе, ос./км^2	Плотность птиц в секторе, ос./км^2	Относительная ошибка оценки плотности	Площадь полигона, км^2	Площадь сектора, км^2	Оценка Численности птиц в секторе	Показатель неравномерности размещения	Критерий выбора оптимальной формулы
	s	k	L	q_k	n_k	g_k	D_k	D_s (**А**,*Б*)	e(D_s) (**А**,*Б*)	Q_p	Q_s	N_s (**А**,*Б*)	λ_s (**А**)	μ_s (**А**)
25		1	26.07	3.91	19	2	4.86	**3.84**	**0.309**	409.6	954.7	**3 667**	**-0.460**	**-0.0124**
26	25-26	2	19.06	2.86	7	1	2.45			545.1				
27		1	15.03	2.25	0	0	0	**3.64**	**0.742**	522.9	956.4	**3 478**	**0.711**	**0.0130**
28	27-28	2	27.13	4.07	23	6	5.65			433.5				
29		1	14.99	2.25	2	1	0.889	**1.09**	**0.154**	318.4	718.6	**784**	**-0.915**	**-0.0172**
30	29-30	2	21.65	3.25	4	1	1.23			400.2				
31		1	29.09	4.36	1	1	0.229	**0.723**	**0.500**	816.7	2218.5	**1 603**	**0.0943**	**-0.0308**
32	31-32	2	53.92	8.09	8	4	0.989			1401.8				
33	33	-	34.58	5.19	0	0	0	**0**		790.6	790.6			
34		1	20.21	3.03	2	2	0.660	**0.373**	**0.875**	421.2	881.5	**328**	**0.530**	**-0.0027**
35	34-35	2	15.58	2.34	0	0	0			460.3				
36	36	-	39.93	5.99	0	0	0	**0**		1005.5	1005.5			
37		1	23.92	3.59	0	0	0	**2.37**	**1.139**	594.7	967.3	**2 290**	**0.598**	**-0.0049**
38	37-38	2	18.31	2.75	15	1	5.46			372.6				
39		1	29.30	4.39	0	0	0	**218**	**0.954**	730.7	1210.4	**263 902**	**1.16**	**0.0002**
40	39-40	2	31.92	4.79	2002	3	418			479.7				
41		1	14.53	2.18	0	0	0	**713**	**1.032**	251.7	507.0	**361 596**	**1.14**	**0.0000**
42	41-42	2	13.52	2.03	3001	2	1480			255.3				
43		1	22.01	3.30	6500	2	1969	**1244**	**0.729**	202.1	343.6	**427 344**	**0.802**	**0.0137**
44	43-44	2	13.87	2.08	194	7	93.2			141.5				
45		1	40.60	6.09	21	6	3.45	**247**	**0.976**	1259.3	1959.5	**484 313**	**1.75**	**0.0000**
46	45-46	2	41.16	6.17	3010	7	488			700.2				
Весь район:			**1344.0**	**201.6**	**16265**	**79**	-	**55.4**	**0.422**	**=**	**31561**	**1 749 411**		

Односторонние доверительные пределы (P=95 %): N_{U1} = **3 130 945**, N_{L1} = **829 680**.

Двусторонний доверительный интервал (P=95 %): N_{U2} = **3 564 062**, N_{L2} = **728 854**

Таблица Д.2 – Экстраполяционный расчет плотности и общей численности синьги и турпана на акватории восточной части Печорского моря

Номер полигона	Номер сектора	Номер пробы в секторе	Длина маршрута на полигоне, км	Площадь пробы, км^2	Число птиц в пробе	Число групп птиц в пробе	Плотность птиц в пробе, ос./км^2	Плотность птиц в секторе, ос./км^2	Относительная ошибка оценки плотности	Площадь полигона, км^2	Площадь сектора, км^2	Оценка Численности птиц в секторе	Показатель неравномерности размещения	Критерий выбора оптимальной формулы
	s	k	L	q_k	n_k	g_k	D_k	D_s (**А**,*Б*)	$e(D_s)$ (**А**,*Б*)	Q_p	Q_s	N_s (**А**,*Б*)	λ_s (**А**)	μ_s (**А**)
1	1	-	107.7	16.16	0	0	0	0		4163.3	4163.3			
2	2	-	55.5	8.32	0	0	0	0		1081.9	1081.9			
3		1	62.3	9.35	0	0	0	**3.53**	**1.39**	1512.0	2298.5	**8 11**	**1.70**	**-0.0071**
4	3-4	2	32.1	4.82	50	1	10.38			786.5	-			
5	5	-	35.3	5.30	0	0	0	0		979.4	979.4			
6	6	-	39.3	5.90	0	0	0	0		842.9	842.9			
7		1	36.6	5.49	0	0	0	**5.75**	**1.090**	810.5	1173.8	**6 76**	**1.864**	**0.0023**
8	7-8	2	30.6	4.59	58	4	12.65			363.3	-			
9	9	-	495.3	74.30	0	0	0	0		10871.1	10871.1			
10	10	-	85.6	12.85	0	0	0	0		1796.0	1796.0			
11	11	-	32.0	4.80	0	0	0	0		891.9	891.9			
12		1	18.3	2.74	0	0	0	**0.970**	**0.703**	697.4	1401.0	**1 358**	**0.441**	**-0.0070**
13	12-13	2	36.7	5.51	8	4	1.451			703.6	-			
14		1	47.4	7.11	0	0	0	**1.084**	**1.024**	1396.2	2304.4	**2 50**	**0.109**	**-0.0003**
15	14-15	2	44.9	6.74	15	1	2.23			908.2	-			
16	16	-	48.3	7.25	0	0	0	0		1203.6	1203.6			
17		1	22.4	3.37	23	4	6.84	**22.8**	**0.567**	336.6	781.8	**17 846**	**0.300**	**-0.0016**
18	17-18	2	33.9	5.09	170	2	33.4			445.3	-			
19		1	35.1	5.26	5	2	0.950	**2.62**	**0.569**	556.3	1761.0	**4 615**	**0.462**	**0.0026**
20	19-20	2	43.8	6.56	26	9	3.96			1204.7	-			
Весь район:			**1343.3**	**201.5**	**355**	**27**	**-**			**1.305**	**0.4190**	**31 551**	**31 551**	**41 186**

Односторонние доверительные пределы (P=95 %): N_{U1} = **73 460,** N_{L1} = **19 643.**

Двусторонний доверительный интервал (P=95 %): N_{U2} = **83 548,** N_{L2} = **17 271**

.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО МЕТОДИКАМ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА НА ГИДРОБИОНТЫ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТАКИХ РАСЧЕТОВ

Е.1 Методика расчета амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей

Изложение настоящего параграфа основано на материалах Отчета по хоздоговору [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006а] и опубликованной статьи в журнале [Белянкова и др., 2007].

Волновое поле импульсного источника, излучающего в неограниченном акустическом пространстве. Рассмотрим задачу о возбуждении волнового поля в неограниченной среде импульсным излучателем акустических сигналов. Задача описывается уравнением движения жидкости:

$$\rho_0 \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\operatorname{grad} P \qquad \text{(E.1)}$$

уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho_0 \operatorname{div} \mathbf{v} = 0 \qquad \text{(E.2)}$$

дифференциальной формой закона состояния акустической среды:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{1}{C^2} \frac{\partial P}{\partial t} \qquad \text{(E.3)}$$

Здесь P - избыточное давление, $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ - вектор колебательной скорости частиц жидкости, ρ - мгновенное значение плотности движущейся жидкости, $C^2 = \kappa \rho_0^{-1}$ – скорость звука в жидкости, ρ_0 - плотность покоящейся жидкости, κ - объемный модуль упругости жидкости, который в общем случае зависит от ее химического состава (наличие солей и их концентрации), равновесной температуры, равновесного давления и равновесной плотности.

Исключив последовательно из уравнений (Е.1 -Е.3) колебательную скорость частиц и плотность, получим уравнение движения жидкости в виде [Теоретические основы…, 1982, Чичинин, 1984]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = C^2 \Delta P \qquad \text{(E.4)}$$

Поскольку длина звуковой волны (15 – 75 м.), создаваемой излучателем, значительно превышает диаметр выхлопного отверстия камеры, можно допустить, что волновое поле источника обладает сферической симметрией с центром в точке расположения источника. Переходя в уравнении (E.4) к сферической системе координат и предполагая, что избыточное давление определяется формулой $P = P(r,t)$, получим уравнение [Теоретические основы…, 1982, Чичинин , 1984]:

$$\frac{1}{C^2}\frac{\partial^2 (rP)}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 (rP)}{\partial r^2} \qquad \text{(E.5)}$$

Решение уравнения (E.6) имеет вид:

$$P(r,t) = r^{-1} f(t \pm rC^{-1}) \qquad \text{(E.6)}$$

В представлении (E.6) множитель r^{-1} представляет собой амплитудную составляющую волны давления, а функция $f(t \pm rC^{-1})$ определяет импульсную характеристику. Легко видеть, что амплитуда волны по мере распространения уменьшается, в то время как импульсная характеристика остается неизменной, поскольку [Теоретические основы…, 1982, Чичинин , 1984] импульс смещения в волнах, распространяющихся в безграничной идеально-упругой среде, не изменяет свою форму. Значение $\tau = rC^{-1}$ определяет время пробега от источника возмущения до текущей точки с координатами x, y, z. Выражение (E.6) определяет две волны, одна из которых уходит на бесконечность, другая приходит из бесконечности. Физический смысл имеет решение

$$P(r,t) = r^{-1} f(t - \tau) \qquad \text{(E.7)}$$

т.к. оно определяет волну в виде сферы с радиусом, увеличивающимся со скоростью C, распространяющуюся от точечного источника. При начальном импульсе длительностью T энергия излучения распространяется со скоростью C, оставаясь заключенной в расширяющемся сферическом слое толщиной CT.

Предположим, что на расстоянии r_0 от сферического источника значение давления P как функция времени задано выражением:

$$P(r,t)\Big|_{r=r_0} = P_0(t) = r_0^{-1} f(t - \tau_0) \qquad \text{(E.8)}$$

Тогда поле давления одиночного сферического источника при $r \ge r_0$ будет определяться формулой:

$$P(r,t) = r^{-1} f(t-\tau) = r_0 r^{-1} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) \qquad \text{(E.9)}$$

где

$r_0 = \sqrt{(x_0 - x^*)^2 + (y_0 - y^*)^2 + (z_0 - z^*)^2}$

$r = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2 + (z - z^*)^2}$

Здесь – x^*, y^*, z^* координаты расположения излучателя (геометрического центра камеры), x_0, y_0, z_0 – координаты точки, находящейся на расстоянии r_0 от центра камеры, x, y, z – текущая точка. Далее в качестве характеристики пневматического излучателя используется амплитуда первой волны давления в пересчете на 1 м от источника (параметр обычно сообщается производителем), что соответствует в формулах (E.9) значению $r_0 = 1$.

Волновое поле, созданное группой пневмоизлучателей в неограниченном пространств. Рассмотрим волновое поле, созданное группой пневматических излучателей. Без потери общности будем полагать, что все они расположены на одной глубине и работают синфазно. Т.е. $o_k(x_k^*, y_k^*, h)$ – координаты центра камеры источника с номером k. При расчете волнового поля группы излучателей используется модель "прозрачного" источника [Чичинин, 1984], когда волна от одного излучателя проходит местоположение другого источника "не замечая" его. Поле, создаваемое источником с номером k в текущей точке с координатами x, y, z будет определяться формулой

$$P_k(r_k, t) = \frac{r_0}{r_k} P_{0k}(t - \frac{r_k - r_0}{C}) \qquad \text{(E.10)}$$

где $r_k = \sqrt{(x - x_k^*)^2 + (y - y_k^*)^2 + (z - h)^2}$

Будем полагать, что источник с номером n создает в данной точке волну с амплитудой $A_n f(t)$. A_n – максимальное значение амплитуды, $f(t)$ – форма импульса, T – его длительность. Время прихода этой волны (начало импульса) в рассматриваемую точку определится формулой $\tau_n = r_n / C$, максимальное значение амплитуды достигается при τ_n^*. Все остальные источники создают в данной точ-

ке волну меньшей амплитуды, сдвинутую по времени из-за различного удаления от нее. Суммарное давление в этой точке определится формулой:

$$P_{\max}(r) = \frac{r_0}{r_n} P_{0n}(t_n * - \frac{r_n - r_0}{C}) + \sum_{k=1,N}^{(n)} f(t_n * + \Delta\tau_{kn}) \frac{r_0}{r_k} P_0(t_n * - \frac{r_k - r_0}{C}) \qquad \text{(E.11)}$$

Здесь $\Delta\tau_{kn} = \frac{r_k - r_n}{C}$ – время сдвига волн давления от источников с номерами k и n, индекс (n) над знаком суммы означает, что в сумме отсутствует член с номером n. Разность прихода волн, излученных различными источниками, в заданную точку, определяется разностью их расстояния до этой точки. В случае, когда волны приходят синфазно, разность хода равна нулю, максимальные амплитуды суммируются. В случае, когда имеет место сдвиг на четверть длительности импульса, учитывается волна только с максимальной амплитудой.

Особенность волнового поля вблизи свободной поверхности полупространства. В предыдущем разделе рассматривалось поле источника, находящегося в безграничной среде. В случае полупространства $|x|, |y| < \infty, z \le H$, необходимо учитывать условия отражения волн от свободной поверхности. Будем полагать, что плоскость $z = 0$ является границей среды, на которой выполняется условие:

$$P\big|_{z=0} = 0 \qquad \text{(E.12)}$$

Найдем решение волнового уравнения, удовлетворяющее условию (E.12). Для этого используем искусственный прием и рассмотрим вспомогательную задачу, в которой поле создается двумя источниками. Один – реальный, находящийся на расстоянии h от свободной поверхности, второй – мнимый, в точности равный первому, но находящийся на расстоянии h по другую сторону от границы. Т.е. координаты реального источника $x*, y*, H - h$, координаты мнимого источника $x*, y*, H + h$. Будем полагать, что реальный источник на расстоянии r_0 создает давление $P_0(t)$, мнимый источник на расстоянии r_0 создает противофазное давление $-P_0(t)$. Поле в текущей точке x, y, z от реального источника определяется формулой

$$P(r,t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) \qquad \text{(E.13)}$$

где $r = \sqrt{(x-x^*)^2 + (y-y^*)^2 + (z+h)^2}$

Поле, создаваемое в этой же точке мнимым источником, определяется формулой

$$P'(r',t) = -\frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r'-r_0}{C}) \qquad \text{(E.14)}$$

где $r' = \sqrt{(x-x^*)^2 + (y-y^*)^2 + (z-h)^2}$

Из условия (E.13) следует, что суммарное поле от двух источников представляется в виде:

$$P_\Sigma(r,t) = P(r,t) + P'(r',t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r-r_0}{C}) - \frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r'-r_0}{C}) \qquad \text{(E.15)}$$

Из вида решения (E.15) можно заключить, что вблизи поверхности полупространства должна существовать зона малой интенсивности звука: две составляющих давления должны уравновешивать друг друга.

Отражение от жесткого дна. Рассмотрим акустическую среду, представляющую собой слой жидкости $|x|, |y| < \infty, 0 \le z \le H$, $H >> 1$ (соизмеримо с длиной волны). Будем полагать, что источник расположен на глубине h от дна, причем $H >> h$. Учитывая, что распространяющийся импульс давления ослабляется пропорционально расстоянию, можно пренебречь эффектом отражения от поверхности. Будем полагать, что дно $z = 0$ представляет собой грунт скалистого типа, жесткость которого велика. В этом случае для жесткой границы между скалистым грунтом и водной средой имеет место условие $v_z = 0$. Поскольку вертикальная компонента скорости равна нулю, то равны нулю и ее производные по времени, т.е. $\frac{\partial v_z}{\partial t} = 0$, вследствие чего из уравнения (E.1) следует условие

$$\frac{\partial P}{\partial z} = 0 \qquad \text{(E.16)}$$

Граничное условие в такой форме используется [Физические основы, 1955; Теоретические основы, 1982] при исследовании процессов отражения от жесткого дна водоема. Если условие (E.16) выполняется, то нетрудно показать, что отраженная и падающая волны имеют одинаковые амплитуды и фазы. Т.е. когда звук

отражается от скалистого дна, почти вся энергия падающей волны сохраняется в отраженной волне. Действительно, найдем решение волнового уравнения, удовлетворяющее условию (Е.16). Для этого, как и в предыдущем случае, используем искусственный прием и рассмотрим вспомогательную задачу, в которой поле создается двумя источниками. Один – реальный, находящийся на расстоянии h от дна, второй – мнимый, в точности равный первому, но находящийся на расстоянии h по другую сторону от дна. Т.е. координаты реального источника x^*, y^*, h, координаты мнимого источника $x^*, y^*, -h$. Будем полагать, что реальный источник на расстоянии r_0 создает давление $P_0(t)$, такое же давление $P_0(t)$ создает на расстоянии r_0 мнимый источник. Поле в текущей точке x, y, z от реального источника определяется формулой

$$P(r,t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) \qquad \text{(Е.17)}$$

где $r = \sqrt{(x-x^*)^2 + (y-y^*)^2 + (z-h)^2}$

Поле, создаваемое мнимым источником в этой же точке определяется формулой

$$P'(r',t) = \frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r' - r_0}{C}) \qquad \text{(Е.18)}$$

где $r' = \sqrt{(x-x^*)^2 + (y-y^*)^2 + (z+h)^2}$

Из условия (Е.16) следует, что суммарное поле от двух источников представляется в виде:

$$P_\Sigma(r,t) = P(r,t) + P'(r',t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) + \frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r' - r_0}{C}) \qquad \text{(Е.19)}$$

Из вида решения (Е.19) следует, что вблизи дна существует зона повышенной интенсивности звуковых волн: две составляющих давления будут усиливать друг друга. Тем самым, если не учитывать эффект отражения от дна водоема, можно получить результаты, существенно снижающие значение давления в придонной области.

Отражение от "мягкого" дна. Рассмотрим акустическую среду, представляющую собой слой жидкости $|x|, |y| < \infty, 0 \le z \le H$, $H >> 1$ (соизмеримо с длиной

волны). Будем полагать, что источник расположен на глубине h от дна, причем $H >> h$. Дно представляет собой сравнительно "мягкий" грунт, скорость продольной волны в котором и плотность равны соответственно C_1, ρ_1. Для приближенного учета отражения первой волны давления предлагается заменить упругую среду акустической, скорость звука в которой равна скорости продольной волны в грунте и использовать лучевой подход в сочетании с методом мнимого источника.

Предположим, что дно представляет собой акустическую среду с плотностью ρ_1, скорость звука в которой C_1. При отражении плоской звуковой волны от границы раздела двух сред коэффициент отражения определяется формулой [Теоретические основы…, 1982]:

$$k = \frac{\rho_1 C_1 \cos\theta - \rho C \sqrt{1 - \left(\frac{C_1}{C}\right)^2 \sin^2\theta}}{\rho_1 C_1 \cos\theta + \rho C \sqrt{1 - \left(\frac{C_1}{C}\right)^2 \sin^2\theta}} \qquad \text{(E.20)}$$

где θ – угол падения, отсчитываемый от вертикали. Будем полагать, что реальный источник на расстоянии r_0 создает давление $P_0(t)$. Поле в точке x, y, z от реального источника определяется формулой:

$$P(r,t) = \frac{r_0}{r} P_0\left(t - \frac{r - r_0}{C}\right) \qquad \text{(E.21)}$$

где $r = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2 + (z - h)^2}$

Падающая на границу раздела волна с амплитудой A частично отразится, частично проникнет во вторую среду. При этом угол отражения будет равен углу падения, а амплитуда отраженной волны kA. Поскольку нас интересует амплитуда первой волны давления, будем полагать, что отраженное поле создается мнимым источником, который на расстоянии r_0 создает давление $kP_0(t)$. Поле, создаваемое мнимым источником в точке с координатами x, y, z определяется формулой

$$P'(r',t) = k \frac{r_0}{r'} P_0\left(t - \frac{r' - r_0}{C}\right) \qquad \text{(E.22)}$$

где $r' = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2 + (z + h)^2}$

Тогда суммарное поле от двух источников в лучевом приближении представляется в виде:

$$P_{\Sigma}(r,t) = P(r,t) + P'(r',t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) + k \frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r' - r_0}{C}) \qquad \text{(E.23)}$$

Решение (E.23) определяет волновое поле от источника в условиях частичного отражения волн от дна водоема, представляющего собой плоскую поверхность, разделяющую акустические среды с различной плотностью и скоростью.

Из построения решения (E.23) можно заключить, что вблизи "мягкого" дна существует зона повышенной интенсивности звука. Две составляющих давления будут в определенной мере усиливать друг друга. Т.о. без учета эффекта отражения от дна водоема, даже если оно является сравнительно "мягким", особенно если излучатель находится вблизи, можно получить результаты, существенно снижающие критический объем поражения гидробионтов.

Волновое поле в условиях мелководья. Рассмотрим акустическую среду, представляющую собой слой жидкости $|x|, |y| < \infty, 0 \le z \le H$. Будем полагать, что источник расположен на глубине h от дна, причем толщина слоя значительно меньше длины излучаемой волны (мелководье). Будем полагать, что дно представляет собой сравнительно "мягкий" грунт, скорость продольной волны в котором и плотность равны C_1, ρ_1 . Для расчета волнового поля, создаваемое излучателем с учетом отражения волн от поверхности среды и от дна, будем использовать метод мнимых источников. Полагаем, что отраженное от поверхности среды $z = H$ поле излучателя, расположенного на глубине $H - h$ (h – расстояние от дна) создается мнимым источником 1, расположенным на расстоянии $2H - h$ от дна. Тогда суммарное поле от реального и мнимого источников в условиях отражения от поверхности представляется в виде:

$$P_{\Sigma}(r,t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) + \frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r' - r_0}{C}) \qquad \text{(E.24)}$$

где $r = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2 + (z - h)^2}$

$$r' = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2 + (z - 2H + h)^2}$$

Для учета отражения от дна будем полагать, что отраженное поле создается мнимым источником 2, интенсивность которого определяется коэффициентом от-

ражения k (Е.22), расположенным на глубине $-h$. Тогда суммарное поле всех трех источников представится в виде:

$$P_{\Sigma}(r,t) = \frac{r_0}{r} P_0(t - \frac{r - r_0}{C}) - \frac{r_0}{r'} P_0(t - \frac{r' - r_0}{C}) + k \frac{r_0}{r''} P_0(t - \frac{r'' - r_0}{C}) \qquad \text{(Е.25)}$$

где $r'' = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2 + (z + h)^2}$

Решение (Е.25) определяет волновое поле от пневмоизлучателя в условиях мелководья, когда излучаемая волна отражается как от поверхности, так и от дна водоема. Обе границы моделируются плоскостью. От поверхности имеет место 100 % отражение, от дна – частичное, определяемое коэффициентом отражения.

Из решения (Е.25) следует, что вблизи "мягкого" дна существует зона повышенного давления: две составляющих давления в определенной мере усиливают друг друга. Вблизи поверхности существует зона ослабленного давления. Эффект усиления или ослабления существенным образом зависит от погружения источника излучения.

Волновое поле группы пневмоизлучателей при мелкой воде. Рассмотрим волновое поле от группы пневматических излучателей. Без потери общности будем полагать, что все они расположены на одной глубине. Т.е. координаты центра камеры источника с номером k - $o_k(x_k^*, y_k^*, h)$. Как и раньше, при расчете волнового поля группы излучателей используется модель "прозрачного" источника, когда волна от одного источника или отраженная от границы среды волна проходит местоположение другого источника "не замечая" его. Поле, создаваемое источником с N = k в точке с координатами x, y, z будет определяться формулой

$$P_k(r_k, t) = \frac{r_0}{r_k} P_{0k}(t - \frac{r_k - r_0}{C}) \qquad \text{(Е.26)}$$

где $r_k = \sqrt{(x - x_k^*)^2 + (y - y_k^*)^2 + (z - h)^2}$

Будем полагать, что источник с номером n создает в данной точке волну с максимальной амплитудой $A_n f(t)$. A_n – максимальное значение амплитуды, $f(t)$ – форма импульса, T – его длительность. Время прихода этой волны (начало импульса) в рассматриваемую точку определится формулой $t_n = r_n / C$, максимальное значение амплитуды будет достигнуто при t_n^*. Все остальные источники, в том

числе и мнимые первого (отражение от поверхности) и второго (отражение от дна) типов, создают в данной точке волну меньшей амплитуды, сдвинутую по времени из-за различного удаления от нее. Суммарное поле давления в рассматриваемой точке определится формулой:

$$P_{\max}(r) = \frac{r_0}{r_n} P_{0n}(t_n * - \frac{r_n - r_0}{C}) + \sum_{k=1,N}^{(n)} f(t_n * + \Delta\tau_{kn}) \frac{r_0}{r_k} P_0(t_n * - \frac{r_k - r_0}{C}) + \\ + \sum_{k=1}^{N} \left\{ - f(t_n * + \Delta'\tau_{kn}) \frac{r_0}{r_k'} P_0(t_n * - \frac{r_k' - r_0}{C}) + + f(t_n * + \Delta''\tau_{kn}) k \frac{r_0}{r_k''} P_0(t_n * - \frac{r_k'' - r_0}{C}) \right\} \qquad \text{(E.27)}$$

где $\Delta\tau_{kn} = \frac{r_k - r_n}{C}$ – время сдвига максимумов амплитуд от реальных источников с номерами k и n, $\Delta'\tau_{kn} = \frac{r_k' - r_n}{C}$, $\Delta''\tau_{kn} = \frac{r_k'' - r_n}{C}$ - время сдвига максимумов амплитуд от мнимых источников с номерами k относительно реального источника с номером n.

Поле, создаваемое источником с номером k в совокупности с соответствующими ему мнимыми источниками будет определяться формулой

$$P_{k\Sigma}(r,t) = \frac{r_0}{r_k} P_0(t - \frac{r_k - r_0}{C}) - \frac{r_0}{r_k'} P_0(t - \frac{r_k' - r_0}{C}) + k \frac{r_0}{r_k''} P_0(t - \frac{r_k'' - r_0}{C}) \qquad \text{(E.28)}$$

где $r = \sqrt{(x - x_k*)^2 + (y - y_k*)^2 + (z - h)^2}$

$r_k' = \sqrt{(x - x_k*)^2 + (y - y_k*)^2 + (z - 2H + h)^2}$

$r_k'' = \sqrt{(x - x_k*)^2 + (y - y_k*)^2 + (z + h)^2}$

Т.о. построена формула расчета волнового поля в условиях мелкой воды, когда имеют место эффекты отражения как от дна, так и от поверхности водоема. Все поверхности предполагаются плоскими, вторичными эффектами отражения (переотражение волн) пренебрегаем в силу геометрического расхождения. Разность хода волн, излученных различными источниками, определяется разностью удаления рассматриваемой точки от соответствующих как действительных, так и мнимых источников.

Из построения формулы (E.28) следует, что в области поверхности водоема интенсивность волнового поля уменьшается, у дна – возрастает. В случае, когда волны от различных источников приходят синфазно и разность хода равна нулю, максимальные амплитуды суммируются. В случае, когда имеет место сдвиг на

четверть длительности импульса, учитывается волна только с максимальной амплитудой [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2006а; Белянкова и др., 2007].

Е.2 Численный расчет амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей "BOLT" на мелководье (пример для участка в Тазовской губе)

При проведении расчетов использовалась формула (Е.28), см. § Е.1. В качестве расчетной рассматривается прямоугольная область возле группового ПИ (единицы длины в метрах) с учетом симметрии относительно плоскости $y = 0$: $-5 \le x \le 15, 0 \le y \le Y, 0 \le z \le H$: $z = 0$ - координаты дна, $z = H$ - координаты поверхности воды. Излучатели располагаются параллельно границам среды на одинаковой глубине: h - глубина погружения ПИ, рассчитанная от дна, $d = H - h$ - глубина погружения источника рассчитанная от поверхности водоема). Ось, на которой расположены излучатели, параллельна оси x при $y = 0$. Первый (левый) излучатель имеет координаты $(0, 0, h)$. Расчеты выполняются с шагом 0.1 м по всем координатам. Величины Y (максимальный размер области по оси y) H (глубина слоя) и h (глубина погружения ПИ от дна) менялись в зависимости от условий расчета.

Е.2.1 Результаты расчета для малых глубин 8.5 – 3.0 м

Характеристики (амплитуда первой волны давления в бар, длительность импульса в мс) ПИ, используемых в составе группы **9ПИ-2.5** (здесь **9** – число ПИ**, 2.5** – глубина погружения ПИ от поверхности воды**),** приведены в начале настоящего раздела. Работы с использованием группы **9ПИ-2.5** планировалось проводить в районах с глубинами менее 8.5 м, поэтому расчеты выполнены для глубин от 3 м до 8.5 м с шагом по 0.5 м при глубине погружения источников $d = 2.5$ м от поверхности. Расчеты проводились по сечениям $y = const$ от 0 м. до 5.0 м с шагом 0.1 м. Координата x изменялась от - 5 до 15 м (захватывается окрестность по 5 м от левого – первого и правого – последнего ПИ), координата z – от 0 до H. В качестве предельного для зоны поражения, принято давление 3 бар. Объем зоны поражения определялся по формуле

$$V = \Delta_y \sum_{p=1}^{M} \frac{S_{p-1} + S_p}{2} \qquad \text{(E.29)}$$

где S_p, $p = 0,1,2,...,M$ – площадь фигуры при заданном значении $y = const$, в точках которой давление превышает 3 бар, Δ_y – шаг по оси y.

Площадь зоны поражения на дне определялась по формуле

$$S = \Delta_y \sum_{p=1}^{M} \frac{L_{p-1} + L_p}{2} \qquad \text{(E.30)}$$

где L_p, $p = 0,1,2,...,M$ – длина отрезка при z=0 (дно), в точках которого давление превышает 3 бар (см. далее § 6.5).

На рисунке 5.8 основного текста (глава 5, § 5.3) приведены диаграммы распределения амплитуд первой волны давления в плоскости (x, z) при $y = 0$ – под линией расположения ПИ.

На основе расчетных данных получены зависимости между амплитудой первой волны давления и объемом водной толщи, внутри которой давление больше определенного значения и аналогичные зависимости между давлением и площадью дна (таблица Е.1 и рисунок Е.1).

Таблица Е.1 – Объемы воды и площади дна при критическом давлении p для различных глубин при фиксированной глубина погружения источников от поверхности воды ($d = 2.5$ м) [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

	p=1 бар		**p= 2 бара**		**p=3 бара**	
глубина	**объем, м^3**	**площадь, м^2**	**объем, м^3**	**площадь, м^2**	**объем, м^3**	**площадь, м^2**
8.5 м	1040	166	368	60	86	0
8.0 м	985	173	390	70	86	0
7.5 м	926	178	395	78	86	0
7.0 м	868	179	394	85	86	0
6.5 м	808	181	385	93	87	6
6.0 м	748	186	372	104	103	46
5.5 м	689	192	357	117	130	64
5.0 м	634	196	340	130	153	80
4.5 м	582	197	324	138	165	91
4.0 м	538	197	308	142	172	104
3.5 м	503	197	295	145	174	109
3.0 м	480	196	283	145	170	111

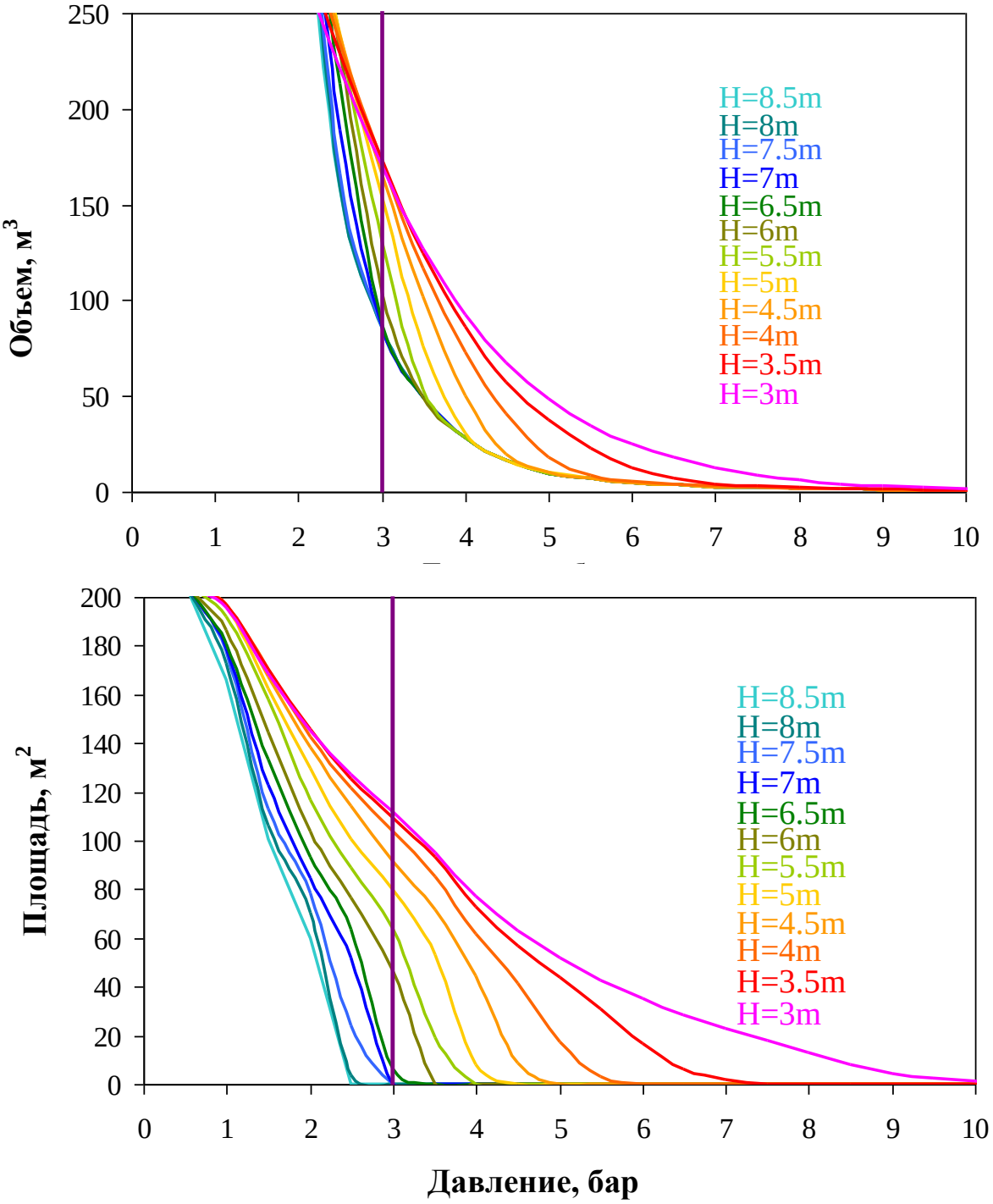


Рисунок Е.1 – Расчетные зависимости между давлением и объемом водной толщи (верхний рисунок) и давлением и площадью дна, где давление выше определенного значения (нижний рисунок), для рассматриваемой группы ПИ при разных вариантах глубины Н (при фиксированной глубине погружения источников $d = 2.5$ м от поверхности водоема) [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

E.2.2 Результаты расчета для очень малых глубин - глубины 3.0 – 1.25 м

Ниже в этом пункте приводятся аналогичные результаты расчета амплитуды первой волны давления для групповых пневматических излучателей "BOLT" для глубин 3.0 – 1.25 м (рисунок E.2 и таблица E.2).

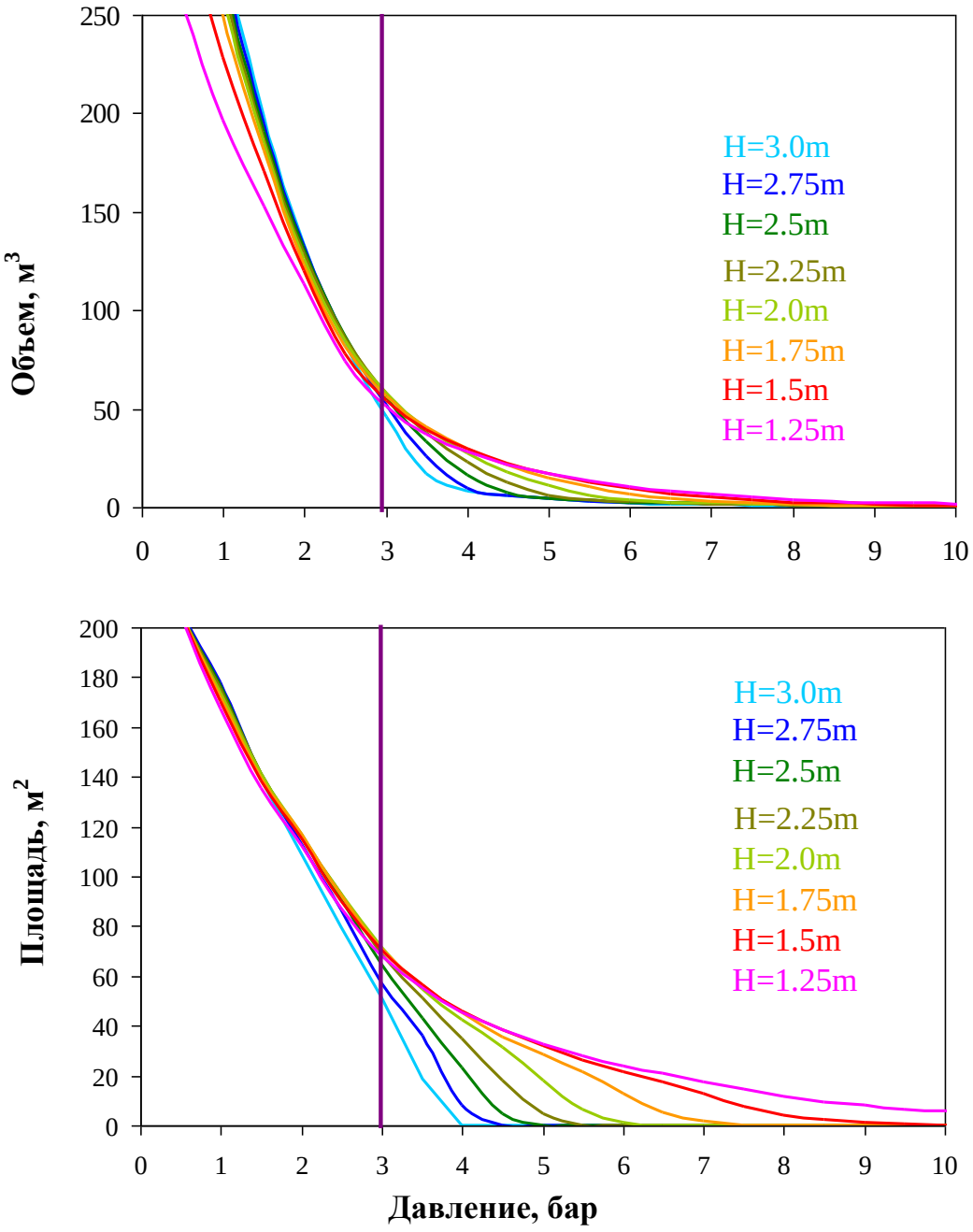


Рисунок E.2 – Расчетные зависимости между: давлением и объемом водной толщи (верхний рисунок) и давлением и площадью дна, где давление выше определенного значения (нижний рисунок), для рассматриваемой группы ПИ при разных вариантах глубины (H) [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

Таблица Е.2 – Расчетные объемы водной толщи и площади дна, соответствующие областям с определенным значением амплитуды первой волны давления от группы ПИ [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

Давление (бар)	$H = 3$ м, $h = 0.5$ м ($d = 2.5$м)		$H = 3$ м, $h = 2$ м ($d = 1$м)		$H = 2$ м, $h = 1$ м ($d = 1$м)		$H = 1.5$ м, $h = 0.5$ м ($d = 1$м)		$H = 1.25$ м, $h = 0.25$ м ($d = 1$м)	
	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$
1.0	480	196	291	177	263	174	228	170	196	168
2.0	283	145	133	109	126	117	120	115	114	112
3.0	170	111	46	51	58	71	54	70	51	68

Е.3 Дополнительная информация по результатам расчетов параметров зон, в которых гибнут гидробионтов

Результаты расчета для 68 линий отстрела общей протяжённостью около 1200 км представлены в таблице Е.3. Для расчета точки отстрела размещались по линиям отстрела с запада на восток с интервалом 50 м (в указанной выше проекции). Всего было построено более 20 тысяч точек (таблица Е.3).

Таблица Е.3 – Линии отстрела – длина и количество точек отстрела на них [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

№ линии	Длина линии, м	Количество точек отстрела
S01	28750	576
…	…	…
S34	17950	360
S35	17650	354
…	…	…
S68	1750	36
Всего:	***1 178 402***	***23 636***

Для проведения всех оценок и расчетов была представлена карта в масштабе 1:100 000, более подробных карт (масштабом 1:25 000 и более) для данного района нет, поэтому использовалась карта именно с таким масштабом. По навигационной карте была оцифрована батиметрия рассматриваемого района. Распреде-

ление точек отстрела по глубинам – см. рисунок 5.11 основного текста (глава 5, § 5.5).

Для расчёта общего объёма водного пространства, где давление больше или равно 1, 2 или 3 бара, и площади дна, на котором создается такое же давление, использована следующая таблица для различных глубин (таблица Е.4).

