

**Исследования морских млекопитающих
на шельфе северо-восточного Сахалина
(отчет)**

Руководитель программы:

Е.И.Соболевский,

Доктор биологических наук,

заведующий лабораторией

Института биологии моря

ДВО РАН

Список основных исполнителей

1. Соболевский Е.И. – написаны: Введение, раздел 1. Материал и методика (совместно с А.Н. Рутенко), разделы 2; 2.1; 2.2; 2.3; 3; Обсуждение и Выводы.
2. Рутенко А.Н. – написаны акустические разделы отчета, им же разработана программа акустических исследований и радиогидроакустические буи.
3. Борисов С.В. – разработка и эксплуатация излучающего комплекса.
4. Гриценко А.В. – разработка программного обеспечения ввода и анализа акустических данных.
5. Антоненко Д.В и Ружникова Н.П. – техническая обработка научной информации.

Содержание

Введение	5
1. Материал и методика	6
1.1. Акустический измерительно-регистрационный комплекс	12
1.2. Особенности цифровой обработки экспериментальных данных	21
1.3. Нормирование и коррекция натурных данных	27
2. Анализ видового состава и распределения морских млекопитающих у побережья восточного Сахалина	28
2.1. Распределение серых китов в летне-осенний период (июль-ноябрь).	28
2.2. Анализ пространственного распределения серых китов в районе летнего нагула.	70
2.3. Распределение и численность тюленей на шельфе северо-восточного Сахалина.	80
3. Расчетная численность серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина.	89
4. Обзор известных физических положений и представлений об источниках акустических шумов в шельфовой зоне моря	95
4.1. Уровень окружающих шумов	95
4.2. Источники окружающего шума	95
4.3. Особенности окружающего шума в мелком море	97
4.4. Шум излучаемый кораблями	99
5. О влиянии акустических свойств слагающих дно пород на распространение звука в шельфовой зоне моря	101
6. Некоторые результаты акустических исследований, проведенных в районе «Моликпака» в июле-сентябре 1999г.	105
6.1. Акустический фон вблизи платформы «Моликпак»	108
6.1.1. Суточная изменчивость акустических шумов	108

6.1.2. Исследования особенностей распространения шумовых и тональных акустических сигналов	124
6.2. Результаты теоретических и натурных исследований распространения звука по трассе «Моликпак-Пильтун»	131
6.3. Исследование акустического фона и распространения звука в районе летне-осеннего нагула серых китов	134
6.4. Акустические сигналы морских животных	146
Обсуждение	151
Выводы	158
Литература	161

Введение

Изучению морских млекопитающих северо-восточного Сахалина посвятили работы многие исследователи. В настоящее время мы имеем довольно неплохую информацию по весенне-летнему распределению морских млекопитающих на шельфе северо-восточного Сахалина. Эта информация в основном получена в период проведения авиаучета тюленей в весенний период и судовых наблюдений в летне-осенний сезоны (Федосеев, 1970; Федосеев и др., 1970; Косыгин и др., 1986; Соболевский, 1983, 1988 и др.). В последние годы усилия отечественных и зарубежных ученых были нацелены на изучение распределения и оценку численности серого кита охотско-корейской популяции (Берзин и др., 1986; Берзин, Владимиров, 1996; Владимиров, 1996; Блохин, 1996; Brownell et al., 1997; Соболевский, 1998; Wursig et al., 1998; Weller et al., 1999). Выполнение подобных исследований связано с проведением буровых работ и строительством нефтяных платформ на шельфе Сахалина, и отсюда повышенным вниманием экологов России на необходимость жесткого контроля за сохранением биоразнообразия животного и растительного мира прибрежной и морской акваторий в районах интенсивных хозяйственных работ. По этой причине нефтяные компании Сахалин Энерджи и Эксон Нефтегаз в последние годы приступили к финансированию научных исследований в районах их хозяйственной деятельности. В частности по проекту НААЕР в 1999г. проводилось изучение морских млекопитающих в районах Пильтун-Астохского и Чайвинского лицензионных участков, где выполнялись учетные работы по морским млекопитающим, проводились исследования по изучению их пространственного распределения, численности, основных районов летне-осенних скоплений и характера локальных миграций. Кроме этих работ в Пильтун-Астохском лицензионном районе предусматривалось проведение акустических исследований с целью измерения как природных, так и промышленных шумов, связанных с хозяйственной деятельностью (буровые работы, прохождение судов, вспомогательные работы и т.п.).

Главной целью акустических работ, проведенных в 1999 г. на северо-восточном шельфе о. Сахалина, в районе традиционного летне-осеннего кормления серых китов, было исследование уровней естественных и индустриальных акустических шумов. Техническим заданием не был оговорен частотный диапазон, в котором должны были проводиться измерения, поэтому мы ограничились частотами от 5 Гц до 7.5 кГц. Измерения проводились в летних и осенних гидрологических условиях шельфа Охотского моря, как в прибрежной зоне - в районе скопления серых китов, так и в относительно глубоководной части шельфа, в районе платформы нефтедобывающего комплекса «Моликпак» (см. рис. 8). Априорно было известно, что основными источниками индустриальных акустических шумов на данной акватории являются механизмы работающие на платформе «Моликпак», «Сахалинской» буровой и бункерном танкере «Оха», а также шумы генерируемые движущимися или стоящими на якоре судами обеспечивающими работу всего нефтедобывающего комплекса: “Smit Sibb”, “Agat”, “Rubin”, “Smit Sakhalin”, “Aquanaut”. “Neftegaz 16”, “Neftegaz 70”, “Miss Sybil”, “Anabar”. Непосредственно в районе скопления китов, источником относительно кратковременных и высокочастотных шумов являются подвесные двигатели моторных лодок типа «Зодиак», которые используют, например, группа наблюдателей за китами, базирующаяся на Пильтунском маяке.

Техническим заданием не было предусмотрено натурное исследование акустических сигналов генерируемых серыми китами и другими морскими животными, но во время продолжительных фоновых измерений как у платформы «Моликпака», так и в прибрежной зоне мы неоднократно регистрировали гидролокационные сигналы серых китов и коммуникационные сигналы, излучаемые косатками. В разделе 6.4 представлены временные реализации таких сигналов.

1. Материал и методика

Исследования морских млекопитающих на шельфе северо-восточного Сахалина условно можно разделить на два этапа. Первый – проведение учетных работ по распределению и оценке численности китов и тюленей с использованием вертолета, моторных лодок и береговых наблюдений.

Второй этап – проведение акустических исследований в Пильтун-Астохском лицензионном участке.

Подготовительные работы были начаты в конце апреля – начале мая. Мною была сформирована команда исследователей, выписаны счета на приобретение недостающего оборудования, заключены договора на аренду вертолета и маломерных плавсредств. Оперативно были получены разрешения от Сахалинрыбвода, Госкомэкологии и пограничников на проведение научно-исследовательских работ. Копии разрешений в начале мая были высланы в Сахалин Энерджи. Основное оборудование из-за задержки финансирования мы смогли доставить на базу в Пильтун 6 июля двумя вертолетами. Общий вес научного оборудования превысил 2,5 тонны, не считая 6 бочек с бензином, которые мы были вынуждены завозить отдельно вертолетами.

Для выполнения намеченной программы мы имели в своем распоряжении:

Моторные лодки «Зодиак» – 2

Лодочные моторы «Ямаха» – 2

Электрогенераторы – 2

Радиогидроакустические буи – 8

Автономный широкополосный излучатель – 1

Автономный радиозонд «Бурун-96» - 1

ЭВМ «Pentium-PRO» – 1

Принтер FX-1000 – 1

BACK-UPS PRO 1000 – 1

CD-Writer Plus 8100 – 1

Магнитофон 7005 – 1

Усилитель У7-6 – 1

Источник питания постоянного тока Б5-48 – 1

Источник питания ТЕС42 - 2

Портативный спутниковый навигатор GPS-12 – 1

Радиоприемники типа АХ-400 «Standard» – 3

Радиоприемники типа Р-313 – 1

Радиоприемник «Авио» -1

Радиостанции модель НХ 180VKA131 «Standard» – 2

Радиостанции модель GX 2345S «Standard» - 1

Генератор сигналов RFT 03005 – 1

Осциллограф С1-112 – 1

Батометр с двумя опрокидывающимися ртутными термометрами – 1

Аккумуляторы – 2

Видеокамера «Sony» – 1

Фотоаппараты «Зенит» – 3

Видеообъектив «Рубинар» – 1

Видеообъектив «Юпитер» – 1

Гидрокостюмы – 5

Бинокль полевой – 1

Спасательные жилеты - 5

Состав участников, работавших в полевой сезон на Пильтуне:

1. Соболевский Е.И. – д.б.н., зав. лабораторией ИБМ (руководитель работ)
2. Рутенко А.Н. – ст.н.с., к.ф.-м.н. ТОИ
3. Панченко В.В. – мл.н.с. ИБМ
4. Антоненко Д.В. – аспирант ИБМ
5. Земнухов В.В. – аспирант ИБМ
6. Борисов С.В. – н.с. ТОИ
7. Масленников Е.А. – инженер ТОИ
8. Гриценко А.В. – н.с. ТОИ
9. Коваленко С.Н. – инженер ИБМ
10. Максимов И.И. – инженер ИБМ
11. Нурмухаметова Л.А. – рабочая

Для камеральной обработки материалов привлекались сотрудники ИБМ – Ружникова Н.П., Деридович В.И., Антоненко Д.Л..

Учетные работы с вертолета выполнялись 8, 17, 18, 26 июля, 4, 7, 30 августа, 21-22 сентября, 8-9 октября, 18 и 20 ноября. Была обследована акватория от Охи до Ногликов с удалением от берега на 20-50 км. Работы проводились согласно маршрутных схем учета морских млекопитающих на шельфе северо-восточного Сахалина (см. программу работ рис. 1 и 2).

Учет вели 3 наблюдателя (два по бортам и один из кабины вертолета). Наблюдатели имели наушники для осуществления связи между собой и с командиром вертолета. Как правило, на борту вертолета, мы всегда имели 3-х опытных наблюдателей, которые имели большой опыт учета китов и тюленей в прежние годы. Главный наблюдатель (Соболевский Е.И.) располагался в кабине вертолета по центру. Впереди и ниже него находился штурман, в обязанности которого входило следить за заданным курсом и строго придерживаться маршрутной сетки учета. Полеты по каждой трансекте объявлялись штурманом для наблюдателей. Высота полета корректировалась в зависимости от погоды и видимости на море (150-180 м). Наблюдения проводились через открытые иллюминаторы.

Вертолет Ми-8 имел два двигателя, был оснащен необходимым навигационным оборудованием и имел на борту портативный спутниковый навигатор GPS-12 для контроля за полетом по трансектам и для определения координат встреч морских млекопитающих. На борту вертолета МИ-8 имелось

Рис. 1. Маршрутная схема учета с вертолета морских млекопитающих на северо-восточном Сахалине (экстенсивная сетка).

Рис. 2. Маршрутная схема учета с вертолета морских млекопитающих на северо-восточном Сахалине (интенсивная сетка)

все необходимое стандартное оборудование для связи и навигационной безопасности. Вертолет имел хороший обогрев и воздухопадающую систему, что было важно при проведении полетов в конце ноября, при отрицательных температурах воздуха, благодаря чему наблюдатели чувствовали себя комфортно и окна вертолета были очищены от снега и льда. Экипаж вертолета и наблюдатели во время полета были снабжены спасательными жилетами, на борту вертолета находился спасательный плот на 8 человек, пиротехника, необходимый запас воды, продуктов и медикаментов.

Полоса учета с вертолета на высоте 150м при нормальной видимости составляла 2 км. В пасмурную погоду и при низкой облачности сектор наблюдений сокращался до 500-800 м. Учетные работы с вертолета в туман и при плохой видимости не проводились. Результаты учета заносились в журнал наблюдений, где отмечали время, координаты встреч животных, их поведение, численность и направление движения. С борта вертолета проводилась видеосъемка и фотографирование китов и тюленей. В отдельных случаях для уточнения видовой принадлежности использовали полевой бинокль Б8х30.

Учетные работы по тюленям выполнялись с вертолета и моторных лодок. Полеты на вертолете выявили невозможность учета тюленей на воде с высоты более 150 м, однако с вертолета хорошо были заметны береговые залежки тюленей на песчаных косах. С этой целью были специально выполнены полеты вдоль береговой полосы и фотографирование залежек и временных лежбищ тюленей. Полученные фотоснимки позволят с большей достоверностью подсчитать общее число тюленей на отдельных косах и крупных лежбищах. Наземный учет при больших скоплениях тюленей будет менее достоверным, чем учет с вертолета с применением видео- и фотокамеры.

Наблюдения с маломерных судов и моторных лодок типа «Зодиак» выполнялись в районе Пильтун-Астохского участка. В необходимых случаях проводились высадки людей на берег и песчаные отмели для изучения поведения тюленей, подсчета их численности и определения видовой принадлежности.

Сверх намеченной программы исследований был проведен учет морских птиц в заливе Пильтун и на прибрежной акватории Пильтун-Астохского участка и выполнен большой объем ихтиологических работ по изучению видового состава ихтиоцены залива Пильтун и его прибрежной части с целью уточнения кормовой базы тюленей.

Во время наблюдений за серыми китами и тюленями проводились съемки видеокамерой и фотографирование мест нагула серых китов. Эти материалы в дальнейшем помогли подсчитать количество и оценить размеры грязевых пятен в местах кормления китов, характер расположения китов в отдельных группах и численность тюленей на лежбищах.

Общую численность серых китов мы попытались рассчитать с учетом их встречаемости на маршрутах. Мы понимаем, что экстраполировать китов на всю обследованную площадь крайне неблагоприятное занятие и очень хороший повод для критики оппонентам. Это очень сложное дело, т.к. существует ряд переменных величин, которые необходимо как-то учитывать. Дело в том, что на некоторых участках шельфа киты практически не встречались и, наоборот, на изобатах до 20м они отмечались более часто. Наибольшие скопления серых китов в основном наблюдались на расстоянии до 5 км от берега, дальше их встречаемость уменьшалась. Вдоль самой береговой линии распределение китов носило так же не равномерный характер. Несмотря на все трудности, мы решили пойти на этот шаг с тем, чтобы приблизиться к решению вопроса о фактической численности серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина. Более подробно методика учета китов и тюленей изложена в разделе 3, где приводятся данные по учету морских млекопитающих.

1.1. Акустический измерительно-регистрационный комплекс

В качестве первичного преобразователя акустического давления во всех радиогидроакустических буюх применялись стандартные гидрофоны одного типа с чувствительностью 5×10^{-7} мВ/мкПа. Усилительные тракты всех буюев идентичны. На рис. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) сквозного тракта «гидрофон - выход частотного дискриминатора радиоприемника». В экспериментах применялись радиоприемники трех типов, поэтому для сравнения абсолютных значений уровней акустических сигналов, оценки их спектров мощности $\hat{G}(\omega)$ нормировались и корректировались в соответствие с АЧХ измерительных трактов, показанных на рис. 3. Сонограммы $\hat{G}(\omega, t)$ не нормировались и не корректировались.

На рис. 4 показаны три способа постановки в море радиогидроакустических буюев, которые применялись в разных экспериментах. Вариант свободно дрейфующего бую (см. рис. 4а) применялся при записи акустического фона вблизи визуально наблюдаемого кита. Буй опускается в воду с борта моторного катера. Донный вариант (рис. 4с) оказался наиболее оптимальным, поскольку район измерений относительно мелководный, а скорость течения превышает 3 м/с. Вариант б. был использован при постановке бую на расстоянии 1.2 км от «Моликпака» в точке с глубиной 28 м.