Таблица Е.4 –Объем воды и площади дна при различных критических давлениях для различных глубин, соответствующие одному выстрелу группы ПИ [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

Давление	**P>3 бар**		**P>2 бар**		**P>1 бар**	
Глубина, м	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$	Объем, $м^3$	Площадь, $м^2$
<1.2	51.0	68.0	114.0	112.0	196.0	168.0
1.2-2.0	54.8	70.0	120.0	114.7	229.0	170.7
2.0-3.0	53.8	62.6	129.5	113.0	277.0	175.5
3.0-4.0	172.0	108.0	295.3	144.0	507.0	196.7
4.0-5.0	163.3	91.7	324.0	136.7	584.7	196.7
5.0-6.0	128.7	63.3	356.3	117.0	690.3	191.3
6.0-6.5	95.0	26.0	378.5	98.5	778.0	183.5
6.5-7.0	86.5	3.0	389.5	89.0	838.0	180.0
7.0-7.5	86.0	0.0	394.5	81.5	897.0	178.5
7.5-8.0	86.0	0.0	392.5	74.0	955.5	175.5
>8.0	86.0	0.0	379.0	65.0	1012.5	169.5

Для создания точек отстрела, вычисления глубин в них и расчёта статистики распределения точек по различным глубинам использовались интегрированные в ArcMap инструменты: Divide (Разделить) – для создания точек, Identity (Идентичность) – для получения диапазона глубин - полигона, на который попадают точки, и Frequency (Частота) – для подсчета числа точек в заданном диапазоне глубин.

Результаты расчетов для всего полигона работ (для всех линий отстрела) представлены в таблице Е.5. При расчете средних значений поражаемого объема и площади использовались данные таблицы Е.1 для глубины места от 3.0 м и

глубже (глубина погружения ПИ – 2.5 м, результаты приведены в нижней части таблицы Е.4), и данные таблицы Е.2 для глубины места от 3 м и менее (глубина погружения ПИ – 1.0 м, результаты расчета приведены в верхней части таблицы Е.4). Так, для расчета объема и площади для диапазона 4.0 – 5.0 м использовались соответствующие значения объемов и площадей для трех горизонтов, 4.0, 4.5 и 5.0 м, и т.д. Все расчеты выполнялись с точностью до одного знака после запятой.

Таблица Е.5 – Общее количество (для всего полигона) точек отстрела для различных глубин и соответствующие им объемы водного пространства и площади дна, для различных давлений [Отчет по х/д. Оценка воздействия …, 2009]

Давление		**P>3 бар**		**3>P>2 бар**		**2>P>1 бар**	
Глубина, м	**Количество точек отстрела**	**Общий поражаемый объем, м^3**	**Общая поражаемая площадь, м^2**	**Общий поражаемый объем, м^3**	**Общая поражаемая площадь, м^2**	**Общий поражаемый объем, м^3**	**Общая поражаемая площадь, м^2**
<1.2	518	26418.0	35224.0	32634.0	22792.0	42476.0	29008.0
1.2-2.0	194	10631.2	13580.0	12648.8	8671.8	21146.0	10864.0
2.0-3.0	354	19045.2	22160.4	26797.8	17841.6	52215.0	22125.0
3.0-4.0	340	58480.0	36720.0	41922.0	12240.0	71978.0	17918.0
4.0-5.0	632	103205.6	57954.4	101562.4	28440.0	164762.4	37920.0
5.0-6.0	2126	273616.2	134575.8	483877.6	114166.2	710084.0	157961.8
6.0-6.5	8552	812440.0	222352.0	2424492.0	620020.0	3416524.0	726920.0
6.5-7.0	9365	810072.5	28095.0	2837595.0	805390.0	4200202.5	852215.0
7.0-7.5	1242	106812.0	0.0	383157.0	101223.0	624105.0	120474.0
7.5-8.0	138	11868.0	0.0	42297.0	10212.0	77694.0	14007.0
>8.0	175	15050.0	0.0	51275.0	11375.0	110862.5	18287.5
Всего:	***23 636***	***2 247 639***	***550 662***	***6 438 259***	***1 752 372***	***9 492 049***	***2 007 700***

Е.4 Морские млекопитающие, обитающие в Баренцевом и Карском морях

В таблицах Е.6 и Е.7 приводится перечень морских млекопитающих, их сезонная численность и их охранный статус для Баренцева и Карского морей [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011а].

Таблица Е.6 – Перечень видов морских млекопитающих, обитающих круглогодично или встречающихся сезонно в Баренцевом море. Экспертная оценка численного пребывания видов в Баренцевом море*

Название вида	Категории охраны (Красная книга РФ и красные списки МСОП)[1]	Численность, шт.	Экспертная оценка численности по сезонам в районе исследования				Наличие мехового покрова на теле
			зима	весна	лето	осень	
Ластоногие (морж и настоящие тюлени)							
Гренландский тюлень *Phoca groenlandica*	МСОП (LR/lc)	1000000	100000	1 млн	1 млн	1 млн	да[2]
Нерпа *Pusa hispida*	МСОП (LR/lc)	100000	90000	90000	90000	90000	да[2]
Морской заяц *Erignathus barbatus*	МСОП (LR/lc)	10000	10000	10000	8000	8000	да[3]
Морж атлантический *Odobenus rosmarus*	ККРФ (2), МСОП (LR/lc)	5000	2300	2400	2400	2400	нет
Серый тюлень *Halichoerus grypus*	ККРФ (3), МСОП (LR/lc)	4500	1000	2500	2500	2500	да[2]
Обыкновенный тюлень *Phoca vitulina vitulina*	ККРФ (3), МСОП (LR/lc)	2500	500	500	500	500	да[3]
Хохлач *Cystophora cristata*	МСОП (VU A2b)	единично	+	-	-	+	да[3]
Зубатые киты							
Беломордый дельфин *Lagenorhynchus albirostris*	ККРФ (3), МСОП (LR/lc)	100000	0	0	60000	60000	нет
Морская свинья *Phocoena phocoena*	ККРФ (4), МСОП (LR/lc)	11000	5000	9000	9000	9000	нет
Атлантический белобокий дельфин *Lagenorhynchus acutus*	ККРФ (4), МСОП (LR/lc)	24000	0	0	18000	18000	нет
Белуха *Delphinapterus leucas*	МСОП (LR/nt)	20000	20000	19500	8000	20000	нет
Косатка *Orcinus orca*	МСОП (DD)	2000	50	50	100	50	нет
Нарвал *Monodon monocero*	ККРФ (4), МСОП (LR/nt)	1000	200	400	400	400	нет
Кашалот *Physeter catodon*	МСОП (VU A1d)	500	0	0	300	300	нет

Название вида	Категории охраны (Красная книга РФ и красные списки МСОП)[1]	Численность, шт.	Экспертная оценка численности по сезонам в районе исследования				Наличие мехового покрова на теле
			зима	весна	лето	осень	
Высоколобый бутылконос *Hyperoodon ampullatus*	ККРФ (1), МСОП (DD)	500	0	0	300	300	нет
Обыкновенная гринда *Globicephala melaena*	МСОП (DD)	единично	-	-	+	-	нет
Обыкновенный дельфин, *Delphinus delphis*	МСОП (LR/lc)	единично	-	+	+	-	нет
Афалина *Tursiops truncatus*	МСОП (LR/lc)	единично	-	+	+	-	нет
Усатые киты							
Кит-минке *Balaenoptera acutorostrata*	МСОП (LR/lc)	36000	0	20000	25000	25000	нет
Финвал *Balaenoptera physalus*	ККРФ (2), МСОП (EN(A1abd)	6000	0	100	3000	3000	нет
Кит-горбач *Megaptera novaeangliae*	ККРФ (1), МСОП (LR/lc)	1000	0	100	500	300	нет
Сейвал *Balaenoptera borealis*	ККРФ (3), МСОП (ENA1abd)	700	0	0	400	100	нет
Гренландский кит *Balaena mysticetus*	ККРФ (1), МСОП (LR/lc)	100	0	50	50	50	нет
Блювал *Balaenoptera musculus*	ККРФ (1), МСОП (ENA1abd)	50	0	10	10	10	нет
Хищные							
Белый медведь *Ursus maritimus*		4000	4000	4000	4000	4000	Да

Примечания к таблице Е.6:

* - в порядке уменьшения численности в каждом из отрядов;

[1] Красная Книга РФ (1 – под угрозой исчезновения, 2 – сокращающиеся в численности, 3 – редкие, 4 – неопределенные по статусу, 5 – восстанавливаемые, 6 – редкие с нерегулярным пребыванием, 7 – вне опасности); Красный список видов МСОП (EN – подвергающиеся опасности исчезновения (с разными уровнями опасности), VU – уязвимые (с разными уровнями уязвимости), LR – низкая опасность, DD – недостаток данных, nt – близко к угрожаемому, lc – вызывающие наименьшие опасения);

[2] мех длинный у детенышей и короткий у взрослых тюленей;

[3] мех короткий у детенышей и взрослых тюленей

Таблица Е.7 – Перечень видов морских млекопитающих, обитающих круглогодично или встречающихся сезонно в Карском море. Экспертная оценка численного пребывания видов в Карском море

Название вида	Категории охраны (Красная книга РФ и красные списки МСОП)[1]	Численность, шт.	Экспертная оценка численности по сезонам в районе исследования				Наличие мехового покрова на теле
			зима	весна	лето	осень	
Усатые киты							
Гренландский кит *Balaena mysticetus*	ККРФ (1), МСОП (LR/lc)	единично	единично	единично	единично	единично	нет
Зубатые киты							
Белуха *Delphinapterus leucas*	МСОП (LR/nt)	15000	-	-	15000	7000	нет
Ластоногие (морж и настоящие тюлени)							
Гренландский тюлень *Phoca groenlandica*	МСОП (LR/lc)	10000	-	-	10000	10000	да[2]
Нерпа *Pusa hispida*	МСОП (LR/lc)	150000	150000	150000	150000	150000	да[2]
Морской заяц *Erignathus barbatus*	МСОП (LR/lc)	20000	20000	20000	20000	20000	да[3]
Морж атлантический *Odobenus rosmarus*	ККРФ (2), МСОП (LR/lc)	1000	500	500	1000	1000	нет
Хищные							
Белый медведь *Ursus maritimus*		2500	2500	2500	2500	2500	Да

Примечания:

[1] Красная Книга РФ (1 – под угрозой исчезновения, 2 – сокращающиеся в численности, 3 – редкие, 4 – неопределенные по статусу, 5 – восстанавливаемые, 6 – редкие с нерегулярным пребыванием, 7 – вне опасности); Красный список видов МСОП (EN – подвергающиеся опасности исчезновения (с разными уровнями опасности), VU – уязвимые (с разными уровнями уязвимости), LR – низкая опасность, DD – недостаток данных, nt – близко к угрожаемому, lc – вызывающие наименьшие опасения);

[2] мех длинный у детенышей и короткий у взрослых тюленей;

[3] мех короткий у детенышей и взрослых тюленей

E.5 Таблицы критических уровней подводного звука, вызывающие негативные изменения в поведении морских млекопитающих и рыб

E.5.1 Уровни биологической значимости поведенческого отклика морских млекопитающих

Таблица E.8 – Шкала уровня биологической значимости поведенческого отклика морских млекопитающих (в условиях воли и лабораторных условиях) [Southall et al., 2007]

Уровень значимости отклика	**Соответствующее поведение в условиях воли**	**Соответствующее поведение в условиях неволи (лабораторные наблюдения)**
0	– Отклик не наблюдается	– Отклик не наблюдается
1	– Отклик в виде ориентирования (исследование/ визуальная ориентировка)	– Отклик не наблюдается
2	– Умеренные и/или многократные попытки ориентировки – Короткое/небольшое изменение или остановка вокального поведения – Короткое/небольшое изменение частоты дыхания	– Нет наблюдаемых негативных ответных реакций; может приближаться к звуку как к новому неизвестному объекту
3	– Поведение длительной ориентации – Поведение при восприятии опасности – Умеренные изменения скорости движения, направления и/или профиля погружения Умеренные изменения частоты дыхания	– Небольшие изменения в поведенческом отклике (например, расширение интервалов между попытками в опытах)
4	– Умеренные изменения в скорости и направлении передвижения и/или в профиле погружений (без реакций избегания) – Небольшой сдвиг в распределении группы – Умеренное изменение/модификация вокального поведения (длительность ≈ продолжительности действия источника звука)	– Умеренные изменения в поведенческом отклике (например, отказ возвращаться на станцию)
5	– Продолжительные изменения в скорости перемещения, направления и/или контура ныряния, но отсутствие избегания источника звука. – Умеренные изменения в распределении группы. – Изменения расстояния между животными и/ или размером группы (агрегация или сепарация). – Продолжительное прекращение или модификации голосового поведения (длительность > длительность операции источника)	– Жесткие и устойчивые изменения в тренированном поведении (уход со станции во время эксперимента)

Уровень значимости отклика	**Соответствующее поведение в условиях воли**	**Соответствующее поведение в условиях неволи (лабораторные наблюдения)**
6	– Незначительные/умеренные реакции избегания – Краткое/незначительное разделение пар мать - детеныш – Агрессивное поведение (например, удары хвоста/плавника, показ плавников, челюсти, скрежет зубами, резкое направленное движение, выпускание облака пузырей) – Длительное прекращение или модификация вокального поведения – Видимый отклик на испуг – Краткое прекращение репродуктивного поведения –	– Уклонение от выполнения требуемых задач в эксперименте
7	– Обширные/длительные реакции избегания или агрессивное поведение – Умеренное разделение пар мать - детеныш – Четкий отклик- мобилизация против хищника – Долгосрочное избегание области шума (> исходного действия шума) – Умеренное прекращение репродуктивного поведения –	– Отказ от участия в эксперименте или возвращение в укрытие или убежище (на время ≤ продолжительности эксперимента) – Угроза/нападение на источник звука
8	– Очевидное отвращение и/или нарастающее перевозбуждение – Длительное/существенное разделение пар мать-детеныш с разрушением акустических механизмов воссоединения – Долгосрочное избегание области шума (> исходного действия шума) – Длительное прекращение репродуктивного поведения –	– Перевозбуждение или избегание эксперимента или возвращение в укрытие или убежище (на время > продолжительности эксперимента)
9	– Полная паника, бегство, паническое бегство или выбрасывание на берег – Реакция избегания, подобная обнаружению хищника	– Общее избегание района экспозиции к звуку и отказ выполнять обученное поведение в течение более одного дня

Е.5.2 Данные поведенческого отклика китообразных и ластоногих (в воде) на не импульсный тип шума и критические уровни шума

Данные поведенческого отклика низкочастотных китообразных на непрерывный (не импульсный) тип шума представлены в таблице Е.9 по шкале уровня биологической значимости указанной в таблице Е.8. Число индивидуальных наблюдений представленных в таблице подходящим образом взвешено, чтобы соответствовать статистическому подходу. Источники данных полевых исследований указаны в каждой клетке в скобках: 1- [Baker et al., 1982]; 2 – [Malme et al., 1983, 1984]; 3 – [Malme et al., 1986]; 4 – [Richardson et al., 1990]; 5 – [McCauley et al., 1996]; 6 – [Frankel, Clark, 1998]; 7 – [Biassoni et al., 2000]; 8 – [Croll et al.. 2001]; 9 – [Palka, Hammond, 2001]; 10 – [Nowacek et al., 2004].

Таблица Е.9 – Данные поведенческого отклика низкочастотных китообразных (усатые киты) на не импульсный тип шума [Southall et al., 2007]

Шкала значимости отклика	Уровни воздействия непрерывного шума (дБ скз отн. 1 мкПа)										
	80 - <90	90 - <100	100 - <110	110 - <120	120 - <130	130 - <140	140 - <150	150 - <160	160 - <170	170 - <180	180 - <190
9											
8											
7						**2.5** (10)	**1.5** (10)				
6		**4.9** (2)	**7.4** (1,2,4)	**16.2** (1,2,3,5)	**13.6** (2,5)	**4.2** (1,2)	**0.8** (2)				
5											
4					**3.0** (5,7)	**1.0** (7)		**1.0** (7)			
3				**1 117** (9)	**0.27** (6)						
2				**0.5** (7)	**4.0** (7)	**5.0** (7)	**2.0** (7)	**1.0** (7)			
1											
0		**1.1** (2)	**82.6** (2,3,4)	**33.9** (1,2,3,4)	**7.08** (2,4,6,10)	**7.2** (4,10)	**1.45** (2,8,10)				

Данные поведенческого отклика среднечастотных китообразных на непрерывный (не импульсный) тип шума представлены в таблице Е.10 по шкале уровня биологической значимости указанной в таблице Е.8. Число индивидуальных наблюдений представленных в таблице подходящим образом взвешено, чтобы соответствовать статистическому подходу. Источники данных указаны в каждой клетке в скобках. Полевые наблюдения в условиях воли: 1 – [Watkins, Schevill, 1975]; 2 - [Awbrey, Stewart, 1983]; 3 - [LGL Ltd and Greeneridge, 1986]; 4 - [Richardson et al., 1990]; 5- [Gordon et al., 1992]; 5 - [Palka, Hammond, 2001]; 7 - [Morton, Symonds, 2002]; 8 - [Buckstaff et al. 2004]; 9 – [NRL, 2004, 2004a; NMFS, 2005]; 10 - [Monteiro-Neto et al., 2004]; 11 - [Morisaka et al., 2005]. Лабораторные наблюдения животных в неволе: 12 - [Nachtigall et al., 2003]; 13 - [Finneran, Schlundt, 2004].

Таблица Е.10 – Поведенческий отклик среднечастотных китообразных на не импульсный тип шума [Southall et al., 2007]

Шкала значимости отклика	Уровни воздействия непрерывного шума (дБ скз отн. 1 мкПа]											
	80 - <90	90 - <100	100 – <110	110 - <120	120 - <130	130 - <140	140 - <150	150 - <160	160 - <170	170 - <180	180 - <190	190 - <200
9												
8		**1.0** (3)	**7.0** (3)		**5.0** (2)		**1.0** (7)				**5.0** (13)	**1.5** (13)
7												
6				**3.0** (2,10)	**1.0** (2)				**1.0** (9)	**6.0** (12)		
5					**1.0** (11)							
4				**1.0** (4)	**2.0** (4)							
3	**5.0** (1)		**4.0** (3,5)	**134** (4,6)	**1.0** (4)							
2				**15** (2,3,8)								
1			**1.0** (4)	**1.0** (2,3)	**1.0** (2,4)							
0			**8** (3, 4]	**2.0** (2.4)	**1.0** (2.4)		**1.0** (2)				**3.0** (13)	**1.5** (13)

Данные поведенческого отклика ластоногих в воде на непрерывный (не импульсный) тип шума представлены в таблице Е.11 по шкале уровня биологической значимости указанной в таблице Е.8. Число индивидуальных наблюдений представленных в таблице подходящим образом взвешено, чтобы соответствовать статистическому подходу. Источники данных указаны в каждой клетке в скобках. Полевые наблюдения в условиях воли: 1 – [Jacobs, Terhune, 2002], 2 – [Costa et al., 2003]; лабораторные наблюдения животных в неволе: 3 – [Kastelein et al., 2006].

Таблица Е.11 – Поведенческий отклик ластоногих в воде на не импульсный тип шума [Southall et al., 2007]

Шкала значимости отклика	Уровни воздействия непрерывного шума (дБ скз отн. 1 мкПа]										
	80 - <90	90 - <100	100 - <110	110 - <120	120 - <130	130 - <140	140 - <150	150 - <160	160 - <170	170 - <180	180 - <190
9											
8											
7											
6			**1.0** (3)								
5											
4					**1.0** (2)	**5.0** (2)					
3					**1.0** (2)	**2.0** (2)					
2											
1											
0	**1.0** (3)	**1.0** (3)		**1.0** (2)	**5** (1,2)						

Критические уровни звука (в точке воздействия), предложенные разными авторами для порога негативного акустического воздействия представлены в таблице Е.12.

Таблица Е.12 – Критические уровни звука (в точке воздействия), предложенные разными авторами для порога негативного акустического воздействия [Tasker et al., 2010]

Источник / Авторы	**Эффект**	**Вид**	**Тип звука**	**Уровень звукового давления в дБ отн. 1 мкПа пикового значения (пик) или УЗВ дБ отн. 1 мкПа^2-с**
[NMFS, 2005]	Физ. травма	китообразные	Сейсмический импульс	180 дБ скз принятого сигнала
[NMFS, 2005]	Физ. травма	ластоногие	Сейсмический импульс	190 дБ скз принятого сиг.
[Nedwell et al., 2003]	Сильные поведенческие реакции	Морские млекопитающие и рыбы	Все типы звука	90 дБ выше порога слуха
[Popper et al., 2006}	Травма	рыбы	Один импульс при забивке сваи	208 дБ пик или 187 дБ УЗВ
[Southall et al., 2007]	ПСПС	Все виды китообразных	Одиночный импульс или мультиимпульсы	230 дБ пик или 198 дБ УЗВ
[Southall et al., 2007]	ПСПС	Ластоногие в воде	Одиночный импульс или мультиимпульсы	218 дБ пик или 186 дБ УЗВ
[Southall et al., 2007]	ВСПС/ беспокойство поведения	Все виды китообразных	Одиночный импульс	224 дБ пик или 183 дБ УЗВ
[Southall et al., 2007]	ВСПС/ беспокойство поведения	Ластоногие в воде	Одиночный импульс	212 дБ пик или 171 дБ УЗВ
[Carlson et al., 2007]	ВСПС	Рыбы (hearing specialist]	Одиночный импульс	205 дБ пик
[Carlson et al., 2007]	ВСПС	Рыбы (hearing generalist)	Одиночный импульс	207 дБ пик
[Carlson et al., 2007]	ВСПС	Рыбы (hearing specialist)	Множество импульсов	183 дБ УЗВ
[Carlson et al., 2007]	ВСПС	Рыбы (hearing generalist)	Множество импульсов	185 дБ УЗВ
[Carlson et al., 2007]	Повреждение слуха	Рыбы (hearing specialist)	Одиночный импульс	> 207 дБ пик
[Carlson et al., 2007]	Повреждение слуха	Рыбы (hearing generalist)	Одиночный импульс	> 205 дБ пик
[Carlson et al., 2007]	Повреждение слуха	Рыбы (hearing specialist)	Множество импульсов	> 189 дБ УЗВ
[Carlson et al., 2007]	Повреждение слуха	Рыбы (hearing generalist)	Множество импульсов	> 185 дБ УЗВ

Е.6 Техническое описание подводного добычного комплекса Штокмановского месторождения и возможные источники промышленного шума от него

Е.6.1 Краткое описание подводного добычного комплекса

Подводный добычный комплекс (ПДК) на фазе 1 освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения имеет трёхветвенную звёздообразную компоновку с тремя буровыми центрами (кустами скважин) A, D и K, включающими по две добычные донные плиты с 4 буровыми окнами каждый, соединёнными с ТС посредством системы внутрипромысловых трубопроводов, в том числе гибких - райзеры и шлангокабелей. Райзеры и шлангокабели и подсоединяются к Бую системы удержания райзеров (БСУР). ПДК проектируется на основе модульного принципа, вес каждого модуля ограничен массой до 300 т.

Каждая донная добычная система включает фундаментную конструкцию, буровую раму, защитную конструкцию, модуль манифольда, клапаны и другое оборудование включая устройство соединения с внутрипромысловым трубопроводом. Внутрипромысловые трубопроводы (по два внутрипромысловых трубопровода на каждый добычной контур), соединяют добычные донные устройства с устройствами подключения райзеров.

Устройства подключения райзеров к внутрипромысловым трубопроводам, а также устройства подключения райзеров к морскому двухниточному трубопроводу включают в себя фундаментную и опорную конструкции и 2 райзерных манифольдных модуля, в состав каждого из которых входят арматура и элементы системы соединения для подключения райзеров, трубных секций и перепускной линии. При этом каждое устройство оборудовано защитной конструкцией от падающих объектов.

Единая технологическая цепочка добычи, сбора, подготовки и транспортировки флюида включает в себя технологическое судно с якорной системой удержания и технологическим комплексом на борту, при этом обеспечивается возможность ухода ТС с месторождения в случае экстремальных природных угроз, а

также возможность его замены на другое ТС, если это потребуется в процессе освоения Фазы 1 ШГКМ [ШДАГ, 2010]

В период строительства ПДК и двухниточного трубопровода в этих районах ожидается резкое увеличение уровня подводного промышленного шума, который, потенциально, может оказать вредное акустическое воздействие на гидробионтов Баренцева моря, в первую очередь на мигрирующих морских млекопитающих и рыб. Для оценки возможного ущерба от вредного акустического воздействия проанализированы современные литературные данные, указана шкала по уровням воздействия непрерывного промышленного шума и численно рассчитаны размеры зон гидроакустического воздействия на морских млекопитающих и рыб Баренцева моря.

Е.6.2 Источники промышленного шума при проведении работ по строительству морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ

При строительстве морских объектов 1-й фазы комплексного освоения ШГКМ, источником гидроакустического воздействия на гидробионтов будет является промышленный шум, производимый судами и их механизмами при различных технологических операциях. Ниже перечислены операции, при которых ожидаются наибольшие уровни шума (в порядке убывания).

Установка подводных точек якорения. Забивные сваи устанавливаются судном большой грузоподъемности, используемым для установки тяжелых конструкций ПДК. Якоря могут быть установлены судном «SAIPEM 3000», оснащение СБГ «SAIPEM 3000» **подводным молотом** позволит выполнить работы по установке якорей, в случае если при детальном проектировании будет выбран тип якоря отличный от базового (самозасасывающийся (вакуумный) тип).

Доставка технологического судна. ТС должно быть отбуксировано с верфи на место установки посредством буксиров. Для буксировки ТС могут быть использованы четыре буксира типа «Stril Commander». Буксиры также должны использоваться для работ по подсоединению ТС на месторождении.

Установка тяжелых конструкций ПДК. Транспортировка конструкций и оборудования в район установки (фундамент, буровая рама и защитная конструкции донной плиты).

Установка Якорной системы удержания. Якоря и якорные линии должны устанавливаться посредством СБГ (например, «Normand Progress») и вспомогательного судна (например, «Normand Mjolne»). Кроме того, для транспортировки якорей и якорных линий на место установки может использоваться одна грузовая баржа (например, «Deep Pioneer»).

Рытье траншей при заглублении волоконно-оптических и гидравлические гибких кабелей с целью их защиты. Рытье траншей должно проводиться с многоцелевого судна, оборудованного системой рытья траншей.

Укладка внутрипромысловых трубопроводов. Они будут уложены вместе с сопряженными оконечными устройствами посредством метода S-, J-образной или катушечной укладки. Для данной задачи должно использоваться одно судно укладки (например «DEEP BLUE»).

Также как и с добычными донными плитами, судно «SAIPEM 3000» может использоваться для транспортировки на месторождение и установки устройств подключения райзеров с внутрипромысловыми трубопроводами.

Установка устройств подключение райзеров к морскому двухниточному трубопроводу (включают фундамент/ конструкцию опоры и TRB, расчетный вес конструкций до 700 т).

Бурение скважин. Операции по установке оборудования предполагается проводить параллельно с буровыми работами. 2 буровых судна.

Установка гибких райзеров посредством одного судна укладки, может использоваться судно «DEEP BLUE».

Транспортировка трубных секций на место установки. Трубные секции будут установлены посредством установочного судна (например, «SAIPEM 3000»).

Установка буя системы удержания райзеров (БСУР). **БСУР** должен быть отбуксирован с верфи на место установки посредством буксира (например, буксир «Stril Commander»).

Дополнительные источники подводного шума при строительстве. Одновременно с работами по установке будут проводиться другие работы. Примером таких работ может служить управление ледовой обстановкой.

Суда для управления ледовой обстановкой - разведывательный ледокол, ледокол управления ледовой обстановкой, сторожевой ледокол, резервные мощности.

На месте установки будет присутствовать ряд судов для содействия в проведении работ на ПДК, в частности, в случае аварийной ситуации.

Это - дежурное судно, дежурное судно для буровых работ, многоцелевое вспомогательное судно для работ на месторождении, многоцелевое вспомогательное судно для буровых работ.

Кроме того, важным источником гидроакустического шума являются гидролокаторы и судовые эхолоты, а также шум от вертолетов обеспечивающих работы на строительстве.

E.6.3 Состав судов и прогнозируемые уровни шума при типовых операциях

Работы по установке могут быть разделены на три основных вида: изыскания, установка конструкций (оконечный манифольд морского двухниточного трубопровода, устройство подключения райзеров, добычные донные плиты, якорная система удержания и т.д.) и укладка линий (внутрипромысловые трубопроводы, райзеры, шлангокабели). Для каждого из данных видов работ необходим определенный тип судов. Поддержку основному установочному судну оказывает ряд дополнительных судов, таких как грузовые баржи, буксиры и суда обеспечения. При операциях по установке оборудования на донные комплексы важным источником шума будет работа подруливающих устройств, позиционирующих

установочное судно в заданной точке. Одним из основных источников шума будет также шум от работы крупных буксиров в тяговых режимах.

Далее приведено описание типового состава парка судов для каждого из указанных видов работ по установке. Точный состав и количество судов будут дополнительно проработаны и подробно указаны подрядчиком по установочным работам. В настоящее время запланировано использование следующих судов [ШДАГ, 2009]:

Указаны: Размеры - Дл./Шир./Ос. (м) // мощность силовой установки (Мвт) // число подруливающих устройств:

- Установочное судно большой грузоподъемности Saipem 3000 (162/38/6.38// 41.1//7);
- Установочное судно большой грузоподъемности Saipem 7000 (197.95/87/27.5 //70);
- Установочное судно большой грузоподъемности Normand Progress (95/24/7.8 //-//5).
- Судно-трубоукладчик Deep Blue (191.8/32/10// 33.6//8);
- Транспортные суда S43 (76.2/24.38/4.88); S46 и S47 (91.46/27.44/6.09);
- Буксир (вспомогательное судно) Strill Commander (73.50/17.20/6.90//15.00//3);
- Многоцелевое вспомогательное судно Deep Pioneer (156.75/29/7.86 //8.2//8).

Для оценки размеров зон гидроакустического воздействия промышленного шума необходимо знать как гидроакустические характеристики среды распространения шума, так и уровни шума в источниках, т. е. уровни шума и спектры шумоизлучения отдельных судов. Поскольку в настоящий момент парк строительных судов для обустройства ШГКМ окончательно не определен, для моделирования распространения шума при строительстве ПДК ШГКМ использованы примерные данные, полученные при замерах шумности аналогичных по функциям судов. Суда - аналоги для указанной выше флотилии подбирались по функциям, габаритам, мощности силовой установки и числу подруливающих устройств для динамического позиционирования судна. Данные включали интегральные уровни шума в полосе частот 10 Гц - 2 КГц и третьоктавные спектры шумоизлу-

чения судна при работах на аналогичных операциях. В основном были использованы опубликованные данные для судов применявшихся при строительстве платформ и подводных трубопроводов на шельфе о. Сахалин по проекту «Сахалин 2». [Reeves et al, 2005; Wyatt, 2008; Hannay et al., 2004].

Используя данные по судам – аналогам, прогнозируемые уровни шума от судов при типовых операциях на 1-й фазе строительства ШГКМ были оценены следующим образом:

Типовой Ордер 1: Установка оборудования:

- Установочное судно «*SAIPEM S3000*»: 200- 205 дБ отн. 1 мкПа на 1 м;
- Два буксира типа «*Strill Commander*»: 195 – 200 дБ;
- Судно обеспечения: 190-195 дБ. (Установочной барже потребуется погрузка или выгрузка оборудования, расходных материалов, продуктов питания, отходов и т.д., что будет выполнено стандартным судном обеспечения);
- 2 грузовые баржи. (Оборудование может транспортироваться на место установки как, непосредственно, на установочном судне, так и на грузовых баржах. Предположительно, две грузовые баржи будут курсировать между местом установки на месторождении и местами сборки оборудования).

Типовой Ордер 2: Установка якорей и систем удержания

- Установочное судно Normand Progress: 190 -195 дБ отн. 1 мкПа на 1 м;
- Вспомогательное судно: Normand Borg: 185- 190 дБ;
- Два буксира типа «Strill Commander»: 195 – 200 дБ;
- 2 грузовые баржи.

Типовой Ордер 3: Укладка райзеров, внутрипромысловых трубопроводов и шлангокабелей

- Установочное судно: Technip Deep Blue: 200- 203 дБ отн. 1 мкПа на 1 м;
- Буксир Stril Commander: 195 – 200 дБ;
- судно обеспечения: 190-195 дБ;
- 1 грузовая баржа.

Е.6.4 Очаги одновременного излучения промышленного шума

В период строительства ПДК работы будут вестись параллельно, из-за чего в районе строительства, постоянно ожидается как минимум, два или три локальных очага промышленного шума. Из технологического графика строительства ПДК [ШДАГ, 2009] следует, что в первый сезон строительства, одновременно с 1-го по 6-й месяц (м. 1- м. 6), т.е. весь сезон, работают как минимум два или три набора судов (типовых ордера), а именно:

- Начиная с середины первого месяца до второй половины шестого месяца проводиться укладка внутрипромысловых трубопроводов (м. 1.5 - м. 5.5; ордер 3).
- С середины первого месяца до второй половины третьего месяца проводиться установка конструкций добычных донных плит (м. 1.5 - м. 2.5; ордер 1).
- В течение второго и третьего месяца проводиться установка конструкций манифольдов (м. 2 - м. 4; ордер 1).
- В течение четвертого месяца проводиться установка конструкций устройств подключения райзеров к внутрипромысловым и морскому двухниточному трубопроводам (м. 4 - м. 5; ордер 1).
- Начиная с середины пятого месяца, в течение 2х месяцев запланированы работы по установке якорей технологического судна и якорных линий от якорных точек к БСУР (м. 5.5 – м. 7.5; ордер 2).

Второй сезон работ условно начинается с 18 месяца (м. 18) и вновь, в соответствии с [ШДАГ, 2009] также планируется одновременное проведение работ, т.е. аналогично первому сезону в районе строительства ПДК также прогнозируется наличие нескольких локальных очагов шума.

Е.7 Дополнительные данные по оценка размеров зон гидроакустического воздействия на морскую биоту при строительстве морских объектов 1-й фазы освоения ШГКМ

Характерные климатические профили скорости звука вблизи добычной площадки приведены на рисунке Е.3. Расчеты проведены для работы ордера 1 на площадке A и ордера 2 на площадке D, а также для работы ордера 1 на площадке A, ордера 2 на площадке D и ордера 3 на площадке K. Ввиду приповерхностного расположения источников шума – винтов и строению поля скорости звука в воде и дне близкому к слоистому, зависимость уровня звукового поля от глубины незначительна. Шумность установочного судна принята равной шумности буксира Britoil 51 при буксировке, увеличенного на 5 дБ (рисунок 5.17 основного текста – глава 5, п. 5.7.2), шумность буксиров принята равной шумности буксира Britoil 51 при буксировке. Его энергетический спектр имеет ту же форму, что и на рисунке 2.17 (основной текст), со значениями меньшими на 5 дБ.

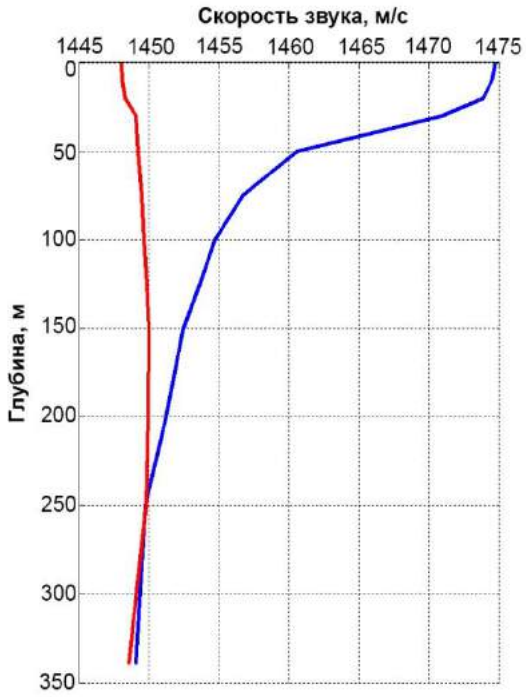
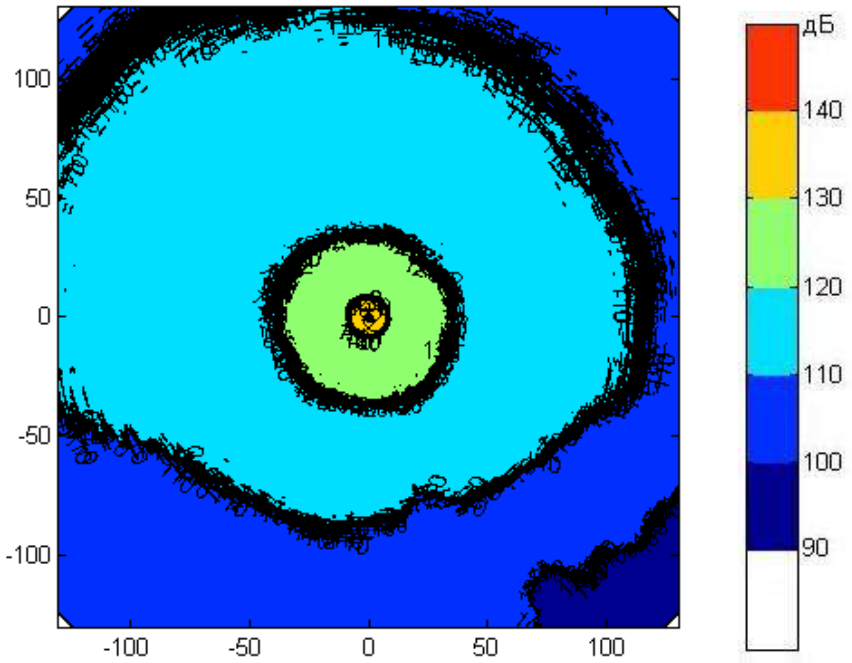


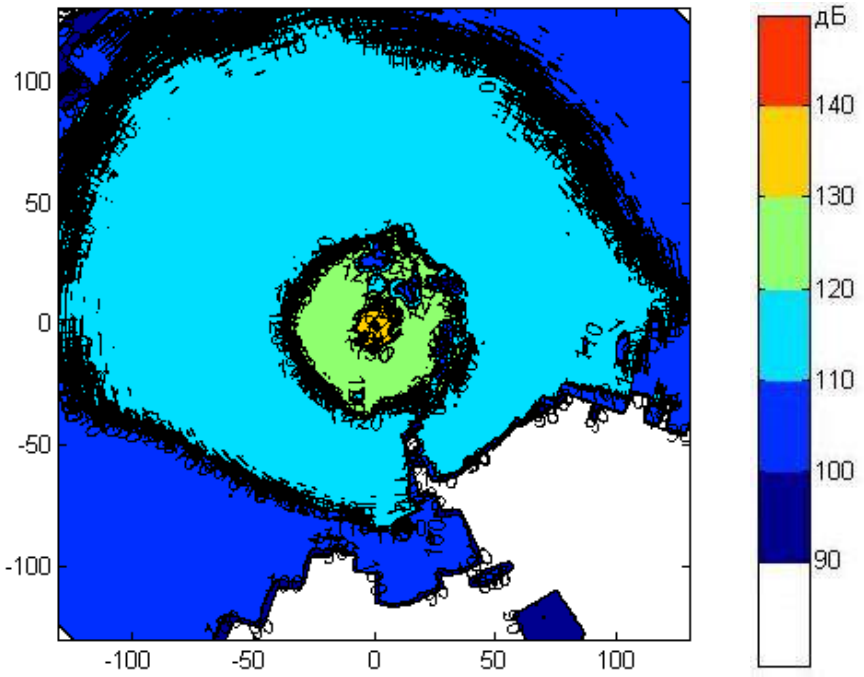
Рисунок Е.3 – Профили скорости звука в мае (красный) и сентябре (синий) в месте расположения добычной площадки A [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011a]

Зоны акустического воздействия вдоль трассы подводного трубопровода приведены на рисунках Е.4–Е.7 [Отчет по х/д. Предварительная оценка …, 2011a].



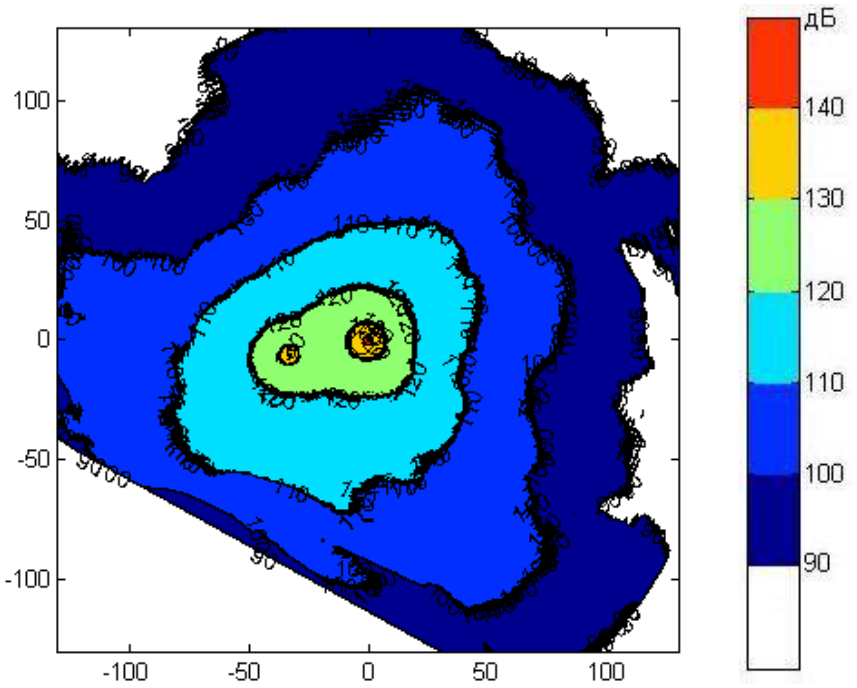
По осям – расстояние в км. Глубина приема 12.5 м. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ– 4385.2 км^2, 130 дБ – 235.6 км^2, 140 дБ – 5.85 км^2. Положение точки 3 на трассе трубопровода показано на рисунке 5.22 основного текста диссертации

Рисунок Е.4 – Зоны гидроакустического воздействия в мае месяце при работе трубоукладочного судна в точке 3 трубопровода



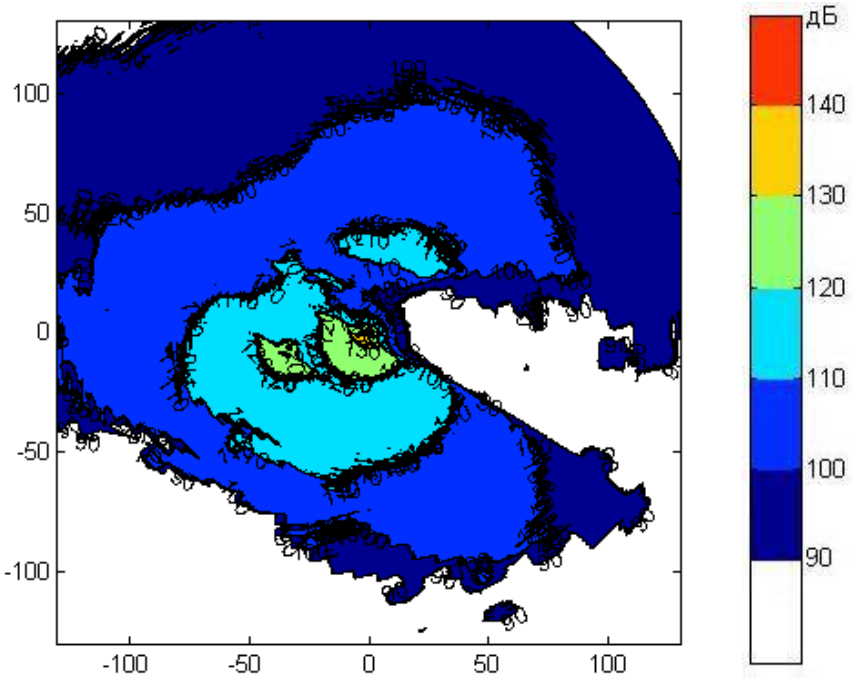
По осям – расстояние в км. Глубина приема 250 м. Площадь зоны с уровнем больше 120 дБ– 3524.1 км^2, 130 дБ – 257.1 км^2, 140 дБ – 7.1 км^2. Положение точки 3 на трассе трубопровода показано на рисунке 2.22 основного текста

Рисунок Е.5 – Зоны гидроакустического воздействия в мае месяце при работе трубоукладочного судна в точке 3 трубопровода



По осям – расстояние в км. Глубина приема 12.5 м. Площадь зоны с уровнем больше 110 дБ – 11380 км^2, 120 дБ– 2556.3 км^2, 130 дБ – 250.7 км^2, 140 дБ – 13.14 км^2. Положение точки 12 на трассе трубопровода показано на рисунке 2.22 основного текста

Рисунок Е.6 – Зоны гидроакустического воздействия в сентябре месяце при работе трубоукладочного судна в точке 12 трубопровода и находящегося от него в 20 милях буксира



По осям – расстояние в км. Глубина приема 150 м. Площадь зоны с уровнем больше 110 дБ – 7368 км^2, 120 дБ– 964.7 км^2, 130 дБ – 51.0 км^2, 140 дБ – 0.89 км^2. Положение точки 12 на трассе трубопровода показано на рисунке 2.22 основного текста

Рисунок Е.7 – Зоны гидроакустического воздействия в сентябре месяце при работе трубоукладочного судна в точке 12 трубопровода и находящегося от него в 20 милях буксира

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

УСЛОВИЯ В РАЙОНАХ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗВЕСИ НА БИОТУ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ж.1 Исходные данные и системы математических уравнений для моделирования взвеси при строительстве подводного трубопровода от Штокмановского месторождения на берег

Ж.1.1 Объемы земляных работ

Объемы земляных работ при укладке подводного трубопровода от Штокмановского месторождения до берега приведены в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 – Объемы земляных работ при укладке одной нитки газопровода диаметром 46 дюймов и рабочем давлении 15 МПа (три левых столбца – данные проекта на стадии обоснования инвестиций, представленные проектировщиком) [Клеванный, Шавыкин, 2008]

Участок газопровода (км)	Объем срезки, W, м^3	Протяженность срезки, L, м	Площадь сечения траншеи, S, м^2	Скорость движения трубозаглубителя, u, см/с
0–50	952360	36770	25.9	0.09
50–100	222160	18430	12.0	0.19
100–150	961150	43350	22.1	0.10
150–200	97690	6040	16.1	0.14
200–250	54460	2030	26.8	0.08
250–300	0	0	0	–
300–350	65000	1880	34.4	0.06
350–400	13420	1610	8.3	0.28
400–450	17170	1930	8.8	0.26
450–500	640	280	2.2	1.01
500–570	854150	32830	26.0	0.08
570.0–578.9	0	0	0	–
Итого:	**3238230**	**145160**	**22.3**	**0.10**

Ж.1.2 Системы используемых математических уравнений

Система уравнений, которая решается в программном комплексе CARDINAL [Программа для расчета …, 2006] методом конечных разностей на криволинейной гранично-зависимой сетке (по вертикали после преобразования используется σ – координата, обеспечивающая сгущение сетки на мелководье) имеет вид

$$u_t + uu_x + vu_y + wu_z = -g\varsigma_x - \frac{g}{\rho_o}\int_z^{\varsigma}\rho_x dz - \frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P_a}{\partial x} + fv + K(u_{xx}+u_{yy}) + (\nu_T u_z)_z\,, \quad (Ж.1)$$

$$v_t + uv_x + vv_y + wv_z = -g\varsigma_y - \frac{g}{\rho_o}\int_z^{\varsigma}\rho_y dz - \frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P_a}{\partial y} - fu + K(v_{xx}+v_{yy}) + (\nu_T v_z)_z\,, \quad (Ж.2)$$

$$u_x + v_y + w_z = \varpi_s\,, \quad (Ж.3)$$

$$\varsigma_t + U_x + V_y = \omega_s, \quad (Ж.4)$$

$$T_t + (Tu)_x + (Tv)_y + (Tw)_z = \varpi_s T_s + K_c(T_{xx}+T_{yy}) + (\nu_c T_z)_z \quad (Ж.5)$$

$$S_t + (Su)_x + (Sv)_y + (Sw)_z = \varpi_s S_s + K_c(S_{xx}+S_{yy}) + (\nu_c S_z)_z \quad (Ж.6)$$

$$c_t + (cu)_x + (cv)_y + [c(w-w_0)]_z = \varpi_s c_s - \lambda c + K_c(c_{xx}+c_{yy}) + (\nu_c c_z)_z\,, \quad (Ж.7)$$

где u, v, w – декартовы компоненты вектора скорости течения $\vec{v}$, $\rho_o(T,S)$ – плотность воды, определяемая по ее температуре T и солености S по зависимости UNESCO, ρ_o – среднее значение плотности воды (999.7 кг/м^3), g – ускорение силы тяжести, ζ – уровень свободной поверхности, P_A – атмосферное давление, $f = 2\omega\sin\varphi$ – параметр Кориолиса, φ – географическая широта, ω – угловая скорость вращения Земли, K и ν_T – коэффициенты горизонтального и вертикального турбулентного обмена, соответственно, U и V – полные потоки, ϖ_s – объем воды, поступающий в единичный объем за единицу времени из внутренних источников, ω_s – объем воды, поступающей от внутренних источников на единицу поверхности в единицу времени, c – концентрация растворенных или взвешенных примесей, w_0 – скорость осаждения ВВ (гидравлическая крупность), c_s, T_s и S_s – концентрация примеси, температура и соленость в воде, поступающей из источников,

λ – коэффициент неконсервативности, K_c, ν_c – коэффициенты горизонтальной и вертикальной диффузии. Координата *z* направлена вертикально вверх.

На дне при *z= – h(x,y)* задается касательное напряжение трения $\tau_b = (\tau_{b(x)}, \tau_{b(y)})$ с помощью квадратичного закона

$$\begin{aligned} \tau_{b(x)} &\equiv \rho_o \nu_T u_z\big|_{z=-h} = -\rho_o f_b u \,|\vec{v}\,| \\ \tau_{b(y)} &\equiv \rho_o \nu_T v_z\big|_{z=-h} = -\rho_o f_b v \,|\vec{v}\,|, \end{aligned} \qquad (Ж.8)$$

где f_b – коэффициент придонного трения.

Для ветровых условий касательное напряжение трения на поверхности $\tau_s = (\tau_{s(x)}, \tau_{s(y)})$ также задается с помощью квадратичного закона

$$\begin{aligned} \tau_{s(x)} &\equiv \rho_o \nu_T u_z\big|_{z=\varsigma} = \rho_a C_D w_{(x)} \,|\vec{W}\,| \\ \tau_{s(y)} &\equiv \rho_o \nu_T v_z\big|_{z=\varsigma} = \rho_a C_D w_{(y)} \,|\vec{W}\,|, \end{aligned} \qquad (Ж.9)$$

где C_D – ветровой коэффициент, $\vec{W} = (w_{(x)}, w_{(y)})$, – скорость ветра на высоте 10 м, ρ_a – плотность воздуха (1.225 кг/м^3).

При наличии ледяного покрова касательное напряжение трения на поверхности определяется из соотношений

$$\begin{aligned} \tau_{s(x)} &= -\rho_o f_{ice} u \,|\vec{v}\,|\big|_{z=\varsigma} \\ \tau_{s(y)} &= -\rho_o f_{ice} v \,|\vec{v}\,|\big|_{z=\varsigma}, \end{aligned} \qquad (Ж.10)$$

где f_{ice} – коэффициент трения о лед.

На твердых боковых границах модели нормальная компонента скорости u_n равна нулю. Для тангенциальной компоненты u_τ вводится квадратичный закон трения, аналогичный придонному. Таким образом, граничное условие на твердых боковых границах имеет вид

$$\begin{aligned} &u_n = 0, \\ &K \frac{\partial u_\tau}{\partial n} = -f_b u_\tau \,|\vec{v}\,|. \end{aligned} \qquad (Ж.11)$$

Одним из граничных условий на открытых боковых границах модели является равенство нулю касательной к границе составляющей скорости течений:

$u_\tau=0$, второе граничное условие может быть разных типов. Для первого типа задается нормальная компонента скорости как функция времени: $u_n = f(t)$. Для второго типа задается зависимость уровня воды от времени: $\zeta = \zeta(t)$.

На открытых границах, через которые вода поступает в расчетную область, задается временной ход концентрации примеси, температуры и солености воды. На открытых границах, через которые вода вытекает из расчетной области, при условии, что адвекция доминирует над диффузией, граничных условий для c, T и S не требуется.

Для скорости оседания взвешенных примесей w_0 принималось, что эта скорость сохраняется при достижении примесью дна, таким образом, примесь, достигшая дна, исключалась из расчета. Ресуспензия ВВ не учитывается.

Для определения коэффициента вертикального турбулентного обмена ν_T возможно использование k–ε модели турбулентности [Кремзер, Озмидов, 1977; Launder et al., 1973], в которой он определяется из соотношения

$$\nu_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \qquad \text{(Ж.12)}$$

где k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, ε – скорость диссипации этой энергии за счет внутреннего трения, $c_\mu = 0.09$. В программном комплексе CARDINAL уравнения для k и ε решаются без учета адвективных членов, которые имеют второй порядок малости

$$\begin{aligned} k_t &= (\nu_T k_z)_z + \nu_T(\mathrm{P}+N) - \varepsilon, \\ \varepsilon_t &= \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon}\varepsilon_z\right)_z + \frac{\varepsilon}{k}\nu_T(c_{1\varepsilon}\mathrm{P} + c_{3\varepsilon}N) - c_{2\varepsilon}\frac{\varepsilon^2}{k}, \end{aligned} \qquad \text{(Ж.13)}$$

где $\mathrm{P} = \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2\right]$, $N = \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{Pr}\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial z}$, $c_{1\varepsilon}=1.44$, $c_{2\varepsilon}=1.92$, $\sigma_\varepsilon=1.3$, $Pr=0.96$.

Для коэффициента $c_{3\varepsilon}$ были подобраны при численных экспериментах значения: $c_{3\varepsilon}= 0.001$ при устойчивой стратификации и $c_{3\varepsilon}= 2$ при неустойчивой.

Для энергии турбулентности и ее диссипации задаются следующие граничные условия на дне ($_b$) и на поверхности ($_s$)

$$b_b = \frac{u_*^2}{\sqrt{c_\mu}} = \frac{f_b u_b{}^2}{\sqrt{c_\mu}}, \qquad b_s = C_D \frac{\rho_a}{\rho_0} W^2,$$
$$\varepsilon_b = \frac{u_*^3}{\kappa z_b} = \frac{c_\mu^{3/4} k_b^{3/2}}{\kappa z_b}, \qquad \varepsilon_s = \frac{u_*^3}{\kappa z_s} = \frac{c_\mu^{3/4} b_s^{3/2}}{\kappa z_s} \qquad \text{(Ж.14)}$$

где u* – скорость трения, k =0.4 – постоянная Кармана, zb и zs – параметры шероховатости дна и поверхности, соответственно.

Коэффициент горизонтального турбулентного обмена определялся по формуле Смагоринского [Smagorinsky, 1963].

$$K_s = 0.25 \Delta x \Delta y \sqrt{(u_x)^2 + (v_y)^2 + 0.5(v_x + u_y)^2} \; . \qquad \text{(Ж.15)}$$

При решении уравнений трехмерного движения уровень находится из уравнений мелкой воды. Придонное трение в уравнениях мелкой воды берется из решения трехмерной задачи.

В модели Баренцева моря решались уравнения (Ж.1) – (Ж.6), (Ж.12), (Ж.13), (Ж.15) с граничными условиями (Ж.8) – (Ж.11), (Ж.14), а в локальных моделях решалось уравнение (Ж.7) с заданными значениями скоростей.

Моделирование выполнялось с учетом всех основных факторов, влияющих на течения: ветра, атмосферного давления, приливов, плотностной стратификации вод, потоков на открытых границах Баренцева моря. Поля температуры и солености задавались из базы данных ПИНРО (г. Мурманск), расходы на открытых границах моря задавались в основном в соответствии с [Loeng et al., 1973], атмосферные условия – из атмосферной модели. Полученные ряды скоростей использовались в локальных моделях отдельных участков газопровода для расчетов распространения ВВ. В локальных моделях расчетная область имела прямоугольную форму с шагом сетки для расчета концентраций 10 м. По вертикали во всех моделях задавалось 20 узлов (сгущались ко дну). Один из придонных узлов находился на расстоянии 1.8 м от дна (высота источника загрязнения).

Ж.1.3 Исходные данные и процедура расчета полей мутности

С помощью модели Баренцева моря были выполнены расчеты нестационарной трехмерной динамики моря за произвольно выбранный период с 2 по 9 июня

2005 г. При расчете происходила запись значений скоростей на участках A – D на всех 20 горизонтах с шагом 240 с. Расчетные траектории течений на участке B на всех горизонтах и в придонном слое на всех участках показаны на рисунке 6.5 основного текста (глава 6, § 6.5).

Полученные ряды скоростей течения $\vec{v}(z,t)$ $\vec{v}(z,t)$ импортировались в локальные модели участков А – Ж. Скорости течений в локальных моделях зависели от вертикальной координаты и от времени, но не зависели горизонтальных координат. Такое положение вполне допустимо в связи с небольшим (порядка 10 км) пространственным размером моделируемых участков по сравнению с масштабами Баренцева моря.

В локальных моделях задавалось движение источника загрязнения в 1.8 м от дна в пределах участка длиной 250 м со скоростью 0.5 см/с, после чего действие источника прекращалось, но расчет продолжался до момента, когда объем пятна с концентрацией 10 мг/л достигал максимального значения, а для участка B расчет был продолжен до момента, когда во всей расчетной области концентрации стали ниже 10 мг/л. Положение источника в локальной модели и ее протяженность задавались с учетом направления основного дрейфа в придонных слоях в этот период, полученного по модели Баренцева моря.

Импортирование рядов скоростей позволяет проводить расчеты по локальным моделям с достаточно большим шагом по времени (около 1 часа), но тестовые расчеты показали, что необходимая точность расчетов (погрешность менее 10 %) достигается при шагах не более 60 с. Поэтому расчеты проводились с шагом 60 с. Сложность расчетов состояла в том, что их необходимо было выполнять с очень маленьким шагом сетки (10 м) в области с размером в несколько километров (область возможного дрейфа пятна мутности до его исчезновения). Расчетная сетка локальных моделей состояла из примерно 4.105 узлов на каждом из 20 горизонтов.

Диаметр частиц пелита задавался равным 0.005 мм. При принятой температуре воды 3 ^{o}C скорость оседания частиц пелита, согласно принятой в CARDINAL расчетной зависимости [Дроздов, 1987], равна w_0= 0.015 мм/с.

В локальных моделях было принято постоянное значение для коэффициента вертикальной турбулентной диффузии ν_c равное 2 см^2/с. Использование в локальных моделях независимых от горизонтальных координат скоростей не позволяет применить для расчета горизонтальной диффузии формулу Смагоринского (Ж.15) – см. Приложение Ж, в которую входят горизонтальные градиенты составляющих вектора скорости. Коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии определялся по данным экспериментальных исследований, в которых в качестве определяющего параметра брался горизонтальный масштаб явления Kc=γL4/3, γ=0.05 см^2/3с – 1, L – в см, [Кремзер, Озмидов, 1977]. При характерном масштабе 100 м получим, что Kc=500 см^2/с.

Ж.2 Распространение взвеси при дноуглубительных работах в Кольском заливе

Ж.2.1 Исходные данные и используемые модели

Далее описаны исходные данные для расчета распространения взвеси при дноуглубительных работах в районе пос. Абрам мыс [Клеванный и др., 2013].

Ж.2.1.1 Гидрологическая и геологическая характеристики рассматриваемого участка

Гидрологический режим Кольского залива определяется водообменом с Баренцевым морем, в котором определяющую роль играют приливно-отливные течения, взаимодействием с атмосферой, стоком рек. Существенную роль играет сильная изрезанность берегов. В гидрологическом отношении Кольский залив делится на три участка (колена):

- северное колено расположено у выхода в Баренцево море, влияние которого на гидрологические характеристики весьма существенно;
- среднее колено характеризуется смешением морских и речных вод. Здесь имеется вертикальная стратификация по солености и сильные приливные течения;
- южное колено сильно опреснено в поверхностном слое за счет впадения двух крупных рек - Колы и Туломы.

Колебания уровня воды в Кольском заливе зависят, главным образом, от приливо-отливных течений. Средняя амплитуда колебаний уровня находится в

пределах от 0.94 м до 3.3 м. Средняя высота полной сигизийной воды составляет 3.6 м, максимальная – 4.2 м, минимальная высота малой воды – 0.1 м. Максимальный наблюденный уровень 2.37 м в Балтийской системе высот, БС. Минимальный уровень – минус 2.91 БС.

В районе порта Мурманск преобладают реверсивные течения. Смена течений севернее 68˚57′с.ш. происходит примерно за 4 часа до и через 2 часа после момента полной воды в порту Мурманск. Постоянное течение вызывается в основном стоком рек, впадающих в вершине залива. По фарватеру в слое 0–5 м эти течения направлены на север. Ветровые течения возникают главным образом при ветрах южных и северных направлений. В холодный период года преобладает северное ветровое течение, а в теплый период – южное. Скорость поверхностных течений составляет 0.1 – 0.6 м/с, придонных – 0.3 – 0.4 м/с.

Приток пресных вод распределен вдоль залива неравномерно, основная часть приходится на вершину залива, куда впадают реки Тулома и Кола. Средний расход р. Туломы изменяется от 190 до 260 $м^3$/с, за исключением апреля, мая и июня, р. Колы – от 10 до 56 $м^3$/с, также за исключением апреля, мая и июня.

Мощность извлекаемых на акватории предполагаемого строительства грунтов и их гранулометрический состав по каждой из скважин, взятые из [Отчет по х/д. Порт Мурманск …, 2009] и полученные на основании этих данных средневзвешенные значения содержания фракций, приведены в таблице Ж.2.

Таблица Ж.2 – Мощность извлекаемых грунтов при дноуглублении и их грансостав

Грунты	Мощность грунтов по скважинам, м									Ср. мощность слоя, м	Размер фракций, мм					
	4798	4799	4803	4805	4806	4807	4808	4809	4810		0.5 – 0.25 песок	0.25 – 0.10 песок	0.10 – 0.05 алеврит	0.05 – 0.01 алеврит	0.01 – 0.002 пелит	< 0.002 пелит
1.	0.3	2.2	1.4	1.5	1.9	0.3	0	0.1	0.2	0.9	20	54	11	4	1	1
2.	3.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0.7	3	15	25	35	11	9
3.	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	10	6	4	6	2	2
4.	3.8	4.6	0	0	2.3	2.0	0	1.2	0	1.5	0	1	13	45	21	19
5.	0	0	0	0	1.6	4.1	0	0	1.3	0.8	0	8	37	33	12	10
Средневзвешенное значение содержания фракций, %											**4.9**	**12.4**	**19.0**	**32.1**	**13.5**	**11.9**

Примечание:

1 - пески мелкие, темные, серые с растительными остатками; 2 – илы суглинистые, черные и темно-серые с растительными остатками; 3 – пески гравелистые, серые с растительными остатками, плотные; 4 – суглинки серые, с растительными остатками, легкие, пылеватые, текучие; 5 – супеси серые с растительными остатками [Клеванный и др., 2013]

Ж.2.1.2 Технология выполнения дноуглубительных работ в районе Абрам мыса

В течение первых 36 суток дноуглубительные работы будут выполняться несамоходным грейферным плавкраном СПК 14/16 грузоподъемностью 16 тонн с производительностью 110.2 м^3/час и вместимостью грейфера 4.0 м^3, а отвал грунта – двумя самоходными дизельными люковыми шаландами типа ШС-ДЛ-500 «Черноморская» («Териберка» и «Лапоминка»). В течение последующих 64 суток дноуглубление будет выполняться самоходным многочерпаковым земснарядом МС-Ш-750 «Двинский залив» с контрактовой производительностью 750 м^3/час и вместимостью черпака 0.75 м^3, а отвал – тремя самоходными дизельными люковыми шаландами типа ШС-ДЛ-500 «Черноморская» («Териберка», «Лапоминка» и «Чижовка»). Объем извлекаемого грунта до отметки проектного дна акватории составляет 271.2 тыс. м^3, из них первые 9.8 тыс. м^3 будут извлечены плавкраном, а 261.4 тыс. м^3 – многочерпаковым земснарядом. При работе плавкрана сбросы в отвал будут выполняться 6–7 раз в сутки, а при работе земснаряда – 9–10 раз.

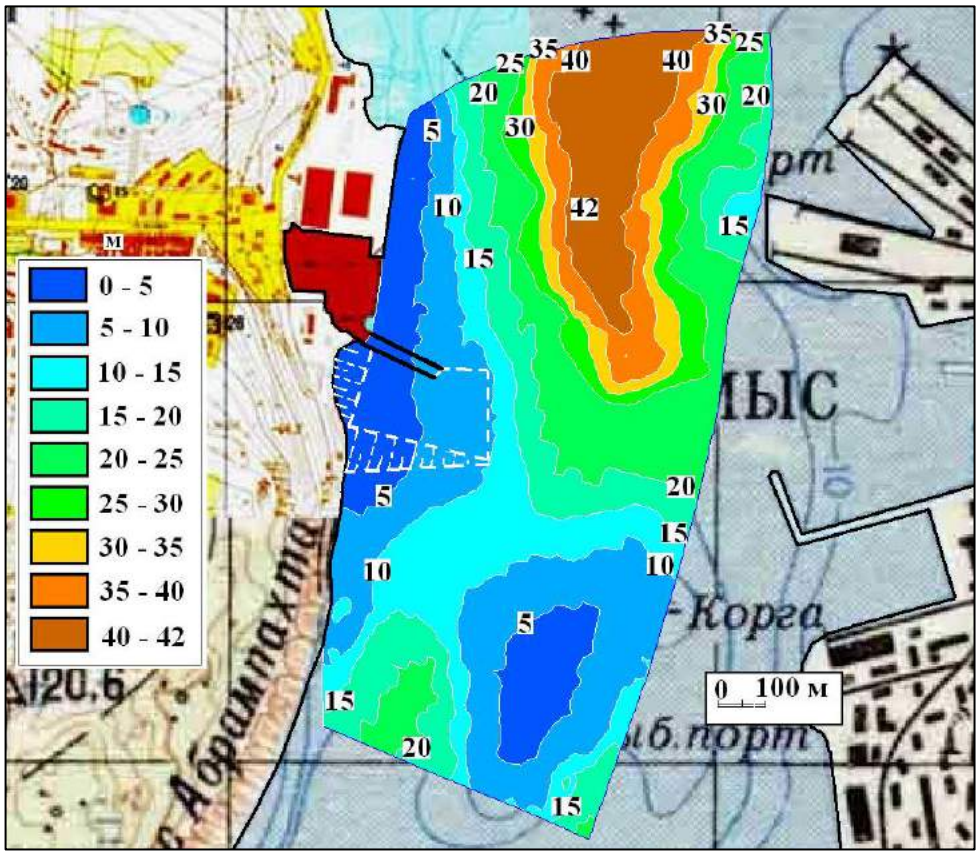
Ж.2.1.3 Гидрологические модели

Модель Кольского залива. Для получения данных о расходах воды на открытых границах локальных моделях районов дноуглубления и отвала была сделана в двумерной постановке модель Кольского залива от устья р. Колы на юге до губ Оленьей и Большой Волоковой на севере (на рисунке 6.9 основного текста – § 6.6 – не показано). Контур залива и значения глубин снимались с топографических карт издания 1989 г. масштаба 1:50 000. Площадь расчетной области в этой модели составляет 134 км^2 с объемом воды 9.2 км^3 при средней глубине 68 м и максимальной глубине 285 м. Средний шаг сетки для расчета уровня воды равен 334 м. На северной открытой границе модели Кольского залива задавались приливо-отливные колебания уровня, определенные с помощью программы WXTide32 [Программа для расчета …, 2006]. Были взяты графики приливных колебаний уровня в губах Оленья и Большая Волоковая за период с 12 час. 29.01.2010 по 12 час. 14.02.2010, общей продолжительностью 16 суток. По дан-

ным этих двух пунктов с помощью интерполяции определялся временной ход уровня на всей открытой границе.

Задавались среднегодовые значения стоков р. Тулома (227 м^3/с) и р. Кола (42 м^3/с) и постоянная среднемесячная скорость ветра: юго-западный, 5.2 м/с. Коэффициент горизонтального турбулентного обмена определялся по формуле $0.03\Delta X^{4/3}$ согласно [Озмидов, 1986]. Адвективные члены в уравнении движения в данной модели не учитывались. Расчеты показали, что устойчивость используемой конечно-разностной схемы и расчетной сетки модели обеспечивается при шаге по времени не более 6 с и расчет велся с этим шагом.

Локальная модель участка дноуглубления. Расчетная область локальной модели участка дноуглубления показана на рисунке Ж.1. Ее площадь 1.09 км^2, объем воды при нулевом уровне 0.021 км^3. Открытые границы (северная, восточная и южная) расчетной области разбиты на 15 участков (в соответствии с разрешением сетки модели Кольского залива). На каждом из этих участков задавался временной ход расходов, полученный по расчету на модели Кольского залива.



Пунктиром показана граница участка дноуглубления и граница откосов

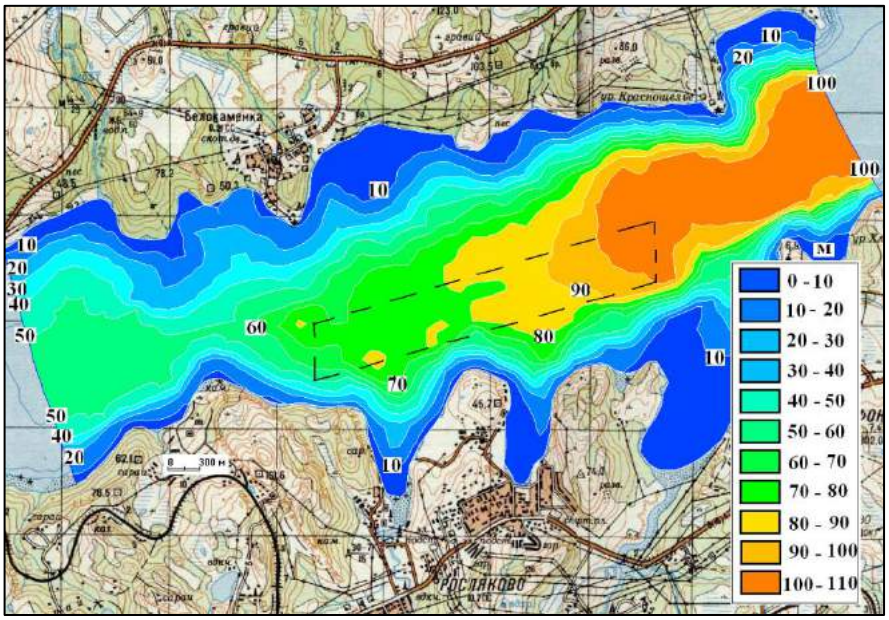
Рисунок Ж.1 – Поле глубин в модели участка дноуглубления [Клеванный и др., 2013]

По вертикали сетка имела независимо от глубины 20 слоев (в модели используется так называемое спрямляющее преобразование координат, сгущаемых ко дну и к поверхности). Для обоснования достаточности такой детализации вертикального разбиения был выполнены также расчеты при задании 15 и 25 слоев. Эти расчеты показали, что при разбиении на 15 слоев ошибка в объемах облаков загрязненной воды по сравнению с разбиением на 25 слоев лежит в пределах 10 %. При этом время расчета при задании 15 слоев сокращается на 60 %.

Максимальная глубина – 42 м, средняя – 18 м. Шаг по времени, обеспечивающий устойчивость схемы для данной сетки – 1.3 с. Средний шаг сетки для расчета концентраций по горизонтали – 20 м. Средний объем расчетной ячейки при нулевом уровне равнялся 504 м^3. Коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии определялся по формуле Смагоринского с параметром 0.25 [Smagorinsky, 1963].

К северу от района дноуглубления расположен пирс, который стоит на плотных рядах свай, которые в какой-то степени препятствуют распространению загрязненных вод на север. В модели сваи аппроксимировались двумя рядами дамб длиной по 20 м с отверстиями между ними длиной также 20 м.

Локальная модель района отвала. Расчетная область локальной модели участка отвала грунта показана на рисунке Ж.2.



Пунктиром показана граница зоны отвала

Рисунок Ж.2 – Поле глубин в локальной модели участка отвала [Клеванный и др., 2013]

Ее площадь 18.6 км^2 с объемом воды при нулевом уровне 0.94 км^3. Северная и южная открытые границы расчетной области разбиты на 8 участков каждая в соответствии с разрешением сетки модели Кольского залива. На каждом из этих участков задавался временной ход расходов, полученный по расчету на модели Кольского залива.

По вертикали сетка, так же как и в модели для расчетов при дноуглублении, имела независимо от глубины 20 слоев. Максимальная глубина – 113 м, средняя – 49 м. Максимально возможный шаг по времени для этой модели – 3 с. Средний шаг сетки для расчета концентраций по горизонтали равен 65 м. Средний объем ячейки – 10 800 м^3. Коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии также определялся по формуле Смагоринского с параметром 0.25.

Ж.2.1.4 Определение мощностей источников взвеси при дноуглублении

Определение мощности источника загрязнения при разработке грунта выполнено согласно [Методика по расчету…, 1999]. Масса грунта, смываемого с грейфера плавкрана или с ковша земснаряда в единицу времени, определяется по формуле: $Q = \rho_{гр} Q_c \sigma$, где $\rho_{гр}$ – плотность разрабатываемого грунта (1800 кг/м^3), Q_c – секундная расчетная производительность плавкрана или земснаряда по грунту, σ – коэффициент, учитывающий количество грунта, переходящего во взвесь в зависимости от типа разрабатываемого грунта и состава технического флота.

Расчеты выполнялись при задании средневзвешенной скорости оседания (см. далее). Средневзвешенная скорость вычислялось с учетом процентного содержания каждой фракции (таблица Ж.4): *0.69×0.57+0.0147×0.23+0×0.20=0.4 мм/с.*

В смываемом и переходящем во взвесь грунте присутствуют только частицы с диаметром менее 0.05 мм. Мощность источника для каждой из этих фракций рассчитывалась с учетом процентного содержания фракций в составе извлекаемого грунта. Весь грунт с частицами меньше 0.05 мм принимается за 100 %. Наблюдения показывают, что самая мелкая фракция (< 0.002 мм) может в определенных условиях распространяться на большие расстояния, практически не оседая.

Таблица Ж.4 – Расчет мощности источника загрязнения при работе грейферного плавкрана и многочерпакового земснаряда

№ п/п	Тип разрабатываемых грунтов	Дноуглубление						Сброс					
		Объем	Производительность	Табл. 1.4 из [*]	Образование взвеси			Кол. сбросов	Единичный	Табл. 1.5 из [*]	Образование взвеси		
		V	Q	σ	всего	в сутки	в сек	в сутки	сброс	σ	всего	за сброс	в сек
		$м^3$	$м^3$/сут.		т	кг/сут	кг/сек	ед./сут.	$м^3$/сброс		т	кг/сброс	кг/сек
		Грейферный плавкран											
1	Пески сред. и крупные	4100	2722	0				6.6	410	0			
2	Пески со строй-мусором	1500	2722	0				3.7	410	0			
3	Пески мелкие	3900	2722	0				6.6	360	0.00006			
4	Супеси	300	2554	0.0035				0.7	300	0.00135			
	Всего:	9800			1.764						1.764		
	Средневзвеш.		2717	0.0001		489	0.006	6.0	387	0.0001		70	0.194
		Многочерпаковый земснаряд											
1	Грав. пески	500	3262	0				1.4	360	0			
2	Пески сред. и крупные	15700	4142	0				10.1	410	0			
3	Пески со строй-мусором	600	4142	0				1.5	410	0			
4	Пески мелкие	32000	3983	0				9.7	410	0.00006			
5	Супеси	66800	4662	0.0085				10.2	455	0.00195			
6	Суглинки	121300	3695	0.024				9.0	410	0.0072			
7	Илы	24500	4581	0.024				10.1	455	0.0072			
	Всего:	261400			7340						2117		
	Средневзвеш.		4087	0.0156		114763	1.33	9.5	426	0.0045		3451	9.585

[*] – [Отчет по х/д. Порт Мурманск … 2009]

Так, на фотографиях Невской губы со спутника Quick Bird видно, что при намыве территории Васильевского острова замутненная вода распространяется на расстояние более 50 км от источника [Зайцев и др., 2010]. Поэтому для этой фракции скорость оседания в нашем случае принята равной нулю.

Мощность источника при дноуглублении с помощью плавкрана. Исходя из заданной суточной производительности плавкрана по грунту 2717 м^3/сутки, получаем, что секундная расчетная производительность Q_c равна 0.0314 м^3/с, Расчет коэффициента σ приведен в таблице Ж.4. Получено, что σ = 0.0001. В итоге имеем: *Q = 1800 × 0.0314 × 0.0001= 0.006 кг/с.*

Такая небольшая мощность источника загрязнения при разработке грунта грейферным плавкраном объясняется тем, что разрабатываемые им грунты представлены песками различной крупности и супесями. Во взвесь переходят только частицы супеси, объем которой составляет всего 300 м^3 или 3 % от всего объема, разрабатываемого плавкраном.

Мощность источника при дноуглублении с помощью многочерпакового земснаряда. Исходя из заданной суточной производительности земснаряда по грунту 4087 м^3/сутки, получаем, что секундная расчетная производительность Q_c равна 0.0473 м^3/с. Расчет коэффициента σ приведен в таблице Ж.4. Получено, что σ = 0.0156. Тогда: *Q = 1800 × 0.0473 × 0.0156= 1.33 кг/с.* Мощность источника в данном случае в 222 раза больше, чем при работе плавкрана.

Таблица Ж.5 – Параметры источника мутности при дноуглублении многочерпаковым земснарядом

Размер фракций, мм	Процентное содержание	Скорость оседания частиц, мм/с	Мощность источника загрязнения, кг/с
0.05 – 0.01 алеврит	30.6* (57)	0.69	0.76
0.01 – 0.002 пелит	12.4* (23)	0.0147	0.30
< 0.002 пелит	11.0* (20)	0	0.27
Всего		**0.40**	**1.33**

Примечание: значения, обозначенные звездочкой взяты из таблицы Ж.2, а значения в скобках соответствуют средневзвешенному содержанию частиц (частные остатки) при условии принятия всего извлекаемого грунта с частицами меньше 0.5 мм за 100 %.

Ж.2.1.5 Определение мощности источника взвеси при сбросе грунта в районе отвала

Определение мощности источника загрязнения при сбросе грунта из шаланд в подводный отвал также выполнено согласно [Методика по расчету…, 1999] по формуле: $Q = V\rho_{гр}\sigma/t$, где V– объем единичного сброса, м^3, $\rho_{гр}$ – плотность разрабатываемого грунта (1800 кг/м^3), σ – коэффициент, учитывающий долю грунта, переходящего во взвесь в зависимости от типа разрабатываемого грунта и состава технического флота, t – время сброса (0.1 часа или 360 с). В переходящем во взвесь грунте присутствуют только частицы с диаметром менее 0.05 мм.

Расчеты для участка отвала также выполнялись при задании средневзвешенной скорости оседания, которая, как и при дноуглублении равна 0.4 мм/с.

Мощность источника при сбросе грунта, поднятого плавкраном. Расчет приведен в таблице Ж.4. Соответственно, имеем: *$Q = 387\times1800\times0.0001/360 = 0.19$ кг/с.* В сутки происходит 6–7 сбросов. Интервал времени между сбросами при работе плавкрана равен 3.5 часа.

Мощность источника при сбросе грунта, поднятого многочерпаковым земснарядом. В соответствии с расчетом, приведенным в таблице Ж.4: *$Q = 426\times1800\times0.0045/360 = 9.6$ кг/с.* В сутки происходит 9–10 сбросов. Интервал времени между сбросами при работе земснаряда равен 2.5 часа. Мощность источника в данном случае в 50 раз больше, чем при работе плавкрана.

Ж.2.1.6 Обоснование возможности выполнения расчетов при задании средневзвешенной скорости оседания

Так как каждая фракция взвешенных веществ имеет свою скорость оседания, то в общем случае необходимо проводить расчеты отдельно для каждой фракции. Но при пофракционных расчетах значительно увеличивается время вычислений. Для проверки возможности выполнения расчетов по средневзвешенной скорости оседания (с учетом их процентного содержания) при задании номинальной мощности источника были выполнены тестовые расчеты отвала грунта для периода с 29.01 по 05.02.2010. Принималось, что грунт, переходящий во взвесь, состоит из двух фракций пелита с диаметром частиц 0.01–0.002 и < 0.002 мм,

остальные фракции оседают сразу. Суммарная мощность источника загрязнения равна 369 кг/с. С учетом процентного содержания фракций (47 и 53 %) определена мощность для каждой фракции: 173 и 196 кг/с соответственно. Результаты расчетов приведены в таблице Ж.6 [Клеванный и др., 2013].

Таблица Ж.6 – Сравнение результатов расчета объемов загрязненных облаков по отдельным фракциям и по средневзвешенному значению

Концентрация, мг/дм^3	По отдельным фракциям			По ср. взвешенной скорости оседания	Отношение объемов облаков при пофракционном расчете и по ср. взвешенному значению
	< 0.002 мм	0.01–0.002 мм	Объем облаков, полученный при суммировании фракционных концентраций (м^3)		
	Мощность – 173 кг/с	Мощность – 196 кг/с		Мощность – 369 кг/с	
	$w_o = 0$	w_o = 0.0147 мм/с		W= 0.0079 мм/с	
>10	2.319x10^8	2.315x10^8	3.056x10^8	2.806x10^8	1.09
>50	1.097x10^7	1.383x10^7	1.081x10^8	1.014x10^8	1.07
>100	202773	0	1.262x10^7	1.339x10^7	0.94
>250	0	0	0	462066	
>500	0	0	0	0	
>700	0	0	0	0	
>1000	0	0	0	0	

w_o – скорость оседания (гидравлическая крупность)

Из полученных данных видно, что расхождения в результатах составляют менее 10 %, что допустимо при расчетах такого типа. На рисунке Ж.3 показаны изолинии концентраций при отвале в конце расчетного периода: 21 час 05.02.2010. Объемы облаков с концентрациями от 0.25 до 100 мг/дм^3 практически совпали. Концентрации выше 500 мг/л в обоих случаях получены не были. Расчет по средневзвешенной скорости оседания дал большие значения в центре пятен. Анализ данных таблицы и рисунков позволяет сделать вывод о допустимости выполнения расчетов с заданием одной фракции, скорость оседания которой равна средневзвешенному значению фракций, участвующих в загрязнении воды.