Электропитание радиобую осуществлялось от щелочных батареек типа Duracell, обеспечивающих автономность работы бую до 3 суток (зависит от дальности приема). Дальность уверенного приема радиосигнала - не менее 6 км.

На рис. 5 приведена блок-схема аппаратуры приемно-регистрационного комплекса берегового поста, а на рис. 6 приведена блок-схема приемно-регистрационной аппаратуры для работы на борту вертолета или судна.

Для исследований пространственно-временных характеристик акустического поля в исследуемой акватории, а также потерь при распространении звука от «Моликпака» в прибрежную зону применялся

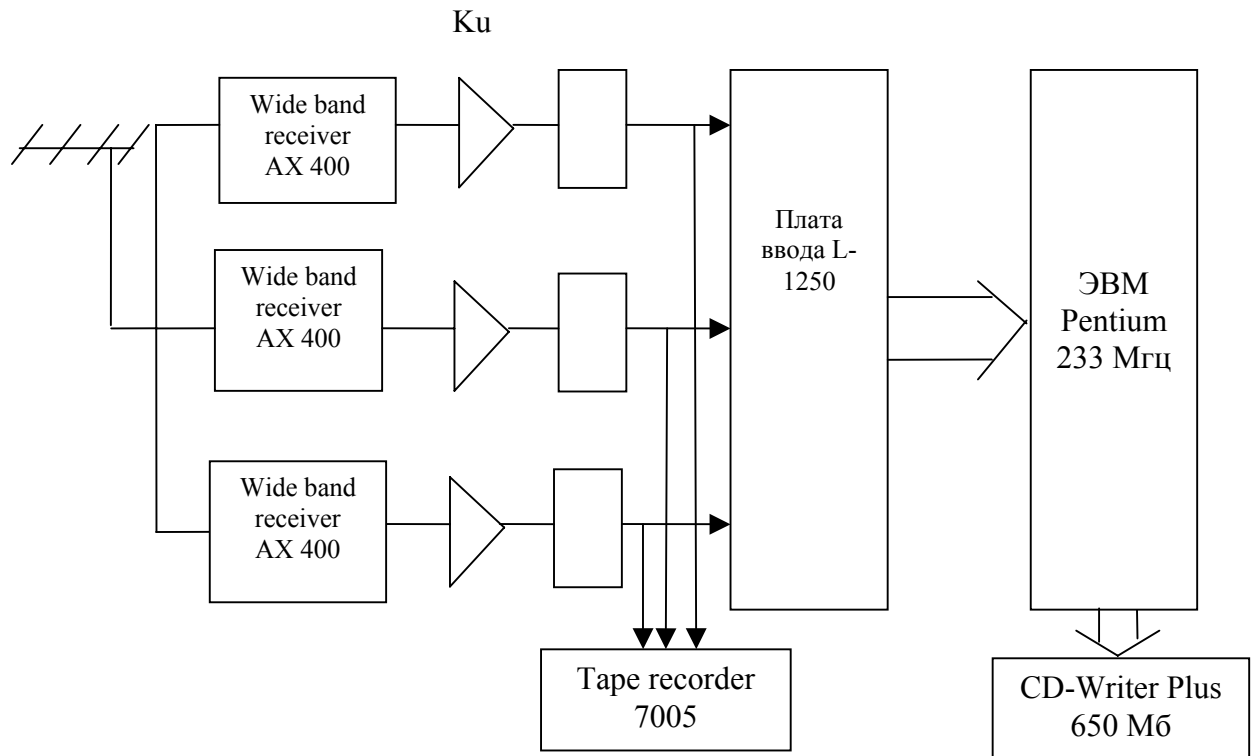


Рис. 5. Блок-схема аппаратного приемно-регистрационного комплекса берегового поста

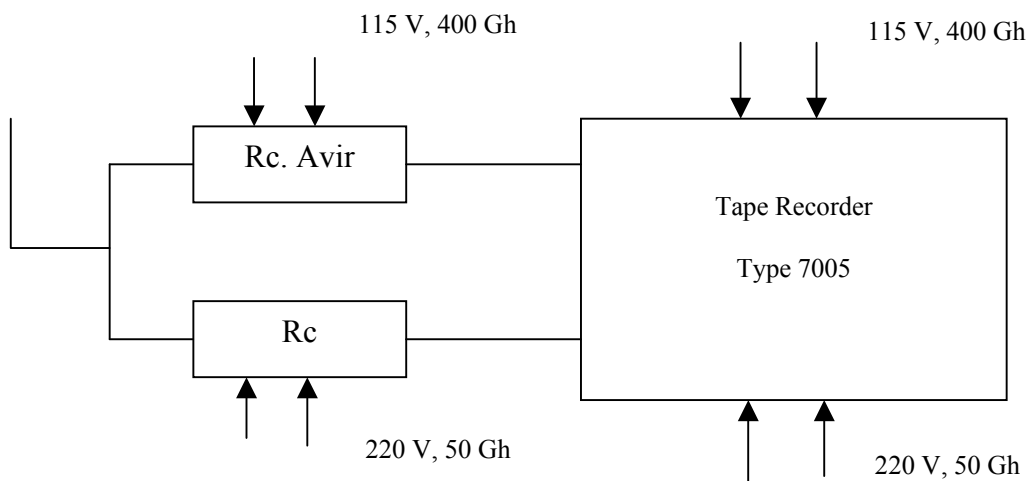


Рис. 6. Блок-схема приемно-регистрационной аппаратуры для работы на борту вертолета или судна.

излучатель, который был разработан специально для проведения гидроакустических измерений с борта маломерного судна с использованием автономного электропитания.

Широкополосный излучатель представляет собой цилиндрическую конструкцию, собранную из пьезокерамических колец, электрически соединенных между собой параллельно. С целью подавления нежелательных резонансов и расширения частотного диапазона излучаемых сигналов в сторону низких частот, каждое кольцо помещено в демпфирующий бандаж, выполненный из синтактика (композитный материал на основе эпоксидной смолы, с наполнителем из стеклянных микросфер). С обеих сторон цилиндр закрывают герметичные металлические крышки, снабженные герморазъемами. Вес излучателя в воздухе около 35 кг, а в морской воде он обладает небольшой отрицательной плавучестью. Это позволяет осуществлять его буксировку за маломерным судном а также проводить вертикальные зондирования с борта вручную. Электропитание излучателя осуществляется по двухпроводному кабелю длиной 50 м. В качестве усилителя мощности использовался усилитель LV-103 фирмы RFT, мощностью 100 ВА, снабженный согласующим трансформатором с коэффициентом трансформации 20. Источником питания усилителя служит аккумуляторная батарея напряжением 24 V и емкостью 75 Ah. Она обеспечивает работоспособность излучателя без перезарядки в течение 12 часов. В качестве задающего генератора излучателя применялся цифровой формирователь многочастотных сигналов, формирующий 5 последовательностей прямоугольных импульсов со скважностью 2 и отличающихся по частоте на 10 Гц (для первой гармоники). Частота опорного генератора формирователя стабилизирована кварцем. Частоты первых гармоник излучаемых сигналов выбраны достаточно низкими (порядка 500 Гц). Поэтому за счет спада амплитудно-частотной характеристики излучателя на низких частотах происходит выравнивание амплитуд излучаемых в водную среду гармоник формируемого сигнала. Кроме многочастотного сигнала, в формирователе предусмотрены дополнительные выходы псевдошумового сигнала (на основе цифровой псевдослучайной

последовательности максимальной длины) и тонального сигнала фиксированной частоты 4000 Гц. Питание цифрового формирователя осуществляется от того же источника, что и усилителя мощности. В случае применения излучателя с борта судна, оборудованного электросетью 220 V, 50 Hz, возможно подключение любого задающего генератора, формирующего тональные или сложные сигналы.

Функциональная схема излучающей системы изображена на рис. 7. Цифрами обозначены: 1 - внешний задающий генератор; 2- цифровой формирователь многочастотного сигнала; 3 - усилитель мощности LV-103; 4 - согласующий трансформатор; 5 - излучатель; 6 - аккумуляторная батарея; 7 - переключатель источников сигнала. АЧХ системы задающий генератор–усилитель мощности–согласующий трансформатор–излучатель, представлена на рис. 8. Звуковое давление приведено к расстоянию от приемного гидрофона до поверхности излучателя, равному 1м. Конструкция излучателя позволяет производить его буксировку со скоростью до 15 км/час.

Функциональная схема аппаратно-программного комплекса представлена на рис. 9 и включает плату ввода (ПВ) L-1250 фирмы “L-card” (16 каналов, сигнальный процессор ADSP-2105, 12-и разрядные АЦП и ЦАП, память данных 128 Кб), компьютер на базе процессора “Pentium Pro” фирмы Intel (тактовая частота 233 МГц, жесткий диск 10,8 Гб, оперативная память 98 Мб, CD-Writer Plus) и пакет программ для ввода и обработки акустических данных.

Данные от акустических буев или магнитофона поступают на ПВ. В зависимости от задач решаемых в эксперименте, выбирается один из двух режимов накопления: - без обработки или с предварительной обработкой. В первом случае данные после преобразования в цифровой код сразу записываются на жесткий диск. Время непрерывной записи при вводе двух каналов с частотой дискретизации 15 кГц на диск емкостью 10 Гб составляло около 46 часов. Во втором случае, вводимые данные подвергались спектральной обработке (расчет периодограмм) и запоминались значения квадратурных составляющих спектра в

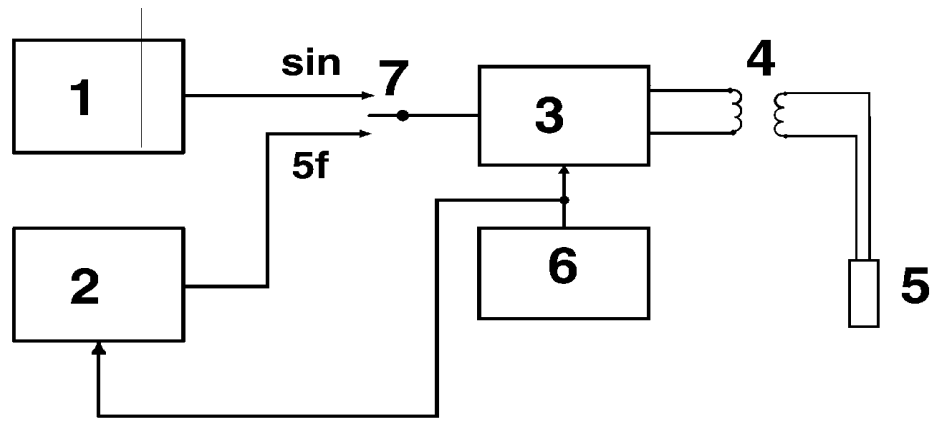


Рис. 7. Функциональная блок-схема широкополосного излучателя пьезокерамического типа.

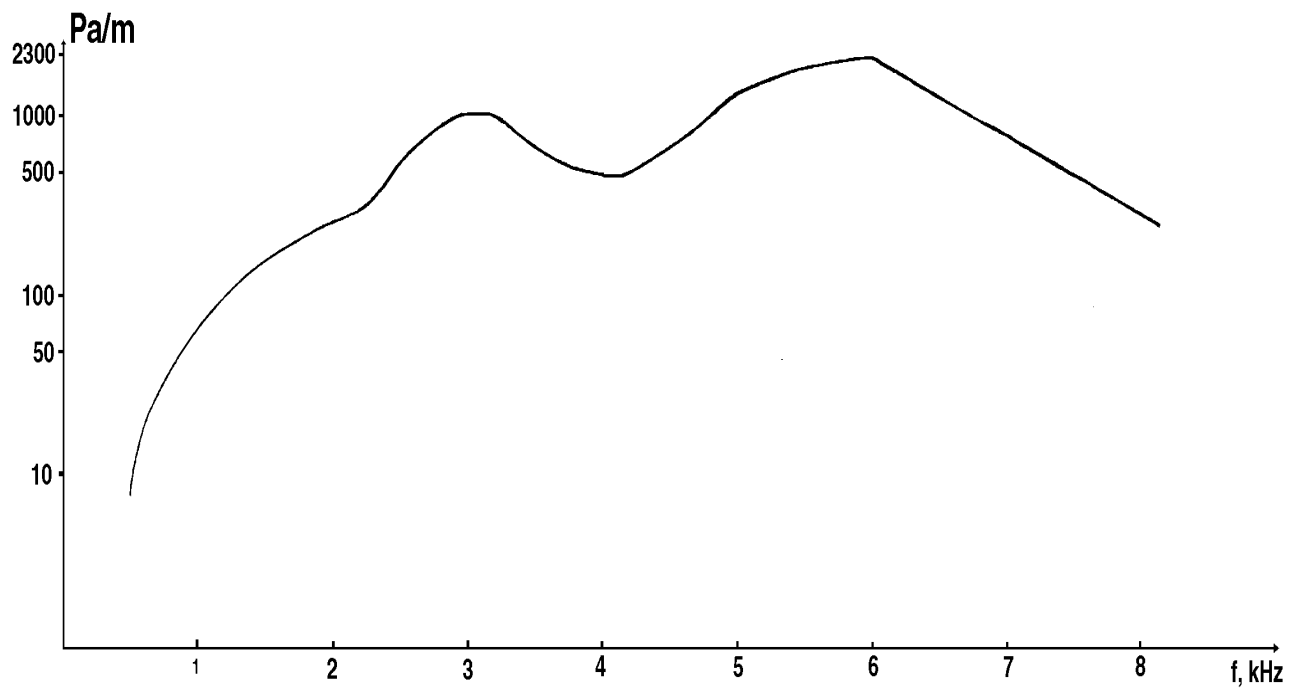


Рис. 8. Амплитудно-частотная характеристика излучателя.

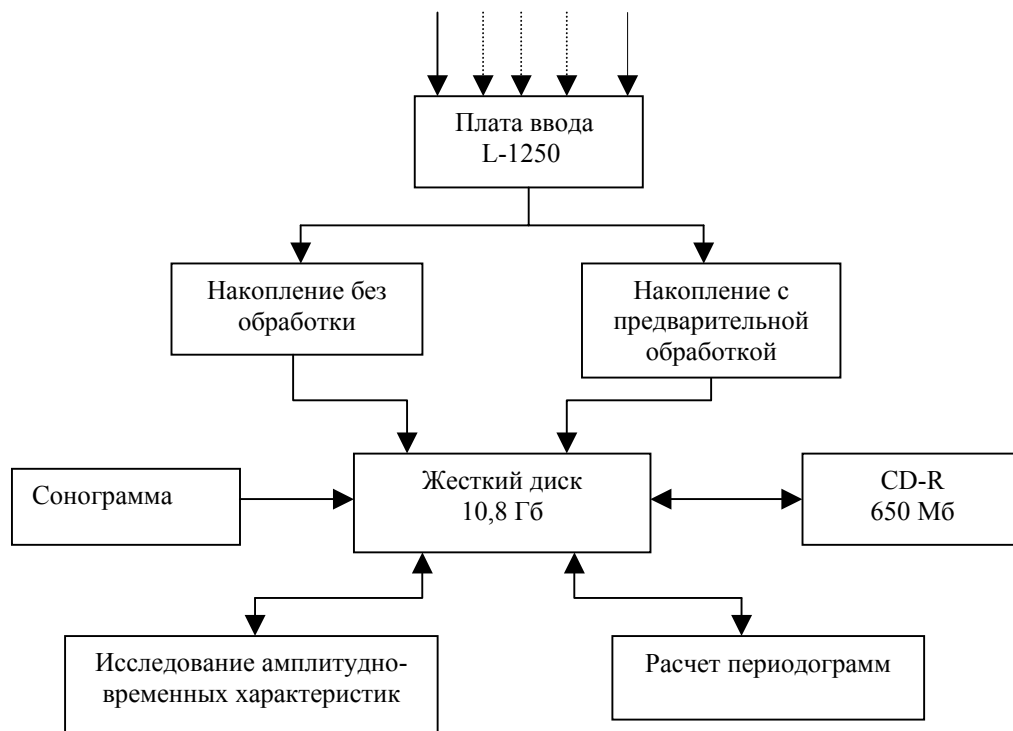


Рис. 9. Блок-схема аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего ввод, накопление и анализ акустических данных.