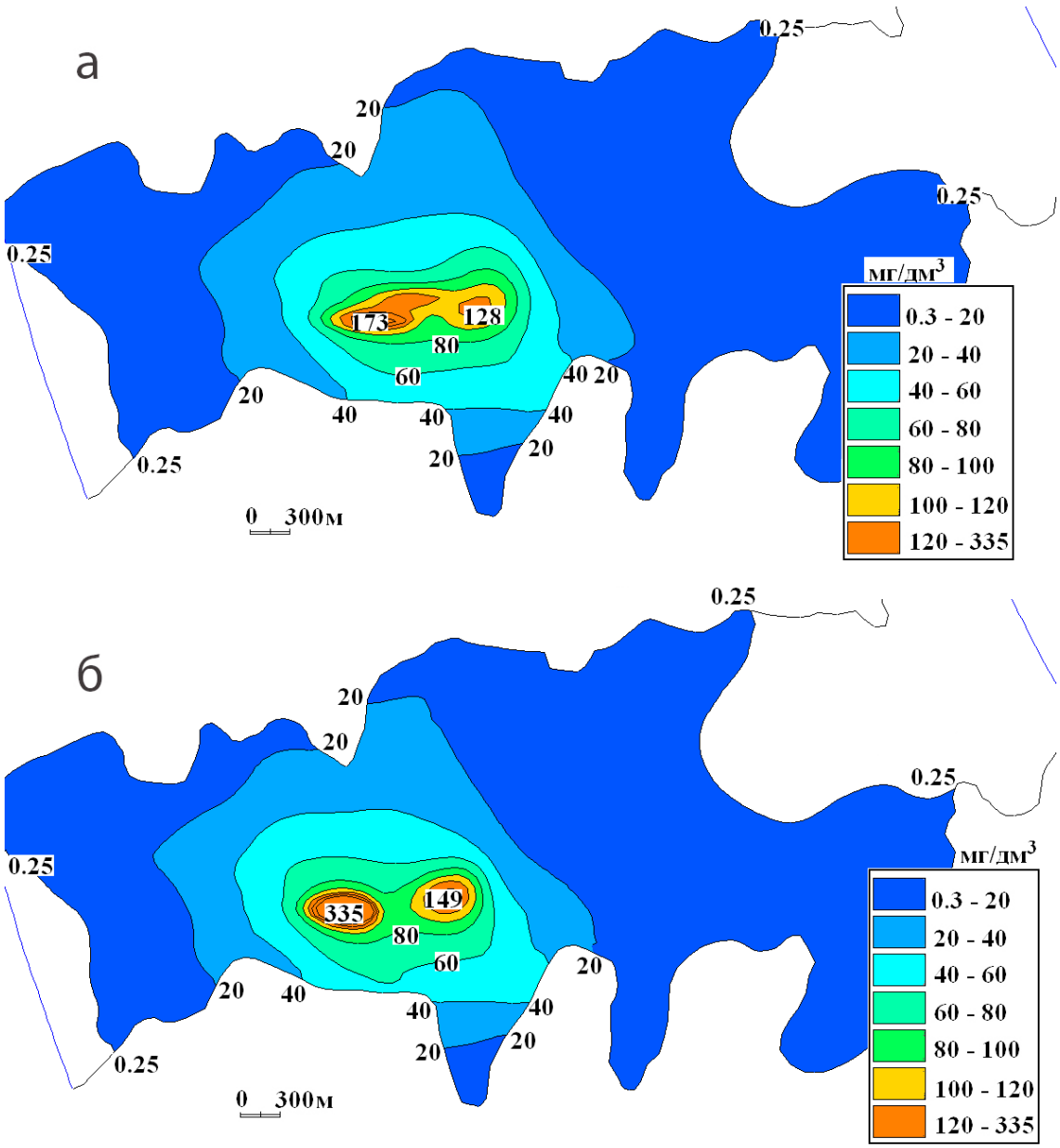


Рисунок Ж.3 – Изолинии концентрации в срединном слое в 21 час 05.02.2010 при пофракционных расчетах (а) и по средневзвешенной скорости оседания (б) [Клеванный и др., 2013]

Ж.2.2 Расчеты распространения взвеси при дноуглублении

Ж.2.2.1 Исходные данные и допущения

Источник загрязнения при дноуглублении земснарядом задавался на среднем по глубине слое сетки в точке с глубинной 3.3 м. Расчеты выполнялись для условий однородной по плотности среды, т.к. 1) в зимний период, когда планируется выполнение работ по дноуглублению, температурная стратификация отсутствует и 2) работы планируются в мелководном районе с глубинами в основном около 5 м, где не должно быть существенной стратификации по солености воды.

Ж.2.2.2 Результаты расчетов

Расчет при дноуглублении многочерпаковым земснарядом выполнялся не на весь период работ (64 суток), а в период с 12 часов 29.01.2010 по 15 часов 15.02.2010 г. продолжительностью 17 суток. Необходимость в детализации расчетной сетки обусловила очень малое допустимое критерием устойчивости конечно-разностной схемы значение шага по времени (1.3 с), что в свою очередь привело к большому времени счета. Расчет на одни сутки занимал примерно столько же времени на компьютере.

На рисунке Ж.4 показан временной ход концентраций ВВ в двух точках. К югу от источника (точка 1) концентрации на порядок выше, чем в расположенной к северу от источника точке 2. Приливной характер течений обусловливает периодические изменения направления распространения облака и временные колебания значений концентраций.

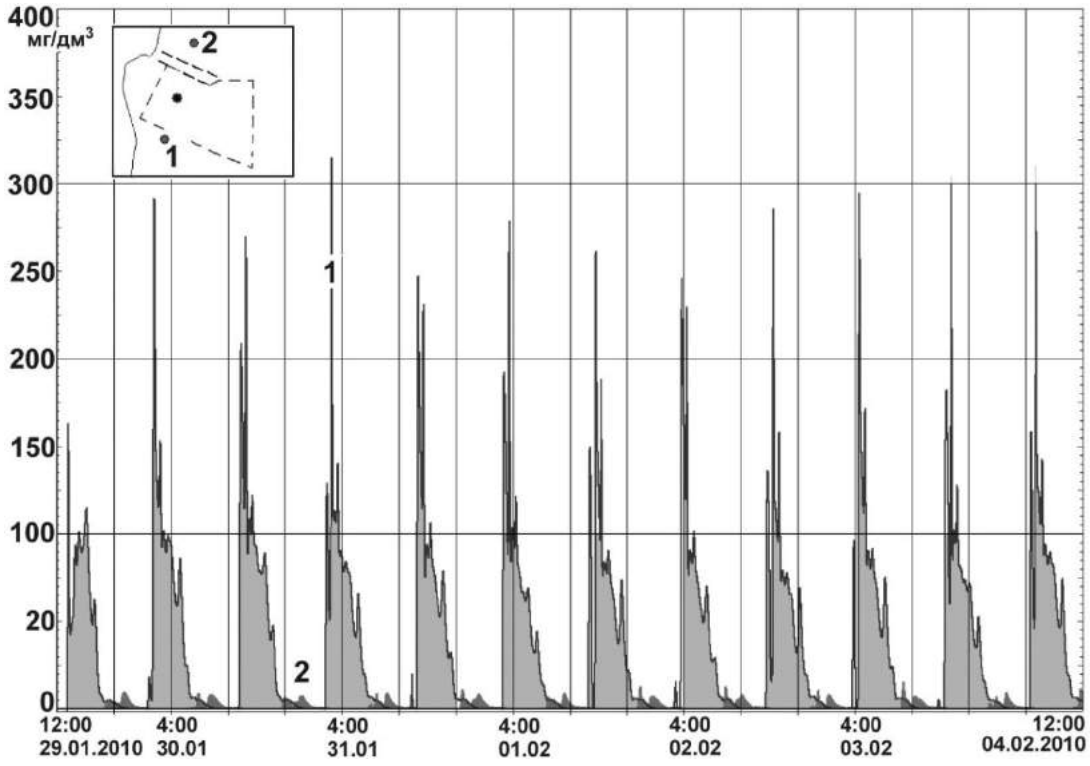


Рисунок Ж.4 – Временной ход концентраций взвешенных частиц (мг/дм^3) в точках 1 и 2 при дноуглублении земснарядом [Клеванный и др., 2013а]

Ж.2.3 Расчеты распространения взвеси при дампинге

Ж.2.3.1 Исходные данные и допущения

По данным натурных наблюдений [Van Parys et al., 2000] при отвале грунта с шаланд он с большой скоростью устремляется в виде плотной массы ко дну. При движении ко дну объем облака сбрасываемого грунта увеличивается, а скорость падения постепенно уменьшается. При большой глубине скорость снижения может уменьшиться до скорости оседания частиц (гидравлической крупности), из которых оно состоит (при расчетах полагается, что все частицы одинаковы [Клеванный и др., 2013]). Облако переходит от фазы расширения к фазе осаждения, в которой динамика облака описывается адвективно-диффузионным уравнением, записанным в трехмерной постановке. Именно на этой глубине и следует задавать источник. Если фаза расширения сохраняется до момента падения облака на дно, источник следует задавать в придонном слое. Для расчета этой глубины в программе используется метод, описанный в работе [Кришнапан, 1980]. В [Иохансон, Боемер, 1980] обсуждается точность этого метода, указывается на сложность исследуемого процесса и неприменимость его к связным грунтам. Кроме глубины, на которой заканчивается стадия расширения, метод позволяет определить радиус, на котором грунт выпадет на дно. В данном случае, согласно расчету по методу, приведенному в [Кришнапан, 1980], фаза расширения сохраняется до падения облака на дно, поэтому источник задавался в придонном слое.

Расчеты были выполнены при задании средневзвешенной скорости оседания равной 0.4 мм/с. Обоснование такого упрощенного подхода дано в [Клеванный и др., 2013]. Там же приведены расчетные мощности источников (т.е. количество грунта, переходящего во взвесь). При сбросе грунта, поднятого плавкраном, во взвесь переходит 0.19 кг/с, а при сбросе грунта, поднятого земснарядом – в 50 раз больше – 9.6 кг/с. Эта разница обусловлена в основном разным гранссоставом сбрасываемых грунтов.

Источник работал в течение 0.1 часа, затем в течение 3.5 часа (для плавкрана) и 2.43 часа (для земснаряда) сброса грунта не было, далее вновь задавался сброс в течение 0.1 часа и т.д. Расчеты по модели района дампинга выполнялись

на период продолжительностью 15 суток (с 12 часов 29.01.2010 до 12 часов 13.02.2010).

Ж.2.3.2 Результаты расчетов объемов облаков взвеси

На рисунке Ж.5 показан временной ход концентраций в ячейке с источником загрязнений (у дна) за 18 часов расчета, начиная с 0 часов 1 февраля (через 2.5 дня после начала сброса грунта в районе дампинга); здесь же приведен временной ход уровня. За это время произошло 8 сбросов: 1) 00:00–00:06, 2) 02:32–0238, 3) 05:04–05:10, 4) 07:36–07:42, 5) 10:08–10:14, 6) 12:40–12:46, 7) 15:12–15:18, 8) 17:44–17:50. Перед началом каждого сброса концентрация в этой ячейке практически нулевая.

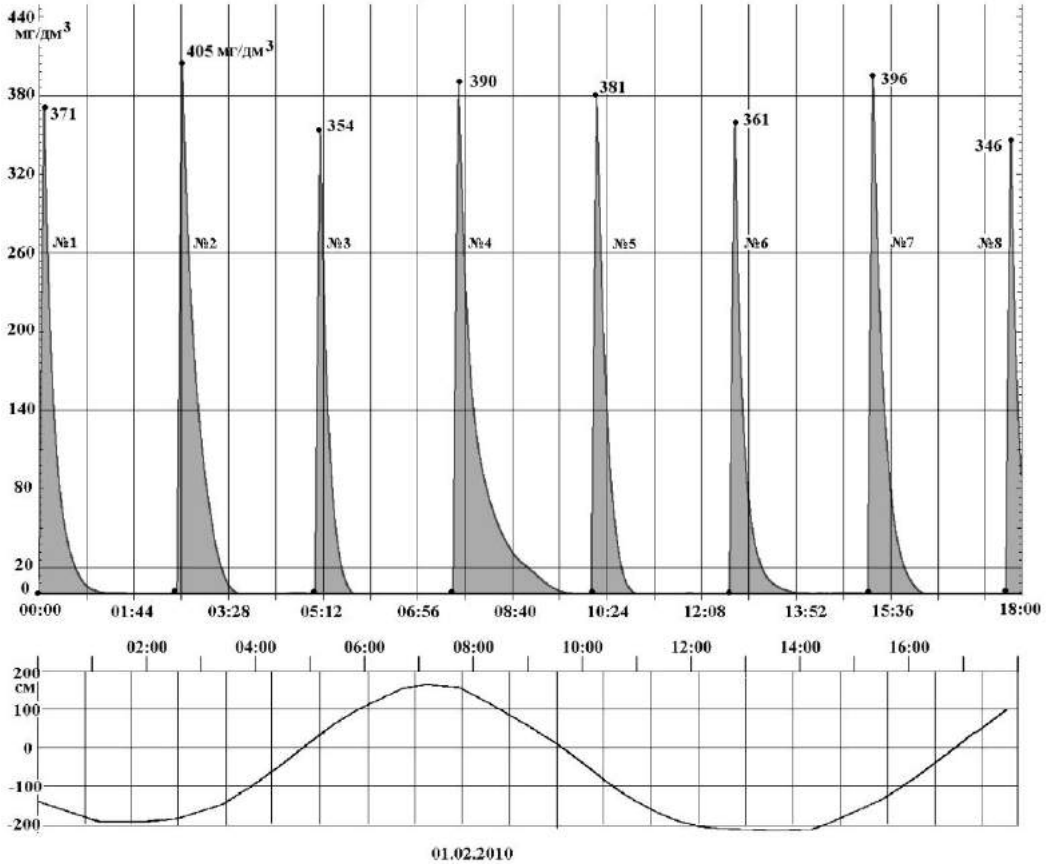


Рисунок Ж.5 – Временной ход концентраций взвешенных частиц (мг/дм^3) в ячейке с источником при отвале при работе земснаряда 01.02.2010 с 0 до 18 часов. Внизу – график хода уровня воды [Клеванный и др., 2013b]

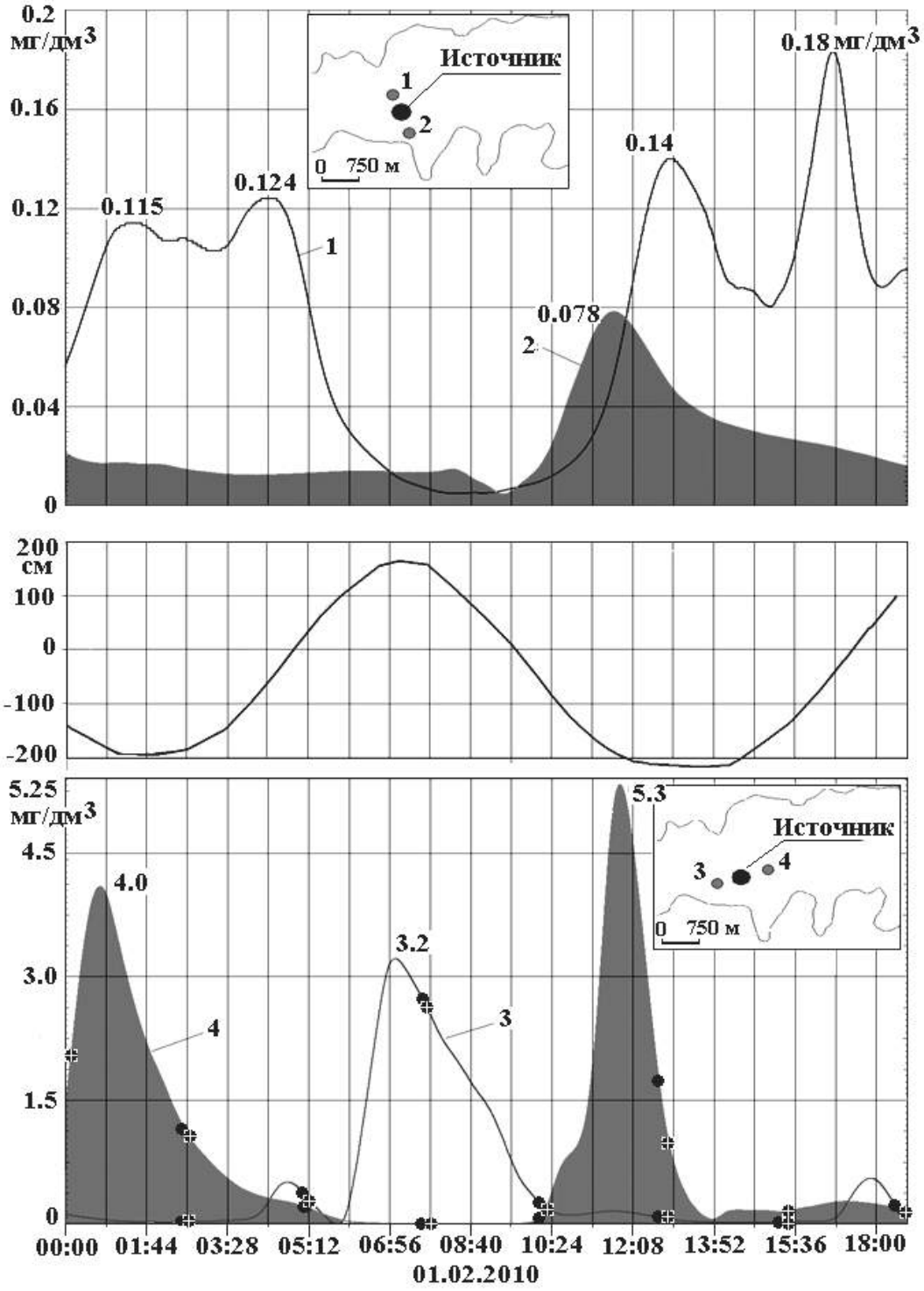
При сбросе (его продолжительность 6 минут) концентрация здесь быстро увеличивается, после окончания сброса падает с меньшей скоростью до нулевых значений. Максимальное значение – 405 мг/дм^3 было при сбросе № 2, который

происходил в момент малой воды. При следующем сбросе, который происходил в момент подъема уровня, концентрация достигала только 354 мг/дм^3. Однако при сбросе в момент следующей малой воды (сброс № 6) концентрации были меньше (361 мг/дм^3) чем при сбросе № 7 в момент подъема уровня (396 мг/дм^3).

Наиболее медленное уменьшение концентраций в расчетной ячейке с источником взвеси до нулевых значений было при сбросе № 4 в момент полной воды – примерно 2 часа. Наиболее быстрое уменьшение концентраций до нулевых значений было при сбросе 3 в момент подъема уровня – примерно 30 минут.

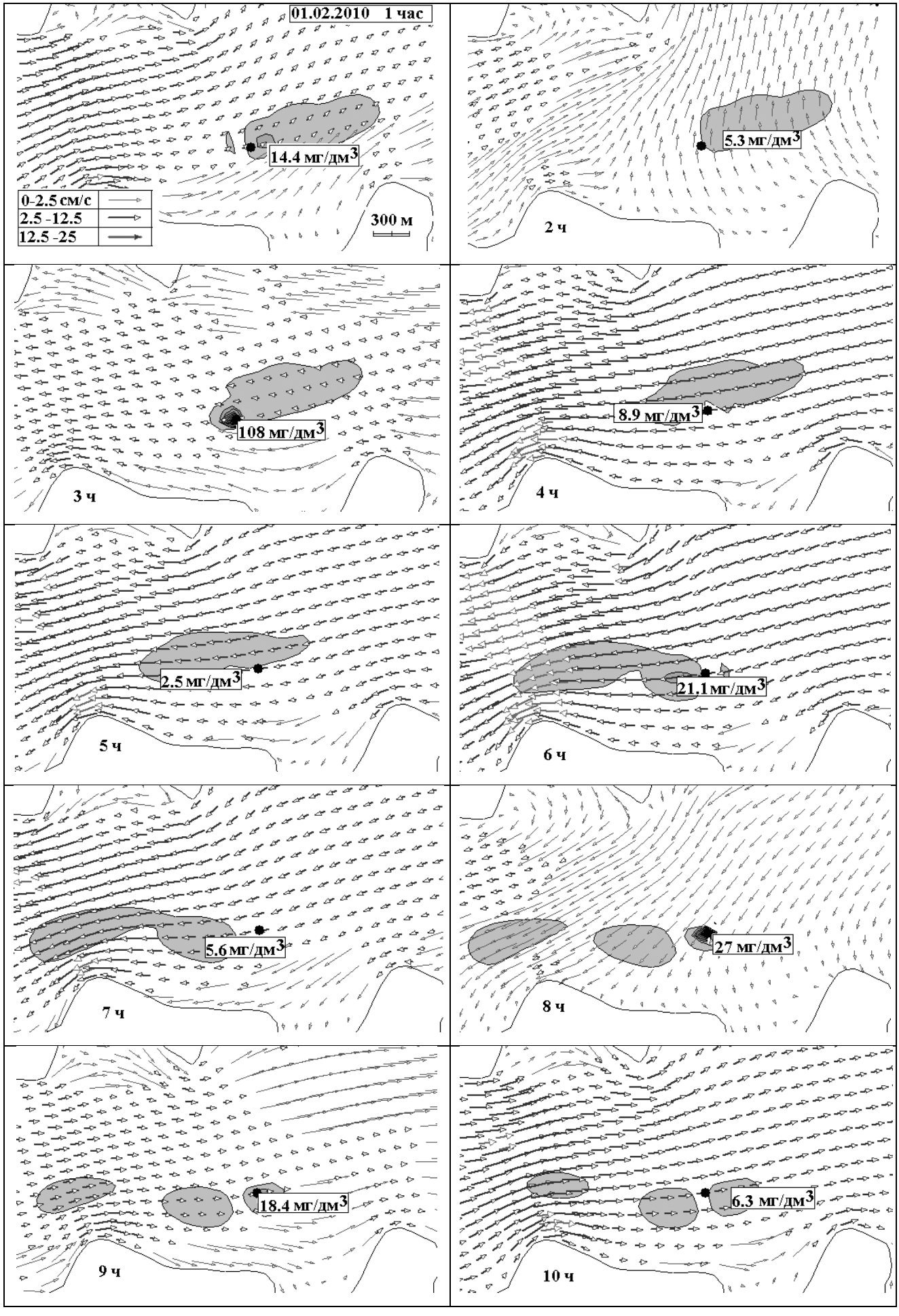
На рисунке Ж.6 представлен более детальный, чем на рисунке 6.12 основного текста, временной ход концентраций в точках 1–4 и уровня за 18 часов расчета, начиная с 1 часа 1 февраля. В этих точках, отстоящих примерно на 500 м от источника, временной ход концентраций не коррелирует с моментами сброса. В точке 3, расположенной ближе к вершине залива от источника, концентрации в целом увеличиваются при приливе, а в точке 4, расположенной мористее, – при отливе.

Динамику пятна взвеси в придонном слое за эти 18 часов расчета с интервалом 1 час показывает рисунок Ж.7, на котором отмечены зоны с концентрациями более 0.25 мг/дм^3. Наличие двух из трех облаков в 8 часов связано с разрывом облака в переменном поле течений, а третье облако в районе источника – новое, образовано сбросом № 4, который закончился в 07:42. Через 12 часов от начала расчета существует одно облако, а еще через час, после сброса № 6 (окончание в 12:46) образовалось еще одно. На рисунке Ж.8 показаны изолинии концентраций взвешенных веществ на продольном вертикальном разрезе, проходящем через источник в момент прилива (06:00) 1 февраля через, примерно, 3 суток работы по сбросам грунта, поднятого земснарядом. Видно, что взвешенные вещества сосредоточены в нижнем придонном слое высотой порядка 10 – 15 м. Такой же результат был получен в [Клеванный, Шавыкин, 2008] при моделировании распространения взвеси в Баренцевом море. На рисунке Ж.8 видны три отдельные зоны с концентрациями выше 0.25 мг/дм^3, но сопоставление с рисунком Ж.7 (06:00) показывает, что две из них принадлежат одному облаку изогнутой формы.



В нижней части рисунка черные кружки – время начала (●) и конца сброса (⊕)

Рисунок Ж.6 – Временной ход концентраций взвешенных частиц (мг/дм^3) в 4-х точках у дна вокруг источника загрязнения при отвале при работе земснаряда 01.02.2010 с 0 до 18 часов; между графиками – временной ход уровня воды в зоне отвала [Клеванный и др., 2013b]


01.02.2010 1 час
14.4 мг/дм3
0-2.5 см/с
2.5 -12.5
12.5 -25
300 м
5.3 мг/дм3
2 ч
108 мг/дм3
3 ч
8.9 мг/дм3
4 ч
2.5 мг/дм3
5 ч
21.1 мг/дм3
6 ч
5.6 мг/дм3
7 ч
27 мг/дм3
8 ч
18.4 мг/дм3
9 ч
6.3 мг/дм3
10 ч

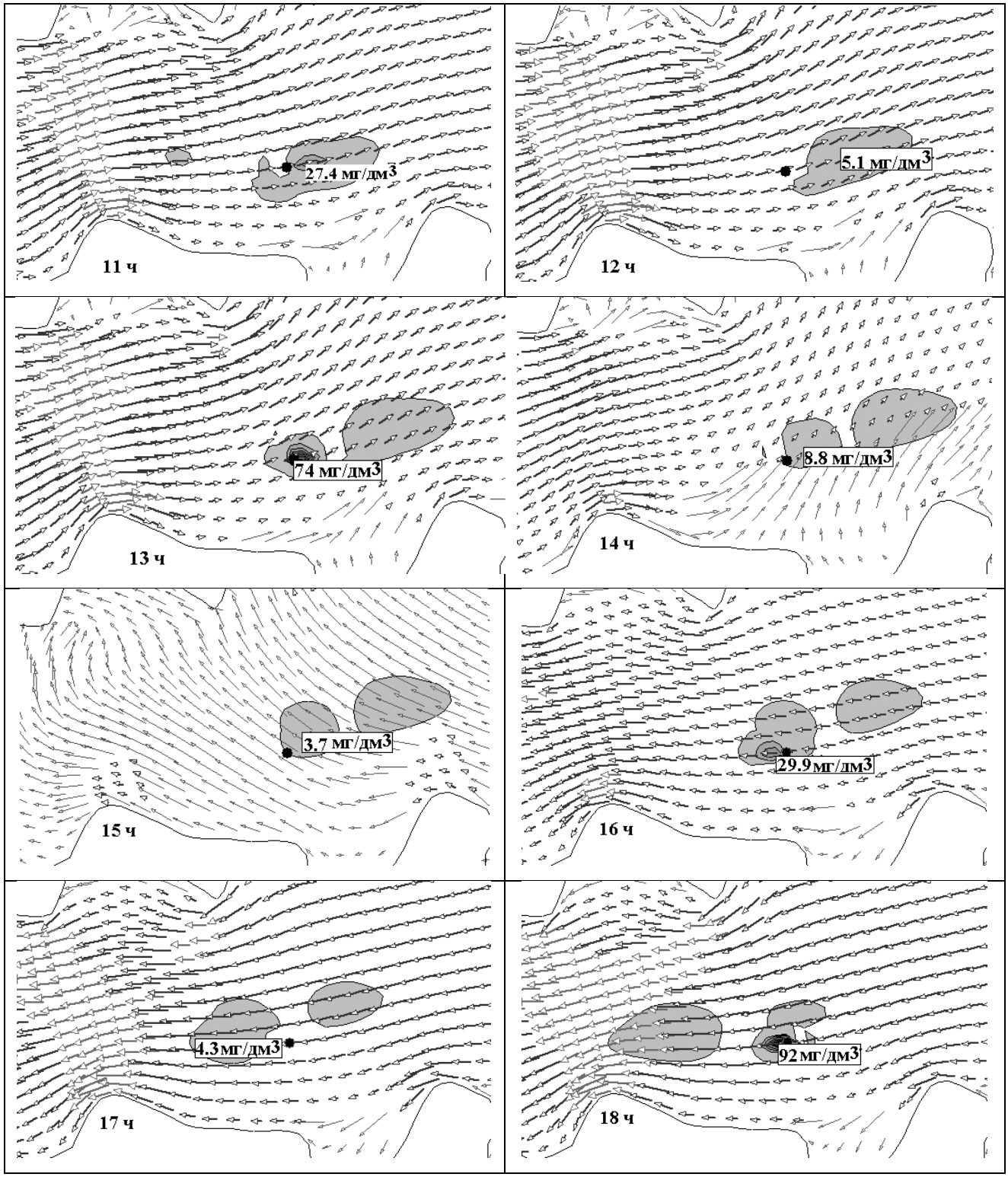
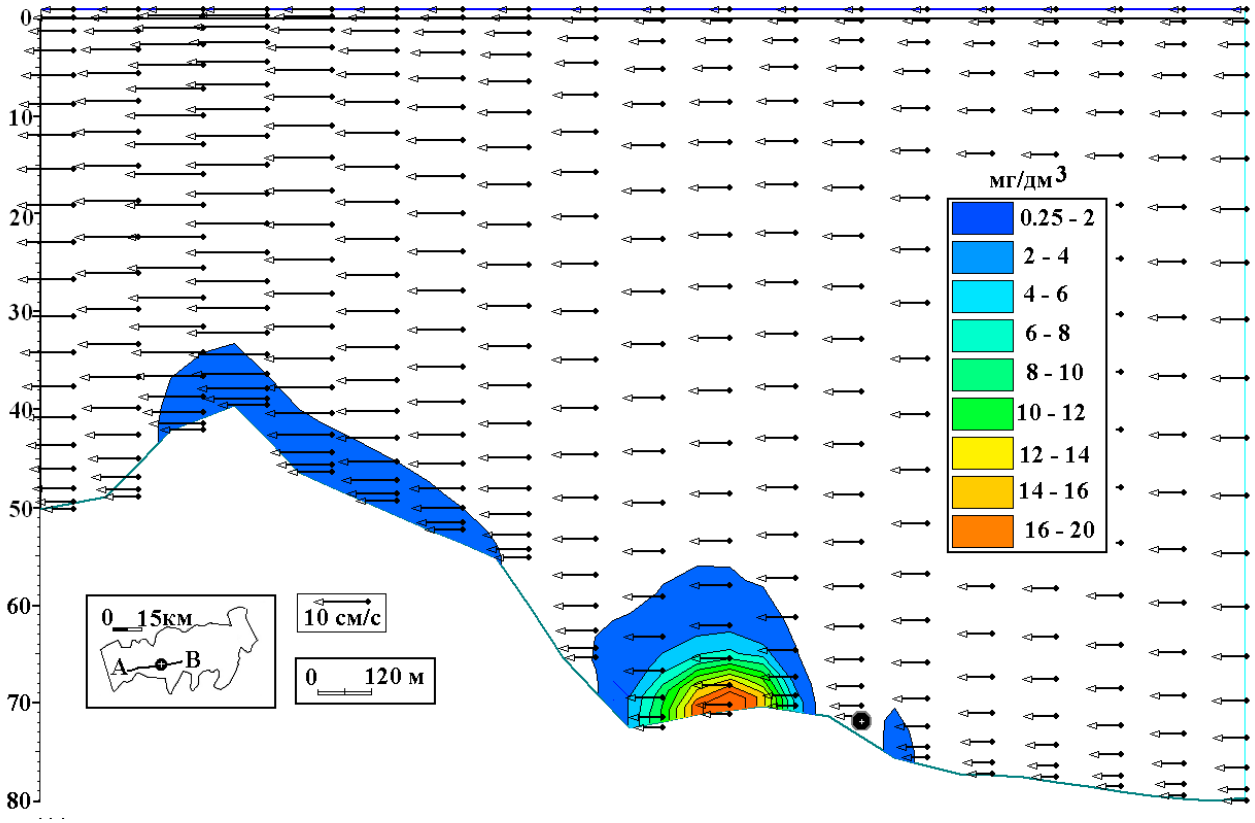


Рисунок Ж.7 – Изолинии концентрации взвешенных веществ у дна с 01 до 18 час. 01 февраля 2010 г. с интервалом 1 час при сбросе грунта, поднятого земснарядом. Показаны области с концентрациями выше 0.25 мг/дм^3 и максимальные значения в облаке взвеси [Клеванный и др., 2013b]



Показаны области с концентрациями выше 0.25 мг/дм^3 и положение источника (⊕)

Рисунок Ж.8 – Изолинии концентраций взвеси и скорости течения воды на вертикальном разрезе А–В, проходящем через источник загрязнения на отвале при работе земснаряда в 06:00 (приливный час –2 час 20 мин) 01 февраля 2010 г. [Клеванный и др., 2013b]

ПРИЛОЖЕНИЕ И

ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕННЫХ КАРТОСХЕМ УЯЗВИМОСТИ ОТ НЕФТИ ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНОВ АРКТИКИ И ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТАКИХ КАРТ

И.1 Построение картосхем уязвимости восточной части Баренцева моря

И.1.1 Годовая цикличность функционирования экосистемы Баренцева моря по различным показателям

Ниже представлено обоснование выбора границ сезонов при построении картосхем уязвимости восточной части Баренцева моря от нефти [Шавыкин, Ильин, 2010].

При рассмотрении уязвимости Баренцева моря от разливов нефти необходимо учитывать периодические изменения, происходящие в течение года во всей экосистеме моря, в его различных районах и в отдельных компонентах экосистемы. В абиотических компонентах это касается освещённости, температуры воздуха и водной среды, волнения и др. В биотических — это распределение биомассы/численности фито-, зоо-, ихтиопланктона, ихтиофауны, бентоса, морских млекопитающих и птиц. Полная информация о периодической изменчивости состояния всех компонентов экосистемы может быть получена из непрерывных измерений интересующих нас параметров или в результате помесячного осреднения значений этих параметров. Однако для исследуемого района Баренцева моря (как и для всего моря в целом) такой информации нет. Поэтому, исходя из общей практики исследований, целесообразно структурировать годовую цикличность изменчивости по периодам (этапам) наиболее выраженных состояний экосистемы. Самые значимые изменения в состоянии абиотических и биотических компонентов определяются как сезонные изменения. А период времени, в течение которого те или иные показатели экосистемы (температура, численность, продукция и др.) остаются относительно устойчивыми или равномерно варьируют в сравнительно узком постоянном интервале значений, называют сезоном. Обычно выделяют

следующие сезоны: календарные, астрономические, климатические, гидрологические, биологические и др.

Анализ годовых циклов параметров большой баренцевоморской экосистемы показывает, что временные рамки сезонной изменчивости различных компонентов даже в пределах изучаемого района не совпадают с границами какого-либо одного сезона. В рамках нашего исследования уязвимости различных участков баренцевоморской экосистемы от разливов нефти сформулируем условия, которым, на наш взгляд, должны удовлетворять выделенные периоды (сезоны):

1) в определённой степени (хотя и не вполне строго) они должны совпадать с климатическими, гидрологическими и биологическими сезонами;
2) это должны быть временные интервалы, которые описываются календарными месяцами, так как вся используемая первичная информация в различных источниках усреднена, как правило, по месяцам;
3) указанные периоды должны иметь примерно равную длительность, в нашем случае, это соответствует трём месяцам.

Как известно, **календарные сезоны** определяются следующим образом: *зима* — декабрь, январь, февраль; *весна* — март, апрель, май; *лето* — июнь, июль, август; *осень* — сентябрь, октябрь, ноябрь. Условная схема деления года на календарные и все остальные, рассматриваемые далее сезоны, показана в таблице И.1.

Астрономические сезоны — зима, весна, лето, осень — разграничиваются сроками равноденствия и солнцестояния. Начало основных астрономических сезонов года: весна – 20 марта, лето – 21 июня, осень – 22 сентября, зима – 21 декабря. Даты весны и осени — это дни соответствующего равноденствия, зима — день зимнего солнцестояния, лето — день летнего солнцестояния [Большой новейший …, 2005], таблица И.1.

Климатические сезоны года характеризуются определёнными соотношениями климатообразующих факторов: радиационных и циркуляционных процессов, состояния подстилающей поверхности и др. Распределение очагов

тепла и холода способствует возникновению определённой формы атмосферной циркуляции, соответствующей сезону.

Для определения границ естественных климатических сезонов в Баренцевом море используют различные критерии. Атмосферное давление определяет физическое состояние всей толщи атмосферы, обусловливает возникновение определённых ветровых потоков. Поэтому наиболее обоснованным для деления года на сезоны, с точки зрения климатических изменений, является изменение циркуляции атмосферы. По этим признакам в Баренцевом море выделяют зиму, весну, лето, осень. Условно принята следующая структура климатических сезонов Баренцева моря — зима (ноябрь–апрель), весна (май–июнь), лето (июль–август), осень (сентябрь–октябрь) – [Гидрометеорология…, 1990], таблица И.1.

Таблица И.1 – Временные границы различных сезонов в Баренцевом море

Сезоны	I январь	II февраль	III март	IV апрель	V май	VI июнь	VII июль	VIII август	IX сентябрь	X октябрь	XI ноябрь	XII декабрь
Календарные												
Астрономические												
Климатические[x]												
Гидрологические[x]												
Гидрохимические[xx]												
Биологические[xxx]												
Биологические[xx]												
По балансу тепла[x]												
ПРИНЯТЫЕ для дальнейшего анализа												
Сезоны	ЗИМА (I кв.)			ВЕСНА (II кв.)			ЛЕТО (III кв.)			ОСЕНЬ (IV кв.)		

[x] по: [Гидрометеорология …, 1990],
[xx] по: [Несветова, 2002],
[xxx] по: [Биологический атлас …, 2000]

Гидрологический сезон – это часть года, выделяемая по комплексу гидрологических признаков. Внутри каждого сезона должна существовать свойственная только этой части года тенденция изменений параметров водной среды и обусловливающих их физических процессов. Поскольку факторы, определяющие

естественные гидрологические сезоны, имеют межгодовую изменчивость, их параметры варьируют от года к году [Булатов, Панфилова, 1995; цит. по: Бойцов, 2006].

Для Баренцева моря наиболее важными физическими факторами являются изменения вертикальной структуры вод и ледового покрова [Гидрометеорология…, 1990]. В годовой динамике избранных интегральных показателей выделено четыре сезона: зима, весна, лето, осень.

Основным отличием гидрологического режима летом является существование пикноклина и верхнего квазиоднородного слоя, который наиболее отчётливо выражен в июле–августе практически на всей акватории моря. Для осени характерны процессы ветрового и конвективного перемешивания, разрушение квазиоднородного слоя, перестройка структуры вод и циркуляции атмосферы, что сопровождается быстрым продвижением кромки льда к югу и западу с сентября по ноябрь, в последующие месяцы продвижение замедляется. Зимний режим устанавливается с декабря по апрель, для него характерны конвективное перемешивание вод до глубинных слоёв, медленное выхолаживание вод и вертикальная однородность гидрологических характеристик. Весенний прогрев, вследствие большой инерционности гидрологических и ледовых условий, намного запаздывает по отношению к астрономической весне и приходится в основном на май–июнь. В зависимости от района моря и специфики тех или иных элементов режима границы сезонов могут отличаться от указанных выше.

Гидрологические сезоны в целом для Баренцева моря таковы. Зима — декабрь–апрель, весна — май–июнь, лето — июль–август, осень — сентябрь–ноябрь [Гидрометеорология…, 1990]; таблица И.1.

Гидрохимические сезоны выделены в Баренцевом море Г.И. Несветовой [2002] на основе анализа годовой динамики основных гидрохимических показателей (содержания в воде кислорода и фосфатов). В ее работе проведен анализ указанных параметров и использован аппарат кластерного анализа. Изменчивость гидрохимических характеристик вод Баренцева моря в течение года по сезонам позволяет выявить их точные границы. Декабрь, январь, февраль и март в Барен-

цевом море однозначно являются зимними месяцами; апрель – месяц весенний; июнь, июль, август – летние месяцы; октябрь – осенний. Май следует считать переходным месяцем от весны к лету, в 50 % случаев он относится к весеннему сезону, в 50 % — к летнему. Схожая ситуация отмечена в сентябре, он является переходным от летнего сезона к осеннему, а ноябрь – промежуточный период между осенью и зимой [Несветова, 2002]. Чётких границ сезонов, интегрирующих изменчивость обоих гидрохимических показателей, не выделено (таблица И.1).

Биологические сезоны. Сроки начала и развития биологических сезонов определяются, с одной стороны, внутренними биологическими причинами (физиологическим состоянием, количественными и качественными изменениями биоценозов и др.) и с другой — сезонными явлениями, происходящими в окружающей среде (освещённостью, температурной, плотностной структурой вод и др.). Поэтому сроки наступления и продолжительность биологических сезонов не связывают с конкретными датами, а соотносят с наступлением характерных сезонных явлений. Существуют лишь примерные границы смены биологических сезонов, варьирующие из года в год и различающиеся для различных групп организмов.

По характерным изменениям в жизненном цикле фитопланктона на протяжении года, биологические сезоны определяются как: весна – середина марта–начало июня; лето – конец июня–конец августа; осень – середина сентября–начало ноября; зима – начало ноября–середина марта – [Биологический атлас…, 2000], таблица И.1.

Другая схема биологических сезонов рассчитана по изменчивости гидрохимических параметров в верхнем продукционном слое [Несветова, 2002]. В основу такого деления положен анализ вертикальной сезонной динамики фосфатов в различных районах Баренцева моря. На основе этого анализа сделан вывод, что в большинстве районов Баренцева моря весенний период длится с апреля по июль, летний – с июля по август, осенний – с сентября по ноябрь, зимний – с декабря по март (таблица И.1).

Сезоны по тепловому балансу моря. Колебания температуры воды во времени имеют сложный характер. Они определяются соотношением приходящей на морскую поверхность тепловой энергии и её потерями в атмосферу, а также интенсивностью перераспределения тепла в результате горизонтальной и вертикальной циркуляции [Малинин, Гордеева, 2003; Бойцов, 2006].

Тепловой баланс поверхности моря (результирующий поток тепла через морскую поверхность) B представляет собой алгебраическую сумму радиационного баланса R, турбулентного потока тепла (с поверхности моря) $H_т$ и затрат тепла на испарения LE ($B = R+H_т+LE$). Здесь радиационный баланс R определяется как разность между поглощённой солнечной радиацией и эффективным излучением поверхности моря; турбулентный теплообмен $H_т$ зависит от плотности воздуха, теплоёмкости воздуха при постоянном давлении, коэффициента теплообмена, разности температур поверхности моря и воздуха, а также скорости ветра.

Зимой (январь–март) отрицательный теплообмен B превышает адвекцию $A_{0\text{-}200}$, что приводит к понижению теплосодержания водных масс моря $Q_{T,0\text{-}200}$. Весной (апрель–июнь) на морскую поверхность поступает значительно больше тепловой энергии, чем ее уходит в атмосферу ($B>0$), наблюдается увеличение температуры воды в верхнем слое и рост теплосодержания водных масс ($Q_{T,0\text{-}200}>0$). Летом (июль–сентябрь) продолжается увеличение температуры воды, главным образом за счет увеличения адвекции (летом $A_{0\text{-}200}$ > чем $A_{0\text{-}200}$ весной), поскольку тепловой поток B на морскую поверхность поступает уже меньше чем весной. Осенью (октябрь–декабрь) адвекция вносит определенный вклад в увеличение теплового баланса водных масс, однако их более интенсивная теплоотдача в атмосферу вызывает уменьшение теплосодержания вод ($Q_{T,0\text{-}200} < 0$, так как тепловой поток B везде отрицателен и превосходит по абсолютной величине адвекцию $A_{0\text{-}200}$) [Бойцов, 2006]. Объединение сделано с учётом соотношения значений этих величин по отдельным месяцам [Гирдюк, 1992].