заранее выбранных частотных полосах. Во время обработки ввод данных прекращался. В связи с ограниченной емкостью жесткого диска данные перезаписывались с помощью CD-Writer Plus на лазерные диски емкостью 650 Мб. Время записи полного диска – около 20 минут.

Программа обработки рассчитывает периодограммы $G(\omega)$ по каждому каналу (по алгоритму быстрого преобразования Фурье (БПФ), длина ряда до 65536 значений, сглаживание во временной области окном Хэмминга). Программы визуализации выводят графики оценок спектров мощности $\hat{G}(\omega)$ или сонограммы $\hat{G}(\omega, t)$ (спектральной дорожки) исследуемых сигналов на экран дисплея с возможностью печати на принтере. Программа LkDat позволяет исследовать амплитудно-временные характеристики акустических сигналов.

Программа L1250DMA обеспечивает непрерывный ввод и накопление данных в реальном времени. Перед началом работы с помощью «Меню» программируется режим работы ПВ (число вводимых каналов, частота дискретизации) и выбирается имя диска, на который запоминаются данные. Для корректного задания интервала времени ввода, программа определяет размер свободной памяти на физическом диске и вычисляет максимальное время записи. Данные вводятся в компьютер в режиме прямого доступа к памяти (ПДП) с двойным буфером в оперативной памяти и запоминаются в виде последовательно пронумерованных файлов емкостью 12000000 байт с привязкой к реальному времени эксперимента (Vtime.dat).

Алгоритм работы программы «Lasky» основан на цикле: ввод данных от ПВ, в буфер в режиме ПДП, обработка (расчет периодограмм), запоминание квадратурных составляющих, визуализация спектров мощности. С помощью интерфейса пользователя программируется режим работы ПВ, задаются границы вырезаемых частотных полос, параметры для расчета периодограмм и для вывода на график. Программа использовалась как для ввода и обработки сигналов с магнитофона, так и для предварительной настройки каналов ввода.

Программа «Spectr» использует тот же алгоритм обработки, что и программа «Lucky», но без пауз при вводе данных. Программа «SpRoud» позволяет визуализировать спектры мощности в виде спектральной дорожки (сонограмма) и выводить их на печать. С помощью «Меню» задаются следующие параметры: ширина частотных полос, число усреднений, вертикальный масштаб спектральной плотности в дБ, пороговый уровень в дБ.

Накопленные без обработки данные во временной области исследуются с помощью программы «LkDat». Выполняемые ею функции:

- визуализация данных;
- определение амплитудных значений сигналов в разных каналах;
- вычисление временных интервалов между любыми заданными точками;
- прореживание данных;
- запоминание блока данных в файл;
- определение пеленга (для многоканальной системы).

Программы «L1250DMA», «Lucky», «SpRoud» и «LkDat» написаны на языке «Pascal 5» для оперативной системы MS-DOS 6.22. Программа «Spectr» создана с помощью пакета «Delphi 4» для операционной системы «Windows 98».

1.2. Особенности цифровой обработки экспериментальных данных

Накопление и анализ акустических данных проводился с помощью ЭВМ. Непрерывный аналоговый сигнал - электрическое напряжение (соответствующие звуковому давлению, измеряемому гидрофонами) после усиления по напряжению, в соответствие с амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) сквозного измерительного тракта, с частотой дискретизации f_d , преобразуется 12 разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в цифровой код, который вводится в ЭВМ. Оценки спектров мощности этих сигналов рассчитываются с помощью дискретного преобразования Фурье. Дискретно-временной ряд Фурье (ДВРФ) является частным случаем непрерывно-временного преобразования

Фурье (НВПФ), основанном на двух базовых операциях обработки сигналов – взятие отсчетов (дискретизация) и взвешивание с помощью окна. Мы использовали равномерные отсчеты с интервалом T секунд. Частота отсчетов $f_d = 1/T$. Взвешивание во временной области TW осуществлялось с помощью окна Хемминга. Предположим, что берутся отсчеты непрерывного действительного сигнала $x(t)$ с ограниченным спектром, верхняя частота которого равна F_0 герц, так что НВПФ сигнала $x(t)$ равно нулю при $|f| > F_0$. НВПФ действительного сигнала $x(t)$ – это всегда симметричная функция с полной шириной спектра, равной $2F_0$, Гц. Отсчеты сигнала $x(t)$ получаются посредством умножения этого сигнала на функцию отсчетов:

$$x_s(t) = x(t) \cdot TS = T \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT).$$

В соответствии с теоремой свертки в частотной области, НВПФ сигнала $x(t)$ – это просто свертка спектра сигнала $x(t)$ и преобразования Фурье функции отсчетов по времени (TS):

$$X_s(f) = X(f) * \Psi\{TS\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(f - kF).$$

Свертка $X(f)$ с преобразованием Фурье функции отсчетов просто периодически продолжает $X(f)$ с частотным интервалом $1/T$ Гц, соответствующим частотному интервалу между импульсными функциями.

Для того, чтобы по отсчетам данных получить спектральные оценки в соответствующих единицах измерения энергии или мощности (Marple, 1990), необходимо использовать несколько отличающиеся определения и терминологию по сравнению с обычными определениями для дискретного преобразования Фурье, приводимыми в большинстве учебных пособий по цифровой обработке сигналов. Пара преобразований для обычного определения ДПФ N – точечной последовательности преобразования Фурье $X[k]$ дается выражениями

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp(-j2\pi kn / N), \quad (1)$$

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \exp(j2\pi kn / N). \quad (2)$$

Мы, следуя работе (Marple, 1990) используем пару дискретно-временных рядов Фурье (ДВРФ)

$$X[k] = T \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp(-j2\pi kn / N), \quad (3)$$

$$x[n] = \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \exp(j2\pi kn / N), \quad (4)$$

определенные для $0 \leq k \leq N-1$ и $0 \leq n \leq N-1$, поскольку в них в явном виде введена зависимость от интервала отсчетов T . ДВРФ можно рассматривать как некоторую аппроксимацию НВПФ, основанную на использовании конечного числа отсчетов данных.

Операции ограничения спектра и длительности, требуемые для обеспечения связи между ДВРФ и НВПФ, показывают, что ДВРФ представляет собой измененный вариант исходного непрерывно-временного сигнала $x(t)$ и преобразования $X(f)$. Ограничение спектра (bandlimiting, BL) создает фильтрованную функцию времени вида

$$x_{BL}(t) = x(t) * \Psi^{-1}\{FW\},$$

а ограничение длительности (time limiting, TL) создает фильтрованную функцию преобразования (фильтрованный спектр) вида

$$X_{TL}(f) = X(f) * \Psi\{TW\}.$$

Отсчеты этих функций обозначаются как $x_{BL}[n] = x_{BL}(nT)$ и $X_{TL}[k] = X_{TL}(k / NT)$.

Теорема о энергии для НВРФ имеет следующий вид:

$$\int_0^{NT} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{NT} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |X_{TL}[k]|^2. \quad (5)$$

Это выражение характеризует энергию сигнала на периоде NT секунд.

Для дискретно-временной последовательности $x[n]$ и непрерывного периодического по частоте спектра $X(f)$ можно записать следующую пару преобразований Фурье:

$$X(f) = T \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_{BL}[n] \exp(-j2\pi f n T), \quad -1/2T \leq f \leq 1/2T, \quad (6)$$

$$x_{BL}[n] = \int_{-1/2T}^{1/2T} X(f) \exp(j2\pi f n T) df, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \infty. \quad (7)$$

Заметим, что первое выражение определяет некоторую периодическую функцию, совпадающую с исходной преобразованной функцией только на интервале от $-1/2T$ до $1/2T$ герц. Теорема о энергии для этого ДВПФ имеет вид

$$T \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x_{BL}[n]|^2 = \int_{-1/2T}^{1/2T} |X(f)|^2 df \quad (8)$$

и характеризует энергию на периоде частоты $1/T$ герц. Выражение (6) связано с z - преобразованием некоторой дискретной последовательности соотношением

$$X(f) = TX(z) \Big|_{z=\exp(j2\pi f T)},$$

где $X(z)$ - z -преобразование последовательности $x_{BL}[n]$. Предполагается, что область сходимости этого z -преобразования включает единичную окружность. Таким образом, ДВПФ – это просто z -преобразование, вычисленное на единичной окружности в z -плоскости и помноженное на T . Таким образом дискретно-временному ряду Фурье (ДВРФ) соответствуют следующая пара преобразований:

$$X_{TL}[k] = T \sum_{n=0}^{N-1} x_{BL}[n] \exp(-j2\pi k n / N), \quad k = -\frac{N}{2}, \dots, \frac{N}{2} - 1, \quad (9)$$

$$x_{BL}[n] = \frac{1}{NT} \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} X_{TL}[k] \exp(j2\pi k n / N), \quad n = 0, \dots, N-1. \quad (10)$$

Теорема о энергии для этого ДВПР просто имеет вид

$$T \sum_{n=0}^{N-1} |x_{BL}[n]|^2 = \frac{1}{NT} \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} |X_{TL}[k]|^2,$$

и характеризует энергию последовательности из N отсчетов данных.

Обе последовательности $x_{BL}[n]$ и $X_{TL}[k]$ периодичны по модулю N , поэтому при $-N/2 \leq k \leq 1$ справедливо равенство $X_{TL}[-k] = X_{TL}[N-k]$. Выражение (4) можно далее записать в эквивалентной форме

$$x_{BL}[n] = \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} X_{TL}[k] \exp(j2\pi k n / N),$$

где $0 \leq n \leq N-1$. Выражения (9) и (10) образуют пару дискретно-временных рядов Фурье, относящихся к исходной паре: непрерывно-временной функции $x(t)$ и непрерывно-частотной функции $X(f)$. Существенное различие между выражениями для ДВРФ и обычными выражениями для ДПФ вида (1) и (2) заключается в наличии величины T , характеризующей интервал отсчетов по времени (в секундах). Множитель $1/NT$, характеризует интервал отсчетов по частоте (в герцах). Указанные множители необходимы для того, чтобы выражения (9) и (10) являлись в действительности аппроксимацией интеграла преобразования в области интегрирования

$$\sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp(-j2\pi n f T) T \approx \int_0^{NT} x(t) \exp(-j2\pi f t) dt. \quad (11)$$

Здесь T и $1/NT$ являются масштабными множителями ДВРФ относительно частоты отсчетов - f_d , что обеспечивает корректность масштабов при вычислении энергии и мощности. Заметим, что ДВРФ будет идентичным НВПФ только в случае периодических сигналов, которые можно представить в виде суммы из комплексных синусоид с частотами k/NT герц, где $k = 0, \dots, N-1$.

По аналогии с определением для спектральной плотности энергии непрерывно-временного преобразования Фурье можно, используя теорему о энергии, записать следующее выражение для спектральной плотности энергии дискретно-временного преобразования Фурье (ДВПФ):

$$S_{ДВПФ}(f) = |X(f)|^2 = \left| T \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_{BL}[n] \exp(-j2\pi f n T) \right|^2, \quad (12)$$

определенное при $-1/2T \leq f \leq 1/2T$. Используя теорему о энергии (5), можно получить следующее выражение для спектральной плотности энергии дискретно-временного ряда Фурье (ДВРФ):

$$S_{ДВРФ}[k] = |X_{TL}[k]|^2 = \left| T \sum_{n=0}^{N-1} x_{BL}[n] \exp(-j2\pi k n / N) \right|^2, \quad (13)$$

определенное при $0 \leq k \leq N-1$.

ДВРФ определяют периодические функции времени с периодом NT секунд. Мощность равна энергии, отнесенной к единице времени. Поэтому, поделив

спектральную плотность энергии (СПЭ), определяемую выражением (13), на NT , получим следующее выражение для детерминированной спектральной плотности мощности (СПМ):

$$P_{\text{ДВРФ}}[k] = \frac{1}{NT} S_{\text{ДВРФ}}[k] = \frac{T}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_{\text{BL}}[n] \exp(-j\pi kn / N) \right|^2, \quad (14)$$

где $0 \leq k \leq N-1$. Эта плотность выражается в единицах мощности на 1 Гц. Отметим, что ее значения зависят от интервала отсчетов T , поэтому мы используем оценку спектральной плотности мощности (далее ее будем называть спектром мощности) ДВРФ $G[k]$ определяемую как

$$G[k] = a \cdot F \cdot P_{\text{ДВРФ}}[k] = a \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_{\text{BL}}[n] \exp(-j2\pi kn / N) \right|^2, \quad (15)$$

где a - коэффициент, компенсирующий уменьшение дисперсии из-за взвешивания данных во временной области. Эта величина не зависит от интервала отсчетов - T . Величина, определяемая этим выражением при каждом значении индекса k , будет точно равна мощности синусоиды с частотой k/NT герц. Однако, в отличие от выражения (14), выражение (15) не представляет собой корректно промасштабированную функцию СПМ.

Введем основные физические термины, которыми мы будем пользоваться при анализе акустических данных. По определению (Urik, 1975) термин **спектральный уровень (СУ)** относится к уровню звуковой волны **в частотной полосе шириной 1 Гц**. Этот термин имеет смысл только для сигналов с непрерывным спектром, т.е. в тех случаях, когда сигнал, пусть даже небольшой, присутствует в любой точке рассматриваемой полосы частот. Термин **уровень в полосе частот** (УПЧ) относится к уровню в частотной полосе шире или уже 1 Гц.

1.3. Нормирование и коррекция натурных данных

В результате измерений, проведенных с помощью автономных

радиогидроакустических буюв, получены синхронные ряды дискретизированных данных, позволяющие исследовать временные и спектральные характеристики акустического поля и сигналов (в ограниченном частотном диапазоне). Нормирование и корректирование данных проводилось с помощью следующих алгоритмов:

- нормировка исходных данных:

$A [\text{mkPa}] = M \times K_{TR}$, где M – значение АЦП, а

$$K_{TR} = \frac{\Delta U}{K_g \cdot K_{U,M} \cdot K_{U,REC} \Big|_{\max}}, \text{ где } \Delta U - \text{порог квантования аналогового напряжения}$$

АЦП, равный 2.5 mV; $K_{U,M}$ - коэффициент усиления по напряжению масштабного усилителя; $K_{u,REC} \Big|_{\max}$ - максимальный коэффициент усиления сквозного «гидрофон - выход радиоприемника» измерительного тракта в заданном частотном диапазоне; K_g - чувствительность гидрофона, равная $5 \times 10^{-7} \text{ mV/mkPa}$.

- нормировка спектра мощности:

$$G_N(f) = G(f) \times (K_{TR})^2$$

- корректировка нормированного спектра мощности в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой сквозного измерительного тракта:

$$G_{NA}(f) = \frac{G(f) \times (K_{TR})^2 \times (K_{U,REC} \Big|_{\max})^2}{[K_{U,REC}(f)]^2}.$$

- приведение спектра мощности к уровню 1 mkPa rms в dB:

$$G_{1mkPa}(f) = 10 \text{Log} G_{NA}(f) + 10 \text{Log} (K_{TR})^2 \quad [\text{dB}].$$

- построение оценки спектра мощности $\hat{G}(f)$ с помощью усреднения по последовательным реализациям без перекрытия:

$$\hat{G}_{1mkPa}(f) = \frac{G_{1mkPa}(f)_1 + \dots + G_{1mkPa}(f)_n}{n}.$$

Все программы нормировки, корректировки и спектрально-временного анализа проверены тестами, основанными на применении калиброванных шумовых и тональных электрических сигналов, передаваемых по сквозному

тракту «гидрофон - выход частотного дискриминатора радиоприемника», а так же на прямую вводимых в ЭВМ через АЦП.