На основании вышеизложенного можно утверждать, что выделение сезонных циклов по динамике теплового баланса в наибольшей степени соответствует сформулированным нами условиям и примерно согласуется с сезонной структу-

рой годового цикла других важных параметров экосистемы (таблица И.1). Для удобства дальнейших исследований, унификации периодов расчёта и осреднения показателей принята следующая сезонная структура сезонов:

Зима (I квартал) – январь–март
Весна (II квартал) – апрель–июнь
Лето (III квартал) – июль–сентябрь
Осень (IV квартал) – октябрь–декабрь.

И.1.2 Коэффициенты уязвимости групп биоты на основе расчетов оценок летального воздействия

Коэффициенты уязвимости групп биоты. Несмотря на противоречивость многочисленных сведений об уязвимости организмов от содержания углеводородов нефти в воде и донных осадках, возможно примерное ранжирование пороговых эффектов в биотических сообществах – порогов чувствительности, обратимых реакций, летальных концентраций (таблица И.2).

Таблица И.2 – Шкала пороговых концентраций НУ, ранжирующих смену качественных эффектов функционирования морских гидробионтов, мг/л [Шавыкин, Ильин, 2010]

Гидробионты	Концентрации углеводородов нефти			
	Не эффективные	Обратимые эффекты	Сублетальные эффекты (СЛК)	Летальные эффекты (ЛК)
Фитопланктон	< 0.05	0.05	10.0	100.0
Зоопланктон	< 0.05	1.0	5.0	10.0
Ихтиопланктон	< 0.01	0.1	0.5	1.0
Зообентос	< 0.5	1.0	10.0	25.0
Рыбы	< 0.5	50.0	500.0	1500.0
Птицы	< 0.05	0.05	0.5	1.0
Морские млекопитающие:				
китообразные	< 500.0	500.0	1500.0	20*
тюлени	< 500.0	500.0	1500.0	20*
морж	< 10.0	10.0	25.0	20*

* Летальная концентрация в процентах

В отличие от обратимых и сублетальных концентраций, летальные концентрации более достоверно регистрируются и вызывают самые серьезные наруше-

ния биоценозов, проявляющиеся в гибели значительной доли организмов. Поэтому при оценке интегральной уязвимости моря, определение частных коэффициентов уязвимости целесообразно проводить на сопоставлении летальных концентраций (ЛК). Подробное обоснование коэффициентов (таблица И.2) дано в отчете [Отчет по х/д. Оценка интегральной …, 2009а].

Наибольшей уязвимостью от нефтяного загрязнения характеризуются икринки и личиночные стадии развития гидробионтов. Очень уязвимы к нефтяному загрязнению вод птицы в холодных климатических условиях, наименее — морские млекопитающие, имеющие высокую степень защиты от внешней среды и высокоорганизованную нервную систему, позволяющую избегать загрязненных участков. Возможно, отдельные оценки приведены здесь с большими допущениями, но с учетом больших неопределенностей в исходных данных и сложности задачи, сделанные на данном этапе оценки вполне приемлемы.

Оценка коэффициентов уязвимости основных групп морских гидробионтов от действия нефти и нефтепродуктов. Расчет интегральной уязвимости локальных участков Баренцева моря выполняется на основе уязвимости биоценозов, развивающихся в том или ином районе моря. Учитывая неоднородность (неравномерность) качественных и количественных показателей морской экосистемы, значение каждого биоценоза может быть учтено через «коэффициент уязвимости» основных экологических групп. Наиболее приемлемой основой для расчета таких коэффициентов является показатель летальной концентрации (ЛК) нефтяных углеводородов (таблица И.2). Расчет коэффициентов уязвимости, выполненный на основе ЛК для этих экологических групп, приведен в таблице И.3. Расчет коэффициентов уязвимости основан на соотношении летальных концентраций. К примеру, концентрация НУ, летальная для фитопланктона (100 мг/л), способна вызвать десятикратную гибель зоопланктона в том же районе или вызвать гибель зоопланктона в районе в 10 раз более обширном. По отношению к ихтиопланктону кратность летального эффекта данной концентрации и, соответственно, уязвимость ихтиопланктона, увеличивается до 100 (таблица И.2). Подобные соотношения ЛК, а, следовательно, уязвимости можно рассчитать для любых

комбинаций биоценотических групп. Вместе с тем, использование коэффициентов различающихся более чем на пять порядков крайне неудобно. Лучше всего воспользоваться при их исчислении логарифмическим масштабом (столбец 3 в таблице И.3) и перейти к нормированной шкале, приведенной (рассчитанной) по одному экстремальному показателю летального эффекта. В частности, наименее уязвимому компоненту (наиболее высокая ЛК) присваивается коэффициент уязвимости равный 1. Тогда максимально уязвимый компонент (самая низкая ЛК) принимает максимальный коэффициент уязвимости. Расчет нормированного коэффициента уязвимости на основе lg (ЛК) приведен в таблице И.3 (столбец 4)

В итоге, наименее уязвимыми являются морские млекопитающие (W = 1) и рыбы (W = 3.1), наиболее уязвимыми — птицы (W = 6.3) и ихтиопланктон (W = 6.3), что в самых общих чертах согласуется с экспертными оценками, приведенными в более ранних работах [Погребов, Пузаченко, 2003; Отчет по х/д. Оценка интегральной …, 2009а; Погребов, 2010].

Таблица И.3 – Расчет коэффициентов уязвимости W, выполненный с учетом летальных концентраций НУ и поведения основных экологических групп гидробионтов [Шавыкин, Ильин, 2010]

Группа гидробионтов	**ЛК, мг/л**	**lg (ЛК)**	**W = max lg(ЛК)+[1–lg(ЛК)]**
Фитопланктон	100	2	5.3 + (1 – 2) = 4.3
Зоопланктон	10	1	5.3 + (1 – 1) = 5.3
Ихтиопланктон	1	0	5.3 + (1 – 0) = 6.3
Зообентос	25	1.4	5.3 + (1 – 1.4) = 4.9
Ихтиофауна	1500	3.2	5.3 + (1 – 3.2) = 3.1
Птицы	1	0	5.3 + (1 – 0) = 6.3
Морские млекопитающие	$2 \cdot 10^5$	5.3	5.3 + (1 – 5.3) = 1.0

Исходные данные сезонного распределения биоты. Исходные картосхемы распределения указанных групп биоты, представленные специалистами соответствующего профиля показывают сезонное ранжированное (три ранга) распределение соответствующих компонент экосистемы. В полном объеме они приведены в работе [Шавыкин, Ильин, 2010].

И.1.3 Картосхемы уязвимости биоты восточной части Баренцева моря

Расчет каросхем без учета межсезонных различий количественных показателей обилия основных групп гидробионтов (I этап). На данном этапе учитывается сезонное ранжированное распределение биотических компонентов экосистемы (ранги 1, 2, 3 и 0) и их специфическая уязвимость при действии нефти.

Интегральная уязвимость участка определяется как результат суммирования произведений ранжированной (ранги 1, 2, 3) численности (или биомассы) компонента биоты в конкретный сезон на коэффициент уязвимости этого компонента от действия нефти. В качестве инструмента для расчета интегральной уязвимости (ИУ) Баренцева моря в среде ArcGIS 9.0 на языке программирования Visual Basic for Applications был создан программный модуль, позволяющий производить «суммирование» картосхем распределения различных параметров с использованием следующей формулы:

$$\mathbf{ИУ} = W_p \cdot Y_p + W_z \cdot Y_z + W_i \cdot Y_i + W_b \cdot Y_b + W_f \cdot Y_f + W_m \cdot Y_m + W_o \cdot Y_o \qquad (И.1)$$

где

ИУ – интегральная уязвимость небольшого участка моря в условных единицах;

$\mathbf{Y_p, Y_z, Y_i, Y_b, Y_f, Y_m, Y_o}$, – ранжированная численность или биомасса объекта (компонента экосистемы); значения рангов от 0 до 3 для фито- (p), зоо- (z), ихтиопланктона (i), бентоса (b), орнитофауны (птиц) (o); от 0 до 5 для рыб (ихтиофауны) (f) и морских млекопитающих (m);

$\mathbf{W_p, W_z, W_i, W_b, W_f, W_m, W_o}$, – установленные в пункте И.1.2 весовые коэффициенты (коэффициенты относительной уязвимости) для каждого из анализируемых компонентов экосистемы (таблицы И.3 и И.4).

Дробные коэффициенты для удобства вычислений переведены в целые числа умножением на 10 (столбец 5 в таблице И.4). Учитывалось, что для ихтиофауны и морских млекопитающих приняты ранги 0, 1–5, а для остальных компонентов 0, 1–3. Поэтому при использовании формулы (И.1) произведение ранжиро-

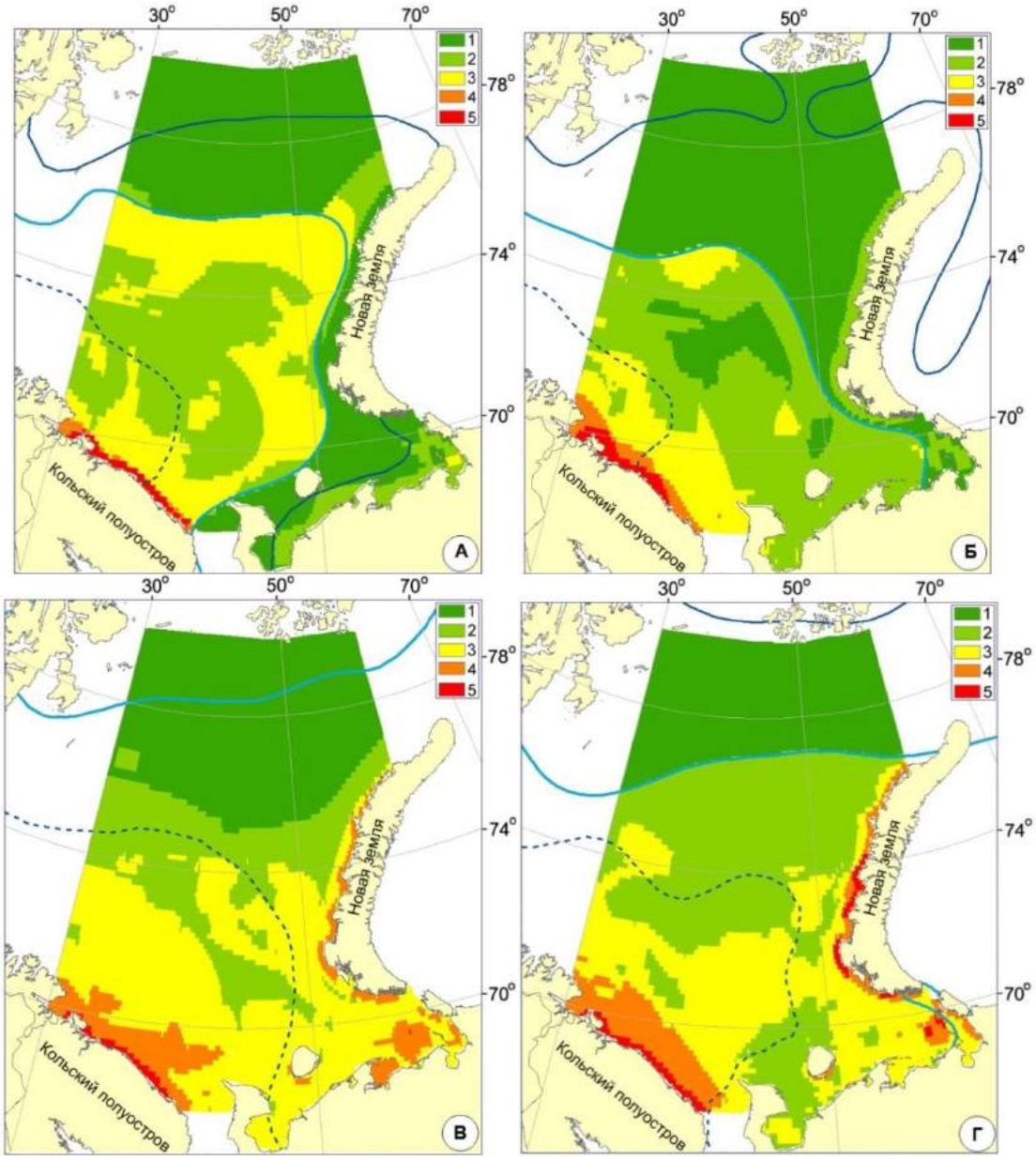
ванной численности (биомассы) объекта и весового коэффициента для рыб ($W_f \cdot Y_f$) и морских млекопитающих ($W_m \cdot Y_m$) дополнительно умножалось на (3/5), чтобы вклад всех компонентов примерно соответствовал начальным исходным данным и вклад в итоговую картсхему уязвимости определялся только рангом компонентов и их коэффициентом уязвимости.

Таблица И.4 – Коэффициенты относительной уязвимости основных групп гидробионтов при нефтяном загрязнении Баренцева моря [Шавыкин, Ильин, 2010]

Группа гидробионтов	**Индекс**	**Исходный**	**Скорректированный с учетом числа рангов**	**Итоговый**
Фитопланктон	p	4.3	4.3	43
Зоопланктон	z	5.3	5.3	53
Ихтиопланктон	i	6.3	6.3	63
Бентос **< 20 м**	b	4.9	4.9	49
> 50м		4.9	4.9:2 = 2.4	24
Рыбы	f	3.1	3.1·(3:5) = 1.9	19
Морские млекопитающие	m	1.0	1.0·(3:5) = 0.6	6
Птицы	o	6.3	6.3	63

В программе для расчета ИУ Баренцева моря исходные картосхемы для обработки представляются в виде полигональных шейп-файлов, на картосхемах заданы области (полигоны) ранжированного распределения численности (биомассы) каждого компонента биоты (ранги 1, 2, 3).

Полигональные картосхемы преобразуются в растровый формат ESRI GRID с заданным размером ячейки в единицах картосхемы. Затем картосхемы рангового распределения биомассы (численности) отдельных групп гидробионтов (p, z, i, b, f, m, o) (значения ячеек отдельных картосхем) в программе умножаются на соответствующие им весовые коэффициенты и суммируются согласно формуле (И.1). Полученные в результате суммирования интегральные картосхемы показаны на рисунке И.1 для пяти равных диапазонов уязвимости.



А – зима (I кв.), Б – весна (II кв.), В – лето (III кв.), Г – осень (IV кв.). Распределение представлено для 5 рангов. Использовались коэффициенты таблицы И.4 (столбец 5 – итоговый коэффициент) размер ячейки 0.13º

Рисунок И.1 – Картосхемы «относительной» интегральной уязвимости Баренцева моря по сезонам без учета межсезонных различий в распределении обилия гидробионтов (семь компонентов экосистемы) [Шавыкин, Ильин, 2010]

Значения гридкода (GRIDCODE), получаемые при «суммировании» картосхем, интерпретируется как значения интегральной уязвимости (ИУ) района в безразмерных (условных) единицах. Далее мы будем называть эти значения интегральной уязвимостью (ИУ) района или участка. Эти значения уязвимости, ранжируются по 5-ранговой шкале и картографируются в значениях рангов. Можно проводить анализ полученных данных как по абсолютным значениям уязвимости (значениям гридкода), так и по значениям рангов соответствующей шкалы. Для

анализа важны и ранги, и значения границ рангов (интервалов). Все картосхемы представляются в одной географической проекции. Размер выходной ячейки равен 0.13º по широте и долготе. Это соответствует площадям такой ячейки на разной широте: 68–69º с.ш. – 77. 2 км^2, 78–79º с.ш. – 42.0 км^2.

Расчет картосхем уязвимости с учетом межсезонных количественных различий в распределении обилия гидробионтов (II этап). При анализе результатов, представленных на рисунке И.1 и в таблице И.5, можно отметить, что различия показателей интегральной уязвимости районов моря разных сезонов малы.

Таблица И.5 – Результаты статистики классификации ячеек картосхем рисунка И.1, усл. ед. ИУ [Шавыкин, Ильин, 2010]

Сезон	Среднее значение	Среднее квадратич. отклонение	Максимальное значение	Минимальное значение
Зима (I кв.)	211	95	581	98
Весна (II кв.)	258	116	768	155
Лето (III кв.)	319	148	863	92
Осень (IV кв.)	244	116	632	92

Так, среднее значение уязвимости для всего района составляет летом 319 усл. ед. (максимальное значение для всех сезонов), а зимой – 211 усл. ед. (минимальное значение для всех сезонов). Показатели различаются примерно в 1.5 раза. Это неадекватно отражает реальные сезонные различия и вызвано необходимостью применения удобного математического подхода для вычислений, в частности, использования пошагового ранжирования исходных данных по биомассе (численности) на небольшое число рангов (0, 1–3 для каждого сезона) независимо от диапазона значений биомассы (численности) групп гидробионтов.

Для более корректного сравнения уязвимости Баренцева моря между сезонами необходимо ввести дополнительный «межсезонный коэффициент» компонента биоты в каждом сезоне, отражающий соотношение обилия каждой группы гидробионтов между сезонами. Поэтому в дальнейших расчетах на основе экспертных оценок для основных биологических объектов экосистемы Баренцева моря в районе исследования были приняты соотношения их численности (биомассы) между сезонами (таблица И.6).

Умножение слагаемых в формуле И.1 дополнительно на коэффициенты таблицы И.6 привело бы к большим диспропорциям; поэтому было проведено нормирование коэффициентов таблицы И.6 для того, чтобы сумма сезонных коэффициентов для каждого компонента была равна за год одному и тому же условно выбранному значению (в нашем случае – 500).

Таблица И.6 – Межсезонные коэффициенты соотношения биомассы и численности основных компонентов экосистемы Баренцева моря (экспертные оценки) [Шавыкин, Ильин, 2010]

Компонент экосистемы	Зима (I кв.)	Весна (II кв.)	Лето (III кв.)	Осень (IV кв.)	Эксперт, организация
Фитопланктон	10	1000	200	90	В.В. Ларионов, ММБИ
Зоопланктон	2	50	100	50	В.В. Дворецкий, ММБИ
Ихтиопланктон	3	29	18	0	О.В Карамушко, ММБИ
Бентос	12	12	14	12	–
Пелагические рыбы	2	10	4	8	О.В Карамушко, ММБИ
Донные рыбы	1	2	10	9	
Проходные рыбы	0	3	10	5	Е.Г. Берестовский, ММБИ
Морские млекопитающие	2	15	30	3	С.В. Зырянов, ПИНРО; Ю.И. Горяев, ММБИ
Птицы	2	16	26	6	Ю. В. Краснов, ММБИ

При этом коэффициенты для пелагических и донных рыб таблицы И.6 рассматривались как единое целое и их сумма (24+22) полностью переводилась в 500 единиц. Полученные нормированные сезонные коэффициенты приведены в таблице И.7.

В результате были построены сезонные картосхемы интегральной уязвимости Баренцева моря (рисунок И.2). При этих расчетах в программе использовались коэффициенты, приведенные в таблице И.8, полученные умножением коэффициентов относительной уязвимости основных компонент экосистемы (таблица.

И.4, столбец 5) на нормированные сезонные коэффициенты (НСК) для этих компонентов (таблица И.7).

Таблица И.7 – Нормированные межсезонные коэффициенты для сравнения интегральной уязвимости Баренцева моря между сезонами (с учетом экспертных оценок, приведенных в таблице И.6) [Шавыкин, Ильин, 2010]

Компонент экосистемы	Зима (I кв.)	Весна (II кв.)	Лето (III кв.)	Осень (IV кв.)
Фитопланктон	4	384	77	35
Зоопланктон	5	124	247	124
Ихтиопланктон	30	290	180	0
Бентос	120	120	140	120
Пелагические рыбы	22	109	43	87
Донные рыбы	11	22	108	98
Проходные рыбы	0	0	0	0
Морские млекопитающие	20	150	300	30
Птицы	20	160	260	60

Картосхемы, построенные по сумме семи компонентов с учетом сезонных различий (5 градаций) являются итоговыми для каждого сезона (рисунок И.2). Чтобы наглядно проводить сравнение сезонных различий, эти картосхемы следует построить в одной и той же ранговой шкале с одинаковыми численными значениями границ интервалов рангов. Для этого по всем четырем сезонам были построены картосхемы по шкале интегральной уязвимости, разделенной на пять равных интервалов от минимального значения гридкода зимой (3 501) до максимального весной (164 828) (рисунок И.3, таблица И.10).

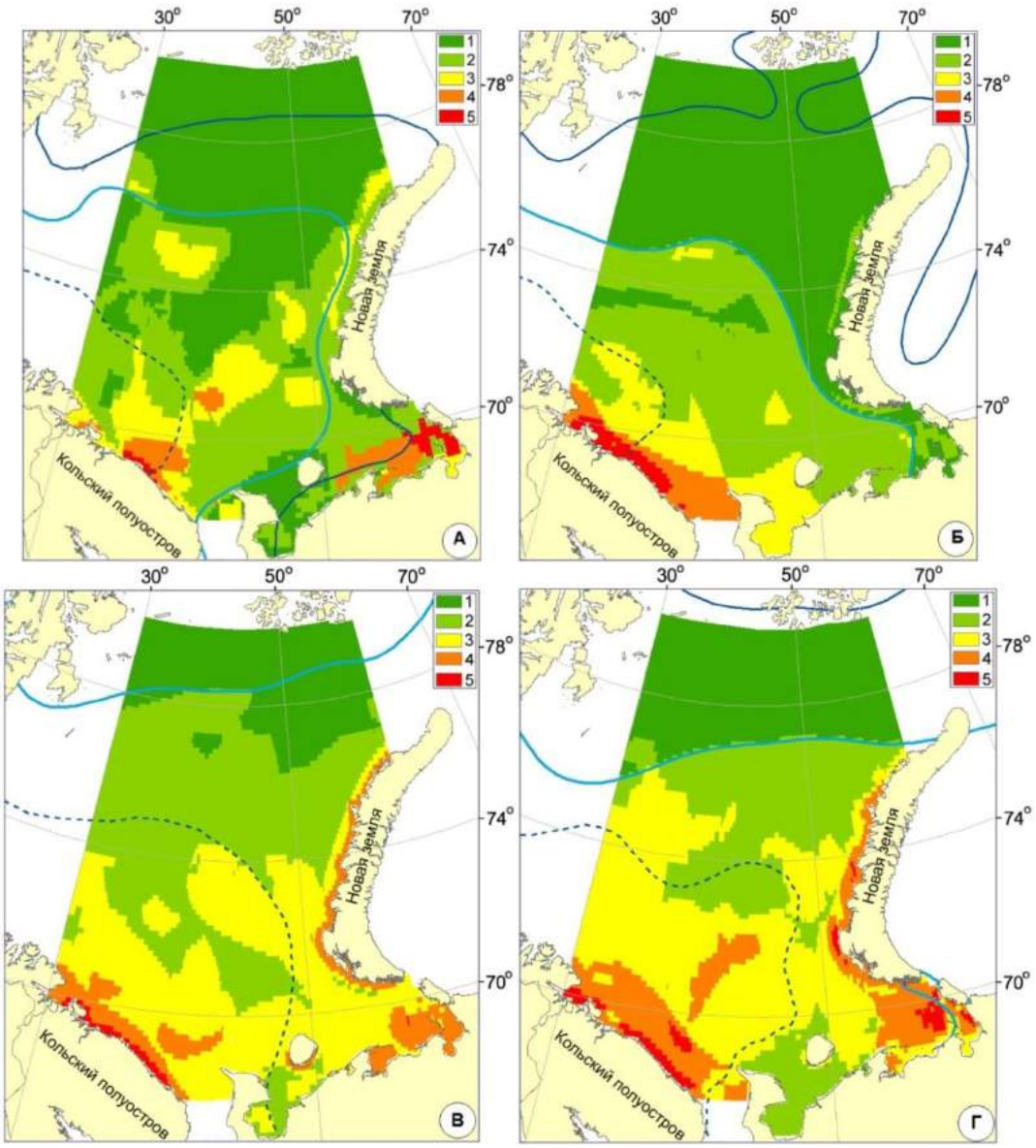
При дальнейшем анализе полученных данных и результатов статистики классификации (таблицы И.5, И.9 и И.10) необходимо иметь в виду, что ячейки, которые анализирует программа, представляют собой трапеции на сфере (на геоиде) и имеют площадь, зависящую от широты места (см. выше). Однако это существенно при рассмотрении разных районов моря на одной картосхеме. Анализ при

сопоставлении двух картосхем (количество ячеек на картосхеме постоянно) в определенной степени будет приближенно адекватным. Параметры средние значения и средние квадратические отклонения не являются абсолютно строго отражающими реальную ситуацию, но в качестве первого приближения их можно использовать, чтобы ориентироваться в полученных данных.

Таблица И.8 – Результаты умножения на нормированные межсезонные коэффициенты (таблица И.7) коэффициентов относительной уязвимости групп биоты (таблица И.4) для сравнения интегральной уязвимости районов Баренцева моря между сезонами [Шавыкин, Ильин, 2010] (повтор таблицы 7.5основного текста)

Компонент экосистемы	Зима (I кв.)	Весна (II кв.)	Лето (III кв.)	Осень (IV кв.)
Фитопланктон	172	16 512	3 311	1 505
Зоопланктон	265	6 572	13 091	6 572
Ихтиопланктон	1 890	18 270	11 340	0
Бентос*	2 880	2 880	3 360	2 880
Пелагические рыбы	418	2 071	817	1 653
Донные рыбы	209	418	2 052	1 862
Проходные рыбы	0	0	0	0
Морские млекопитающие	120	900	1 800	180
Птицы	1 260	10 080	16 380	3 780

* Коэффициенты таблицы И.4 для бентоса брались равными 24 для всех картосхем распределения бентоса (а не 49 для районов, где глубина меньше 50 м, и 24 для остальных глубин), так как на картосхеме распределения бентоса для полигонов, где глубина 50 м и менее, изначально присвоены удвоенные значения рангов (то есть ранги для них 2, 4, 6, а не 1. 2 и 3)

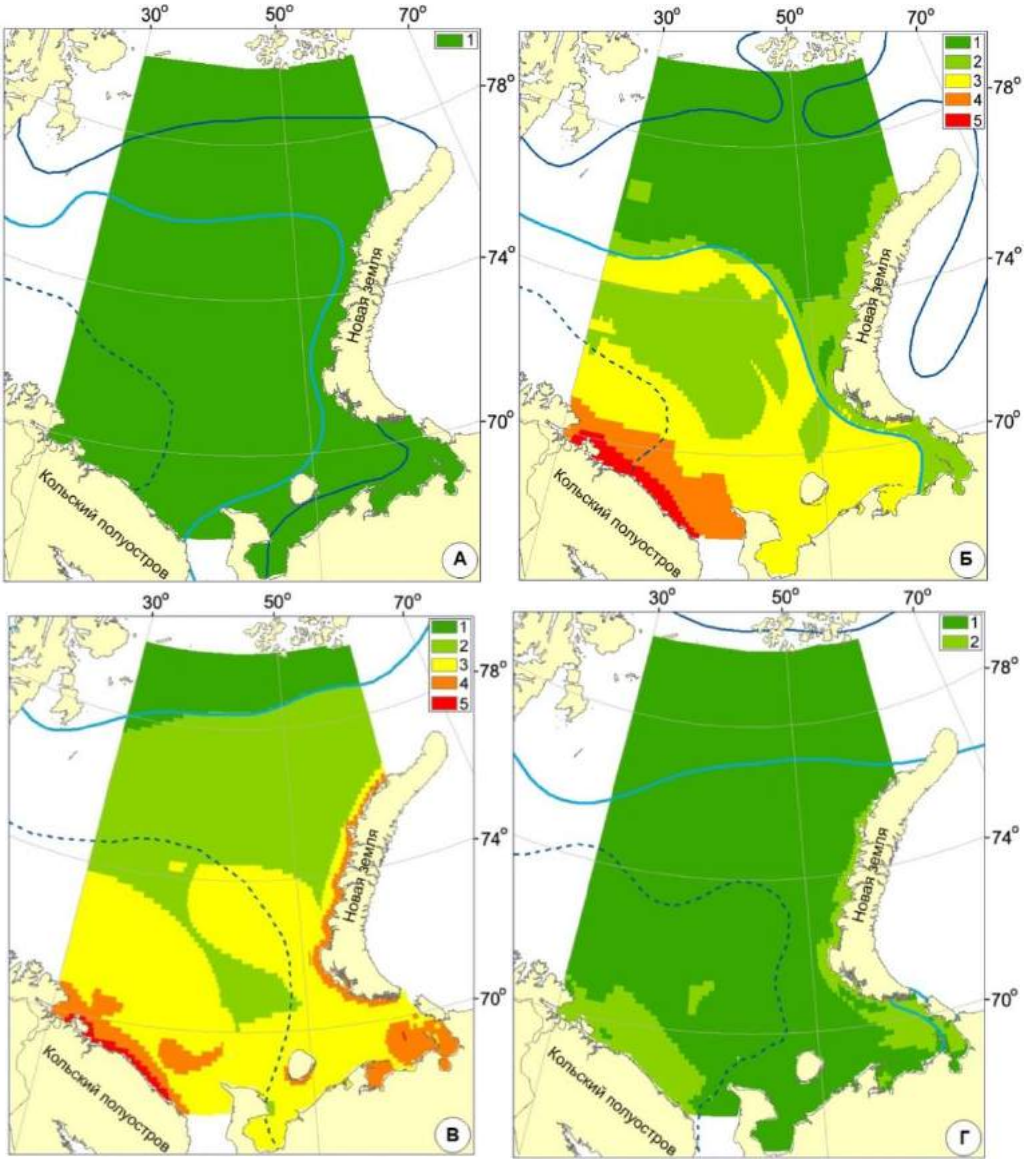


А – зима (I кв.), Б – весна (II кв.), В – лето (III кв.), Г – осень (IV кв.). Использованы коэффициенты таблицы И.8 (размер ячейки 0.13º). Диапазон изменчивости для каждого сезона свой и разделен на 5 равных интервалов

Рисунок И.2 – Картосхемы «относительной» интегральной уязвимости Баренцева моря с учетом сезонных различий в количественных показателях распределения гидробионтов [Шавыкин, Ильин, 2010]

Таблица И.9 – Результаты статистики классификации ячеек картосхемы (рисунок И.2), усл. ед. ИУ [Шавыкин, Ильин, 2010]

Сезон	Среднее значение	Среднее квадратич. отклонение	Максимальное значение	Минимальное значение
Зима (I кв.)	6 502	2 927	18 551	3 501
Весна (II кв.)	54 018	26 443	164 828	30 790
Лето (III кв.)	58 199	27 807	164 157	10 523
Осень (IV кв.)	21 211	10 605	52 103	6 427



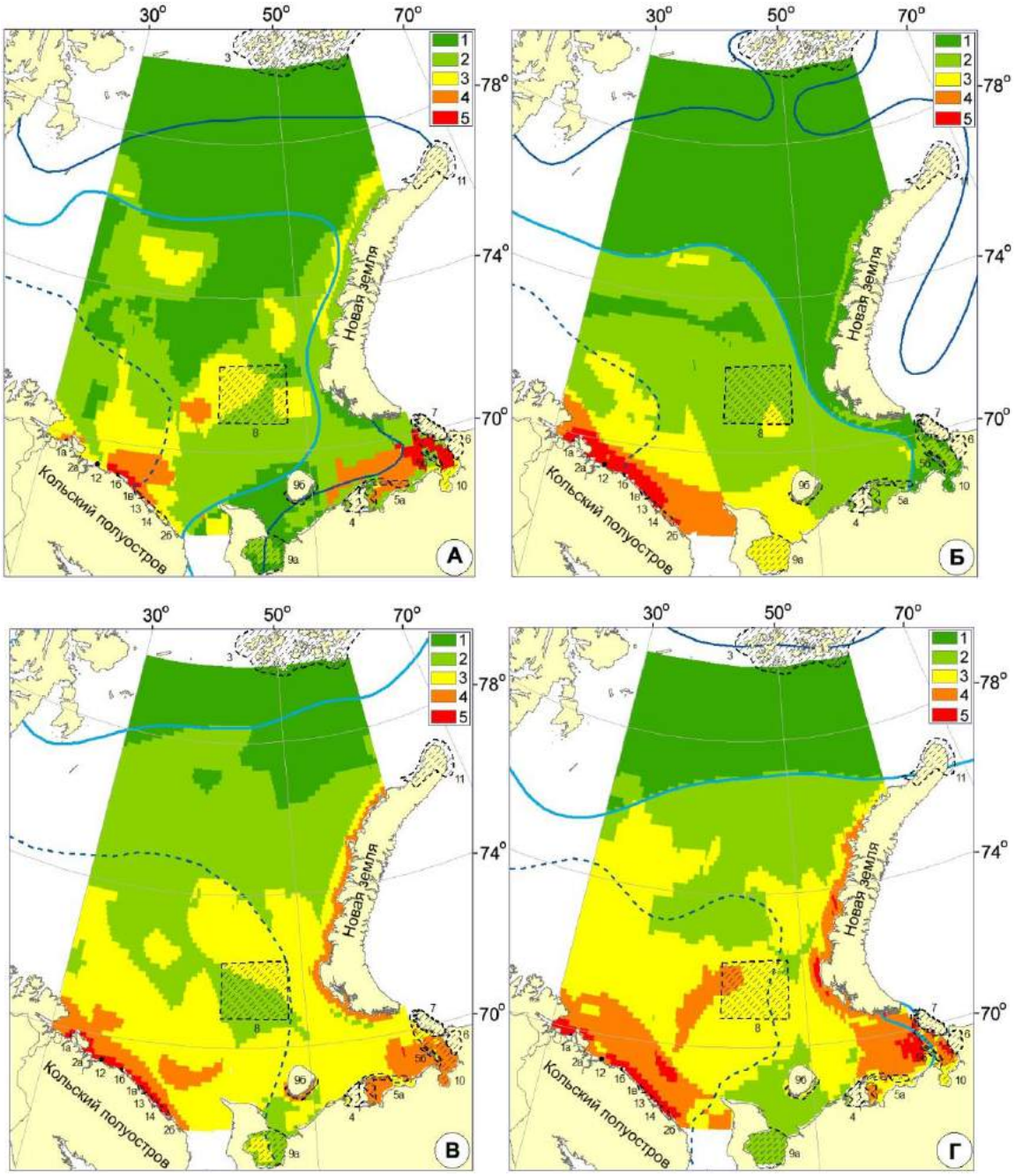
А – зима (I кв.), Б – весна (II кв.), В – лето (III кв.), Г – осень (IV кв.). Для всех сезонов приняты равные интервалы значений шкалы ранжирования ИУ в диапазоне минимальное значение (3 501 – для зимы) – максимальное значение (164 828 – для весны). Использовались коэффициенты таблицы И.8 (размер ячейки 0.13º)

Рисунок И.3 – Картосхемы «абсолютной» интегральной уязвимости Баренцева моря с учетом сезонных различий в количественных показателях распределения гидробионтов [Шавыкин, Ильин, 2010]

Таблица И.10 – Результаты статистики классификации ячеек картосхемы (рисунок И.3), усл. ед. ИУ [Шавыкин, Ильин, 2010]

Сезон	Среднее значение	Среднее квадратич. отклонение	Максимальное значение	Минимальное значение
Зима (I кв.)	6 502	2 927	18 551	3 501
Весна (II кв.)	54 018	26 443	164 828	30 790
Лето (III кв.)	58 199	27 807	164 157	10 523
Осень (IV кв.)	21 211	10 605	52 103	6 427

Совмещение картосхем интегральной уязвимости Баренцева моря и существующих и планируемых ООПТ показано на рисунке И.4. Видно, что большинство ООПТ расположено в районах наибольшей уязвимости акватории от разливов нефти.



А – зима (I кв.), Б – весна (II кв.), В – лето (III кв.), Г – осень (IV кв.). Учтено исходное распределение семи компонентов экосистемы (см. формулу И.1). Для всех сезонов приняты равные интервалы значений шкалы ранжирования ИУ Баренцева моря в диапазоне минимальное значение (3 501 – для зимы) – максимальное значение (164 828 – для весны). Использовались коэффициенты таблицы И.8 (размер ячейки 0.13º)

Рисунок И.4 – Картосхемы «относительной» интегральной уязвимости Баренцева моря с учетом сезонных различий в количественных показателях распределения гидробионтов [Шавыкин, Ильин, 2010]

И.1.4 Особенности сезонной уязвимости отдельных районов восточной части Баренцева моря от нефти

Обсуждение полученных результатов по уязвимости Баренцева моря. При построении картосхем были сделаны некоторые ***упрощения и допущения,*** наиболее существенными из которых являются следующие:

1) разливы – очень велики по объему, но не учитываются свойства разных типов нефти;
2) учитывается только среднее (среднемноголетнее) распределение компонентов биоты. Для отдельных компонентов (отсутствие достаточных сведений) распределение принято по экспертным оценкам;
3) не учитывается влияние гидрометеорологических факторов (волнение, течения, температура), так как они трудно поддаются формализации, хотя в некоторых случаях эти факторы существенно определяют степень воздействия нефти на гидробионты.

Вместе с тем, полученные результаты позволяют ***сделать ряд важных общих выводов об уязвимости Баренцева моря.*** Полученные варианты картосхем близки между собой по содержанию, но отличаются возможностью сравнения, а следовательно анализа, необходимого для решения на их основе тех или иных задач.

1. Картосхемы «относительной» интегральной уязвимости Баренцева моря без учета количественных межсезонных различий в распределении гидробионтов (рисунок И.1). По ним нельзя проводить сравнение между сезонами, но можно сравнивать районы моря по уязвимости внутри каждого сезона отдельно. Это промежуточный вариант расчета.

2. Картосхемы «относительной» интегральной уязвимости Баренцева моря с учетом количественных сезонных различий в распределении гидробионтов (рисунок И.2). По ним можно сравнивать районы моря друг с другом по уязвимости между сезонами уже более строго (особенно, если учитывать границы рангов), так как исходные ранги нормированы коэффициентами межсезонных различий (таблица И.7), что позволяет уже более корректно учесть вклад разных компонентов в уязвимость моря. Но нельзя проводить сравнение уязвимости выбранного района

моря в разные сезоны в отношении уязвимости только по рангам, так как границы, в которых проводится ранжирование (равномерное деление на пять диапазонов), для каждого сезона свои.

3. Картосхемы «абсолютной» интегральной уязвимости Баренцева моря с учетом количественных сезонных различий в распределении гидробионтов (рисунок И.3). По этим картосхемам можно было бы сравнивать различные районы моря как между собой внутри сезонов, так и (это главное) сравнивать одни и те же районы моря по уязвимости между сезонами. Однако, как будет видно в дальнейшем из анализа рисунка И.3, такой «прямой» подход, т. е. использование только этих картосхем, может привести к тому, что один или два сезона будут представлены одним-двумя рангами и соответственно одним-двумя цветами (рисунок И.3), что не позволит выделить наиболее уязвимые районы для отдельных сезонов. Предварительно это уже следует из самих картосхем уязвимости на этом рисунке.

Здесь и далее говорится об «относительной» интегральной уязвимости, когда делается анализ и проводится сравнение отдельных районов (участков) Баренцева моря в пределах одного сезона. При сравнении уязвимости отдельных районов между сезонами используем понятие «абсолютной» уязвимости и другие картосхемы.

Основной результат содержится в картосхемах «относительной» и «абсолютной» уязвимости моря, построенных с учетом межсезонных количественных различий. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

«Относительная» интегральная уязвимость районов моря с учетом количественных межсезонных различий в распределении гидробионтов (рисунок И.2). Наиболее уязвимыми (ранг уязвимости – 4 и 5) являются районы вблизи побережья Кольского полуострова – небольшой участок вдоль побережья Мурмана шириной 120 км зимой, 35–160 км весной, 20–70 км летом и 110–160 км осенью (рисунок И.2). Дополнительно отмечается узкая (до 40 км) полоса повышенной уязвимости (ранги 4 и 5) вдоль западного побережья Новой Земли (летом и осенью).

Количественные различия между районами весьма существенны (таблица И.9). Можно отметить, что среднее значение уязвимости для всего исследуемого района летом и весной примерно в 8–9 раз больше, чем зимой (без учета НСК это различие было 1.2–1.5 раза) и в 2.5–2.7 раза больше чем осенью. Различие же между средней уязвимостью исследуемого района моря летом и весной незначимо. Различие между минимальными значениями уязвимости для отдельных участков моря (для ячеек) доходит до 10 крат (для зимы и весны), а различие максимальных значений составляет примерно 8 крат. Минимальное значение соответствует зиме – 3 501 усл. ед. Различие максимального значения уязвимости отдельных участков моря (ячеек) весной (164 828) и минимального значения зимой (3 501) доходит почти до 50 крат.

«Абсолютная» интегральная уязвимость районов моря с учетом количественных сезонных различий в распределении гидробионтов (рисунок И.3). При сравнении уязвимости исследуемого района Баренцева моря в разные сезоны важно учитывать граничные значения выбранных диапазонов рангов. Картосхемы уязвимости Баренцева моря для всех четырех сезонов были также построены исходя из максимальных значений коэффициентов уязвимости в определенный сезон (в нашем случае – для весны) и минимальных значений, возможно, в другой сезон (в нашем случае – для зимы). Эти картосхемы представлены на рисунке И.3. Фактически, с учетом уязвимости биоты от нефтяного загрязнения и с учетом сезонных количественных различий распределения гидробионтов в исследуемом районе моря максимальная “абсолютная” уязвимость (при принятых значениях рангов 1–5) отдельных участков имеет место весной и летом (таблица И.10). Следующий по уязвимости сезон – весна (II кв.). Но значимого различия между уязвимостью (средней уязвимостью) всей исследуемой акватории моря весной и летом нет (таблица И.10). Еще менее уязвима акватория Баренцева моря в осенний сезон (IV кв.), для которого вся исследуемая акватория характеризуется двумя рангами уязвимости (1 и 2). Наименьшую уязвимость имеет зимний сезон (I кв.), когда вся акватория исследуемой части моря имеет при принятых условиях ранг уязвимости равный 1. При этом значения уязвимости зимой, осенью и летом

и весной различаются значимо. Картосхемы на рисунке И.3 наглядно показывают соотношение между различными районами моря в любой сезон. Но также очевидно, что выявить наиболее уязвимые районы для зимы и осени по этим картосхеам невозможно, так как зима в этом случае характеризуется одним рангом с диапазоном 3 501–18 551 усл. ед., а осень – двумя рангами 6 427–35 766 и 35 766–52 103 усл. ед.