2. Анализ видового состава и распределения морских млекопитающих у побережья восточного Сахалина

Учетными работами с вертолета была охвачена акватория, ограниченная координатами 51°45' – 53°40' с.ш. и 143°10' – 144°00' в.д.. Результаты наблюдений показали, что наиболее массовыми видами среди китообразных на шельфе северо-восточного Сахалина остается серый кит (*Eschrichtius gibbosus*), а среди ластоногих – ларга (*Phoca largha*). Кольчатая нерпа (*Pusa hispida*) и морской заяц (*Erignathus barbatus*) хотя и встречаются на отдельных залежках, но не образуют скоплений и держатся довольно рассредоточено вдоль побережья.

Из дельфинов нам удалось встретить косаток (*Orcinus orca*), подход которых, вероятно, был связан с началом миграций лососей в район исследований. Результаты наблюдений с вертолета позволили установить основные районы летнего обитания морских млекопитающих, характер распределения серых китов, места их нагула и выявить скопления тюленей в период хода лососей. Даты проведения учетных работ с вертолета приводятся в табл.2.1.

2.1. Распределение серых китов в летне-осенний период (июль-ноябрь)

В июле-ноябре распределение серых китов на северо-восточном шельфе Сахалина имело свои особенности в отдельные месяцы, поэтому мы посчитали целесообразным привести материалы учета отдельно по каждому месяцу. Результаты учета представлены в таблице 2.2.

Июль. Учетные работы в июле выполнялись 2 раза по редкой сетке (8 и 18) и 2 раза (17 и 26) по частой. Кроме того 12 июля вертолет обследовал прибрежную полосу от Пильтуна до п.Ноглики, однако учет вдоль береговой полосы оказался малоэффективен и кроме тюленей в зал. Пильтун, другие виды не были обнаружены, поэтому в отчете мы не приводим маршрут полета вертолета за 12 июля.

8 июля учет проводился в солнечную маловетренную погоду, была отличная видимость и хороший обзор для наблюдателей из кабины вертолета. Полет проходил на высоте 150м со скоростью 160-180 м/час. На 12 трансектах начиная от Ныйского залива и до залива Пильтун киты не были обнаружены (рис.2.1.). Первые фонтаны одиночных китов были замечены рядом с берегом напротив Пильтунского залива. Киты периодически появлялись на поверхности, выпускали 2-3 фонтана и затем вновь уходили под воду.

Основные скопления китов в этот день наблюдали в районе с координатами $52^{\circ}58'8''$ – $53^{\circ}00'2''$ с.ш. и $143^{\circ}19'54''$ – $143^{\circ}24'17''$ в.д. на 10-15 метровых изобатах (рис.2.1.). Киты активно кормились, рядом с ними можно было наблюдать грязевые пятна. Киты держались в основном вблизи берега с удалением на 1-2,5 км. При облете с высоты 150 м отдельные киты реагируют на вертолет и стараются покинуть зону облета, направляясь в противоположную сторону от берега. Киты встреченные на изобатах 15-20м. практически не реагировали на шум вертолета, они периодически появлялись на поверхности, оставаясь практически на одном и том же участке.

Таблица 2.1.

График выполнения учетных работ с вертолета на шельфе северо-восточного
Сахалина в июле – ноябре 1999г.

Дата учета	Экстенсивная (редкая) съемка	Интенсивная (частая) съемка	Залив Пильтун	Шельф Северо- восточ- ного Сахалина	Заливы Чайво и Ныйский
8 июля	+	-	+	+	+
12 июля	-	-	+	+	+
17 июля	-	+	+	+	-
18 июля	+	-		+	+
26 июля	-	+	-	+	-
4 августа	+	-	-	-	-
7 августа	+	-	-	+	+
30 августа	-	+	+	+	-
21 сентября	+	-	-	+	+
22 сентября	+	-	-	+	+
8 октября	-	+	+	+	-
9 октября	+	-	+	+	+
18 ноября	-	+	+	+	-
20 ноября	+	-	+	+	+
Общее число полетов	8	5	8	13	8

Таблица 2.2.

Результаты авиаучета серых китов на шельфе северо-восточного
Сахалина в июле – ноябре 1999г.

Дата учета	Учтено серых китов (штук)		Количество китов учтенных за пределами учетных площадок	Общее число учтенных китов (в скобках %)
	По экстенсивной сетке	По интенсивной сетке		
Июль				
8	15	-	0	15 (4,8)
17	-	8	0	8 (2,5)
18	29	-	5	34 (10,8)
26	-	23	1	24 (7,6)
Итого в июле	44	31	6	81 (25,7)
Август				
4	45	-	2	47 (14,9)
7	28	-	0	28 (8,9)
30	-	28	1	29 (9,2)
Итого в августе	73	28	3	104 (33,0)
Сентябрь				
21	33	-	0	33 (10,5)
22	27	-	13	40 (12,7)
Итого в сентябре	60	-	13	73 (23,2)
Октябрь				
8	-	4	0	4 (1,3)
9	22	-	10	32 (10,1)
Итого в октябре	22	4	10	36 (11,4)
Ноябрь				
18	-	6	1	7 (2,2)
20	14	-	0	14 (4,5)
Итого в ноябре	14	6	1	21 (6,7)
Общее количество китов (с июля по ноябрь)	213	69	33	315 (100%)
В % от общего числа китов	67,6	21,9	10,5	100%

Fig. 2.1. Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial survey at 8 July, 1999.

Севернее 53°с.ш. нами был встречен кит-одиночка в координатах 53°05'3" с.ш. и 143°55'6" в.д., который находился от берега на довольно значительном расстоянии (примерно 23 мили). Кит был обнаружен над глубинами 95-107м. На этих же глубинах, на другой трансекте мы отметили еще одного кита, который двигался в сторону берега. Вполне, вероятно, что эти 2 кита направлялись в район летнего нагула и в этом году, возможно, это был их первый подход к Пильтунскому заливу. Однако, это только предположение.

Во второй половине дня в координатах 53°10'8" с.ш. и 143°32'15" в.д. мы наблюдали большую группу косаток, насчитывающую 25-30 особей. Косатки были замечены на расстоянии более 2 км и находились примерно в 9,7 милях от берега над глубинами 40-45 м. Животные держались кучно, примерно, на площади 50х60м. При подлете вертолета большинство косаток находилось под водой, однако сверху были хорошо различимы контуры их тела и все передвижения. При повторном облете группа стала распадаться. Такое скопление косаток на ограниченной площади, вероятно, связано с началом хода лососей-горбуши вдоль побережья Сахалина. В районе Пильтуна в эти дни (6-8 июля) мы наблюдали подход и ловили горбушу. Выпрыгивающих из воды лососей довольно часто можно было наблюдать с борта вертолета, пролетая на высоте 150м вдоль побережья Сахалина.

17 июля учет серых китов проводили по интенсивной сетке в направлении с севера на юг. Учет выполнялся в солнечную погоду, при волнении моря 1-2 балла. Было пройдено 26 трансект и охвачена учетом площадь примерно 1000 км². Всего было учтено 8 китов, из них 7 находились в прибрежной зоне напротив Пильтунского залива и один кит был обнаружен южнее залива Пильтун (рис.2.2.). Киты держались рассредоточено, было встречено 3 группы по 2 кита и два кита-одиночки. В основном все животные держались в прибрежной зоне на 5-10 метровой изобатах. За 20-ти метровой изобатой киты не были обнаружены (рис.2.2.). Поведение китов было спокойным, при подлете вертолета киты не проявляли беспокойства и оставались на месте. Во второй половине дня, мы

наблюдали только одного кормящегося кита (табл.2.3.). Грязевых пятен вокруг других китов мы не наблюдали.

18 июля учет проводился по экстенсивной сетке от залива Ныйский на север по 16 трансектам (рис.2.3.). Сверх программы работ было сделано несколько галсов севернее $53^{\circ}15'$ с.ш. вдоль побережья с удалением от берега на 5-10км. Учет проводился в солнечную, маловетренную погоду при волнении моря менее 1 балла.

За день полетов было учтено 34 кита, из них 5 обнаружены за пределами учетной площади (рис.2.3.).

На 11 трансектах, расположенных между $51^{\circ}50'$ – $52^{\circ}50'$ с.ш киты не были обнаружены. На остальных маршрутах киты наблюдались в прибрежной зоне шельфа и в основном встречались на 5-10-15 метровых изобатах. Две группы китов в количестве 5 особей были встречены над глубинами 20-25м.

18 июля большинство серых китов находилось на значительном удалении от Пильтунского маяка, примерно в 17-30 милях (рис.2.3.) и поэтому были не доступны для наблюдений с маяка и с моторных лодок типа «Зодиак».

В этот день китов можно было наблюдать практически на всей прибрежной акватории шельфа и напротив залива Пильтун в координатах $52^{\circ}53'48''$ – $52^{\circ}54'00''$ с.ш. и $143^{\circ}21'00''$ – $143^{\circ}21'18''$ в.д.(табл.2.3.). Вдоль шельфа встречались мелкие группы китов, состоящие из 2-3 особей, при этом довольно часто отмечались киты одиночки. В поведении животных не было замечено беспокойства. При облете вертолета киты продолжали оставаться в прежнем районе и практически не реагировали на шум вертолета.

Table 2.3

Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial surveys in July 1999.

Date	Time	Location of sightings (longitude, latitude)	Mammals sighted, behavior
1	2	3	4
July 8	1:06 p.m.	52°48' 143°18'	35-50 (Seals)
	1:51 p.m.	52°58'8" 143°19'54"	1+1+1 (Gray whale)
	1:55 p.m.	52°58'42" 143°20'30"	1+1+2 (Gray whale)
	2:02 p.m.	53°00'00" 143°19'8"	2 (Gray whale)
	2:12 p.m.	53°02'7" 143°17'36"	2 (Gray whale)
	2:18 p.m.	53°00'2" 143°24'17"	2 (Gray whale)
	2:58 p.m..	53°05'3" 143°55'6"	1 (Gray whale)
	3:35 p.m.	53°10'8" 143°32'15"	25-30 (Killer whale)
	4:14 p.m.	53°09'00" 143°55'00"	1 (Gray whale)
July 17	1:45 p.m.	52°55'54" 143°20'30"	2 (Gray whale)
	1:46 p.m.	52°56'00" 143°20'48"	1 (Gray whale)
	2:06 p.m.	52°53'24" 143°20'31"	2 (Gray whale)
	2:40 p.m.	52°50'55" 143°21'48"	1+1 (Gray whale)
	3:46 p.m.	52°41'6" 143°19'47"	1 (Spotted seal)
	3:47 p.m.	52°41'8" 143°19'52"	1 (Gray whale)

1	2	3	4
	4:38 p.m.	52°22'6" 143°10'55"	35-40 (Seals)
July 18	11:23 a.m.	52°17'10" 143°12'16"	5 (Seals)
	1:07 p.m..	52°53'48" 143°21'00"	4 (Gray whale)
	1:10 p.m.	52°53'55" 143°21'12"	2 (Gray whale)
	1:13 p.m.	52°54'00" 143°21'18"	1+1 (Gray whale)
	1:19 p.m.	52°56'36" 143°20'18"	1 (Gray whale)
	1:20 p.m.	52°56'38" 143°20'22"	1 (Gray whale)
	1:21 p.m.	52°58'42" 143°19'12"	1+1 (Gray whale)
	2:22 p.m.	53°05'36" 143°18'35"	3 (Gray whale)
	2:25 p.m.	53°05'42" 143°19'00"	1+1 (Gray whale)
	2:42 p.m.	53°08'42" 143°17'12"	2 (Gray whale) The whales are feeding
	2:44 p.m.	53°09'00" 143°18'16"	1+1 (Gray whale)
	2:49 p.m.	53°11'6" 143°17'13"	2 (Gray whale)
	3:52 p.m.	53°12'36" 143°17'8"	1 (Gray whale)
	3:58 p.m.	53°12'35" 143°16'54"	1+1+1 (Gray whale)
	4:03 p.m.	53°14'49" 143°16'18"	1+1 (Gray whale)
	4:08 p.m.	53°20'30" 143°15'18"	3 (Gray whale)
	4:10 p.m.	53°22'54" 143°14'11"	1+1 (Gray whale)
July 26	4:20 p.m.	52°58'48" 143°20'58"	2+1 (Gray whale)

1	2	3	4
	4:45 p.m.	52°56'38" 143°20'17"	4 (Gray whale) The whales are sticking together in group ranged from 30 to 50 m.
	5:10 p.m.	52°54'43" 143°20'53"	1+1 (Gray whale)
	5:17 p.m.	52°53'14" 143°21'49"	1+1 (Gray whale)
	5:19 p.m.	52°53'00" 143°21'06"	3 (Gray whale)
	5:40 p.m.	52°52'47" 143°20'53"	1+1+2 (Gray whale)
	5:51 p.m.	52°52'45" 143°21'13"	1 (Gray whale)
	6:02 p.m.	52°47'43" 143°21'59"	6 (Killer whale) 1 (Gray whale)
	7:02 p.m.	52°44'49" 143°21'58"	1 (Gray whale)
	7:18 p.m.	52°43'59" 143°21'58"	1 (Gray whale)
	7:58 p.m..	52°37'27" 143°21'39"	1 (Gray whale)
	8:12 p.m.	52°33'00" 143°22'19"	1 (Gray whale)

Учет китов выполненных 18 июля оказался более эффективным по сравнению с учетом 8 июля, когда было встречено всего лишь 15 серых китов. Вполне вероятно, что во второй половине июля в район летнего нагула подошла еще часть китов и это сказалось на результатах учета.

26 июля учет выполнялся по интенсивной сетке в хорошую погоду, волнение море составляло 1-2 балла. Полет проводили с севера на юг. Было учтено 23 серых кита на трансектах и один кит за пределами учетной площадки в координатах 52°33'00" с.ш. и 143°22'19" в.д. (табл.2.3.).

Основная масса китов держалась рядом с входом в Пильтунский залив и несколько севернее (рис.2.4.). В отличие от предыдущих полетов в июле, киты были обнаружены южнее залива Пильтун. Было встречено 5 китов одиночек. В этот день нам удалось наблюдать преследование группы косаток из 6 особей одного кита. Причем одна из косаток (это был крупный самец) плыла рядом с китом, другие 5 косаток окружили кита и отрезали ему отход на север. Косатки не проявляли агрессивности, но поведение кита было не стандартным. Кит плыл на спине и старался уйти в сторону берега. В период наблюдений кит находился на 10 метровой изобате.

Съемка 26 июля показала некоторые отличия в распределении китов, которые были выражены прежде всего в присутствии китов к югу от залива Пильтун. В остальном различий не было. Все киты были встречены на 5-10-15 метровых глубинах. Ни один из китов не наблюдался за 20 метровой изобатой (рис.2.4.).

Таким образом, учетные работы с вертолета в июле показали, что большая часть китов была обнаружена в прибрежной зоне шельфа над глубинами менее 20 метров и севернее входа в залив Пильтун.

Август. В августе было проведено 3 учета морских млекопитающих с вертолета.