Вместе с тем, необходимо отметить, что зимний сезон характеризуется наиболее сильными ветрами и волнением. Близок по этим показателям и осенний период. Кроме этого, для зимы (в конце осени и начале зимы для нашего случая) характерно самое темное время – на широте Мурманска и севернее наблюдается полярная ночь. Все это позволяет утверждать, что наиболее опасным с точки зрения рисков аварийных ситуаций и с учетом неблагоприятных условий ликвидации разливов нефти, являются осенний и зимний сезоны, хотя с точки зрения уязвимости зимний сезон наименее опасен для биоты. Осенний сезон имеет более высокую, чем зимой, но более низкую, чем летом и весной уязвимость.

И.2 Предлагаемая методика построения карт уязвимости прибрежно-морских зон от нефти

И.2.1 Общий подход к построению карт уязвимости/чувствительности прибрежных и морских зон для планов ЛРН и рационального природопользования

Предлагаемая методика построения карт уязвимости/чувствительности прибрежных и морских зон от нефти и нефтепродуктов частично основана на рекомендациях международных организаций [IMO, IPIECA, 1994; 2010; IMO et al., 2012], подходах зарубежных стран, опыте российских специалистов [Погребов, 2010; WWF, 2012] и институтов, а также опыте специалистов ММБИ [Шавыкин, Ильин, 2010; Отчет по х/д. Исследование побережья …, 2014].

Карты, которые согласно предлагаемой методике должны строиться для того или иного района, например, для баренцевоморского побережья Кольского полуострова, и включаться в планы ЛРН – *разномасштабные карты чувствитель-*

ности береговой линии по индексу ESI [IMO и др., 2012] и *разномасштабные карты интегральной уязвимости акватории прилегающей к берегу*.

В предлагаемой нами методике карты интегральной уязвимости могут быть двух видов: «относительной» и «абсолютной» уязвимости. *Карты «относительной» интегральной уязвимости* показывают уязвимость различных участков акватории по трех- или пятиранговой шкале конкретного сезона. Участки уязвимости на таких картах разных сезонов нельзя сравнивать между собой, так как одинаковым рангам на таких картах отвечают разные значения индекса интегральной уязвимости (максимальное значение уязвимости на таких картах для каждого сезона – свое). Эти карты напрямую предназначены для планов ЛРН. Для природоохранных целей, а также, дополнительно для планов ЛРН, строятся *карты «абсолютной» интегральной уязвимости.* Эти карты построены на основе единого за год диапазона значений индекса интегральной уязвимости, который разделен на пять или три равных поддиапазонов (им присваиваются соответствующие ранги). Это позволяет сравнивать отдельные участки между собой или один и тот же участок даже на картах разных сезонов.

Оба набора карт «относительной» и «абсолютной» интегральной уязвимости (представленные в ранговых шкалах), дополненные картами чувствительности берегов по индексу ESI, должны быть 3-х различных масштабов: *стратегические* (1:2 000 000 – 1:500 000); *тактические* (1:250 000 – 1:100 000) и *объектные* (1:10 000 – 1:50 000). Карты разных масштабов предназначены для руководителей разного ранга при планировании и выполнении операций по ЛРН того или иного уровня. Представленные здесь масштабы – ориентировочные, они основаны как на упомянутых подходах IMO, IPIECA, OGP, так и на природных особенностях картографирования уязвимости российских прибрежных и морских зон. В России существуют также региональные ограничения на материалы определенных масштабов, что должно быть учтено при построении карт уязвимости/чувствительности.

Стратегические и тактические карты «относительной» уязвимости должны строиться для всей российской прибрежной и морской зоны, они предназначены

для планирования и использования в ходе операций по ЛРН руководителями высшего и среднего уровня. Тактические и объектные карты используются на месте ликвидации разливов руководителями среднего и низшего звеньев. При этом объектные карты готовятся только для отдельных особо важных районов (районов особо охраняемых природных территорий (ООПТ), нефтяных терминалов, заливов с важными портовыми сооружениями и т.п.).

При построении указанных выше карт уязвимости акваторий реализуются один из двух подходов. Основное различие между ними относится к этапу построения исходных карт распределения биоты в картографируемом районе. *Первый подход* реализуется, когда для этого района имеется достаточное количество исходных данных о сезонном или по месяцам распределении биоты в принятых для нее количественных единицах численности или биомассы. *Второй* – когда данных о распределении биоты недостаточно, но отсутствующую информацию можно оценить на основе экспертного подхода и построить карты ранжированного распределения биоты без указания их количественной плотности биомассы или численности на единицу площади.

Последовательность построения карт уязвимости/чувствительности в общем случае должна включать следующие этапы.

Этапы сбора и подготовки информации по картографируемому району:

1) Определение перечня учитываемых объектов: важных компонентов биоты (ВКБ), особо значимых социально-экономических объектов (ОЗО), природоохранных территорий (ПОТ).
2) Определение границ сезонов распределения учитываемых биологических объектов и, возможно, расположения ОЗО и ПОТ, для которых будут строиться карты исходных данных и рассчитываться карты уязвимости.
3) Построение сезонных разномасштабных карт распределения ВКБ, ОЗО, ПОТ.
4) Оценка коэффициентов уязвимости для ВКБ и коэффициентов приоритетной защиты для ОЗО, ПОТ, как аналога для них коэффициентов уязвимости биоты.

5) Проведение фото- и/или видеосъемки берегов (*).

Этапы построения карт уязвимости:

6) Построение сезонных разномасштабных карт уязвимости ВКБ, ОЗО, ПОТ.
7) Расчет карт интегральной уязвимости «относительной» и (при необходимости) «абсолютной» уязвимости картографируемого района.
8) Подготовка базы данных фото- и/или видеоматериалов береговой линии картографируемого района (*).
9) Построение разномасштабных карт чувствительности береговой линии по индексу ESI на основе базы данных фото- и/или видеоматериалов береговой линии (*).
10) Разработка WEB-проекта (*), который включает карты интегральной уязвимости прибрежной и морской зоны и карты чувствительности береговой линии, фото- и видеоматериалы и размещение проекта в Интернете.

Этапы, отмеченные (*) здесь не рассматриваются.

Далее следует иметь в виду следующее: картографируемый район – это район, в пределах которого учитываются все исходные параметры ВКБ, ОЗО и ПОТ. Для тактических и стратегических карт – это район в пределах границ этих карт. Для объектных карт – это район воздействия конкретного объекта при разливах нефти федерального (> 5000 т) и регионального уровней. Выбор картографируемого района (в пределах одной карты или для нескольких карт) в определенной степени влияет на совпадение или несовпадение границ полигонов и значений рангов уязвимости полигонов соседних тактических или стратегических карт при их перекрытии или стыковке.

Карты индекса экологической чувствительности береговой линии (ESI) строятся согласно рекомендациям, изложенным в ряде руководств [IMO, IPIECA, 1994; IMO, IPIECA, 2010; IMO и др., 2012; Introduction to Environmental…, 2008; NOAA, 1997], с возможными региональными уточнениями и изменениями. Последнее означает, что для отдельных районов, например, арктических морей, должна быть принята своя уточненная система индексов ESI, учитывающая реги-

ональные особенности и в той или иной степени отличающаяся от общепринятой. При этом общая методология построения таких карт остается неизменной. В основу таких карт индекса *ESI* должны быть положены результаты фото- или видеосъемки береговой линии с судна или (что наиболее оптимально) с летательного аппарата, например, беспилотного летательного аппарата, снабженного навигационной системой, фото- и видеокамерами.

Процедура построения всех карт основана на использовании ГИС-технологии, например программ ArcMap, MapInfo и др.

Общий алгоритм методики построения карт уязвимости/чувствительности прибрежных и морских зон от нефти представлен в таблице И.11

Таблица И.11 – Общий алгоритм методики построения карт уязвимости/чувствительности прибрежных и морских зон от нефти

Исходные данные

Предполагается, что в том или ином объёме собрана необходимая информация (базы геоданных, результаты экспедиционных исследований, публикации, отчеты по ОВОС, ИЭИ, ПЭМ, фото- и видеоматериалы судовых, авиа- и дистанционных съемок…), проведены, если требуется, дополнительные экспедиционные исследования по сбору недостающей информации для картографируемого района (районов).

1. Определяют перечень составляющих, входящих в следующие множества:

Важные компоненты биоты (ВКБ) – $\boldsymbol{g}$ (группы), $\boldsymbol{g_j}$ (подгруппы/виды),
Особо значимые социально-экономические объекты (ОЗО) – $\boldsymbol{e}$;
Природоохранные территории (ПОТ) – $\boldsymbol{f}$.

2. Определяют временные границы сезонов (s_i) для картографируемого района или принимают решение строить карты по месяцам

3. Строят сезонные (или по месяцам) разномасштабные карты распределения ВКБ, ОЗО, ПОТ ($\boldsymbol{s}$ – сезоны)

Данных о биоте достаточно:	***Данных о биоте недостаточно:***
карты $\boldsymbol{B^{sg}}$ **(**$\boldsymbol{B^{sg_j}}$**)** строят в единицах, принятых для компонентов биоты (в г/м^2, т/час траления, экз/км^2…	карты $\boldsymbol{B^{sg}}$, **(**$\boldsymbol{B^{sg_j}}$**)** строят в относительных единицах (в рангах 0, 1–3 или 0, 1–5)
Выполняют нормировку карт ВКБ: сезонные карты распределения каждого $\boldsymbol{g}$-го компонента биоты нормируют на среднегодовое обилие соответствующей группы за год $\boldsymbol{P^{gy}}$**:** •*в группах не выделены подгруппы и виды:* • $\boldsymbol{B^{sg}[y] = B^{sg}/P^{gy}}$ где: $\boldsymbol{P^{gy} = \langle \sum_q B_q^{sg} \times S_q \rangle}$, $\boldsymbol{S_q}$ – площади всех полигонов $\boldsymbol{q}$ в пределах карты для соответствующей $\boldsymbol{g}$-ой группы; треугольные скобки – усреднение за год с учетом длительности сезонов;	Для района ограниченного картой экспертно ***определяют соотношение обилия*** каждого учитываемого компонента каждой $\boldsymbol{g}$-ой группы биоты между сезонами $\boldsymbol{s_i}$: •*в группах не выделены подгруппы и виды:* $\boldsymbol{A^{s_1 g}: A^{s_2 g}: A^{s_3 g}:}$... $\boldsymbol{\sum_i A^{s_i g} = 1}$ (или 100)
•*в группе* $\boldsymbol{g}$ *выделены* $\boldsymbol{g_j}$ *подгруппы и виды:* • $\boldsymbol{B^{sg_j}[y] = B^{sg_j}/P^{gy}}$ где: $\boldsymbol{P^{gy} = \langle \sum_{g_j} \sum_q B_q^{sg_j} \times S_q \rangle}$	•*в группе* $\boldsymbol{g}$ *выделены* $\boldsymbol{g_j}$ *подгруппы и виды:* $\boldsymbol{\left(\sum_j A^{s_1 g_j}\right) : \left(\sum_j A^{s_2 g_j}\right) : \left(\sum_j A^{s_3 g_j}\right) : \ldots}$ $\boldsymbol{\sum_i \sum_j A^{s_i g_j} = 1}$ (или 100) для каждой $\boldsymbol{g}$-ой группы

Строят карт границ ОЗО – полигоны $\boldsymbol{C^e}$ ($\boldsymbol{C^e = 1}$ для ОЗО; остальная акватория – 0)
Строят карт границ ПОТ – полигоны $\boldsymbol{D^f}$ ($\boldsymbol{D^f}$ = 1 для ПОТ; остальная акватория – 0)

4. Оценивают (частично экспертно) коэффициенты уязвимости для ВКБ

$$V_b^g=(S^g \times E^g)/R^g$$

и экспертно определяют коэффициенты приоритетной защиты

для ОЗО – V_c^e и ПОТ – V_d^f

5. На основе полученных данных строят сезонные разномасштабные карты уязвимости для ВКБ, ОЗО и ПОТ

Для ВКБ:

•*в группах не выделены подгруппы и виды:*

$$Y_b^s = \sum_g B^{sg[y]} \times V_b^g$$

Для ВКБ:

•*в группах не выделены подгруппы и виды:*

$$Y_b^s = \sum_g A_b^{sg} \times B^{sg} \times V_b^g$$

и нормируют карты для каждого сезона:

– на $maxY_b^s$ *за сезон s* для карт ОтнУязв: $Y_b^{s(s)}=Y_b^s/(maxY_b^s$ *за сезон s)*

– на $maxY_b^s$ *за год* для карт АбсУязв: $Y_b^{s(y)}=Y_b^s/(maxY_b^s$ *за год)*

•*в группе* g *выделены* g_j *подгруппы и виды:*

$$Y_b^s = \sum_g \sum_j B^{sg_j[y]} \times V_b^{g_j}$$

•*в группе* g *выделены* g_j *подгруппы и виды:*

$$Y_b^s = \sum_g \sum_j A_b^{sg_j} \times B^{sg_j} \times V_b^{g_j}$$

и нормируют карты для каждого сезона:

– на ($maxY_b^s$ *за сезон s)* для карт ОтнУязв: $Y_b^{s(s)}=Y_b^s/(maxY_b^s$ *за сезон s)*

– на ($maxY_b^s$ *за год)* для карт АбсУязв: $Y_b^{s(y)}=Y_b^s/(maxY_b^s$ *за год)*

Для ОЗО: $Y_c^s=\sum_e C^{es} \times V_c^e$ и нормируют для каждого сезона:

– на ($maxY_c^s$ *за сезон*) для карт ОтнУязв: $Y_c^{s(s)}=Y_c^s/(maxY_c^s$ *за сезон)*

– на ($maxY_c^s$ *за год)* для карт АбсУязв: $Y_c^{s(y)}=Y_c^s/(maxY_c^s$ *за год)*

Для ПОТ: $Y_d^s= \sum_f D^{sf} \times V_d^f$ и нормируют для каждого сезона:

– на ($maxY_d^s$ *за сезон*) для карт ОтнУязв: $Y_d^{s(s)}=Y_d^s/(maxY_d^s$ *за сезон)*

– на ($maxY_d^s$ *за год*) для карт АбсУязв: $Y_d^{s(y)}=Y_d^s/(maxY_d^s$ *за год)*

6. Рассчитывают разномасштабные сезонные карты интегральной уязвимости картографируемого района

$$Y_\Sigma^{s(s)} = K_b \times Y_b^{s(s)} + K_c \times Y_c^{s(s)} + K_d \times Y_d^{s(s)}$$ (для карт ОтнУязв)

$$Y_\Sigma^{s(y)} = K_b \times Y_b^{s(y)} + K_c \times Y_c^{s(y)} + K_d \times Y_d^{s(y)}$$ (для карт АбсУязв)

7. Строят разномасштабные карты чувствительности береговой линии по ESI

И.2.2 Основные учитываемые объекты на картах

На основе результатов экспедиционных работ, экологических баз данных и публикаций определяют перечень важных компонентов биоты (ВКБ) – перечень учитываемых экологических групп и их видовой состав, для которых будут строиться сезонные или по месяцам карты распределения. (Далее, мы будем говорить только о сезонах и сезонных картах, подразумевая, под сезонами и отдельные месяцы, если карты строятся по месяцам.). Учитывают следующие экологические группы: макрофитобентос, зообентос, ихтиопланктон, рыб, морских и водоплавающих птиц, морских млекопитающих. В большинстве примеров построения карт экологической уязвимости [IMO и др., 2012; SFT, 2000; и др. работы] фито- и зоопланктон, как правило, не учитывается. Эти биологические компоненты не принимают во внимание, т.к. они достаточно быстро восстанавливают свою биомассу и численность после разлива нефти. Учет зоо- и фитопланктона допустим лишь при наличии достаточных обоснований того, что гибель этих объектов в районе разлива существенным образом скажется на функционировании всей экосистемы картографируемого района. Если в этом районе в определенные периоды фито- или зоопланктон, как правило, присутствуют в очень больших концентрациях, то эти экологические группы следует учитывать, так как это сказывается на поведении нефти при разливах и должно найти отражение в планах ЛРН.

Выделенные экологические группы биоты при необходимости делят на подгруппы. Критерием деления должно быть принципиальное различие в уязвимости подгрупп к воздействию нефти по одному или всем оцениваемым критериям – потенциальному воздействию, чувствительности, восстанавливаемости (см. далее). Примером выделения подгрупп может быть: зообентос (три подгруппы): мезобентос, мобильный и немобильный мегабентос; рыбы (три подгруппы): донные, пелагические и проходные; млекопитающие (три группы): непокрытые мехом (китообразные и атлантический морж), имеющие мех (ластоногие, исключая моржа) и белый медведь; морские и водоплавающие птицы (три подгруппы): «парители», «нырятели», околоводные. При наличии детальных данных возможно построение карт распределения биоты по видам. При этом на этапе построения

карт уязвимости ВКБ виды биоты должны быть объединены в группы/подгруппы (см. далее пункт И.2.4). Отдельное внимание уделяется краснокнижным видам. При построении карт уязвимости биоты они рассматриваются как отдельные слагаемые, то есть имеющие повышенные коэффициенты уязвимости (равные коэффициентам соответствующей подгруппы, к которой они отнесены, но дополнительно умноженные на множитель больший единицы, например на 2, 4…). Такое особое внимание краснокнижным видам обусловлено их высоким природоохранным статусом.

В прибрежно-морской зоне на исходных картах, по которым рассчитываются итоговые карты уязвимости, представляется: 1) береговая линия и изобаты; 2) распределение важных компонентов биоты (ВКБ); 3) положение особо значимых эколого-хозяйственных объектов (ОЗО) – экологические, социокультурные ресурсы и объекты хозяйственной деятельности прибрежных зон; 4) расположение природоохранных территорий (ПОТ) – особо охраняемых природных территорий (заповедников, заказников, национальных парков…), выходящих непосредственно к береговой линии. Распределение биоты представляется только на картах ВКБ.

В качестве источников информации для нанесения объектов на карты ОЗО и ПОТ может служить любая доступная информация, включая спутниковые снимки. Все собранные данные о распределении биоты, ОЗО и ПОТ формируют в электронную картографическую базу данных (БД). Оптимально – в базу геоданных.

На итоговые карты интегральной уязвимости наносят кроме изобат и изогипсы, а на прилегающей к ней береговой зоне – дороги, населенные пункты (как минимум – их границы), реки, озера, промышленные объекты и социокультурные объекты, особо охраняемые природные территории. Информация по этим объектам должна быть подготовлена на первом этапе. При нанесении перечисленных объектов на интегральные карты уязвимости следует учитывать, насколько это будет препятствовать восприятию основной информации – распределению чувствительности береговой линии и уязвимости акватории. Предпочтительно ис-

пользовать способы отображения (символы, штриховки, цветовую гамму и т.д.), облегчающие одновременное восприятие основной информации и вспомогательной.

Важным моментом является *генерализация карт* при переходе от крупномасштабных карт к мелкомасштабным (от объектных к тактическим и далее к стратегическим): не все, а только самые важные элементы детальных (объектных) карт представляются на картах меньшего масштаба (тактических и стратегических) – при этом происходит обобщение представляемой информации.

И.2.3 Определение границ сезонов

Определяют *временные границы* сезонов, для которых будут строиться карты. Это необходимо для учета временных особенностей поведения отобранных экологических групп биоты. Выделение границ должно быть обосновано с учетом природных условий и биологической изменчивости компонентов морских экосистем в картографируемом районе. При этом количество периодов/сезонов, на которые делится весь год, не обязательно должно быть равно четырем. В случае достаточности первичных данных карты строят по месяцам. Далее, мы будем говорить только о сезонах и сезонных картах, но при работе с картами по месяцам процедуры и порядок действий аналогичен.

Пример выделения сезонов при построении карт стратегического масштаба – карт уязвимости всей восточной части Баренцева моря представлен в работе [Шавыкин, Ильин, 2010] и в п. И.1.1 настоящего приложения, а для карт уязвимости Кольского залива – в п. 7.6.2 основного текста диссертации. Деление на сезоны для объектных и (частично) тактических карт во многом определяется совпадением или несовпадением границ распределения плотностей учитываемых групп/подгрупп/видов биоты; а для стратегических и частично тактических карт – и дополнительно учитываемыми общими океанологическими процессами в картографируемых районах. Может оказаться, что число сезонов будет велико, если разных групп/подгрупп/видов биоты достаточное много. В любом случае все это должно быть согласовано экспертами на подготовительной стадии.

И.2.4 Построение карт распределения биоты и абиотических компонентов

И.2.4.1 Построение карт распределения биоты при наличии достаточных исходных данных

На основе собранной информации и в соответствии с выделенными сезонами строят исходные карты распределения ВКБ (B^{sg}), в единицах измерения, принятых для данных групп/подгрупп/видов – в г/м^2, мг/м^3, т/час траления, экз/м^3, экз/км^2… (где g – индекс группы/подгруппы/вида; s – сезон).

Для расчета карт уязвимости всей биоты необходимо сложение карт всех групп/подгрупп/видов, что невозможно сделать, оперируя абсолютными значениями в принципиально различных единицах измерения. Поэтому следует использовать относительные и единые для всей биоты единицы измерения. Это позволяет сделать следующая процедура нормировки.

Первая нормировка. Исходные карты распределения B^{sg} групп/подгрупп/видов учитываемых ВКБ для каждого s-го сезона нормируют на среднегодовое значения обилия (общей численности или биомассы) соответствующей g-ой группы в картографируемом районе P^{yg} независимо от наличия в группе числа подгрупп/видов и получают значения B^{sg}:

$$B^{sg[y]} = B^{sg}/P^{yg}, \qquad (И.2)$$

где:

B^{sg} – значение исходной численности на единицу площади или плотность биомассы g-ой группы/подгруппы/вида биоты на отдельных полигонах, представленных на карте в исходных единицах измерения (г/м^2, экз/км^2, экз/м^3, т/час траления и т.д.);

P^{yg} – среднегодовое обилие (среднегодовая численность или биомасса) соответствующей g-ой экологической группы s на картографируемой акватории;

$B^{sg[y]}$ – относительная сезонная плотность обилия группы/подгруппы/вида – доля среднегодового обилия группы/подгруппы/вида биоты в картографируемом районе, приходящаяся на единицу площади в пределах полигонов этого района.

Отношение B^{sg} для какого-то полигона (например, в единицах г/м^2) к среднегодовому обилию этой группы P^{yg} в картографируемом районе (в граммах) дает для этого полигона долю от среднегодового обилия этой группы на единицу площади в конкретный сезон s (1/м^2) – см. также п. 3 (левый столбец) таблицы И.11.

И.2.4.2 Построение карт распределения биоты при отсутствии достаточных исходных данных

Определяют перечень важных биотических компонентов (ВКБ) – групп/подгрупп/видов и для каждого s-го сезона строят карты распределения ВКБ (B^{sg}) не в исходных единицах измерения, а в рангах: $B^{sg} = 0$, если группа или вид не присутствуют в картографируемом районе; $B^{sg} = 1, 2, 3$ при, соответственно, незначительной средней и высокой плотности биомассы или численности на единицу площади на заданном картографируемом районе.

На основе опубликованных данных и экспертных оценок рассчитывают нормированные сезонные коэффициенты, то есть соотношения обилия учитываемых групп биоты в картографируемом районе: $A^{s_1g}: A^{s_2g}: A^{s_3g}:$... (нижние индексы для si – индексы соответствующих сезонов, которых не обязательно должно быть четыре). Пример такого расчета дан в работе [Шавыкин, Ильин, 2010]. Если не учитывать соотношение обилия каждой группы между сезонами, то получается, что вклад какой-то группы биоты с рангом 3 (высокая плотность в конкретный сезон) в общую уязвимость в разные сезоны одинаков, хотя различие между обилием этой группы в разные сезоны может доходить до одного – двух порядков, и соответственно, вклад групп в общую уязвимость также будет различным (с учетом коэффициентов уязвимости); различным является и соотношение между обилиями разных групп в разные сезоны, которое также может составлять несколько порядков и не соответствовать соотношениям рангов (например, 1:3). При этом должно выполняться условие: $\sum_i A^{s_ig} = 1$ (или 100).

И.2.4.3 Построение карт распределения абиотических компонентов

Построение карт абиотических компонентов – ОЗО и ПОТ – более простая процедура. Строят карты исходного распределения ОЗО (C^{se}) для каждого s-го

сезона или всего года сразу, если границы ОЗО не меняются от сезона к сезону: $C^{se} = 1$ в пределах полигона ОЗО, и 0 – вне его. Таким же образом готовят карты исходного распределения ПОТ (D^{sf}), в общем случае – сезонные. Полигонам D^{sf} присваивают значения 1, остальной акватории – 0. Как правило, информация о таких объектах и их границах более доступна, чем о биоте. При этом следует иметь в виду, что границы этих объектов, например, для искусственных островов с буровыми установками или причальных сооружений, должны включать и зону безопасности для таких объектов. Все это уточняется в ходе подготовки исходных данных.

И.2.5 Определение коэффициентов уязвимости биоты и абиотических компонентов

В общем случае, оценка коэффициентов уязвимости биоты (ВКБ) V_b^g и других учитываемых объектов – ОЗО и ПОТ, представляет достаточно сложную научную проблему, поэтому для ее решения необходимо привлекать специалистов, хорошо знакомых с этим вопросом. Мы предлагаем в настоящей методике поступать следующим образом. Далее считается, что коэффициенты для ОЗО и ПОТ мы также называем коэффициентами уязвимости (по аналогии с V_b^g), хотя более строго это скорее коэффициенты приоритетной защиты, то есть коэффициенты. Показывающие, какие6 объекты более важные для защиты, какие (относительно других) менее важные.

Коэффициенты уязвимости биоты для групп/подгрупп/видов биоты B^g (V_b^g – biological vulnerability) вычисляется по формуле [Offringa, Låhr, 2007]: $V_b^g = (S^g \times E^g)/R^g$, где S^g (sensitivity) – чувствительность; E^g (exposure) – потенциальное воздействие; R^g (recoverability) – восстанавливаемость g-ой группы/подгруппы/вида биоты. При наличии подгрупп или отдельных видов в g-ой группе по аналогичным формулам вычисляются $V_b^{g_i}$ отдельно для каждой i-ой подгруппы или $V_b^{g_j}$ для каждого j-го вида этой группы ВКБ. В этой формуле:

E^g – *потенциальное воздействие на выделенные группы организмов* – это вероятность контакта организмов с нефтью. Чем больше потенциальное воздействие на него, тем больше значение E^g;

S^g – *чувствительность выделенных групп* – свойство организмов реагировать на конкретное воздействие. Чем выше чувствительность, тем больше значение S^g;

R^g – *восстанавливаемость организмов* – способность групп организмов восстанавливаться после оказания на него воздействия. Скорость восстановления, по которой оценивается R^g, зависит от циклов развития организмов и количества репродуктивных периодов в единицу времени, а так же продолжительности жизни и количества воспроизводимого потомства. Чем быстрее восстанавливается группа организмов после воздействия, тем выше значение R^g.

Можно принять, что, конкретные значения этих трех параметров, определяющих уязвимость, с учетом экспертных оценок и знаний о биологии организмов и влияния на них различных типов нефти лежат в диапазоне от 1 до 10 (или в другом – меньшем диапазоне, принимаемом экспертами при разработке проекта). И как ранговые величины (одна больше или меньше другой) значения E^g, S^g, R^g выбираются и заданного диапазона. Возможен и другой подход к расчету оценке значений V_b^g, когда, имеется необходимая информация об указанных трех параметрах. Например: E^g – конкретные значения вероятности воздействия нефти в той или иной форме на организмы, S^g – токсикологическая или подобная ее чувствительность биоты, R^g – значения периодов времени, в течении которого происходит восстановление численности биоты. В этом случае по нормированным значениям этих величин вычисляются коэффициенты V_b^g. Возможны и другие подходы. В любом случае при оценке уязвимости того или иного объекта необходимо знать и свойства нефти, которая в определенной форме (в виде вязкой массы, дисперсии, раствора…) воздействует на организмы гидробионтов.

Нефть – природная система жидких углеводородов широкого физико-химического состава, в которой растворены газообразные и твердые вещества. Соотношение входящих в состав нефти веществ (фракционный состав) определя-

ет физические и химические свойства нефти, а также определяет ее поведение и потенциальное воздействие на учитываемые компоненты окружающей среды (таблица И.12).

Таблица И.12 – Краткое описание основных свойств нефти в морской воде (см. также схемы в § 7.2 основного текста)

Свойства нефти	Описание свойств нефти
Испарение (E – Evaporator)	Нефть частично испаряется, причем степень испарения зависит от плотности нефти – очень легкая нефть испаряется быстро, тяжелая – очень медленно. Испаряться может от доли процента до 100 % нефти.
Плавучесть (F – Floater)	Нефть, попадая в воду, как правило, растекается по поверхности моря, поскольку ее плотность в большинстве случаев меньше плотности воды. При этом она переносится течениями и ветром на большие расстояния.
Растворение (D – Dissolver)	Нефть в зависимости от состава может частично растворяться в морской воде. Максимальная концентрация нефтяных углеводородов при этом может достигать 10–15 мг/л.
Погружение (S – Sinker)	Остаточный продукт тяжелой нефти (битум) и тяжелая нефть, в том числе мазут, могут быстро опускаться на дно моря. Этот процесс зависит от соотношения плотностей нефти или ее остатков после растворения и испарения и плотности самой воды, что определяется многими факторами, в том числе температурой и соленостью.

Существуют различные классификации нефти по плотности в России и мировой практике [ГОСТ Р 51858, 2002; Воробьев и др., 2005; API, 1999; ITOPF, 2002 и др.].

В соответствии с перечисленными выше свойствами нефти целесообразно представлять характеристику поведения нефти в морской среде в зависимости от ее плотности (фактически от ее состава) (таблица И.13).

Можно принять ту или иную классификацию нефти по свойствам. Например. На данном этапе мы принимаем классификацию ITOPF с объединением легкой и очень легкой нефти в одну группу, конкретные значения по плотности всех типов нефтей представлены в таблице И.14. Однако, наиболее оптимальным является подход, когда детально известны свойства нефти, с которой может произойти аварийный разлив в картографируемом районе [Дедков и др., 2012]. И именно на этой основе и делаются все оценки для E^g, S^g и коэффициентов E^g. Но пока мы

придерживаемся подхода классификации свойств нефти и разделения ее по свойствам на несколько типов.

Таблица И.13 – Поведение нефти различных типов в морской воде

Тип нефти и ее плотность	Свойства нефти			
	Испарение (E – Evaporation)	Плавучесть (F – Flotation)	Растворение (D – Dissolution)	Погружение (S – Sinker)
Легкая нефть (EFD), <850 кг/м^3	быстрое	хорошая	хорошее	нет
Средняя нефть (FED(S)), 850 – 950 кг/м^3	слабое	хорошая	слабое	при определенных условиях
Тяжелая нефть (SD), > 950 кг/м^3	нет	нет	почти нет	тонет

Далее это будет использоваться для определения потенциального воздействия нефти среднего типа на значимые группы/подгруппы/виды биоты.

Ниже представлен один из возможных подходов по оценке V_b^g на основе того, что значения параметров, определяющих эти коэффициенты уязвимости лежат в диапазоне от 0 до 10.

Потенциальное воздействие (E^g) на группы/подгруппы/виды биоты оценивается исходя из свойств нефти и характера ее поведения после разлива, а так же распространения живых организмов в толще морской воды. Это потенциально возможное соприкосновение (контакт) биоты с нефтью при ее разливе. Поэтому фактически потенциальное воздействие (E^g) определяется как ранг вероятности соприкосновения организма с нефтью после разлива (таблица И.14). Рассматривая потенциальное воздействие нефти среднего типа на биоту, принимается во внимание, что большая часть нефти быстрее испарится, растворится или будет растекаться по поверхности, чем достигнет дна. Для такого типа нефти загрязнение, связанное с растворением будет распространяться главным образом на глубину до 10–20 м от поверхности и в основном в этом слое воздействовать на биоту. Поэтому наибольшее воздействие будет оказываться на организмы, непосредственно связанные с верхним слоем, и снижается с глубиной, в придонном слое (глубже 20 м) оно практически равно нулю.

Таблица И.14 – Таблица классификации типов нефти принятая в рамках предлагаемой методики

Организация, параметр нефти,	**Единицы измерения, др. характеристики**	**Тип нефти**					**Примечания, источник**
		Легкая		**Средняя**		**Тяжелая**	
Плотность	**кг/м^3 20 °C**	**< 850.0**		**850.1 – 950.0**		**> 950.0**	
ГОСТ РФ	**Тип нефти:**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	
		особо легкая	**легкая**	**средняя**	**тяжелая**	**битуминозная**	
плотность	кг/м^3 20 °C	<830.0	830.1 – 850.0	850.1 – 870.0	870.0 – 895.0	> 895.0	[1]
	кг/м^3 15 °C	<833.7	833.8 – 853.6	853.7 – 873.5	873.6 – 898.4	>898.4	

API	**Группа:**	**Группа 1**	**Группа 2**	**Группа 3**	**Группа 4**	**Группа 5**	
	устойчивость	Неустойчивая	устойчивая	устойчивая	устойчивая	устойчивая	[2]
удельная плотность[1]	кг/м^3 (15.56/15.56 °C)	–	< 850.0	850.0 – ≤ 950.0	950.0 – ≥1000	> 1000	

ITOPF	**Группа:**	**Группа 1**	**Группа 2**	**Группа 3**	**Группа 4**	
градусы API	°API	> 45	45 – 35	35 – 17.5	< 17.5	[3]
удельная плотность[1]	кг/м^3 (15.56/15.56 °C)	<800	800.0 – 850	850 – 950	> 950	

[1] – [ГОСТ Р 51858–2002]; [2] – [Патин, 2008]; [3] – [ITOPF, 2002].

API – American Petroleum Institute – Американский институт нефти; °

API – единица измерения плотности нефти, разработанная Американским институтом нефти.

ITOPF – The International Tanker Owners Pollution Federation Limited – некоммерческая организация, созданная владельцами мирового танкерного флота и их страховщиками для эффективной ликвидации морских разливов нефти, химических продуктов и других вредных веществ.

[1] – удельная плотность нефти – числитель – плотность нефти при 60 °F (15.56 °C) по отношению к плотности воды – знаменатель – также при температуре 60 °F (15.56 °C)

Таким образом, потенциальное воздействие на подгруппу «ныряющих» птиц следует принимать максимальным (равным 10, если экспертами принято такое предельное значение). С учетом того, что ихтиопланктон обитает в толще от поверхности до дна, следовательно, для него E^g будет меньше и оценивается рангом 7. В зависимости от глубины для зоо- и фитобентоса потенциальное воздействие будет различным (таблица И.15). До глубин 20 м влияние на бентос будет оказываться, причем для неподвижных форм и фитобентоса характер воздействия выражен значительнее: до 20 м E^g=4, для подвижных форм зообентоса E^g=1; глубже 20 м E^g=0 для всех форм бентоса. Рыбы способны уходить от загрязнения, поэтому контакт с нефтью будет происходить реже (E^g=1), а для донных рыб он сводится практически к нулю (E^g=0). Для птиц потенциальное воздействие оценивается еще и с учетом времени их нахождения в воде. Большую часть времени в воде находятся «ныряющие» птицы, для них значение ранга Е максимально и равно 10. «Парители» большую часть времени проводят «на крыле», а «околоводные» на берегу, поэтому им присвоен ранг E^g = 6 и 4 соответственно. Для морских млекопитающих учитывалась также их способность уходить от загрязнения и привязанность к поверхностному слою, кромке льда и прибрежью. Таким образом, китообразные (подгруппа млекопитающих «без меха») имеют невысокий ранг E^g=1, белый медведь связан с кромкой льда и его вероятность контакта с нефтью несколько выше (E^g=3). Ластоногие (подгруппа «покрытые мехом») более привязаны к берегу, поэтому для них ранг Е установлен равным 5 (таблица И.15).

Чувствительность групп/подгрупп/видов биоты (S^g) можно определить исходя из токсикологического действия на нее нефти. Оценивая значения летальных и сублетальных концентраций средней нефти для основных групп биоты, рассчитываются коэффициенты чувствительности к действию нефти [Шавыкин, Ильин, 2010] и далее переводятся в диапазон от 1 до 10 (или другой, принятый экспертами). Анализ существующих токсикологических данных показал, что наибольшей чувствительностью к нефтяному загрязнению характеризуются икринки и ранние (личиночные) стадии развития гидробионтов (S^g=10). Такая же

степень чувствительности к нефтяному загрязнению вод у всех подгрупп птиц в холодных климатических условиях (S^g=10). Наименее чувствительны – морские млекопитающие, т.к. они имеют высокую степень защиты от внешней среды и высокоорганизованную нервную систему, позволяющую избегать загрязненных участков. Однако ластоногие, исключая моржа, покрыты коротким мехом, который плохо отмывается от нефти, тем самым нарушая терморегуляцию животных. Поэтому среди морских млекопитающих у китообразных и белого медведя S^g=1.6, а ластоногие будут иметь более высокую чувствительность (S^g =3.2). Степень чувствительности для всех подгрупп бентоса и рыб в данных условиях расценивается как промежуточная S^g=3.8 и S^g=4.9 соответственно (таблица И.15).

Восстанавливаемость (R^g) популяций после воздействия на них нефти (таблица И.15), главным образом, оценивается исходя из циклов их развития и количества репродуктивных периодов в единицу времени, а так же продолжительности жизни и количества воспроизводимого потомства. Процесс полного восстановления бентоса на поврежденном участке дна определяется с учетом того, что в группу зообентоса входит большое количество видов с различными биологическими особенностями. Относительно остальных групп биоты ранг восстанавливаемости будет достаточно высокий (R^g=8), т.к. в среднем у них небольшая продолжительность жизни (кроме крабов), но многочисленное потомство, измеряемое десятками тысяч в год. Морские млекопитающие имеют очень низкий ранг восстанавливаемости, т.к. живут долго и приносят 1 детеныша в год (ластоногие) или 1 детеныша в 3 года (киты и белый медведь). Поэтому численные значения рангов их восстанавливаемости определены равными R^g=2 и R^g=1, соответственно. Восстанавливаемость ихтиопланктона установлена исходя из средних значений восстанавливаемости рыб. Пелагические рыбы живут меньше, чем донные и нерестятся ежегодно, при примерно одинаковой выживаемости потомства у обеих групп. Для них период восстановления определен до 5–7 лет, для донных видов рыб (экспертные данные по треске), он составляет 10–20 лет. Поэтому присвоенные пелагическим и донным рыбам ранги восстанавливаемости (R^g) равны 6 и 4

соответственно. Таким образом, для ихтиопланктона определен ранг $R^g = 5$. Для птиц период восстановления может занять так же довольно долгий период, как и для рыб, обусловленный их большой продолжительностью жизни (до 15–20 лет). Но в целом ранг восстанавливаемости у птиц будет ниже R^g=4, в связи с тем, что ежегодно они приносят меньше потомства, чем рыбы (таблица И.15).

Таблица И.15 – Экспертные значения чувствительности, восстанавливаемости, потенциального воздействия для нефти среднего типа и вычисленные коэффициенты уязвимости для каждой g-ой группы организмов $V_b^g = (S^g \times E^g)/R^g$

Название группы	E^g	S^g	R^g	V_b^g	**Название группы**	E^g	S^g	R^g	V_b^g
Зообентос (немобильный) **Фитобентос**	–	–	–	–	**Ихтиопланктон**	7	10.0	5	14
0–20 м	4	3.8	8	1.9	**Птицы**	–	–	–	–
>20 м	0	3.8	8	0	«Парители»	6	10.0	4	15
Зообентос (мобильный) 0–20 м	1	3.8	8	0.5	«Ныряющие»	10	10.0	4	25
>20 м	0	3.8	8	0	Околоводные	4	10.0	4	10
Рыбы	–	–	–	–	**Морские млекопитающие**	–	–	–	–
пелагические	1	4.9	6	0.8	покрытые мехом*	5	3.2	2	8
донные	0	4.9	4	0	без меха*	1	1.6	1	1.6
проходные	1	4.9	6	0.8	белый медведь	3	1.6	1	3.2

*– подгруппу морских млекопитающих покрытых мехом составляют китообразные и атлантический морж; подгруппу без меха – все ластоногие, исключая моржа

В таблице И.15 представлен пример параметров уязвимости для нефти среднего типа. Однако приведенные значения в таблицах требуют дальнейшего уточнения.

Коэффициенты уязвимость особо значимых объектов (V_c^e – ecology, socio-cultural and economic vulnerability), т.е. уязвимость экологических, социокультурных ресурсов и объектов хозяйственной деятельности C^e. Более правильно называть эти параметры r определяется соответственно их значимости для экосистемы, ценности для человека и хозяйственного использования. Коэффициент V_c^e

тем выше, чем выше значимость ОЗО для функционирования экосистемы и больше важность для человека (таблица И.16).