4 августа учет выполнялся по экстенсивной сетке. На борту вертолета находился Сергей Язвенко (Канада) с целью контроля за нашими работами. Учет выполняли в солнечную, маловетренную погоду при волнении моря не более 1

балла. Полеты проходили по 8 трансектам с севера на юг на высоте 150 м со скоростью 160-180 км/час. Была обследована акватория между 53°20' – 52°35' с.ш. с удалением от берега на 50 км. Было учтено 47 китов, которые довольно равномерно встречались вдоль прибрежной полосы на изобатах до 20м (рис.2.5.). Поведение животных было спокойным, киты практически не реагировали на шум вертолета и оставались на прежнем месте. Из кабины вертолета одновременно можно было наблюдать на отдельных участках сразу 5-6 китов. Отдельные группы держались рассредоточено, на расстоянии 20-50м. Группы китов в 2–3 особи также отмечались довольно часто, при этом в мелких группах киты как правило держались более плотно. В этот день мы не наблюдали активного кормления китов, хотя в отдельных местах были замечены грязевые пятна, однако их число не было большим. Участки, где наиболее часто встречались серые киты, в основном находились в прибрежной зоне в районе 53° с.ш. (табл.2.4.). Здесь было учтено наибольшее количество китов. К югу от входа в залив Пилтун был встречен всего лишь один кит. Отсутствовали киты и на изобатах более 20м. Практически, в начале августа картина распределения серых китов была сходной с данными учета 18 июля, однако число китов обнаруженных 4 августа до 53°с.ш. было почти в 2 раза больше, чем 18 июля.

В связи с тем, что 4 августа мы обследовали только 50% учетной площади, мы были вынуждены повторить **7 августа** учет по экстенсивной сетке. Учет проводился во второй половине дня в пасмурную погоду (облачность 8-9 баллов) при видимости 5-6 км и волнении моря 1-2 балла. Было пройдено 16 трансект от Ныйского залива на север до 53°17' с.ш. (рис.2.6). Как и в прежние учеты киты не были встречены на 8 тарнсектах, расположенных к югу от 52°35' с.ш. Первых 2-х китов мы наблюдали на 9 трансекте у берега в координатах 52°41'35" с.ш. и 143°20'36" в.д. Киты держались рядом и активно кормились, вокруг них было множество грязевых пятен. В дальнейшем киты встречались на всех трансектах, за исключением последней. В основном китов можно было наблюдать в прибрежных участках шельфа на 10-15 метровых изобатах.

Fig. 2.5. Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial survey at 4 August, 1999.

Table 2.4

Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial surveys in August 1999.

Date	Time	Location of sightings (longitude, latitude)	Mammals sighted, behavior
1	2	3	4
August 4	2:19 p.m.	52°47'42" 143°21'53"	1 (Gray whale)
	2:21 p.m.	52°50'48" 143°22'3"	2+1 (Gray whale)
	3:00 p.m.	52°55'48" 143°20'54"	2 (Gray whale) Behavior of the whales is calm
	3:02 p.m.	52°57'42" 143°20'35"	1 (Gray whale)
	3:03 p.m.	52°58'30" 143°20'06"	1 (Gray whale)
	3:04 p.m.	52°59'12" 143°18'54"	3 (Gray whale)
	3:08 p.m.	52°57'12" 143°19'30"	1 (Gray whale)
	3:11 p.m.	53°00'2" 143°19'48"	2+1+2 (Gray whale) The whales are distributed on area 100x70 m.
	3:25 p.m..	53°01'31" 143°19'11"	5 (Gray whale) The group of whales is not compact. The whales are located about 20-50 m from each to other
	3:58 p.m.	53°02'47" 143°18'18"	3 (Gray whale)
	4:05 p.m.	53°04'55" 143°18'54"	1+2 (Gray whale) Two whales are swimming together
	4:13 p.m.	53°05'42" 143°18'25"	2+1 (Gray whale)
	4:20 p.m.	53°05'48" 143°18'12"	1 (Gray whale)

1	2	3	4
	4:23 p.m.	53°09'6" 143°16'5"	3 (Gray whale)
	4:25 p.m.	53°10'00" 143°17'18"	1+1 (Gray whale)
	4:29 p.m.	53°09'36" 143°16'30"	2 (Gray whale)
	4:33 p.m.	53°10'54" 143°16'23"	1+1 (Gray whale)
	5:28 p.m.	53°12'54" 143°16'06"	3 (Gray whale) The whales are sticking together
	5:42 p.m.	53°13'54" 143°15'23"	1 (Gray whale)
	6:08 p.m.	53°21'48" 143°12'35"	2 (Gray whale)
August 7	3:22 p.m.	51°59'40" 143°16'30"	2+11+3 (Seals)
	3:30 p.m.	51°59'53" 143°10'25"	1+6+3 (Seals)
	3:36 p.m.	52°01'35" 143°09'54"	2 (Spotted seal)
	3:42 p.m.	52°04'47" 143°09'12"	8 (Seals)
	3:45 p.m.	52°05'00" 143°16'36"	3 (Seals)
	4:30 p.m.	52°20'12" 143°12'11"	150-180 (Seals) The seals lay on the bank near cave of Chaivo Bay
	5:03 p.m.	52°41'35" 143°20'36"	2 (Gray whale) The whales are feeding. There are many muddy spots.
	5:38 p.m.	52°46'55" 143°21'24"	4 (Gray whale)
	5:46 p.m.	52°48'47" 143°22'55"	3 (Gray whale)
	6:20 p.m.	52°54'41" 143°22'54"	1+3 (Gray whale)
	6:25 p.m.	52°57'18" 143°20'6"	3 (Gray whale)

1	2	3	4
	6:39 p.m.	52°57'34" 143°20'09"	2 (Gray whale)
	6:44 p.m.	52°58'30" 143°18'36"	3 (Gray whale)
	6:47 p.m.	52°59'42" 143°19'8"	1 (Gray whale)
	6:53 p.m.	53°01'24" 143°18'35"	1+1 (Gray whale)
	7:46 p.m.	53°05'36" 143°18'48"	1 (Gray whale)
	7:53 p.m.	53°06'55" 143°16'54"	1 (Gray whale)
	7:59 p.m.	53°09'2" 143°16'24"	2 (Gray whale)
August 30	12:44 a.m.	52°40'48" 143°20'25"	1 (Gray whale)
	1:25 p.m.	52°44'36" 143°20'24"	2 (Gray whale)
	1:56 p.m.	52°47'42" 143°20'26"	3 (Gray whale)
	2:17 p.m.	52°49'36" 143°21'30"	1 (Gray whale)
	2:18 p.m.	52°49'48" 143°21'24"	1 (Gray whale)
	2:27 p.m.	52°51'12" 143°21'54"	1 (Gray whale)
	2:45 p.m.	52°52'54" 143°21'6"	2 (Gray whale)
	2:47 p.m.	52°53'24" 143°20'48"	2 (Gray whale)
	3:02 p.m.	52°55'6" 143°20'00"	2+1+2 (Gray whale)
	3:33 p.m.	52°57'54" 143°19'48"	1 (Gray whale)
	3:47 p.m.	52°59'12" 143°19'54"	2 (Gray whale)
	3:49 p.m.	52°59'13" 143°19'24"	2 (Gray whale)
	3:50 p.m.	52°59'25" 143°19'55"	3 (Gray whale)
	3:50 p.m.	52°59'24" 143°20'12"	1 (Gray whale)

1	2	3	4
	4:03 p.m.	53°04'25" 143°17'49"	1 (Gray whale)
	4:17 p.m.	53°17'30" 143°14'6"	1 (Gray whale)
	4:59 p.m.	52°50'46" 143°19'12"	Herd of seals (more than 90 individuals)
	5:28 p.m.	52°19'6" 143°11'20"	Herd of seals (more than 500 individuals)
	5:28 p.m.	52°19'28" 143°11'06"	Herd of seals (more than 1000 individuals)
	5:30 p.m.	52°19'30" 143°10'54"	Herd of seals (more than 200 individuals)

Fig. 2.6. Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial survey at 7 August, 1999.

В этот день киты держались мелкими группами в 2-3 особи, значительно реже встречались одиночки. Наибольшее число китов было учтено в районе 53° с.ш. В отличие от учета 4 августа, в этот день количество китов севернее 53° с.ш. было значительно меньше. Киты в основном были обнаружены южнее 53° с.ш. и 9 китов находились южнее входа в залив Пильтун на изобатах 8-15 метров.

В принципе общая картина учета 4 и 7 августа во многом была сходной с той лишь разницей, что 7 августа было учтено меньшее число китов (табл.2.4.), однако при этом процент встречаемости китов к югу от залива Пильтун был значительно выше (32,1%) по отношению к общему числу встреченных китов, по сравнению с результатами учета 4 августа (8,5%).

30 августа был проведен учет по интенсивной сетке. С утра погода была не благоприятной для работы, стоял туман, морось. К 11 утра туман рассеялся. Со второй половины дня установилась солнечная погода, однако волнение на море составляло около 2 баллов. Учет проводился с юга по 26 трансектам. Было обнаружено 28 китов, из них один кит был учтен на северном шельфе за пределами учетной площади в координатах $53^{\circ}17'30''$ с.ш. и $143^{\circ}14'6''$ в.д. (табл.2.4.). Киты были встречены на 13 трансектах (50%) из 26. Большая часть китов была учтена к северу от входа в залив Пильтун (71,4%) и киты находились на изобатах 10-12м. Ни один из китов не был учтен на изобатах более 15м. У входа в залив Пильтун киты активно питались. Кормление китов наблюдали и к югу от залива Пильтун в координатах $52^{\circ}47'42''$ с.ш. и $143^{\circ}20'26''$ в.д. Киты кормились примерно в 1,5 км от берега на глубинах 6-8 метров. В координатах $52^{\circ}59'25''$ с.ш. и $143^{\circ}19'55''$ в.д. была встречена самка с детенышем (табл.2.4.). Рядом с ними находился еще один кит. Поведение самки было спокойное, однако при облете вертолетом группа повернула в противоположную от берега сторону.

Анализируя результаты учетных работ следует сказать, что в августе характер распределения китов имел много общего с июлем. Киты в основном держались на мелких глубинах вдоль побережья. При этом количество китов обнаруженных к югу от залива Пильтун 30 августа примерно было таким же, как и 7 августа

(31,0% и 32,1%). Это в определенной степени свидетельствует о привязанности китов к определенным кормовым участкам в нагульный период.

Сентябрь. Учетные работы в сентябре проводились дважды по экстенсивной сетке.

21 сентября учет выполнялся по 16 трансектам от Ныйского залива на север. Погода не благоприятствовала проведению учета, дул сильный боковой ветер и волнение моря составляло 2-3 балла. Из-за плохих погодных условий мы были вынуждены прекратить учет после прохождения 10 трансект и посадить вертолет в 12ч.20мин. на Пильтун в ожидании улучшения погоды. Учетные работы были возобновлены с улучшением погоды в 4ч.15мин. после полудня. К этому времени прекратился дождь и улучшилась видимость, однако волнение на море оставалось около 2-3 баллов. Всего было встречено 33 кита, причем на 10 южных трансектах киты отсутствовали (рис.2.8.). Практически не были обнаружены киты и южнее Пильтунского залива. В основном киты держались севернее 53° с.ш., там было учтено наибольшее число животных (78,8%). Большинство китов находилось за 10 метровой изобатой, на глубинах от 12 до 20м., что вероятно можно объяснить сильным накатом волн на берег.

Поведение китов было довольно активным. Большинство встреченных китов плыли вдоль берега на север. Из 33 учтенных китов, 14 двигались на север. Остальные киты довольно активно кормились, о чем свидетельствовали грязевые пятна, а иногда и целые грязевые дороги в местах встреч китов. Из 33 встреченных китов только 4 были одиночки, остальные держались группами по 2-4 кита (табл.2.5.).

Table 2.5

Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial surveys in September 1999.

Date	Time	Location of sightings (longitude, latitude)	Mammals sighted, behavior
1	2	3	4
September 21	10:15 a.m.	52°18'-52°19' 143°10'-143°12'	Group of seals (25-30 individuals) on the water
	12:20 a.m.	52°48'52" 143°21'05"	1 (Gray whale) The whale is swimming along the bank to North
	From 12:20 a.m. to 4:15 p.m.		The helicopter was staying at Lighthouse
	4:20 p.m.	52°52'20" 143°21'02"	2 (Gray whale)
	4:55 p.m.	52°58'15" 143°20'32"	2+2 (Gray whale) The whales are moving to North
	5:30 p.m.	53°04'47" 143°17'50"	2 (Gray whale) The whales are feeding, muddy spots
	5:33 p.m.	53°06'41" 143°17'19"	2 (Gray whale) The whales are diving
	5:35 p.m.	53°08'11" 143°18'35"	2+1 (Gray whale)
	5:36 p.m.	53°08'27" 143°17'09"	4 (Gray whale) The whales are moving to North
	5:40 p.m.	53°09'40" 143°16'53"	1+2 (Gray whale)
	5:43 p.m.	53°10'43" 143°17'39"	2 (Gray whale) The whales are moving to North
	5:45 p.m.	53°11'06" 143°16'10"	4 (Gray whale) The whales are feeding

1	2	3	4
	5:48 p.m.	53°12'27" 143°15'50"	1+2 (Gray whale) The whales are feeding and diving
	6:32 p.m.	53°15'53" 143°14'36"	3 (Gray whale) The whales are feeding. There are many muddy spots
September 22	11:30 a.m.	53°28'25" 143°07'59"	2 (Gray whale) The whales are feeding. There are muddy spots.
	11:52 a.m.	53°21'37" 143°12'55"	1+1 (Gray whale) The whales are moving to North.
	11:53 a.m.	53°21'35" 143°12'55"	2+1 (Gray whale) The whales are moving along the bank to North
	12:03 a.m.	53°17'02" 143°14'46"	1 (Gray whale) The whale is diving and feeding
	12:07 a.m.	53°15'45" 143°15'10"	1 (Gray whale) The whale is feeding
	12:08 a.m.	53°15'04" 143°14'46"	1+1 (Gray whale) The whales are feeding
	12:11 a.m.	53°14'10" 143°17'04"	1+1 (Gray whale)
	12:13 a.m.	53°13'00" 143°16'50"	6 (Gray whale) Two males and female are playing breeding game
	12:19 a.m.	53°12'08" 143°15'47"	5 (Gray whale) The whales are feeding
	12:22 a.m.	53°11'41" 143°16'11"	1+1+1 (Gray whale) There many muddy spots around the whales
	12:23 a.m.	53°11'12" 143°16'30"	1 (Gray whale)
	12:42 a.m.	53°08'07" 143°18'26"	1 (Gray whale)

1	2	3	4
	12:48 a.m.	53°06'10" 143°17'16"	1 (Gray whale) There is muddy trace on the water more than 20 m.
	1:11 p.m.	52°58'13" 143°20'10"	1 (Gray whale)
	1:15 p.m.	52°57'00" 143°20'45"	1 (Gray whale)
	1:22 p.m.	52°53'48" 143°22'21"	2+1 (Gray whale)
	1:28 p.m.	52°53'26" 143°22'26"	2 (Gray whale)
	1:33 p.m.	52°52'55" 143°21'40"	2 (Gray whale)
	2:12 p.m.	52°49'08" 143°21'51"	1 (Gray whale)
	3:48 p.m.	52°19'46" 143°10'16"	Herd of seals (more than 60 individuals)
	3:58 p.m.	52°19'09" 143°11'15"	Herd of seals (more than 100 individuals)
	4:08 p.m.	52°04'17" 143°09'15"	8 (Seals)

22 сентября был повторен учет по экстенсивной сетке. Работы проводились в ясную погоду при волнении на море около 2-х баллов. Учет выполняли с севера от г.Охи в сторону Пильтунского залива.

Первые киты были встречены вдоль побережья далеко от учетной площади, поэтому было принято решение детально обследовать прибрежную акваторию с глубинами 10-30м., тем более, что 21 сентября мы наблюдали активное перемещение китов вдоль берега на север. Севернее $53^{\circ}05'$ с.ш. было встречено 30 китов (рис.2.9.), большинство из которых активно кормились. В местах их обнаружения было много грязевых пятен и следов от кормления. Киты были рассредоточены в основном на изобатах 10-20м. Из 30 встреченных китов 5 китов двигались на север. Все киты были крупные.