Таблица И.16 – Коэффициенты уязвимости эколого-экономических ресурсов (V_c^e)

Основной тип	**Тип участка акватории**	V_c^e
Экологически значимые районы (ключевые места обитания)	Места нереста и нагула рыб	6
	Ключевые местообитания массовых видов птиц (на пролете, при гнездовании, на зимовке)	8
	Ключевые местообитания морских млекопитающих	10
	Места скоплений промысловых беспозвоночных	6
Рекреационные территории	Плавучие гостиницы, рестораны и кафе, гавани для яхт, акватории пляжей, зоны любительского рыболовства, санаторно-курортные зоны, места погружения с аквалангом,	3
Исторические и культурные районы	Объекты культурного наследия Плавучие музеи	3
Районы, на которых осуществляется производственная (хозяйственная) деятельность	Районы промышленного рыболовства, в первую очередь промышленного рыболовства	4
	Районы добычи донных беспозвоночных	5
	Участки разведения марикультуры и прилегающие к ним участки	4
	Участки, перспективные для марикультуры	2
	Районы добычи морских водорослей	5
	Гидротехнические сооружения	2
	Портовые сооружения	1
	Инфраструктура, относящаяся к разведке, добыче и транспортировке нефти	1

Ключевые места обитания морских млекопитающих и птиц имеют самую высокую экологическую значимость V_c=10 и V_c=8 соответственно. Так же для экосистемы важны места скоплений промысловых беспозвоночных, нереста и нагула

рыб, выраженные коэффициентом V_c=6. Районы и участки, связанные с различными биологическими ресурсами имеют повышенные коэффициенты V_c=4–5. Рекреационные территории, исторические и культурные районы оценены коэффициентом V_c равным 3. Минимальные значения V_c=1 присвоены техническим сооружениям.

Коэффициенты уязвимости природоохранных территорий (V_d^f – protective vulnerability), т.е. уязвимость природоохранных объектов D^f (особо охраняемых природных территорий, заповедников, заказников, национальных парков и т.д.), определяется по их охранному статусу в соответствии с международной, национальной и региональной природоохранной политикой и действующими нормативными документами (таблица И.17).

Таблица И.17 – Коэффициенты уязвимости природоохранных объектов (V_d)

Тип участка акватории или береговой зоны	Природоохранный статус (установленный нормативным актом)				
	Международная конвенция	Двусторонний междунар. договор	Федеральный закон	Региональный закон	Муниципальный акт
	коэффициенты уязвимости V_d				
Заповедник	10	9	8	–	–
Заказник	–	–	7	6	–
Национальный парк	–	–	5	–	–
Памятник природы	–	–	4	3	2
Районы обитания краснокнижных видов	5				
Проектируемые ООПТ	1				

Так, действующие ООПТ являются наиболее уязвимыми (V_d=10–6 в зависимости от охранного статуса), при этом уязвимость заповедников, выше, чем у заказников и еще выше, чем у национальных парков и районов обитания краснокнижных видов (V_d=5). Памятники природы и проектируемые ООПТ имеют тут более низкие значения уязвимости.

И.2.6 Построение сезонных карт уязвимости учитываемых объектов

И.2.6.1 Построение карт уязвимости биоты при наличии достаточных исходных данных о ее распределении

Для каждого отдельного сезона «складывают» карты распределения всех групп/подгрупп/видов ВКБ (карт распределения $B^{sg[y]}$) умноженные на соответствующие группам коэффициенты уязвимости V_b^g (подгруппам/видам – $V_b^{g_j}$). Процесс «сложения» исходных карт выполняется в одной из ГИС-программ. Данная процедура представляет собой суммирование численных значений показателей $B^{sg[y]}$, присвоенных полигонам в каждой конкретной точке (пикселе) карты, умноженных на коэффициенты уязвимости V_b^g ($V_b^{g_j}$). В результате получается карта (для каждого сезона своя) с новыми границами полигонов, которые определяются присвоенным полигонам исходным значениям относительной плотности обилия группы/подгруппы/вида $B^{sg[y]}$ и соответствующими коэффициентами уязвимости V_b^g:

$$Y_b^s = \sum_g B^{sg[y]} \times V_b^g \qquad \text{(И.3)}.$$

Полученные карты нормируют на максимальное значение уязвимости за сезон (на $maxY_b^s$ *за сезон s)* – получают сезонные карты «относительной» уязвимости биоты:

$$Y_b^{s(s)} = Y_b^s / (maxY_b^s \text{ за сезон s}) \qquad \text{(И.4)}.$$

При нормировке на максимальное значение за год (на $maxY_b^s$ *за год*) получают сезонные карты «абсолютной» уязвимости биоты:

$$Y_b^{s(y)} = Y_b^s / (maxY_b^s \text{ за год}) \qquad \text{(И.5)}.$$

В каждом из этих случаев переходят в диапазон значений уязвимости $minY_b^{s(s)} \div 100$ и $minY_b^{s(y)} \div 100$ усл. ед. соответственно (см. также таблицу И.11). Индексы *s* и *y* в круглых скобках и означают ту или иную нормировку карт.

Если в группе g выделены *j-е* подгруппы g_j и/или виды биоты, то расчеты выполняют по формуле:

$$Y_b^s = \sum_g \sum_j B^{sg_j[y]} \times V_b^{g_j} \qquad \text{(И.6)},$$

и нормируют полученные значения аналогичным образом на максимальные значения Y_b^s за год или за сезон – формулы И.4 и И.5, где:

$Y_b^{s(s)}$ – «относительная» уязвимость биоты от нефти в картографируемом районе *в диапазоне сезонной (для конкретного сезона) уязвимости* – от минимального значения ($minY_b^{s(s)}$) до максимального значения ($maxY_b^{s(s)} = 100$);

$Y_b^{s(y)}$ – «абсолютная» уязвимость биоты от нефти в картографируемом районе – уязвимость *в диапазоне годовой уязвимости* от минимального значения ($minY_b^{s(y)}$) до максимального значения ($maxY_b^{s(y)} = 100$).

Алгоритм варианта 1 используется для построения объектных карт, когда в любом случае должны быть получены все необходимые данные для района воздействия от конкретного объекта, а также для тактических и стратегических карт, если по картографируемому району есть все необходимые данные по ВКБ.

Вклад каждого «слагаемого» (группы/подгруппы/вида) в формулах (И.3 – И.6) определяется исходя из принятой (учитываемой) модели экосистемы картографируемого района и при необходимости перед слагаемыми могут быть добавлены соответствующие коэффициенты, отличные от единицы. Внутри группы доля подгрупп/видов в общем обилии группы уже заложена нормировкой исходных данных на общее обилие группы в картографируемом районе (формула И.2), но при необходимости их вклад также может быть также изменен введением соответствующих дополнительных коэффициентов.

Таким образом, получают сезонные карты значений уязвимости биоты от нефти в картографируемом районе с диапазоном изменчивости уязвимости от минимального значения до 100 отн. единиц. При этом диапазон изменчивости Y_b^s на сезонных картах «относительной» уязвимости биоты для каждого сезона равен $minY_b^{s(s)} \div 100$ независимо от сезона (хотя минимальные значения на них, если они отличны от нуля, могут различаться). Для всех сезонных карт «абсолютной» уязвимости единый диапазон изменчивости – часть диапазона $minY_b^{s(y)} \div 100$, но для каждого сезона он свой. Так что не на всех картах присутствует min и max значений уязвимости $Y_b^{s(y)}$.

И.2.6.2 Построение карт уязвимости биоты при отсутствии достаточных исходных данных о ее распределении

С учетом: а) соотношения ${A_b}^{gs_1}$: ${A_b}^{gs_2}$: ${A_b}^{gs_3}$: ${A_b}^{gs_4}$, б) значений соответствующих коэффициентов уязвимости V_b^g (таблица И.15) и в) карт ранжированного распределения биоты B^{gs} рассчитывают общие значения уязвимости биоты различных районов прибрежно-морской зоны для каждого *s*-го сезона:

$$Y_b^s = \sum_{g=1}^{n} A_b^{gs} \times B^{gs} \times V_b^g \qquad \text{(И.7)}.$$

Значения уязвимости полигонов для полученных карт нормируют на полученное максимальное значение уязвимости биоты в соответствующий сезон s ($maxY_b^s$ за сезон s) и переходят в шкалу $minY_b^{s(s)}$ ÷100. Для каждого сезона s, таким образом, получаем карты распределения «относительной» уязвимости биоты $Y_b^{s(s)}$.

Для построения карт «абсолютной» уязвимости биоты поступают аналогичным образом, но нормировку производят на максимальное значение общей уязвимости не за сезон, а за весь год ($maxY_b^s$ за год). Получают карты распределения $Y_b^{s(y)}$ с диапазоном общей уязвимости $\min Y_b^{s(y)}$÷100. Здесь, как и в случае наличия полных данных о биоте, на картах «относительной» уязвимости присутствует одно и тоже $maxY_b^{s(s)}$=100 для всех сезонов. А на картах «абсолютной» уязвимости значения $maxY_b^{s(y)}$ в каждый сезон, как правило, свои, так как здесь одна шкала уязвимости для всего года и только та или иная этой шкалы часть отвечает конкретному сезону.

И.2.6.3 Построение карт уязвимости особо значимых объектов

Проводят «сложение» полученных карт распределения ОЗО для каждого сезона в отдельности, предварительно умножая значения полигонов C^{es} на коэффициенты приоритетной защиты V_c^e:

$$Y_c^s = \sum_e C^{es} \times V_c^e \qquad \text{(И.8)}.$$

Здесь, как и везде, индекс «*s*» означает принадлежность значений соответствующей величины к конкретному сезону.

Выполняют нормировку полученных карт. Значения уязвимости полученных полигонов ОЗО (Y_c^s) нормируют на максимальное значение их общей уязвимости в соответствующий сезон (на $maxY_c^s$ *за сезон*) и переходят в шкалу $minY_c^{s(s)}$ ÷100 усл. единиц. В итоге имеем на карте распределение значений $Y_c^{s(s)}$ – карты «относительной» уязвимости ОЗО для каждого сезон.

Для построения карт «абсолютной» уязвимости ОЗО поступают аналогичным образом, но нормировку выполняют на максимальное значение уязвимости Y_c^s не за сезон, а за весь год (на $maxY_c^s$ *за год*). Получают карты распределения $Y_c^{s(y)}$ в диапазоне $\min Y_c^{s(y)}$÷100 (см. таблицу И.11).

И.2.6.4 Построение карт уязвимости природоохранных территорий

Проводят «сложение» полученных карт ПОТ для каждого сезона в отдельности, предварительно умножая значения полигонов D^f на коэффициенты приоритетной защиты V_d^f:

$$Y_d^s = \sum_f D^{sf} \times V_d^f \qquad \text{(И.9)}.$$

Выполняют нормировку полученных карт: значения уязвимости Y_d^s полученных полигонов ПОТ нормируют на максимальное значение общей уязвимости в соответствующий сезон (на $maxY_d^s$ за сезон) и переходят в шкалу значений $minY_d^s$ ÷100 усл. ед. (имеем на карте распределение $Y_d^{s(s)}$). Для построения карт «абсолютной» уязвимости ПОТ поступают аналогичным образом, но деление при нормировке производят на максимальное значение общей уязвимости не за сезон, а за весь год (на $maxY_d^y$ за год). Получают карты распределения $Y_d^{s(y)}$, в диапазоне $\min Y_d^{s(y)}$÷100 усл. ед. (см. таблицу И.11).

И.2.7 Построение карт интегральной уязвимости

Для получения карт интегральной «относительной» уязвимости акватории картографируемого района в ГИС-программе (например, в ArcMap) выполняют «сложение» карт «относительной» уязвимости ВКБ, ОЗО и ПОТ:

$$Y_\Sigma^{s(s)} = K_b \times Y_b^{s(s)} + K_c \times Y_c^{s(s)} + K_d \times Y_d^{s(s)} \qquad \text{(И.10)}.$$

Диапазон полученных значений уязвимости $Y_{\Sigma}^{s(s)}$ для каждого сезона делится на пять или три обязательно равных(!) поддиапазонов. Именно равные поддиапазоны необходимы для корректной оценки и сравнения уязвимости разных участков акватории. Поддиапазонам с максимальной интегральной уязвимостью присваивают ранг 5, с минимальной уязвимостью – ранг 1. Если на карте присутствует ранг 0, то он остается как отдельный шестой полигон (четвертый при трехранговой шкале). Полигоны с разными значениями рангов окрашивают на итоговых картах в разные цвета, например: ранг 1 – светло-зеленый, 2 – зеленый, 3 – желтый, 4 – оранжевый, 5 – красный (при трехранговом делении: ранг 1 – зеленый, 2 – желтый, 3 – красный). В легенде к карте показываются выбранные цвета полигонов с соответствующими им номерами рангов, а в скобках – диапазоны интегральной уязвимости для каждого ранга. Полученные сезонные карты уязвимости включают в планы ЛРН. Участки с рангами 4 и 5 – это районы приоритетной защиты (при трехранговой шкале таковыми являются участки с рангом 3). Участки с рангами 2 и 1 (при техранговой шкале с рангом 1) – жертвенные участки, куда при необходимости можно направить нефть для последующего сбора.

Для получения карт «абсолютной» интегральной уязвимости акватории выполняют «сложение» карт «абсолютной» уязвимости ВКБ, ОЗО и ПОТ:

$$Y_{\Sigma}^{s(y)} = K_b \times Y_b^{s(y)} + K_c \times Y_c^{s(y)} + K_d \times Y_d^{s(y)} \qquad \text{(И.11)}.$$

Диапазон «абсолютной» интегральной уязвимости за год делят на пять или три равных (!) поддиапазонов и строят как и для карт «относительной» уязвимости пяти- или трехранговые карты.

Коэффициенты K_b , K_c, K_d выбирают в каждом конкретном случае исходя из значимости этих компонентов экосистемы (важных биотических компонентов, особо значимых объектов и природоохранных территорий) для ее нормального функционирования и для поддержания устойчивого развития экономики региона. Например, это могут быть равные значения K_b=K_c=K_d =1, или, в случае большей важности природоохранных территорий (ПОТ) для данного района можно принять значения 0.25, 0.25 и 0.5.

Коэффициенты K_b , K_c, K_d в формулах (И.10 и И.11) могут также представлять соотношение расходов на ликвидацию разлива нефти, потерь и ущерба от нефтяного загрязнения выделенных составляющих морской экосистемы. Так, в работе [Det Norske Veritas, 2011] расходы на ликвидацию последствий аварийных разливов получены из опыта последствий разливов из танкеров по всему миру в течение 1992–97 гг. Все учитываемые ресурсы были объединены по 3 характеристикам и оценены в виде следующих отдельных элементов затрат: *физическая чувствительность* – 30 %, как стоимость очистки от нефти на основе фактических расходов по ликвидации разлива; *биологические ресурсы* – 50 % как оценка ущерба природным ресурсам, причиненного разливом; *ресурсы, используемые человеком* – 20 % как коммерческие потери в результате разлива, плюс оценка ущерба социальных ресурсов в результате разлива на основе фактических компенсированных потерь бизнеса (снижения деловой активности). В литовской методике [Depellegrin et al., 2010] весовые коэффициенты ресурсов прибрежья определялись количественно по относительной важности четырех прибрежных ресурсов, оцененных либо по социально-экономическому, либо по экологическому значению. Были предложены следующие весовые коэффициенты для выделенных компонентов прибрежья: особенности береговой части – 0.2; социоэкономические – 0.3; биологические ресурсы – 0.3; рыбопромысловые – 0.2.

Разделяя мнение австралийских разработчиков о более высокой важности биологических ресурсов, чем коммерческие потери и социальный ущерб, можно предложить следующие коэффициенты для ВКБ и ОЗО в формулах (И.10 и И.11): $K_b = 0.3,\ K_c = 0.1$. Для ресурсов, имеющих природоохранный статус, коэффициент будет максимальным K_d=0.5.

На сезонных картах «относительной» интегральной уязвимости показана относительная сезонная (в данный конкретный сезон) уязвимость от нефти тех или иных участков акватории. Для каждого сезона здесь своя шкала относительной уязвимости. При этом сравнение уязвимости одного и того же участка акватории (тем более разных участков) для разных сезонов по соответствующим сезонным картам невозможно. По картам «относительной» уязвимости можно срав-

нивать только разные участки одного сезона на одной и той же сезонной карте одного и того же масштаба.

На сезонных картах «абсолютной» интегральной уязвимости показана абсолютная для всего года уязвимость всех участков. Здесь единая для всего года шкала уязвимости, разделенная на поддиапазоны (ранги) и можно проводить сравнение уязвимости одного и того же участка или разных участков между собой как для одного и того же сезона, так и между сезонами. Но начальные и конечные значения шкал интегральной уязвимости для карт одного масштаба различны.

И.3 Построения картосхем уязвимости Кольского залива от нефти

И.3.1 Расчет коэффициентов уязвимости важных компонентов биоты (ВКБ) для условий Кольского залива

В расчетах для уязвимости Кольского залива использован несколько другой подход, основанный на ранжировании параметров (*E, S, R*), определяющих уязвимость учитываемых групп/подгрупп биоты. При этом в расчет не принимались две экологические группы – ихтиофауна (подгруппы рыб и ихтиопланктон) и морских млекопитающих, поскольку по ним совершенно отсутствуют данные о распределении в Кольском заливе.

Приведенные ниже в этом пункте И.3.1. обоснования частично повторяют пункт И.2.5 (где описан подход, когда рассматриваются все группы/подгруппы биоты), но в данном случае сделаны существенные дополнения и обоснование дается рангам этих параметрам без введения предельного значения. Здесь следует отметить, что исследования в этом направлении – обоснования значений коэффициентов уязвимости – должны быть продолжены.

Потенциальное воздействие (E^g) на группы/подгруппы биоты оценивается исходя из свойств нефти и характера ее поведения после разлива, а так же распространения, поведенческих особенностей живых организмов, их экологической ниши в море. Это определяет вероятность соприкосновения (контакт) биоты с нефтью после ее попадания в морскую среду. Рассматривая потенциальное воздействие нефти среднего типа на биоту, принимается во внимание, что большая

часть нефти быстрее испарится, растворится или будет растекаться по поверхности, чем достигнет дна. Т.е. при быстром переносе и рассеянии нефтяного пятна на морской поверхности в открытых водах, на больших глубинах и вдали от берегов транспорт нефти на дно практически исключен [Патин, 2008]. Известные экспериментальные данные, результаты моделирования и прямые измерения в большинстве случаев показывают, что загрязнение, связанное с растворением нефти, распространяется на глубины до 10–12 м [Патин, 2008; Rowe et al., 2007; French-McCay, 2004; и др.]. Поэтому для рассматриваемой нефти среднего типа принята глубина, на которую будет распространяться загрязнение, до 10–20 м от поверхности, т.к. в прибрежье и мелководных участках при турбулентном перемешивании и взаимодействии с донными осадками есть вероятность осаждения ее на дно [Sunken and submerged …, 2009]. Таким образом, наибольшее воздействие будет оказываться на организмы, непосредственно связанные с верхним слоем (до 20 м) и обитающие в прибрежной зоне. С глубиной воздействие нефти и ее концентрация снижается, в придонном слое оно практически равно нулю.

Поведение птиц влияет на их вероятность соприкосновения и загрязнения нефтью, выражающееся в различии между видами [Venesjärvi, 2012]. French-McCay [2009], определила вероятность столкновения с нефтяным пятном в зависимости от количества времени, которое животное проводит на водной поверхности или береговой линии, включая все поведенческие реакции избегания нефти. Обобщая имеющиеся в литературе учитываемые группы/подгруппы биоты ранжировались в порядке потенциального воздействия на них нефти (E^g). Максимальна вероятность (95 %) испачкаться для «ныряющих» птиц, т.к. они большую часть времени находятся в воде, плавая, ныряя для кормления, мало летающие и ночующие на воде [Esler et al., 2002]. Меньше вероятность испачкаться имеют птицы «парители» (35 %), т.к. они больше времени проводят в воздухе, летая над поверхностью воды, некоторые ночуют и кормятся на суше, т.е. они не так тесно контактируют с водой как «ныряльщики». В открытом море нефтяное пятно может показаться птицам в полете, привлекательным районом посадки по сравнению с рябью на поверхности воды [Venesjärvi, 2012], а так же как район нахожде-

ния рыбы. Околоводные птицы основную часть времени проводят на берегу, поэтому вероятность контакта с нефтяным пятном минимальна (10 %) и возникает лишь в зоне заплеска, где они могут кормиться. Указанные выше оценки для птиц различных видов согласуются с исследованиями, проводимыми многими авторами по смертности птиц в результате нефтяных разливов [King, Sanger, 1979; Varoujean et al., 1983; Samuels, Ladino, 1984; Holmes, 1984; Ford, 1985; Seip et al., 1991; Burger, 1993; Wiese, 2002; Wilhelm et al., 2009].

Водные растения приурочены к придонной толще воды. В прибрежье и на мелководье макрофиты имеют высокую вероятность контакта с нефтью при ее разливе (70 %). Прикрепленные к субстрату растения будут подвергаться воздействию толстых пленок нефти, которая их накроет, например, при отливе, а так же есть вероятность воздействия растворенной в толще нефти под пленкой. Однако макрофиты, особенно бурые водоросли, покрыты слизистой оболочкой, которая предохраняет растительную ткань от налипания нефти [Патин, 2008]. В случае даже сильного загрязнения, когда нефть обволакивает талломы водорослей, может происходить их обламывание [Патин, 2008; IPIECA, 2004], что приводит лишь к частичному их повреждению.

Подгруппы зообентосных организмов обитают на морском дне, поэтому вероятность соприкосновения с нефтью происходит при выносе нефтяного пятна в мелководную прибрежную зону (верхняя сублитораль) и литораль, покрывая сырой нефтью. Так же нефть может быть перемещена в донные осадки, как за счет вертикального перемешивания водных масс, так и за счет ее сорбции на минеральной взвеси и осаждении на дно [Патин, 2008]. На глубинах более 10 м в открытом море донные организмы практически не подвергаются риску поражения от нефтяных пленок на поверхности [Boyd et al., 2001], исключения составляют случаи утечки нефтепродуктов на морском дне (повреждение нефтепроводов, природные выходы нефти, и др.). Известно, что подвижные организмы мегабентоса способны избегать нефтяное загрязнение [Percy, 1976; Percy, Mullin, 1977; NCM, 2007], поэтому риск соприкосновения и потенциального воздействия на них нефти будет минимальным (30 %) для донных организмов. Неподвижные

формы бентоса в большей степени подвержены контакту с нефтью, т.к. не в состоянии покинуть загрязненный район. Подгруппа макрозообентоса включает виды, прикрепленные к субстрату и ведущие малоподвижный образ жизни, способные зарываться на небольшую глубину или закрываться, укрываясь от загрязнения [Moles, 1998; Robertson, 1998]. Среди немобильного мегабентоса, подвижных видов очень мало. Это позволяет сделать вывод, что для макрозообентоса вероятность соприкосновения с нефтью меньше, чем у немобильного мегабентоса и составит 40 % и 60 % соответственно.

Резюмируя все выше сказанное, учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы в порядке возрастания риска соприкосновения с нефтью и ее потенциального воздействия: 1 – птицы околоводные; 2 – мегабентос мобильный; 3 – птицы «парители»; 4 – макрозообентос; 5 – мегабентос немобильный; 6 – макрофитобентос; 7 – птицы «ныряющие». Присвоенные порядковые ранги фактически определяют потенциальное воздействие (E^g) и используются далее для расчета уязвимости (таблица И.18).

Таблица И.18 – Различия между видами *K*- и *r*-стратегий развития (таблица взята из работы [Stiling, 1999], но видоизменена и модифицирована для данного исследования)

	r-стратегия	*K*-стратегия
Характерные признаки	Быстрое развитие	Более медленное развитие
	Высокий репродуктивный темп	Высокая конкурентная способность
	Раннее размножение	Замедленное размножение
	Маленькие размеры тела	Более крупные размеры
	Единственное размножение	Повторное размножение
Продолжительность жизни	Короткая, обычно меньше года	Более продолжительная, больше года
Примеры групп организмов	Большинство видов рыб, бентосная фауна, планктон, зеленые водоросли	Млекопитающие, птицы

Чувствительность групп/подгрупп биоты (S^g) можно определить исходя из токсикологического действия на нее различных типов нефти. Оценивая значения летальных концентраций (LC_{50}) средней нефти для основных групп/подгрупп биоты можно определить различия чувствительности их к действию нефти [Шавыкин, Ильин, 2010]. Много обзоров опубликовано по экологическим вопросам, связанным с нефтегазовой промышленностью, и токсикологии углеводородов, воздействию их на морские организмы. Целые симпозиумы были посвящены воздействию отдельных, больших, северных разливов [AMAP, 2007]. Однако такие данные по морской токсикологии разнородны и с трудом поддаются унификации. Даже в лабораторных экспериментах разброс показателей токсичности НУВ чрезвычайно велик, поскольку результаты таких экспериментов определяются множеством факторов: вид и стадия организмов, тип и состав нефти, форма ее нахождения, температура и другие условия среды, продолжительность воздействия и т.д. [Патин, 2008]. Во многих случаях сами методологические процедуры проведения анализа и приемы обработки данных влияют на результирующие значения LC_{50}. В конечном итоге обнаружено, что рассчитанные и представленные LC_{50} для сходных видов бывают очень различны [API, 1995]. Это показывает определенную проблематичность выбора конкретных значений концентраций и степени поражения биоты при нефтяных разливах, особенно если учесть условность экстраполяции данных лабораторных экспериментов на реальные природные условия окружающей среды морских экосистем [Патин, 2008]. Поэтому во многих работах авторы ориентируются не на конкретные значения LC_{50} для отдельных организмов [Riebel, Percy, 1990; Gala et al., 2001; French-McCay, ~~2002~~, 2009; API, 2011; Патин, 1979; Миронов, 1972; Нельсон-Смит, 1977; Курапов и др., 2005; и др.], а оперируют диапазонами значений LC_{50} для групп организмов при воздействии различных типов нефтей, растворенных или диспергированных углеводородов [O'Sullivan, Jacques, 2001; NOAA, 1985; Samiullah, 1985; Патин, 2001;].

Проанализировав сводные данные по диапазонам LC_{50} представленные в литературе, было отмечено, что организмы группируются в соответствии с их общей моделью поведения, предложенной Moore et al [1973] и Swedmark et al

[1973]. Вредное биологическое действие сырой нефти в море проявляется двояким образом: во-первых, в результате физического контакта нефтяной пленки с организмами, обитающими у морской поверхности, в донных осадках и на берегу, и во-вторых, за счет токсических свойств растворенных в морской воде или аккумулированных в донных осадках нефтяных фракций, в основном углеводородов. Гибель морских организмов наблюдается обычно на начальных стадиях нефтяного разлива, когда нефть находится на поверхности моря или быстро выносится на литораль и берег. Вероятность летального поражения резко снижается с течением времени по мере выветривания и удаления из морской среды за счет процессов самоочищения либо предпринятых человеком мер. Острая токсичность нефти определяется в основном присутствием в ней летучих моноароматических углеводородов (МАУ), которые хорошо растворимы в воде и способны быстро проникать в клеточные мембраны, разрушая их. После потери МАУ, в составе ароматических углеводородов начинают доминировать устойчивые ПАУ, определяющие долговременную токсичность нефтяных остатков [Патин, 2008]. Главным образом, приводятся значения LC_{50} острой токсичности, а не хронического влияния нефти и нефтепродуктов для каждой из групп организмов. Но так как свойства нефтей, естественные условия и виды биоты, объединённые в группы, очень различны, то представленные диапазоны значений LC_{50} перекрываются и отличаются в несколько порядков. Однако многие авторы отмечают, что макрофиты более толерантны к воздействию нефти из всех групп биоты, губительными для них считаются летальные концентрации 100 – 1000 мг/л [O'Sullivan, Jacques, 2001; Samiullah, 1985; Патин, 2008]. На ступень выше по чувствительности поставлены бентосные организмы, хотя для них так же определен широкий диапазон значений LC_{50}. Мелкие виды макрозообентоса без хитинового (твердого) защитного покрова, такие как амфиподы, полихеты являются более чувствительными и действующие концентрации 1 – 100 мг/л являются летальными [O'Sullivan, Jacques, 2001; Samiullah, 1985; Патин, 2008]. Бентосные организмы, имеющие такой защитный покров способны выживать при более высоких концентрациях нефти 10–500 мг/л [O'Sullivan, Jacques, 2001; Samiullah, 1985; Патин, 2008]. Однако мелкие формы

двустворчатых моллюсков и гастропод, составляющих в подгруппу макрозообентоса, будут элиминироваться начальными значениями LC_{50} этого диапазона концентраций. Поэтому на крупные формы малоподвижного бентоса, составляющие подгруппу немобильного мегабентоса, губительное воздействие будут оказывать концентрации более высокого порядка до 500 мг/л. У видов мобильного мегабентоса (крабы и др.) вырабатывается резистентность к нефтяному загрязнению, в связи с их более высоким уровнем биологического развития.

Вне всякого сомнения, морская орнитофауна является наиболее чувствительным компонентом к нефтяному загрязнению. Даже кратковременный контакт с разлитой нефтью резко снижает водоизоляционную способность перьевого покрова, приводит к их переохлаждению, утрате плавучести и способности летать, что заканчивается их быстрой гибелью [Патин, 2008; ~~Птицы северных …, 2013~~]. Минимальный (пороговый) уровень пленочный нефти на поверхности моря, который будет воздействовать как смертельная доза для всех видов птиц составляет 10–25 мл/м^2 [Clark, 1984; Jenssen, 1994; Патин, 2008]. Результаты моделирования последствий разливов [French-McCay, 2004], а так же сводные данные о гибели различных групп биоты [Rowe et al., 2007] подтверждают факты, что чаще поражаются нефтью птицы, в силу их повышенной чувствительности к действию нефти.

Резюмируя все выше сказанное, учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы в порядке возрастания их чувствительности к нефти: 1 – макрофитобентос; 2 – мегабентос мобильный; 3 – мегабентос немобильный; 4 – макрозообентос; 5 – все подгруппы птиц. Присвоенные порядковые ранги фактически определяют их чувствительность (S^g) и используются далее для расчета уязвимости (таблица И.18).

Восстанавливаемость (R^g) пораженных популяций после воздействия на них нефти и временные рамки для восстановления морской экосистемы в районе аварийного разлива зависит в большой степени от репродуктивных стратегий организмов и их популяционных особенностей [NCM, 2007]. Виды *r*-стратеги плохие конкуренты, но характеризуются высоким темпом роста популяции. Такие

биологические организмы часто широко распределены или рассеяны, они легко колонизуют новые места обитания, прежде чем они вытесняются видами *K*-стратегами. Группы биоты, относящиеся к *K*-стратегам, являются хорошими конкурентами и часто существуют в зрелых местах обитания, где они могут вытеснять большинство других видов [Stiling, 1999]. Экосистемы, в которых наблюдается более плотное население видов *K*-стратегий, требуют большего времени для восстановления после большого аварийного разлива нефти по сравнению с экосистемами, в которых меньше видов *K*-стратегов. Некоторые различия в признаках для *K*- и *r*-стратегов приведены в таблице И.18 [по Stiling, 1999].

Таким образом, при прочих равных условиях многочисленные виды с высоким репродуктивным потенциалом (*r*-стратеги, такие как подгруппы бентоса) способны быстрее восстанавливать первоначальную численность. Долгоживущие (группа птиц, *K*-стратеги) и малочисленные виды обладают низкой скоростью восстановления [Патин, 2008].

Восстановление после значительных потерь взрослых особей птиц может быть очень медленным [Samuels, Lanfear, 1982], по сравнению с остальными учитываемыми группами биоты. Причем репродуктивная и поведенческая биология для подгрупп птиц парителей, околоводных и ныряющих несколько различается, что влияет на темпы их восстановления. Виды птиц (утки, гуси), входящие в подгруппу «ныряющие» имеют относительно высокий репродуктивный потенциал [Cramp, Simmons, 1977, 1983]. Они начинают размножаться в возрасте 3х лет и откладывают в среднем в одной кладке 7–8 яиц в год. Виды подгруппы птиц парителей (чайки например) начинают размножаться в возрасте около 5 лет и откладывают 1–3 яйца в год, поэтому у них репродуктивный потенциал несколько ниже, как и у околоводных птиц [Состояние …, 2013].

Для бентосных организмов сроки восстановления макро- и мегазообентоса представлены в докладе коллектива авторов [Воздействие…, 2013]. Относительное время возможного восстановления полностью разрушенных видовых ассоциаций макрозообентоса до исходного состояния в Баренцевом море оценивалось исходя из их общей продукции, биомассы и информационного биоразнообразия.

Предполагаемые минимальные сроки восстановления сообществ мегабентоса Баренцева моря представлены в работе П.А. Любина [2013]. Методика, проведенных расчетов основана на предположении о том, что пострадавшая часть сообщества свободно заселяется молодью и личинками с соседних неповрежденных участков, а сроки восстановления сообщества определяются средней продолжительностью жизни самого долгоживущего в составе сообщества вида. То есть, сообщество может считаться полностью восстановленным не ранее того, как самый долгоживущий член завершит свой жизненный цикл.

В результате проведённых расчетов и на основе оригинальных материалов по распределению мегабентоса и зообентоса в Баренцевом море, были построены картосхемы длительности восстановления сообществ этих организмов в Баренцевом море. В среднем по морю сообщества бентоса восстановятся не ранее чем через 5 лет [Воздействие…, 2013] и зависит от многих факторов окружающей среды, а так же биологии конкретных видов. Виды макрозообентоса имеют более высокий репродуктивный потенциал, чем виды мегазообентоса, т.к. в среднем у них небольшая продолжительность жизни, раньше наступает половозрелость и более многочисленное потомство [Наумов, 2006; Анисимова, 2000; Баканев, 2003; Иллюстрированный…, 2006; Кузнецов, 1964]. Поэтому восстановление их будет проходить быстрее.

Скорость восстановления фитоценозов после разливов нефти и нефтепродуктов определяется комплексом условий и индивидуальна в каждом случае. Экспериментальные изучение данных процессов позволило определить, что на Мурмане полное восстановление биомассы фукоидов и массовых видов на литоральной площадке 1 м² происходит за 4 года [Макаров и др., 2007]. Данную цифру можно использовать как минимальную для защищенных от прибоя участках. На открытом берегу скорость восстановления фитоценозов существенно снижается [Vadas et al., 1990].

Резюмируя все выше сказанное, учитываемые группы/подгруппы биоты ранжированы в порядке возрастания их скорости восстановления: 1 –птицы подгрупп парители и околоводные; 2 – ныряющие птицы; 3 – мегабентос мобильный;

4 – мегабентос немобильный; 5– макрозообентос; 6–макрофитобентос. Присвоенные порядковые ранги фактически определяют их восстанавливаемость (R^g) и используются далее для расчета уязвимости (таблица И.19).

При учете рыб и морских млекопитающих можно поступать аналогичным образом, ранжируя и для них значения параметров, определяющих уязвимость.

Таблица И.19 – Экспертные значения чувствительности, восстанавливаемости, потенциального воздействия для нефти среднего типа и вычисленные коэффициенты уязвимости для каждой g-ой группы организмов $\boldsymbol{V_b^g = (S^g \times E^g) / R^g}$

группы/подгруппы биоты*	E^g	S^g	R^g	$V_b^g = (S^g \times E^g) / R^g$
Макрофитобентос (до 20 м)	6	1	6	**1.0**
Макрозообентос (до 20 м)	4	4	5	**3.2**
Мегабентос, немобильный (до 20 м)	5	3	4	**3.8**
Мегабентос, мобильный (до 20 м)	2	2	3	**1.3**
Птицы "парители"	3	5	1	**15.0**
Птицы "ныряющие"	7	5	2	**17.5**
Птицы околоводные	1	5	1	**5.0**

Примечание:
* – если виды, относящиеся к какой либо из групп/подгрупп, входят в список краснокнижных, то для них вводится дополнительный коэффициент 2

И.3.2 Типы особо значимых объектов (ОЗО) Кольского залива и их коэффициенты уязвимости

В Кольском заливе присутствуют три типа особо значимых объектов: порты и портовые сооружения (круглый год), устья нерестовых рек семги (май–октябрь), районы размножения крабов и развития личинок (февраль–июнь).

К портовым сооружениям Кольского залива отнесены: порт на акватории, примыкающий к г. Мурманску, нефтяные терминалы и причальные сооружения в его окрестностях на восточном берегу; причальные сооружения военно-морского флота в Североморске, ЗАТО Росляково, Сафоново, Полярном; старые причалы в Тюва губе. Используя навигационные карты и фотоснимки базы данных, контуры

выделенных объектов наносились на карту, охватывая расстояние в 150 м от берега.

Нерестовыми в Кольском заливе для семги являются следующие реки: Кола, Тулома, Лавна, Кулонга, Ваенга, а так же реки в губах Средняя и Тюва [Реестр…, 2011]. С мая по октябрь семга заходит в эти реки для нереста, поэтому мелководные участки в районе устьев перечисленных рек будут особо значимыми в случае загрязнения. На глубинах, ограниченных изобатами 0–5 м, загрязнение будет препятствовать нормальному захождению рыб в реки. Поэтому наиболее мелководные подходы к устьям рек были ограничены и отмечены на картосхеме ОЗО для нерестовых рек семги.

Размножение крабов проходит на мелководье залива и растянуто на несколько месяцев (с февраля по июнь) [Матюшкин, 2003]. В период массового выклева планктонные личинки, как правило, удерживаются в пределах залива, здесь же происходит и их оседание. Для оседания подходят участки побережья с развитой эпифауной. По экспертной оценке, в северной половине залива их численность выше, чем в южной [Павлова, Зуев, 2010]. Т.к. планктонные организмы очень уязвимы к нефтяному загрязнению, то районы их массового скопления выделены как особо значимые. В Кольском заливе к ним относят мелководные районы северной части залива и отмечаются на картосхеме ОЗО по поясу макрофитов до глубин 20 м.

Эколого-хозяйственная уязвимость (V_c^e), т.е. уязвимость экологических, социокультурных ресурсов и объектов хозяйственной деятельности C^e определяется соответственно их значимости для экосистемы, ценности для человека и хозяйственного использования. Коэффициент V_c^e тем выше, чем выше его значимость для функционирования экосистемы и больше важность для человека (таблица И.20). Как и группы биоты, учитываемые типы ОЗО были ранжированы в порядке увеличения их эколого-хозяйственной уязвимости. Минимальная уязвимость присвоена инженерно-техническим конструкциям, таким как порт и портовые сооружения. Районы и участки, связанные с различными биологическими ресурсами имеют повышенную уязвимость, причем при ранжировании учитывается тип био-

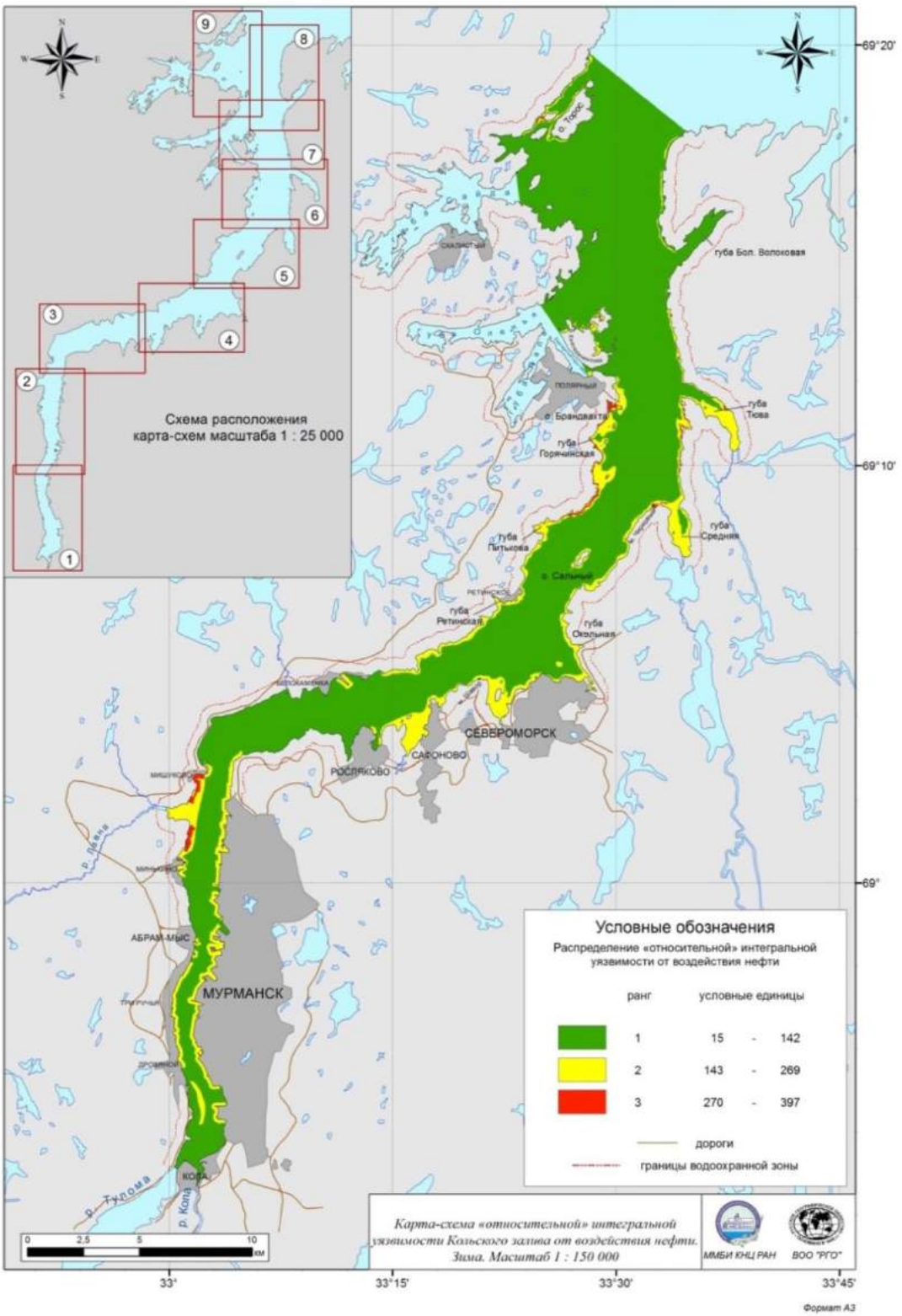
ты, с которым связан тот или иной ОЗО. Известно, что биологические организмы на ранних стадиях развития наиболее уязвимы [Патин, 2008], поэтому районам размножения крабов и развития их личинок присвоена максимальная значимость, средними по значимости ОЗО являются устья нерестовых рек семги (таблица И.20).