В координатах $53^{\circ}13'00''$ с.ш. и $143^{\circ}16'50''$ в.д. была встречена группа китов в количестве 6 особей (табл.2.5). Несколько южнее, в координатах $53^{\circ}12'08''$ с.ш и $143^{\circ}15'47''$ в.д. наблюдали группу китов из 5 особей. В прежние дни учета сразу 2 группы нам не приходилось наблюдать. В группе китов из 6 особей мы наблюдали как один из китов (вероятно это была самка) плавала под водой на спине, часто принимая положение близкое к вертикальному. Рядом с ней почти вплотную плавали еще 2 кита. Другие 3 кита кружили рядом с этой группой. Все киты в группе были крупными. Мы не наблюдали спаривания, но в данной группе хорошо прослеживалось ухаживание самцов за самкой и игривое поведение китов.

Южнее 53° с.ш. мы встретили еще 10 китов (рис.2.9), которые находились в своих обычных местах летнего нагула. Киты вновь (как и 21 сентября) не были обнаружены южнее залива Пильтуна. Практически на 10 южных трансектах учетной площади за 2 дня работ не было встречено ни одного кита.

Исследования показали, что вряд ли следует проводить каждый месяц учет серых китов к югу от $52^{\circ}40'$ с.ш. Гораздо важнее обратить внимание на прибрежный шельф севернее 53° с.ш., где в летней период было учтено наибольшее число серых китов. Более подробно на этом мы считаем

целесообразным остановиться при рассмотрении пространственной структуры летнего нагула серых китов.

Резюмируя итоги учетных работ следует сказать, что в конце сентября, большинство серых китов перемещалось на север от Пильтунского залива. За 2 дня учета севернее 53° с.ш. было встречено 56 китов, что составляло 76,8% от общего числа наблюдаемых китов.

Октябрь. Учет проводился в конце первой декады октября по интенсивной (8 октября) и экстенсивной сеткам (9 октября).

8 октября учет проводился при волнении моря в 3 балла. На море были сплошные барашки от волн и фонтаны китов практически было трудно различить на этом фоне. Китов наблюдали в том случае, когда вертолет налетал на кита или пролетал в непосредственной близости от них. Всего было встречено 4 кита (рис.2.10) из них один следовал на север вдоль берега.

9 октября установилась хорошая погода и учет был повторен по экстенсивной сетке. Учет выполнялся от Ныйского залива в сторону Пильтуна на высоте 150м со скоростью 160-180 км/час. Было учтено 32 серых кита (рис.2.11), причем на 10 южных тарнсектах мы не видели ни одного кита. Мы также не обнаружили ни одного кита, который совершал бы осенние миграции в южном направлении вдоль побережья о.Сахалин. Наоборот, мы наблюдали 3-х китов севернее $53^{\circ}20'$ с.ш., которые кормились и двигались вдоль побережья о.Сахалина на север. За пределами района экстенсивной съемки мы встретили 10 китов, один из них был обнаружен на траверзе г.Охи, это примерно в 47 милях от маяка на Пильтуне.

Table 2.6

Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial surveys in October 1999.

Date	Time	Location of sightings (longitude, latitude)	Mammals sighted, behavior
1	2	3	4
October 8	2:28 p.m.	53°04'29" 143°19'16"	2 (Gray whale)
	3:10 p.m.	53°01'16" 143°18'53"	1 (Gray whale)
	4:23 p.m.	52°51'38" 143°19'44"	Herd of seals on the bank of Piltun Bay (about 150-200 individuals)
	5:49 p.m.	52°40'04" 143°19'58"	1 (Gray whale)
	6:05 p.m.	52°38'10" 143°19'35"	4 (Seals)
	6:22 p.m.	52°36'50" 143°19'39"	2 (Seals)
October 9	12:30 a.m.	52°05'19" 143°09'45"	4 (Seals)
	1:13 p.m.	52°19'15" 143°11'01"	160-200 (Seals)
	3:00 p.m.	52°47'54" 143°20'31"	2+2 (Gray whale)
	3:13 p.m.	52°49'20" 143°21'50"	2 (Gray whale) The whales are swimming calmly
	3:18 p.m.	52°48' 143°19'	40-50 (Seal) The seals are on the water near the cave of Piltun Bay
	3:23 p.m.	52°51'51" 143°20'06"	1 (Gray whale)
	3:26 p.m.	52°52'13" 143°19'48"	1 (Gray whale)
	4:58 p.m.	53°12'32" 143°15'28"	1 (Gray whale)

1	2	3	4
	5:00 p.m.	53°12'54" 143°16'12"	1+1 (Gray whale)
	5:02 p.m.	53°13'21" 143°16'16"	3+1 (Gray whale) The whales are circling on the water in radius about 35- 50 m
	5:06 p.m.	53°13'44" 143°15'12"	3+4 (Gray whale)
	5:12 p.m.	53°19'51" 143°12'48"	1+1 (Gray whale)
	5:13 p.m.	53°20'39" 143°12'28"	2 (Gray whale)
	5:16 p.m.	53°20'43" 143°12'18"	2+1 (Gray whale)
	5:16 p.m.	53°27'52" 143°08'15"	1 (Gray whale)
	5:20 p.m.	53°28'23" 143°07'30"	1 (Gray whale)
	5:22 p.m.	53°33'53" 143°04'43"	1 (Gray whale)

В день проведения учета киты держались в двух районах. Небольшая группа китов находилась напротив Пильтунского маяка. Киты кормились и плавали недалеко от берега на 8-12 метровых изобатах. На 3-х трансектах к северу от Пильтуна киты не были встречены, таким образом в октябре появился разрыв, которого в прежних учетах не было. Вновь киты были обнаружены севернее $53^{\circ}10'$ с.ш. Наибольшее число китов было учтено на прибрежном участке шельфа в координатах $53^{\circ}12'32'' - 53^{\circ}13'44''$ с.ш. и $143^{\circ}15'28'' - 143^{\circ}15'12''$ в.д. (табл.2.6.). Далее к Охе были встречены киты одиночки и две группы по 2 особи.

В этот день в одной из групп китов состоящих из 3-х крупных особей мы наблюдали их движение по кругу (кружение). Киты находились в радиусе 39-50м на акватории и двигались по кругу друг за другом. Поведение животных при облете было спокойным и они продолжали круговое плавание.

Таким образом, учет в октябре не позволяет нам говорить об уходе китов на юг вдоль о.Сахалин, наоборот мы наблюдали перемещение китов на север в сторону Охи.

Ноябрь. Учет китов в ноябре не был предусмотрен программой работ, поскольку считали, что в ноябре серые киты должны уйти из летних районов нагула. Однако, результаты учета в октябре убедили нас в том, что в ноябре на шельфе северо-восточного Сахалина должны оставаться киты. В этой связи мы обратились с просьбой в Хьюстон к Нэнси Кралик и в г.Южно-Сахалинск к Джеймсу Робинсону с предложением провести ноябрьский учет морских млекопитающих и получили от них согласие на выполнение работ.

18 ноября были выполнены полеты по интенсивной сетке. Вертолет с наблюдателями вылетел из Николаевска на Амуре и проследовав через Амурский лиман, повернул вдоль северо-западного побережья Сахалина. Амурский лиман был в это время покрыт льдом, но везде были разводья. Лед был тонкий и подвижный. В координатах $53^{\circ}24'23''$ с.ш. и $141^{\circ}43'43''$ в.д. наблюдал группу белух (*Delphinapterus leucas*) из 5 особей. В дальнейшем белухи так же встречались вдоль ледяной кромки северо-западного Сахалина.

В 11час.45мин. мы обогнули с севера Сахалин, пролетели мыс Елизаветы и начали обследовать прибрежную акваторию шельфа северо-восточного Сахалина. В этот период вдоль побережья наблюдался активный процесс льдообразования. Крупные камни, выступающие из воды, были покрыты льдом. У берега в прибойной полосе находилось много мелкого льда (шуги), изредка встречались льдины по 3-10кв/м. Вся эта масса льда плавала вдоль прибойной полосы, остальная акватория была свободна от льда. На изобатах 10-20м лед отсутствовал. Остров Сахалин был покрыт снегом.

Первый кит был встречен в координатах 53°07'16" с.ш. и 143°17'44" в.д. (табл.2.7). Кит двигался на юг вдоль берега по 10-метровой изобате. Следующий кит был замечен на 5-ой трансекте у побережья (рис.2.12). Кит был крупный и то же двигался в южном направлении. Севернее Пильтунского маяка была замечена самка и молодой кит, последний отличался более темной окраской и небольшим числом светлых колец на спине. Оба кита держались вместе. Самка имела очень светлую окраску, с большим числом светлых пятен на боках и спине. Поведение китов в районе Пильтуна было несколько необычным. Киты боялись вертолета, их поведение было скрытным и боязливым. Животные почти не показывались на поверхности, подолгу оставались под водой и сделав несколько фонтанов вновь прятались на 5-7 минут под воду. Практически не возможно было сфотографировать китов.

Южнее залива Пильтун киты не были встречены на 14 трансектах. Всего на маршруте нами было учтено 7 китов, однако если принять во внимание сложные погодные условия (снежные заряды, волнение на море более 2 баллов), то результаты учета можно оценить удовлетворительно.

20 ноября был выполнен учет по экстенсивной сетке, в направлении с севера на юг (рис.2.13). В день выполнения работ стояла солнечная, морозная погода (температура воздуха – 9-12°C), волнение на море 1-2 балла. У берега был

Table 2.7

Occurrence of mammals on shelf of Sakhalin by aerial surveys in November 1999.

Date	Time	Location of sightings (longitude, latitude)	Mammals sighted, behavior
1	2	3	4
November 18	11:45 a.m.	54°01'53" 142°59'14"	1 (Spotted seal)
	12:35 a.m.	53°13'23" 143°15'16"	1+2 (Seals)
	12:45 a.m.	53°07'16" 143°17'44"	1 (Gray whale)
	1:20 p.m.	53°01'25" 143°19'46"	1 (Gray whale)
	1:41 p.m.	52°59'49" 143°19'31"	1 (Seals)
	2:26 p.m.	52°53'57" 143°19'35"	1+1 (Gray whale) Female with young one
	2:33 p.m.	52°53'20" 143°21'00"	2 (Gray whale)
	2:47 p.m.	52°53'08" 143°20'39"	1 (Gray whale) The whale is very careful. It is spending long time under water
	2:55 p.m.	52°51'01" 143°19'15"	50-60 (Seals) The seals are on the ice
	4:10 p.m.	52°41'05" 143°19'56"	3 (Seals)
November 20	11:20 a.m.	53°01'08" 143°19'12"	1 (Gray whale)
	11:26 a.m.	53°02'06" 143°18'18"	1 (Gray whale) The whale is very careful
	11:30 a.m.	53°01'24" 143°18'12"	1 (Gray whale)
	11:43 a.m.	52°59'42" 143°18'12"	1 (Seals)

1	2	3	4
	11:52 a.m.	52°57'12" 143°20'30"	1 (Gray whale)
	12:00 a.m.	52°56'36" 143°19'48"	2 (Gray whale) The whales are staying on one place
	12:05 a.m.	52°56'12" 143°20'42"	2 (Gray whale) The whales are very careful. They are spending under water 5-7 min.
	12:24 a.m.	52°53'30" 143°21'42"	2 (Gray whale) The whales are moving along the bank to North
	1:05 p.m.	52°52'18" 143°20'36"	1 (Gray whale)
	1:07 p.m.	52°52'17" 143°20'18"	1 (Gray whale)
	1:16 p.m.	52°50'54" 143°22'18"	1+1 (Gray whale)
	1:22 p.m.	52°50' 143°18'	20-25 (Seals) The seals are on the ice
	2:10 p.m.	52°31'42" 143°18'53"	2 (Seals)
	2:56 p.m.	52°23'30" 143°15'48"	1 (Spotted seal)
	3:38 p.m.	52°12'42" 143°09'35"	1 (Seals)
	3:49 p.m.	52°10'48" 143°09'06"	1 (Seals)
	3:52 p.m.	52°07'30" 143°09'36"	2 (Seals)
	3:55 p.m.	52°05'18" 143°08'06"	12 (Seals)
	4:00 p.m.	51°57'54" 143°11'15"	2 (Seals)

большой накат волн – следствие прохождения циклона по Охотскому морю. Учет выполнялся на высоте 150-160м со скоростью 160-180 км/час. Первых китов одиночек наблюдали вблизи побережья на 10-12м. изобатах в районе 53° с.ш. (табл.2.7). Киты оставались на месте, но крайне редко показывались на поверхности. Отдельные киты заныривали более чем на 5-8 минут. В координатах 52°56'36" с.ш и 143°19'48" в.д. наблюдали кормление 2-х китов.

Было замечено активное передвижение 2-х китов вдоль побережья на север. Киты перемещались с обычной для них скоростью 2-3 км/час, которая характерна для кормящихся китов в Беринговом море в районе о-ва Святого Лаврентия (Wursig et al, 1986). У мигрирующих китов скорость возрастает до 3-4 км/час (Mate, Harvey, 1984).

20 ноября, несмотря на хорошую погоду оказалось довольно трудно наблюдать за китами. Киты были крайне осторожны, подолгу заныривали. Иногда, они проплывали под водой до 200м и сделав несколько фонтанов на поверхности вновь уходили под воду на 5 и более минут. Отдельные киты оставались под водой до 10-12 минут.

Вполне возможно, что при таком поведении китов, определенная их часть оказалась пропущенной и не учтенной. Всего в этот день мы отметили 14 китов. Все киты были встречены напротив залива Пильтун. На остальной акватории от залива Пильтун до Ныйского залива мы не встретили ни одного кита.

Если согласиться с тем, что осенние миграции китов проходят вдоль Сахалина в направлении пролива Лаперуза, то в октябре-ноябре мы обязательно должны были встретить китов южнее залива Пильтун. Однако таких встреч не было. Следовательно, сложившиеся представления об осенних миграциях серых китов вдоль берегов Сахалина возможно не соответствуют действительности и этот вопрос требует дальнейшего изучения.

2.2 Анализ пространственного распределения серых китов в районах летнего нагула

Исследования пространственной структуры серых китов требует проведения одновременного учета на всей акватории их летнего ареала. Эта задача может быть выполнена только при использовании вертолета и маломерных судов. Наблюдения с отдельных маяков и наблюдательных пунктов не дают общей картины распределения китов. Такие работы позволяют лишь говорить о встречаемости китов в данном районе, направлении летних перемещений и частоте встречаемости в районе наблюдений. Фотоидентификация так же не позволяет получить сведений о характере распределения, основных районах скоплений, а также месячных и сезонных миграциях китов, поскольку работы по фотоидентификации выполняются на ограниченном участке вблизи Пильтунского маяка и исследованиями оказывается не охвачена большая часть летнего ареала на шельфе северо-восточного Сахалина.

Как показали результаты учетных работ, распределение серых китов носит не равномерный характер. Выше, мы уже довольно подробно анализировали результаты учета отдельно по каждому месяцу. Учетные работы с вертолета позволяют сделать некоторые обобщения и дать анализ пространственного распределения серых китов на шельфе Сахалина. Следует в первую очередь отметить довольно не равномерный характер встречаемости китов в исследуемом районе. Большая часть китов была обнаружена в прибрежной зоне шельфа на изобатах 8-12-15-метров. Значительно меньше наблюдали китов на глубинах 16-20м, и практически отсутствовали киты за 50 метровыми изобатами (табл.2.8).