Таблица И.20 – Коэффициенты уязвимости ОЗО (V_c^e)

Тип особо значимого объекта (ОЗО)	Ранг уязвимости
Порты и портовые сооружения	1
Устья нерестовых рек семги (май–октябрь)	2
Районы размножения крабов и развития личинок (февраль–июнь)	3

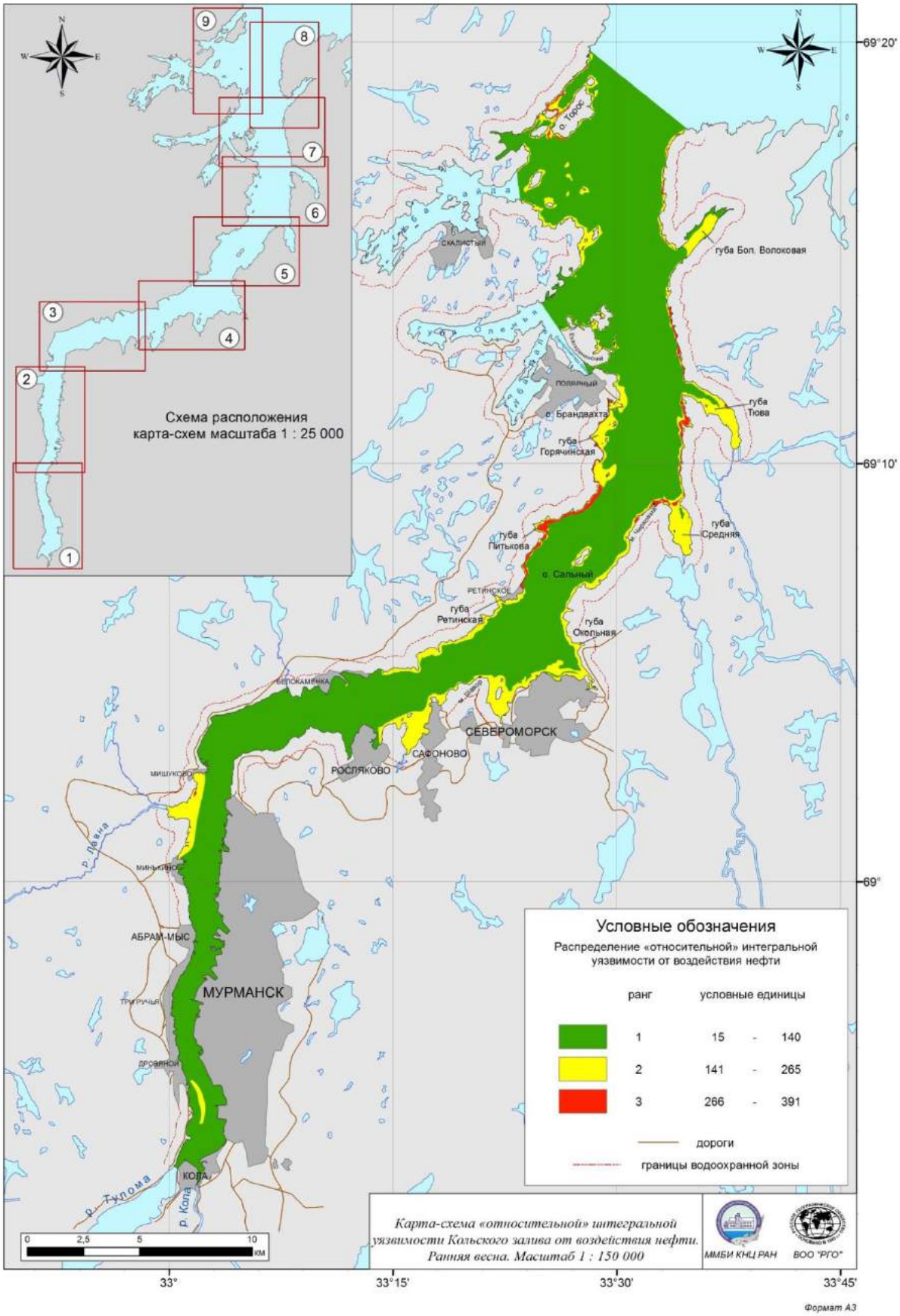
Построенные таким образом карты уязвимости Кольского залива представлены в Приложениях И.3.3 – И.3.6.

И.3.3 Примеры тактических картосхем (масштаб 1:150 000) «относительной» уязвимости Кольского залива от нефти – все сезоны



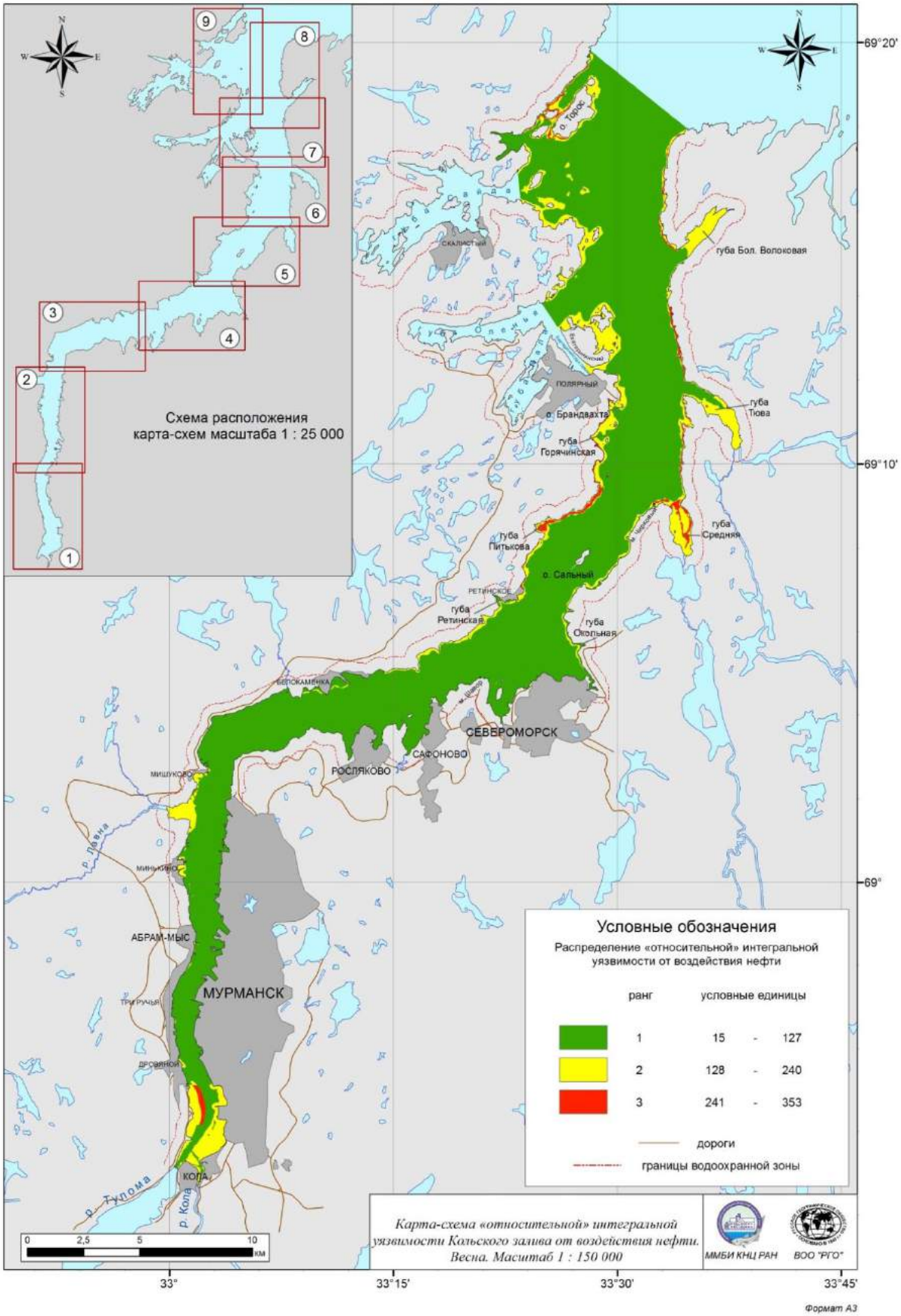
Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

Рисунок И.5 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Зима



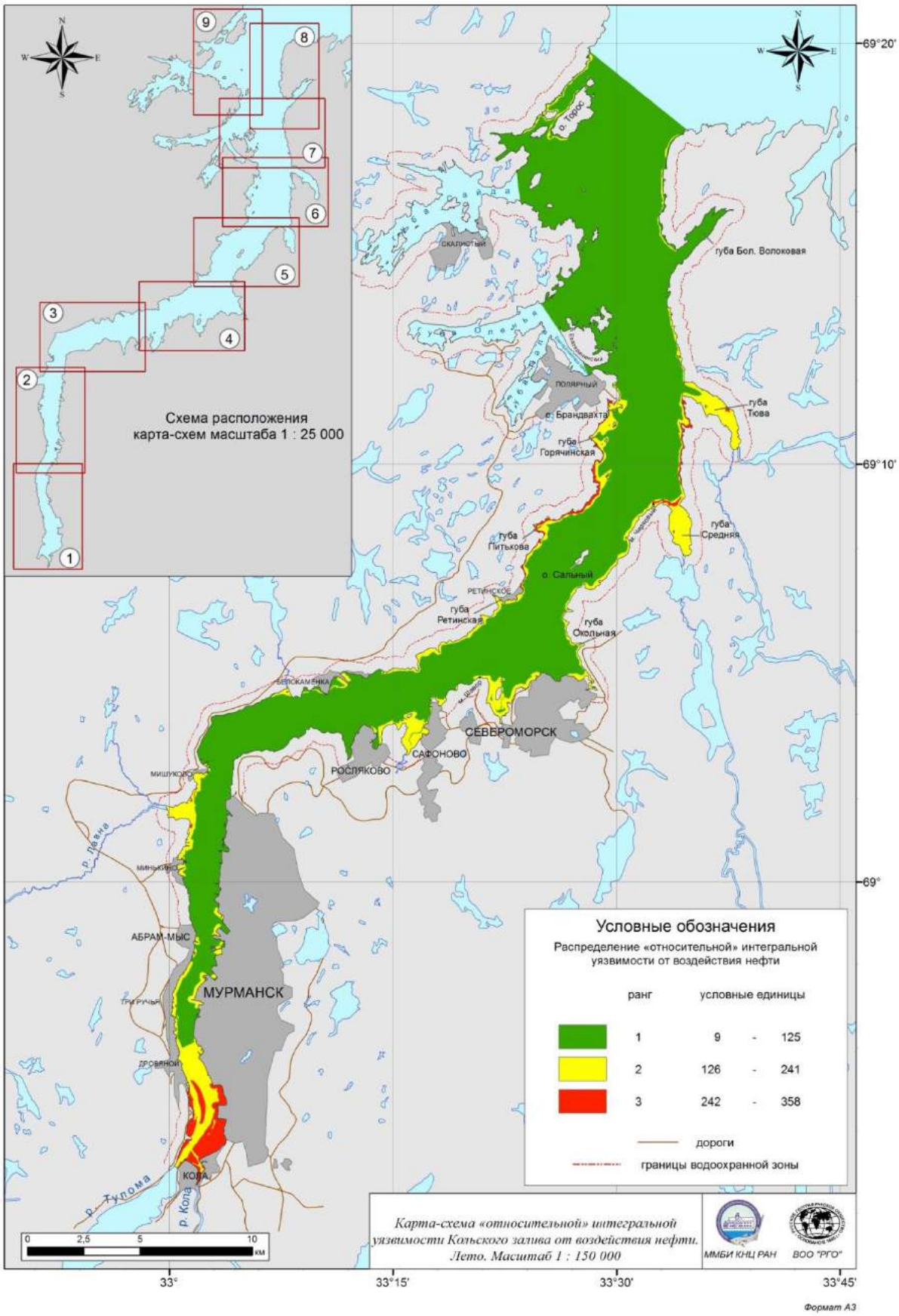
Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

Рисунок И.6 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Ранняя весна



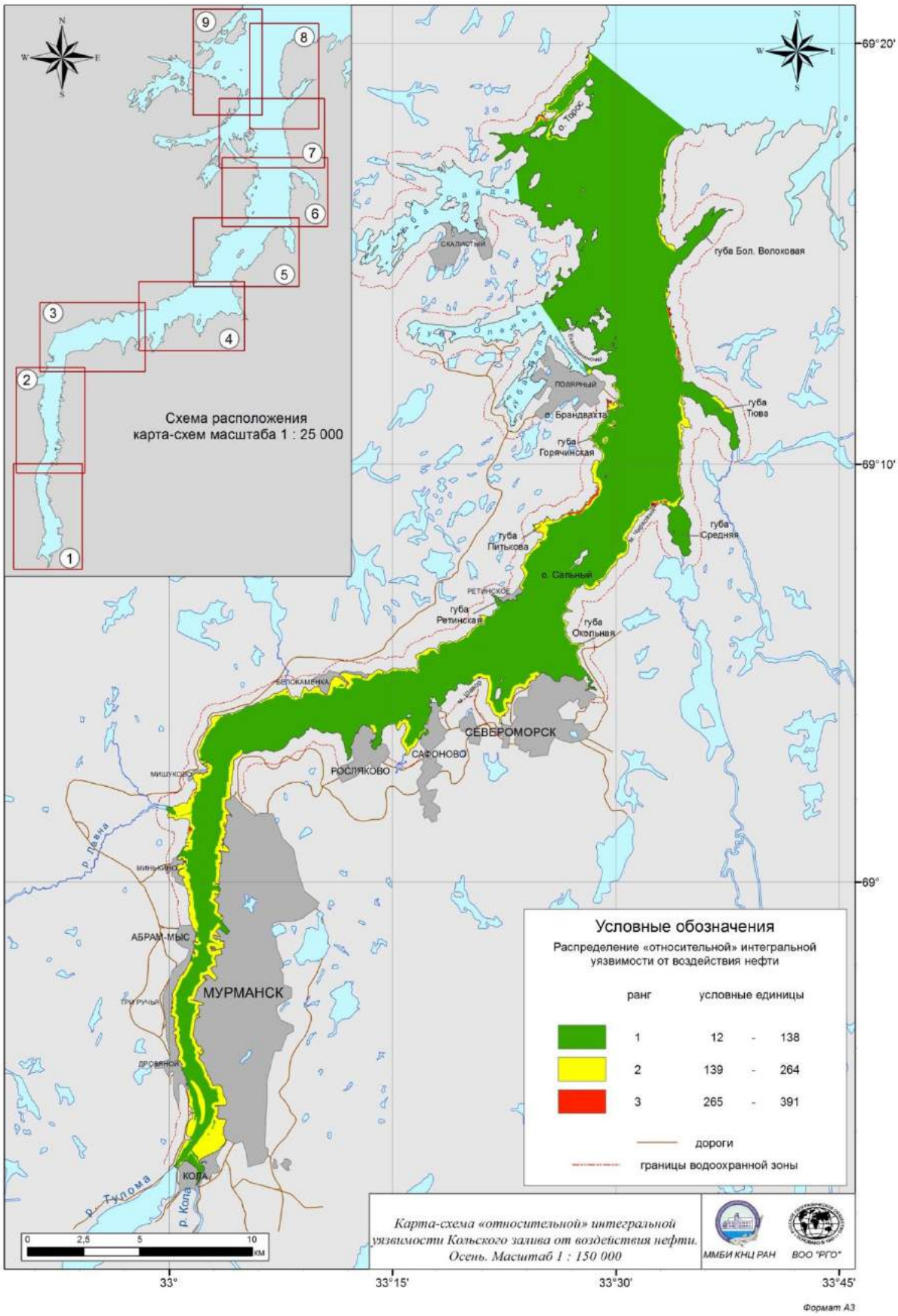
Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

Рисунок И.7 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Весна



Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

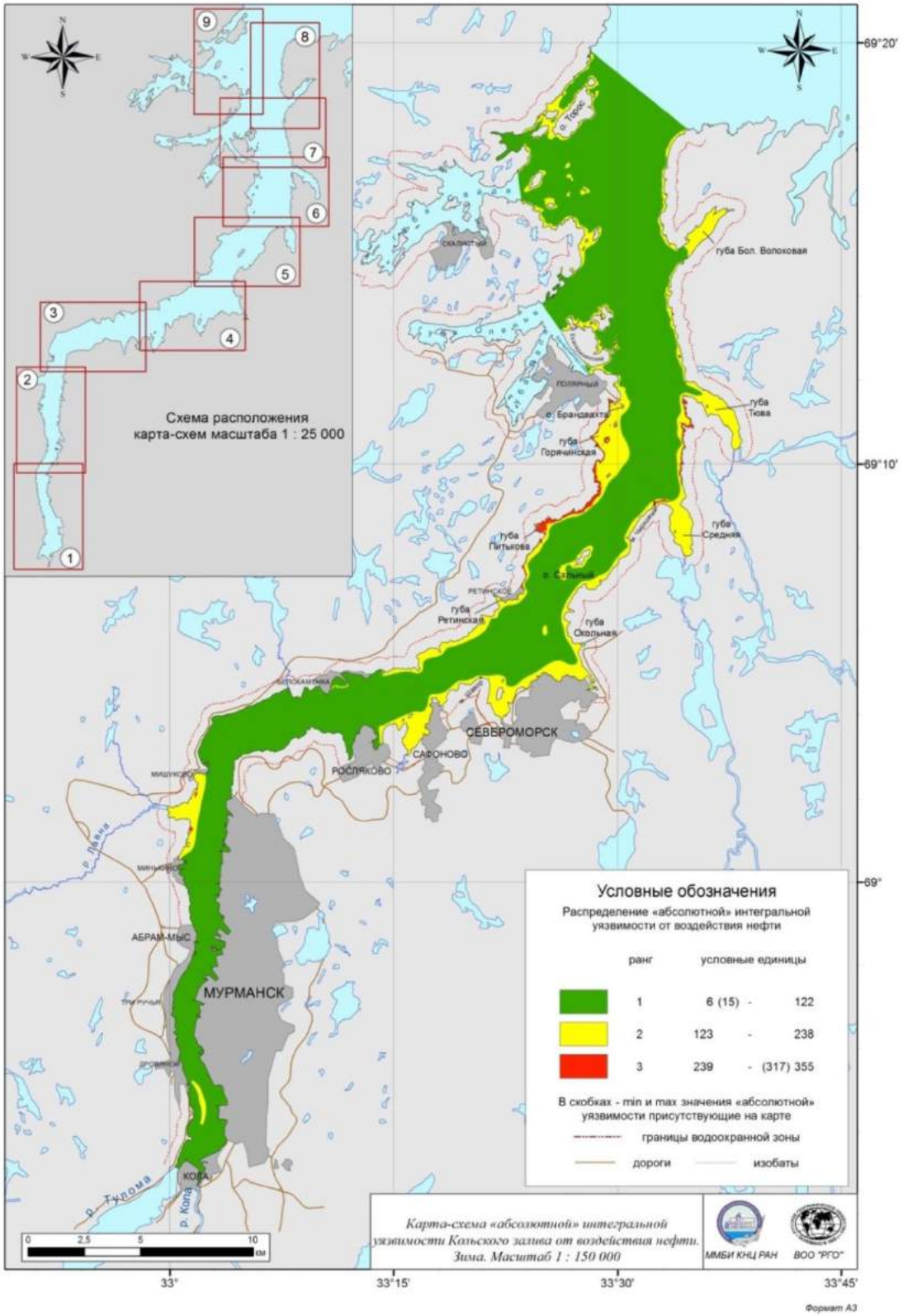
Рисунок И.8 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Лето



Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

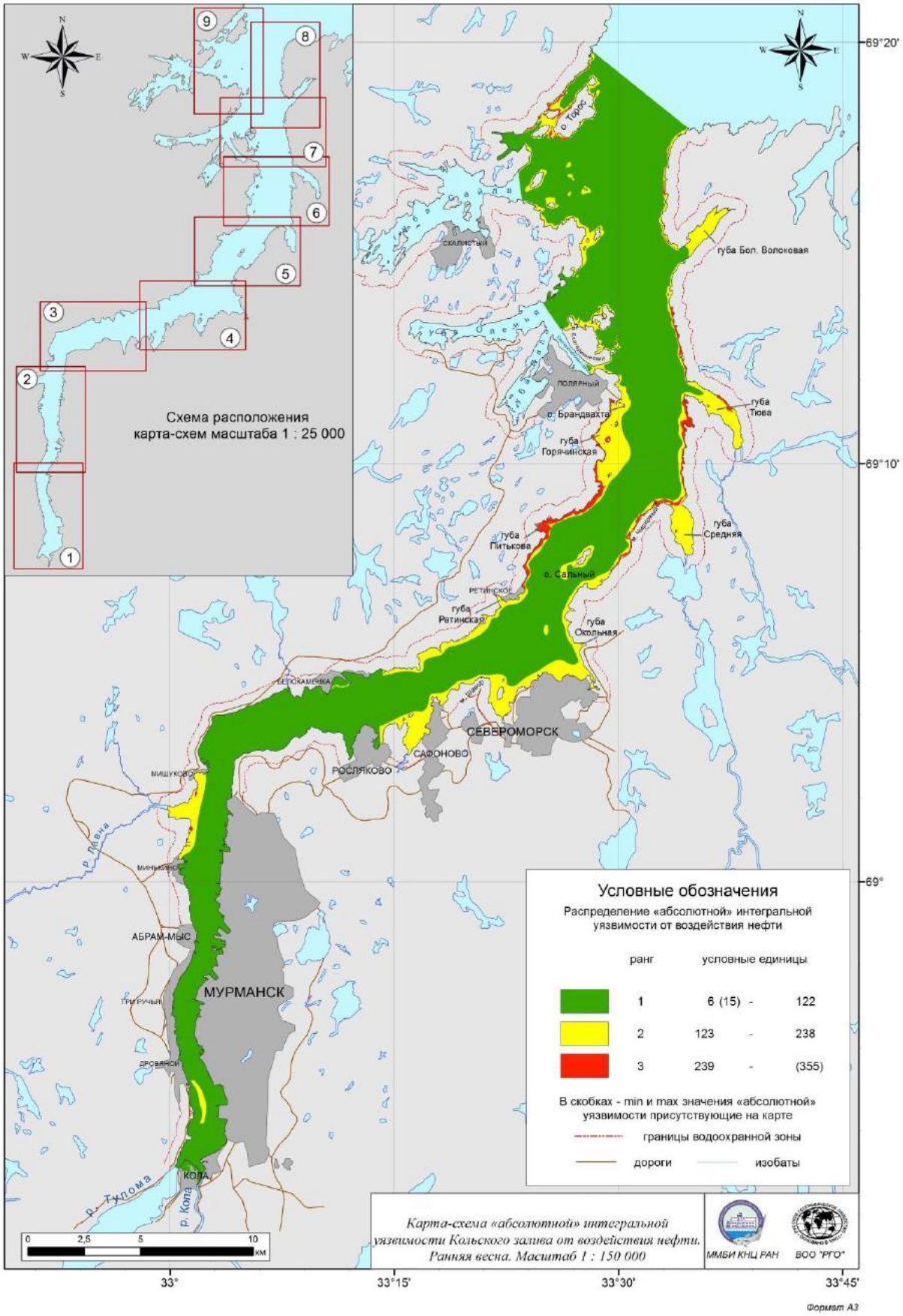
Рисунок И.9 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Осень

И.3.4 Примеры тактических картосхем (масштаб 1:150 000) «абсолютной» уязвимости Кольского залива от нефти – два сезона



Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

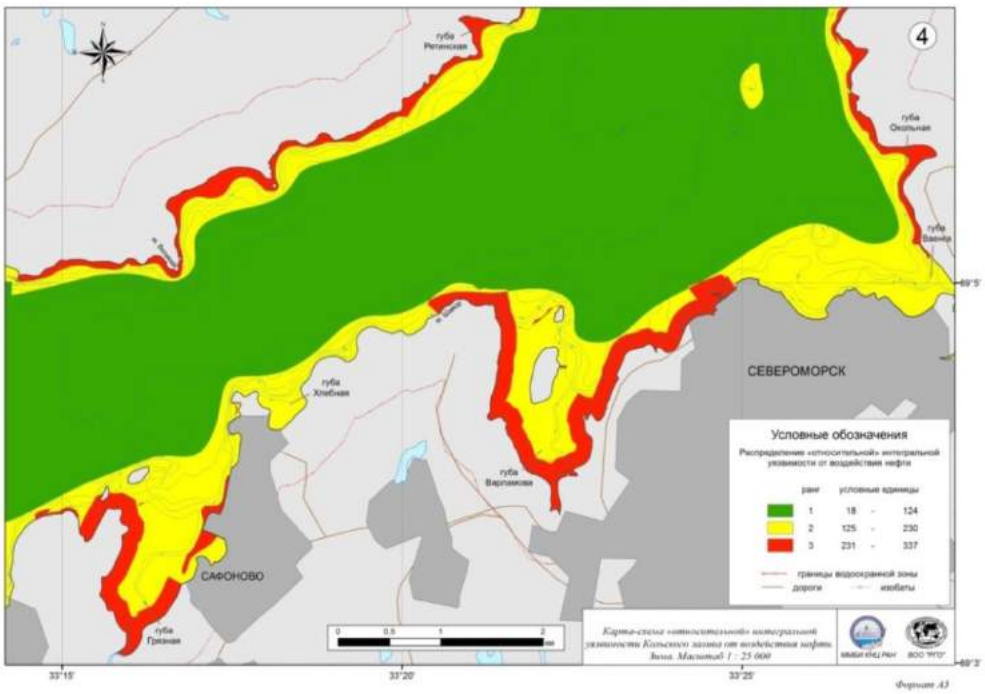
Рисунок И.10 – Картосхема «абсолютной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Зима



Масштаб картосхемы – 1:150 000, размер – А3

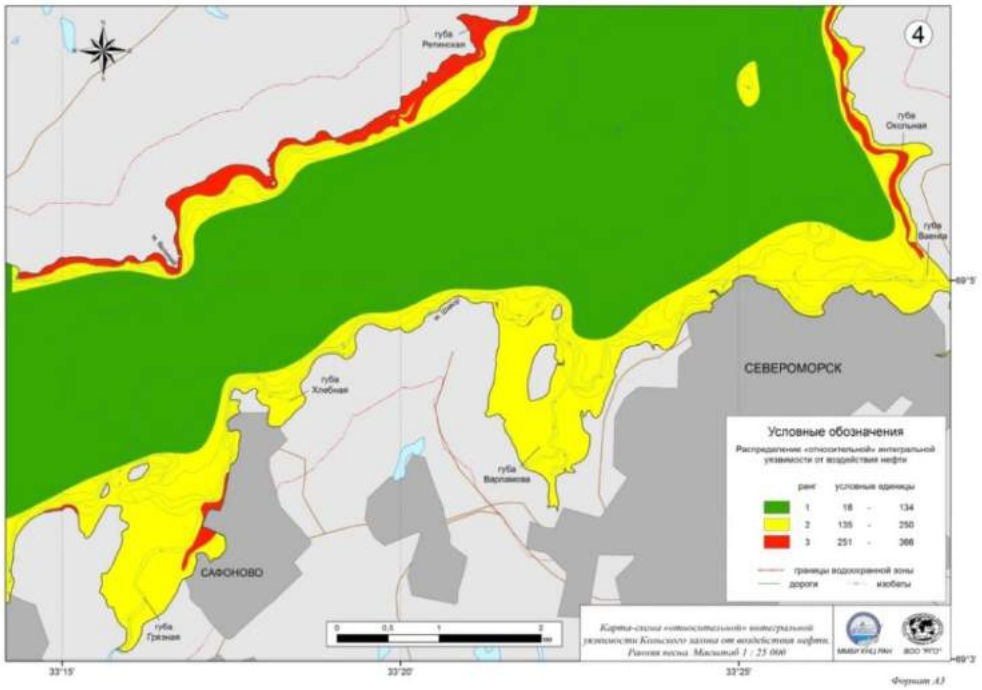
Рисунок И.11 – Картосхема «абсолютной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Ранняя весна

И.3.5 Примеры объектных картосхем (масштаб 1:25 000) «относительной» уязвимости Кольского залива от нефти



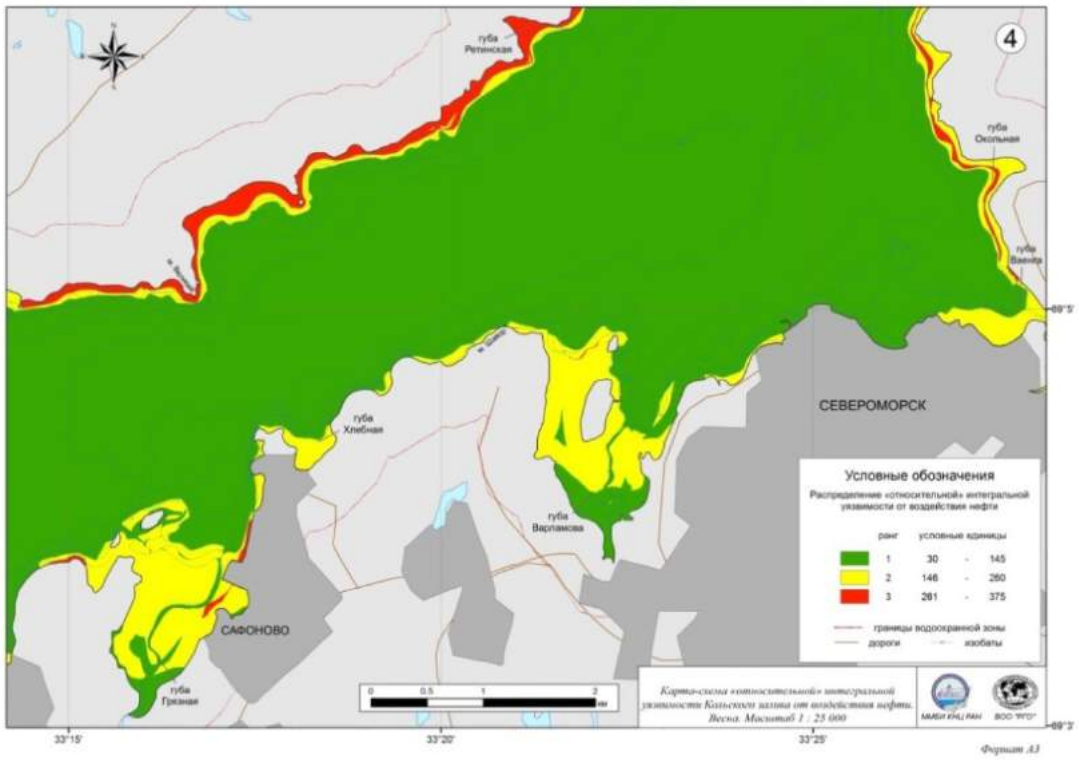
Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

Рисунок И.12 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Зима



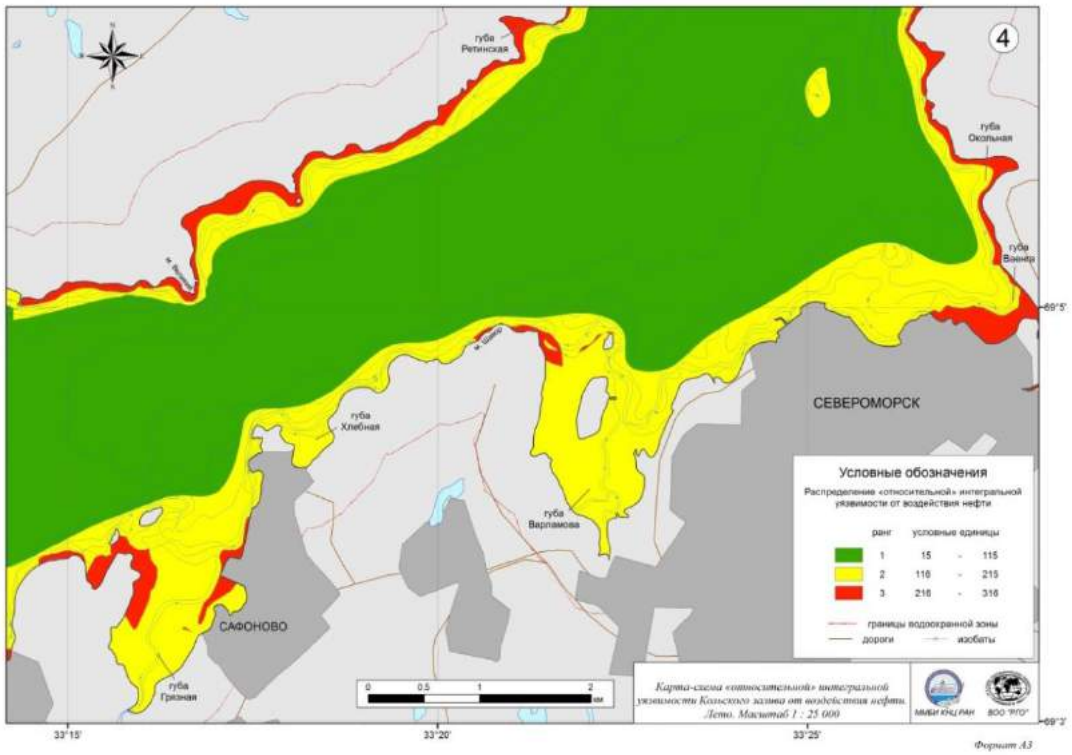
Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

Рисунок И.13 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Ранняя весна



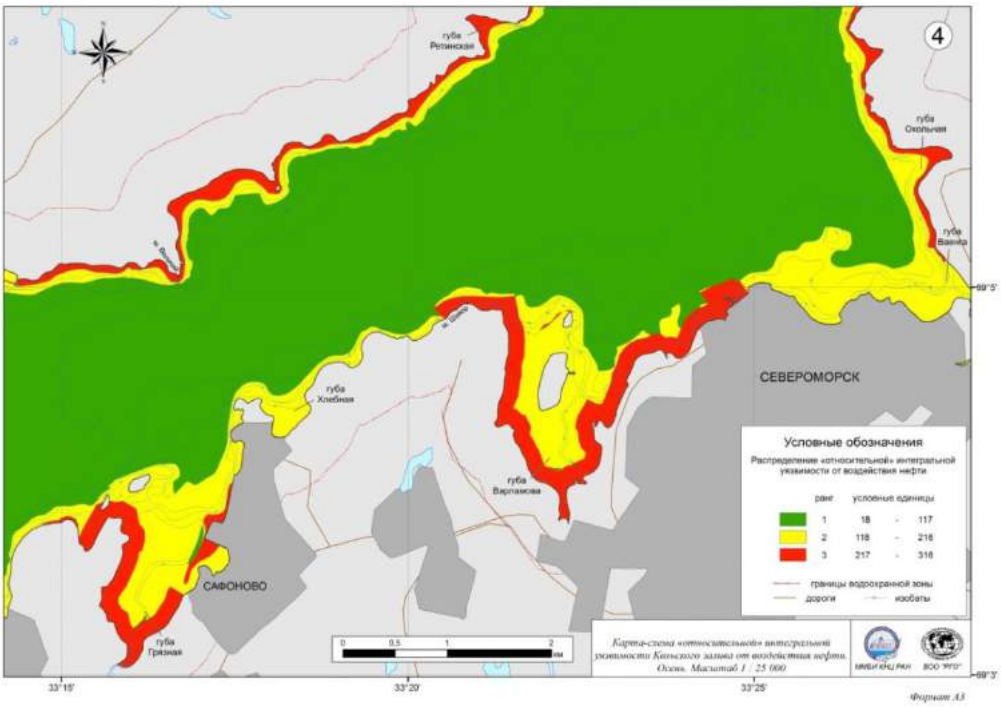
Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

Рисунок И.14 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Весна



Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

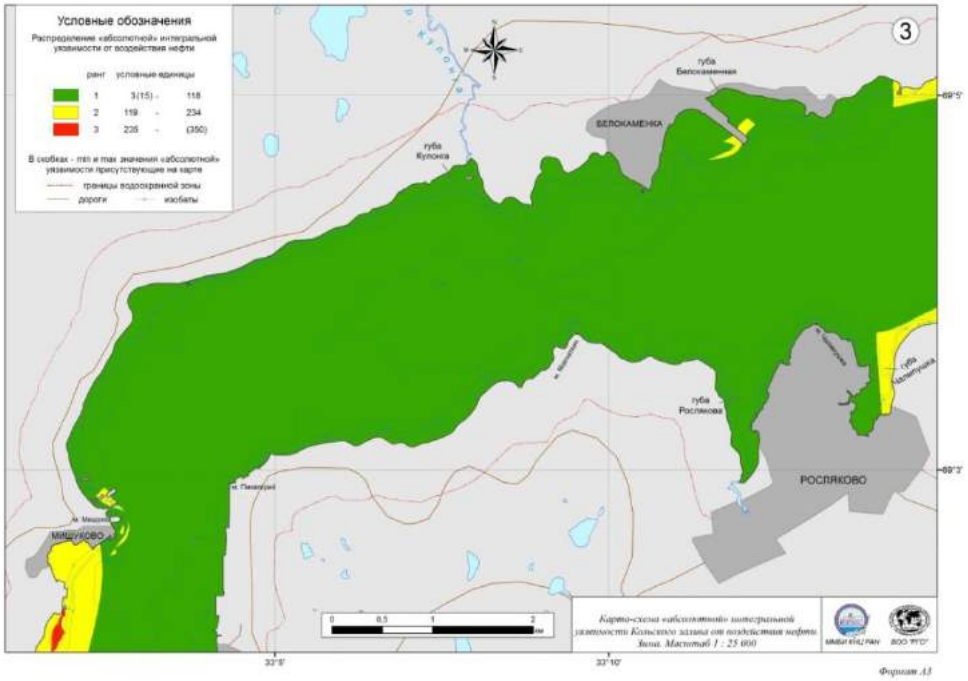
Рисунок И.15 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Лето



Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

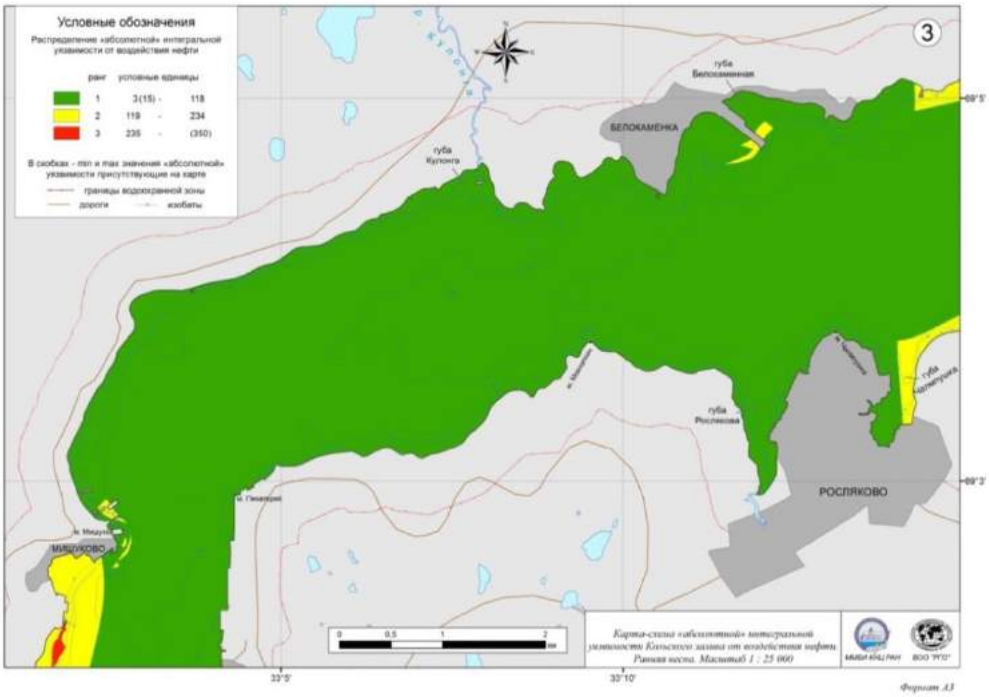
Рисунок И.16 – Картосхема «относительной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Осень

И.3.6 Примеры объектных картосхем (масштаб 1:25 000) «абсолютной» уязвимости Кольского залива от нефти



Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Район № 3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

Рисунок И.17 – Картосхема «абсолютной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Зима



Масштаб картосхемы – 1:25 000, размер – А3. Расположение районов указано на картах масштаба 1: 150 000

Рисунок И.18 – Картосхема «абсолютной» уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Район № 3. Ранняя весна

И.4 Таблица коэффициентов чувствительности берегов по индексу ESI

Таблица И.21 – Чувствительность берегов (в порядке ее возрастания) к разливам нефти и нефтепродуктов [IMO и др., 2012]

ESI	**Тип берега**
1A	Открытый абразионный берег, сложенный крепкими (плотными) породами
1B	Техногенный берег с инженерными сооружениями
2	Открытая размываемая волноприбойная платформа, выработанная в коренных породах или плотных глинистых отложениях
3	Аккумулятивный отмелый берег с пляжем, сложенным мелко-среднезернистым песком
4	Аккумулятивный берег с пляжем, сложенным крупнозернистым песком
5	Аккумулятивный берег с пляжем, сложенным смешанным песчано-гравийным материалом
6A	Аккумулятивный берег с пляжем, сложенным гравийно-галечным материалом
6B	Берег с искусственной каменной наброской и берег с валунно-галечной отмосткой
7	Открытая приливно-отливная отмель (осушка), сложенная литифицированными отложениями
8	Изолированный (защищенный) абразионный берег с уступом размыва, выработанным в плотных породах
8A	Изолированный (защищенный) абразионный берег с уступом размыва, выработанным в плотных породах
8B	Изолированные инженерные сооружения
8C	Изолированные тетраподы
8D	Изолированные валунные наброски
8E	Торфяные берега
9A	Защищенная от волнения приливно-отливная отмель
9B	Отмели заросшие растительностью
9C	Гипергалинные приливные отмели
10A	Приливно-отливные отмели (марши) в пределах соленых и солоноватых акваторий (соленые и опресненные марши)
10B	Низменные заболоченные и заросшие растительностью (биогенные) берега (пресноводные марши)
10C	Болота
10D	Прибрежная древесно-кустарниковая растительность (в оригинале – мангры)