Анализ представленных в табл.2.8. результатов учетных работ в июле-ноябре 1999г. показал, что во все месяцы учета киты отдавали предпочтение прибрежным районам шельфа с глубинами до 20м. Здесь было обнаружено более 90% всех учтенных китов. Участки шельфа с глубинами от 21 до 50м, посещались китами значительно реже (7,9%) и практически животные не были встречены в августе-ноябре над изобатами свыше 50м.

Таблица 2.8.

Характер распределения серых китов на шельфе северо-восточного
Сахалина в июле – ноябре 1999г.

Месяцы	Изобаты на которых встречены киты								Общее число встреченных китов (п)
	до 10 м		10 – 20 м		21 – 50 м		Более 50 м		
	п	%	п	%	п	%	п	%	
июль	33	40,7	38	46,9	8	9,9	2	2,5	81
август	45	43,3	57	54,8	2	1,9	0	-	104
сентябрь	21	28,8	43	58,9	9	12,3	0	-	73
октябрь	13	36,1	17	47,2	6	16,7	0	-	36
ноябрь	9	42,9	12	57,1	0	-	0	-	21
Итого	121	38,4	167	53,0	25	7,9	2	0,6	315

Примечание: в таблице представлены результаты 8 учетов по экстенсивной и 5
учетов по интенсивной сетке

Таким образом в нагульный период мелководный шельф являлся основным районом обитания серых китов.

В летний период 1999г. серые киты не были встречены южнее $52^{\circ}30'$ с.ш. В то же время 21 июля 1995г. на научно-исследовательском судне «Вулканолог» ДВО РАН группу серых китов из 5 особей мы наблюдали примерно в 58 милях южнее залива Пильтун и в 19 милях от берега, напротив южной части залива Ныйского (Соболевский, 1998). В первой декаде июля 1999г. 2 серых кита так же были встречены на значительном удалении от берега, севернее 53° с.ш. (рис.2.1). Следовательно, при рассмотрении распределения серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина надо иметь в виду возможность их нахождения на значительном удалении от Пильтунского залива в период летнего нагула.

Известно, что для каждого вида китов характерны определенные границы, которые будут во многом зависеть от климатических факторов и пищевой специализации животных (Земский, 1974). Характер распределения серых китов на шельфе Сахалина во многом зависит от наличия корма и степени его доступности (Соболевский, 1998). На начальном этапе восстановления численности охотско-корейской популяции нагульный ареал серых китов будет значительно меньшим по площади, по сравнению с тем, когда численность популяции достигнет своей максимальной величины. Сейчас как раз и происходит медленное восстановление численности серых китов охотско-корейской популяции. В эти годы очень важно свести к минимуму воздействие негативных факторов, связанных в первую очередь с хозяйственной деятельностью - загрязнение шельфа нефтепродуктами, добыча рыбы и беспозвоночных, активные хозяйственные работы нефтяников и рыбаков.

Известно, что у китообразных довольно хорошо проявляется взаимное сотрудничество и взаимопомощь (Томилин, 1935, 1957; Крушинская, 1974), которая выражена в образовании небольших групп в период летнего нагула. Анализ встречаемости отдельных групп показал, что на шельфе северо-восточного Сахалина, несмотря на довольно низкую численность, мы довольно часто встречали группы китов, насчитывающие 2-3 и более животных. Наиболее

часто мы отмечали группы состоящие их 2-х китов (26,6%). Значительно реже были встречены группы из 3-6 животных (табл.2.9.). Высказывается мнение, что наиболее устойчивыми являются небольшие по численности группы, состоящие

Таблица 2.9.

Анализ встречаемости отдельных групп серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина в июле – ноябре 1999г.

Месяцы	Число встреч китов	Процент встречаемости одиночек и отдельных групп							
		Одиночки		Группа из 2-х китов		Группа из 3-х китов		Группа из 4-х китов	
		п	%	п	%	п	%	п	%
Июль	58	42	72,4	11	19,0	3	5,2	2	3,4
Август	59	29	49,2	18	30,5	10	16,9	1	1,7
Сентябрь	42	23	54,7	14	33,3	1	2,4	2	4,8
Октябрь	23	14	60,9	6	26,1	2	8,7	1	4,3
Ноябрь	17	13	76,5	4	23,5	0		0	
Итого	199	121	60,8	53	26,6	16	8,0	6	3,0

как правило из 2 особей (Соколов, Арсеньев, 1994). Группы состоящие из 3-х и более китов считаются менее прочными и легко распадаются.

Проведя анализ распределения в июле-ноябре 1999г. мы обратили внимание на отсутствие китов южнее $52^{\circ}30'$ с.ш. и их наибольшие концентрации на акватории между $52^{\circ}45' - 53^{\circ}15'$ с.ш. с удалением от берега на 1-5 км на изобатах 8-15м. Если исходить из данных учета, то указанная выше акватория является наиболее посещаемой серыми китами в летний период нагула (табл.2.10). При малой численности охотско-корейской популяции данный район можно считать центральным районом нагула в летний период. Периферийными районами будут участки к северу и югу от центрального района. Встречаемость китов на этих участках будет составлять не более 13% (табл.2.10). Половина всех встреченных китов (159 особей) обнаружены за 53° с.ш. и поэтому практически были недоступны для наблюдений с Пильтунского маяка.

Можно довольно уверенно говорить о том, что при отсутствии учетных работ с вертолета, большая часть китов была бы не учтенной, тем более мы не имели бы достоверных данных и о характере их распределения на севере Сахалинского шельфа. Мы допускаем возможность обнаружения серых китов на значительно большем удалении от Пильтунского залива и даже их присутствие на северо-западном шельфе Сахалина. В качестве подтверждения отметим, что в августе экипаж вертолета, который имеет большой опыт учета китов, видел в районе Москальво (Сахалинский залив) серого кита.

Вполне вероятно, что с увеличением численности охотско-корейской популяции серые киты будут довольно обычны и на других участках шельфа Сахалина. Характер распределения серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина во многом зависит от кормовой базы и степени доступности массовых видов корма. В июле-августе кормящихся китов довольно часто наблюдали севернее входа в Пильтунский залив на изобатах 10-18м (рис.2.14). Исследования, проведенные в 1995г. с научно-исследовательского судна ДВО РАН «Вулканолог» показали, что в июле-августе наиболее часто кормящихся

Таблица 2.10

Пространственная структура нагульных группировок китов у побережья северо-восточного Сахалина

Месяцы	Число китов наблюдаемых по районам						Итого	
	51°55' – 52°30' п %	52°30'1"- 52°45' п %	52°45'1"- 53°00' п %	53°00'01' '-53°15' п %	53°15'1"- 53°30' п %	53°31'- 53°45' п %		
июль	0 -	5 6,2	48 59,2	23 28,4	5 6,2	0 -	81	100
август	0 -	5 4,8	56 53,8	40 38,5	3 2,9	0 -	104	100
сентябрь	0 -	0 -	17 23,3	42 57,5	14 19,2	0 -	73	100
октябрь	0 -	1 2,8	8 22,2	17 47,2	9 25,0	1 2,8	36	100
ноябрь	0 -	0 -	16 76,2	5 23,8	0 -	0 -	21	100
Итого	0 -	11 3,5	145 46,1	127 40,3	31 9,8	1 0,3	315	100

Примечание: в таблице суммированы результаты 8 учетов по экстенсивной сетке и 5 учетов по интенсивной сетке. Координаты экстенсивной съемки 51°55'-53°15' с.ш. с удалением от берега каждой из трансект на 50 км.

серых китов можно было наблюдать у входа в залив Пильтун на изобатах 5-15 метров (рис.2.15). В июле-августе постоянное присутствие китов в районе Пильтуна отмечали и в прежние годы (Weller et al, 1999).

В сентябре-октябре кормовые районы серых китов значительно сместились на север вплоть до $53^{\circ}20'$ с.ш. В этих районах на мелководных участках шельфа проходил нагул большей части китов. Значительно реже в эти месяцы можно было наблюдать питание китов напротив Пильтунского маяка и южнее входа в Пильтунский залив (рис.2.14). В ноябре условия погоды не позволили наблюдать за питанием китов. Достоверно можно говорить лишь о встрече двух кормящихся китов в координатах $52^{\circ}56'36''$ с.ш. и $143^{\circ}19'48''$ в.д. питание которые нам удалось наблюдать на 9-10 метровых изобатах.

Таким образом, наши исследования с вертолета позволяют высказать предположение о существовании кормовых участков, которым серые киты отдают предпочтение в различные сезоны нагула. В июле-августе большинство китов отдавали предпочтение мелководному шельфу южнее 53° с.ш. и лишь отдельных особей можно было наблюдать на 10-15м. изобатах несколько севернее 53° с.ш. В сентябре-октябре основная масса китов нагуливалась севернее 53° с.ш. на 4 кормовых участках (рис.2.14). Значительно меньше кормящихся китов мы наблюдали в районе Пильтунского маяка. Известно, что пространственная структура популяций находится в тесной связи с плотностью животных (Шилов, 1977). В настоящее время при низкой численности популяции это обстоятельство не будет играть существенной роли. С восстановлением численности охотско-корейской популяции мы будем располагать действительной картиной распределения серых китов.

Рис. 2.14. Участки шельфа, где наиболее часто отмечались с вертолета кормящиеся серые киты в июне-ноябре 1999 г.

Рис. 2.15. Районы наибольшей встречаемости серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина в июле-августе 1998 г. (Соболевский, 1998).

2.3. Распределение и численность тюленей на шельфе северо-восточного Сахалина

Планомерные исследования ластоногих на восточном Сахалине практически прекратились в начале 90-х годов. Это было связано с прекращением зверобойного промысла у берегов Сахалина в весенний период и как следствие тому сокращение финансирования научных работ. До этого исследования тюленей на восточном Сахалине проводились в основном в весенний период со зверобойных судов и во время выполнения авиаучетных работ (Федосеев, 1970; Федосеев и др., 1970).

Изучение летнего распределения тюленей в основном сводилось к регистрации береговых лежбищ и довольно приблизительной оценки численности тюленей (Косыгин и др. 1986).

Работы выполненные по программе НААЕР в летне-осенний период 1999г. на шельфе северо-восточного Сахалина охватывают небольшую акваторию и не могут за один сезон дать полной картины распределения морских млекопитающих на восточном Сахалине. Наши исследования имели довольно узкую направленность, связанную с выявлением наиболее важных скоплений тюленей и оценке их численности. Места скоплений тюленей более детально изучались в заливах Пильтун, Астох, Чайво и Ныйский. Наблюдения и учет численности проводили вдоль береговой полосы в основном в районе Пильтунского залива. С вертолета мы фотографировали и подсчитывали численность на береговых залежках и временных лежбищах тюленей.

Как показали результаты учета, на восточном Сахалине в летней период характер встречаемости тюленей имеет много общего с их распределением северо-западнее Сахалина в районе Шантарских островов (Соболевский, 1999). Большую часть летнего сезона тюлени бывают рассредоточены вдоль береговой полосы и образуют различные по численности скопления в заливах и в местах мало доступных для хозяйственной деятельности людей.

В тоже время распределение тюленей в летний период вдоль северо-восточного шельфа Сахалина имеет свои особенности. В начальный период лета (июнь-июль) большинство тюленей рассредоточены вдоль побережья (Соболевский, 1988) и не образуют плотных скоплений. Массовым видом в это время является ларга (*Phoca largha*). Значительно реже встречаются морской заяц или лахтак (*Erignathus barbatus*) и кольчатая нерпа или акиба (*Phoca hispida*). Крайне редки бывают случаи захода в Пильтунский залив северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) и сивуча (*Eumetopias jubatus*).

До массового подхода лососей тюлени довольно равномерно рассредоточены вдоль побережья. На 1 км береговой полосы их число в среднем колеблется от 1-3 до 6-10 особей. На участках побережья, которые прилегают к заливам плотность тюленей повышается и местами может составлять 15-20 и более особей на 1 км береговой полосы (Соболевский, в печати). В самих заливах плотность тюленей и их численность может значительно меняться в зависимости от кормовой базы и степени беспокойства со стороны людей.

Регулярные учеты тюленей в заливе Пильтун мы стали проводить с 13 июля с моторной лодки «Зодиак». Тюлени встречались на всей акватории залива от входа до мыса Агива на север. В утренние часы и днем они образовывали временные залежки на противоположном берегу от маяка. Количество тюленей в залежке постоянно менялось в зависимости от погодных условий. В дождливую и ветренную погоду большинство животных находились в воде, наоборот, в солнечные и теплые дни тюлени предпочитали оставаться на берегу. В такие дни их численность на лежбище составляла более 100 особей.

В июле-августе тюлени довольно часто меняли места временных залежек. Это было связано с характером погоды и с беспокойством животных со стороны рыбаков, которые занимались постановкой сетей и добычей рыбы в заливе Пильтун. В июле в заливе Пильтун дневная активность тюленей была довольно высокой в утренние и вечерние часы. В это время большинство животных перемещались по заливу в поисках корма. Тюленей можно было постоянно наблюдать начиная от мыса Агива в направлении маяка. Как правило на этой

акватории преобладала ларга и очень редко отмечали лахтаков и кольчатую нерпу. Плотность ларги увеличивалась по направлению к выходу из залива Пильтун.

В середине июля наименьшая плотность тюленей была отмечена на акватории от мыса Агива до рыбобазы. В этом районе в утренние часы можно было встретить от 3-5 до 10 тюленей. Как правило это были молодые звери и щенки в возрасте 4-5 месяцев. От рыбобазы до маяка тюлени постоянно отмечались на плаву, в утренние часы и вечером они активно перемещались в поисках корма. На этом участке численность ларги в середине июля колебалась в пределах от 20-25 до 40 особей (рис.2.16). Наибольшее число тюленей в июле постоянно отмечалось в устьевой части залива. Их число в отдельные дни колебалась от 50-60 до 80-120 особей. В мелководном заливе Астох (длина 20 км), который соединяется с Пильтунским заливом, численность ларги обычно не превышала 11-27 особей.

До подхода горбуши в залив Пильтун тюлени постоянно отмечались вдоль побережья. Иногда их можно было наблюдать в непосредственной близости от серых китов, однако чаще киты держались обособленно. Плотность тюленей на морской акватории в районе Пильтуна колебалась от 1-2 до 5-6 особей на 1 км береговой полосы. Численность тюленей до середины июля оставалась не высокой и в заливах, расположенных к югу от Пильтуна. В устье залива Чайво 17 июля было учтено 60-65 тюленей на песчаной косе и 35-40 находилось на отмели вблизи берега.

Распределение тюленей в начала лета в основном связано с наличием корма и его доступностью. В заливе Пильтун основным кормом самого массового вида – ларги является рыба. Исследования ихтиофауны залива в 1999г. выявили 32 вида рыб. Наиболее важную роль в питании ларги в летне-осенний период

Рис. 2.16. Распределение морских млекопитающих на акватории залива Пилтун в середине июля (данные учета за 14.07.99 г.).

принадлежит таким видам, как тихоокеанская сельдь (*Clupea pallasii*), горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*), кета (*O. keta*), кижуч (*O. kizutch*), голец (*Salvelinus alpinus*), кунджа (*Salvelinus leucomaenis*), азиатская корюшка (*Osmerus mordax dentex*), малоротая корюшка (*Hypomesus olidus*), крупночешуйная красноперка (*Tribolodon hakonensis*), дальневосточная навага (*Eleginus glacilis*), бурый и пятнистый терпуги (*Hexagrammos octogrammus* и *H. stelleri*).

Молодь сельди в массовых количествах встречалась в заливе с июля по сентябрь. В начале октября стали подходить на нагул крупные особи. Навага в больших количествах отмечена в устьевой части залива, она составляла до 70% от улова по биомассе. В июле-августе 1999г. в уловах было много кунджи, в сентябре крупные особи мигрировали из залива. В июле-октябре в залив заходили лососи – вначале горбуша, затем кижуч и кета. В период захода лососей отмечалось увеличение численности ларги.

Достаточно большое видовое разнообразие ихтиоценоза залива Пильтун и высокая биомасса важных для питания ларги видов рыб (навага, корюшка, кунджа, красноперка, терпуг и др.) позволяют тюленям держаться летом рассредоточенно на значительной акватории от входа в залив до мыса Агива. При этом наибольшая плотность тюленей отмечалась ближе к устьевой части залива, где биомасса таких видов рыб как навага, кунджа, красноперка, корюшка, терпуги была намного выше, чем в центральной части залива и севернее мыса Агива.

С заходом лососей в залив четко прослеживается увеличение численности тюленей на береговых залежках. В этот период большинство тюленей заканчивает местные миграции вдоль побережья к заливам и устьям нерестовых рек. Характер таких миграций наиболее выражен со второй половины августа, когда значительная часть тюленей концентрируется в устьях нерестовых рек. К примеру в Ныйском заливе 7 августа численность тюленей на лежбище увеличилась до 150-180 особей. В Пильтунском заливе в это время образовалась еще одна временная залежка. Общая численность тюленей в первой декаде августа в заливе достигла 220-250. Примерно такая же численность тюленей была в 1995 году в июле (Соболевский, 1998).

В августе в дневное время тюлени в заливе Пильтун были очень осторожны и при приближении моторной лодки и маломерного судна покидали лежбище. Из-за частых беспокойств со стороны рыбаков, тюлени часто меняли дислокацию лежбищ и уходили на противоположную сторону залива. С подходом горбуши в залив Астох численность тюленей возросла в этом районе по сравнению с серединой июля примерно в 2 раза.

Максимальная численность ластоногих на шельфе северо-восточного Сахалина была зарегистрирована в период авиаучетных работ **30 августа**. В это время у входа в залив Чайво образовалось довольно крупное лежбище тюленей. Лежбище состояло из 3-х залежек. Все залежки прекрасно просматривались из кабины вертолета и мы смогли их сфотографировать. Две залежки располагались на песчаных отмелях и одна на песчаной косе. Тюлени лежали плотной массой, очень кучно. Размеры первой залежки 100-120м в длину и 10-20м в ширину. Вторая залежка была вытянута на 120-150м в длину и на 10-30м в ширину. Основную массу животных составляла ларга, хотя были среди тюленей и лахтаки, которые отличались более крупными размерами и окраской. На третьей залежке тюлени лежали на песчаной косе, которая разделяла залив на две части посередине. На косе тюлени лежали более свободно.

При облете вертолета поведение оставалось спокойным и тюлени не сходили в воду. При повторном облете и фотографировании примерно 10-15% тюленей сошли в воду с центральной самой крупной залежки и примерно 25-30% - с песчаной косы. При третьем облете на более низкой высоте (100м) на лежбище осталось примерно 45% от первоначальной численности. Общая численность тюленей на лежбище в заливе Чайво составила более 2200 тюленей (подсчет тюленей выполнен по фотоснимкам). В заливе Ныйский из-за постоянного беспокойства со стороны рыбаков, тюлени держались рассредоточено в основном в устьевой части залива в количестве 150-200 голов. Следует отметить, что достоверный учет тюленей на крупных лежбищах можно сделать только с вертолета, получив для этого хорошие фотоснимки. Учет такой массы тюленей с

моторной лодки будет не точен, т.к. невозможно с воды подсчитать всю плотную массу тюленей.

31 августа мы провели учет тюленей с моторной лодки в заливе Пильтун. Учет выполняли в пасмурную погоду. На плаву было учтено 58 тюленей и на левом берегу залива 27 тюленей, которые лежали на отмели (рис.2.17). Основная масса тюленей располагалась на песчаном берегу примерно в 200 метрах от выхода в устье залива. Тюлени лежали в 5-6 рядов на самой кромки песчаного берега довольно плотной массой. Протяженность залежки составляло 90-100м. Численность тюленей на залежке была оценена в 300-350 особей. При подходе к лежбищу примерно 60% тюленей сошло в воду. Вместе с ларгой в воду сошли 7 лахтаков.

В заливе Астох в этот день было учтено 76 тюленей, все тюлени находились на плаву в 1-2 км от залива Пильтун. В кутовой части залива было встречено 8 ларг (рис.2.17). В 15 час. мы решили повторить учет в заливе Пильтун. На выходе из залива Астох на плаву было учтено более 200 тюленей. Примерно 220-250 тюленей находились на лежбище на противоположной стороне залива. От маяка до рыбобазы было встречено 37 и от рыбобазы до мыса Агива – 17 тюленей. Оба учета показали примерно одинаковую численность на акватории залива, она составляла 480-540 тюленей.

В сентябре – октябре большая часть тюленей покинула залива и вновь рассредоточилась вдоль побережья. Результаты учета в третьей декаде сентября показали, что в заливе Чайво осталось примерно 160-200 тюленей, т.е. практически менее чем за месяц их численность сократилась более чем на порядок. Аналогичную картину мы наблюдали и в Пильтунском заливе. Численность тюленей к этому времени уменьшилась примерно в 2 раза и не превышала 250 особей.

Рис. 2.17. Распределение тюленей на акватории залива Пильтун в конце августа (данные учета 31 августа)

В ноябре большая часть тюленей покинула заливы и встречалась на мелководных участках вдоль побережья. В середине ноября значительная акватория заливов была покрыта льдом и тюлени лежали на льду около лунок.

Толщина льда в это время составляла 20-25 см. В Пильтунском заливе их численность 18 ноября составляла 50-60 особей. В заливе Чайво тюленей на льду не были. На льду Ныйского залива мы встретили всего 2 ларги.

Таким образом, анализ данных учета тюленей в летне-осенний период выявил не равномерный характер их распределения и довольно значительные колебания численности по заливам, которые связаны в первую очередь с наличием корма и подходом лососей к нерестовым рекам.

3. Расчетная численность серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина

Учет китов по экстенсивной и интенсивной сеткам позволяет в определенной степени сравнивать полученные данные и проводить экстраполяцию на исследуемой акватории. Однако к этой проблеме следует подходить крайне осторожно, с тем чтобы не получить не достоверных результатов. Ниже я попытаюсь обсудить этот вопрос более подробно.

При учетных работах по интенсивной сетке обследовалась акватория примерно равная 1000 км^2 ($20 \times 50 \text{ км}$). Полеты проводились от берега в сторону моря на расстоянии 20 км , по 26 трансектам. Таким образом расстояние между трансектами составляло примерно 2 км . Эту площадь полностью охватывали наблюдатели, поэтому здесь нет необходимости вводить коэффициент на неучтенную площадь. Таким образом, по интенсивной сетке учетом была охвачена вся площадь (1000 км^2). Мы допускаем, что определенная (по нашему мнению не более 20%) часть китов была пропущена при учете. Это связано с тем, что скорость полета вертолета составляет $150\text{-}180 \text{ км/час}$, в минуту он пролетает расстояние равное $2,5 - 3 \text{ км}$. Киты могут оставаться под водой 3-5 и более минут (Соколов, Арсеньев, 1994; Соболевский, 1998; Weller et al, 1999), поэтому вполне возможны пропуски некоторого числа китов, если их фонтаны не были замечены с дальнего расстояния.

Как показали наблюдения в 1999г., основная масса китов в летне-осенний период находилась на глубинах до 20 м с удалением от берега до 5 км . Если брать в расчет результаты учета по интенсивной сетке за 26 июля и 30 августа, которые практически равнозначны (разница в 4 кита), то данные учета можно экстраполировать на остальную площадь, где постоянно наблюдались серые киты, либо мы встречали их грязевые пятна. Результаты учета в июле и августе показали, что на данной площади (1000 км^2) было учтено 24-28 китов. Мы

допускаем, что 20% китов были пропущены, поэтому численность китов будет составлять 29-34 особи. Если проводить расчеты на единицу площади, то следует исключить акваторию за 20 метровой изобатой, это приблизительно будет составлять 70% (700 км²). Именно на этой площади киты практически не встречались в 1999 году. Тогда на оставшуюся площадь 300 км² будет приходится 29-34 кита, т.е. на одного кита приходится площадь равная 9-10 км². Казалось бы, если измерить общую площадь летнего нагула китов и затем разделить на площадь приходящуюся на одного кита (9-10 км²), то мы получим общее число китов, которые нагуливаются на шельфе северо-восточного Сахалина. Однако к данному вопросу надо подходить очень осторожно. Дело в том, что распределение китов вдоль побережья Сахалина имеет не равномерный характер. Обратимся к результатам учета. Анализ материалов показал, что киты в июле-ноябре не были отмечены южнее 52°30' с.ш. Практически учетные работы выполненные с вертолета на трансектах южнее 52°30' с.ш. не позволили обнаружить ни одного кита. Это значит, что эту площадь следует исключить из расчетов. В то же время, значительная часть китов находилась севернее 53° с.ш. и киты отмечались вплоть до г.Охи. Это примерно в 150 км от входа в залив Пильтун. Киты встреченные севернее 53°15' с.ш. практически оказались вне учетной площади и были не доступны для наблюдений с маяка на Пильтуне и поэтому они должны учитываться при общей оценке численности.

Мы уже отмечали, что интенсивная съемка показывает довольно точно характер распределения китов на данной площади, но ее нельзя целиком переносить на всю обследованную площадь, т.к. распределение китов в летне-осенний период имеет не равномерный характер. Довольно существенные различия наблюдаются и по месяцам. С тем, чтобы уверенно экстраполировать данные по прибрежным участкам шельфа, мы должны располагать информацией по крайней мере за 3 года учетных работ. К сожалению такой информации у нас нет, поскольку детальный учет серых китов с вертолета стал проводиться начиная с 1999 года.

Учет серых китов по экстенсивной сетке показал, что при ширине обзора в 2 км на каждой трансекте, учитывается примерно 20% всей обследованной акватории, т.е. примерно площадь равная 1600 км^2 , остальная площадь – 6400 км^2 остается не учтенной. При этом надо иметь в виду, что на значительной площади киты отсутствуют. На этом мы уже останавливались выше. Характер распределения китов позволяет исключить из расчетов обследованную площадь по 7 трансектам южнее $52^{\circ}30'$ с.ш. Примерно она будет равна 3700 км^2 т.е. практически 46% от всей площади, на которой мы учитывали китов по экстенсивной сетке. Если взять в расчет плотность китов по интенсивной сетке (1 кит на $9-10 \text{ км}^2$), а именно такая плотность наблюдалась на акватории шельфа от побережья до 20 метровой изобаты, то можно будет подсчитать общее число китов на отдельных участках.

Самым важным и основным районом нагула серых китов была прибрежная акватория, до глубины 15-20 м. Площадь этого района ограничена примерно координатами $52^{\circ}30' - 53^{\circ}30'$ с.ш. с удалением от берега в различных участках шельфа на 3-15 км. Общая площадь данного района будет составлять примерно 739 км^2 . Общая численность китов на этой площади будет 74-82 особи. Однако в расчетах мы не учли китов, которых наблюдали летом на глубинах более 20м. В 1995г на этих глубинах также отмечали серых китов в августе-сентябре (Соболевский, 1998). Общая площадь акватории заключенная между 20-50 метровой изобатами от $52^{\circ}30'$ с.ш. до $53^{\circ}30'$ с.ш. будет примерно равняться $(112 \text{ км} \times 16,6 \text{ км}) = 1860 \text{ км}^2$. Мы полагаем, что на этой площади может находиться не более 20% от расчетного числа (от 74-82) т.е. 14-16 особей. На одного кита здесь будет приходится площадь равная $116-133 \text{ км}^2$. Это более чем на порядок больше, чем в прибрежной зоне шельфа. Случаи встреч серых китов на больших глубинах в период летне-осеннего нагула крайне редки и поэтому эту площадь можно не принимать во внимание. Таким образом, используя плотность учтенных китов по интенсивной сетке, для расчетов по экстенсивной съемке мы получаем численность равную 88-98 особей. Вероятно эта численность соответствует действительной и она может быть взята как базисная в 1999 году. Однако мы

вынуждены признать, что сделанные нами расчеты довольно приблизительны, т.к. они не учитывают особенностей распределения китов. Если использовать предложенную методику расчета по отдельным месяцам, то общая численность серых китов будет колебаться в зависимости от исходных данных полученных при учете китов по интенсивной сетке. Скажем сразу, что из расчетов были исключены дни, когда погодные условия (волнение более 3 баллов, туман, ограниченная видимость, осадки) негативно влияли на результаты учета.

Выше, мы обсудили возможность расчета численности китов, опираясь на результаты полученные по интенсивной сетке. Рассмотрим теперь другой подход, основанный на экстраполяции результатов учета по экстенсивной сетке. Мы уже говорили, что съемка по экстенсивной сетке выполнялась по 16 трансектам на площади примерно равной 8000 км^2 . Анализ 8 выполненных съемок, показал неравномерный характер распределения серых китов. Киты оказались значительно севернее, и отсутствовали южнее $52^{\circ}30'$ с.ш.

На каждой трансекте по экстенсивной сетке наблюдатели охватывали учетом полосу шириной примерно 2 км. Учет по такой сетке был проведен на 20% площади, т.е. на 1600 км^2 из обследованных 8000 км^2 .

Рассмотрим результаты учета по отдельным месяцам.

Июль. Учет проводился **18 июля** по полной схеме. Было учтено 34 кита, причем 5 китов обнаружены севернее $53^{\circ}20'$ с.ш. Киты встречались на 5 из 16 трансектах, где было обнаружено 29 китов. Если принять во внимание, что нами подсчитано только 20% китов, т.к. на каждой из 5 трансект мы охватывали учетом ширину 2 км, а расстояние между трансектами примерно 10км, то мы должны будем полученный результат (29 китов) увеличить в 5 раз получаем численность равную 145 китам. (Табл.3.1). В действительности эта цифра оказывается завышенной, т.к. примерно 18-20 км вертолет пролетал по изобатам 8-12 м параллельно берегу

Таблица 3.1.

Расчетная и фактическая численность серых китов на шельфе северо-восточного

Сахалина в июле – ноябре 1999гю (экстенсивная съемка)

Дата учета	Кол – во встреченных китов	Число пройденных трансект	Кол – во китов учтенных за пределами трансект	Площадь охваченная наблюдателями	Расчетная численность *	Предполагаемая численность **
8 июля	15	16	0	1600	75	62
18 июля	34	16	5	1660	145	78
4 августа	47	8	2	920	235	109
7 августа	28	16	0	1600	140	72
21 сентября	33	16	0	1600	165	93
22 сентября	40	14	29	1650	200	84
9 октября	32	16	10	1820	160	96
20 ноября	14	16	0	1460	70	34
Итого	243	118	46	12310	-	-
В среднем за 1 учет	30,4	14,75	5,75	1539	151,9	78,5

* Расчетная численность определялась путем умножения числа встреченных китов на коэффициент 5.

** Предполагаемая численность исключала введение коэффициента для китов, которые были встречены на маршрутах съемки вдоль берега. Остальные киты умножались на 5 и к ним прибавляли китов, учтенных вдоль берега

и охватывал учетом основные скопления китов вдоль побережья. Следовательно, мы должны по двум трансектам брать только фактические данные – 18 китов. Разницу $(29-18) = 11$ китов мы должны увеличить в 5 раз (55). Тогда общее число китов будет складываться из 18 учтенных в прибрежной части плюс 55 расчетных и плюс 5 китов обнаруженных за районом учета. Итого мы получаем 78 китов (табл.3.1).

Август. В августе дважды проводился учет по редкой сетке. **4 августа** учет выполнялся в присутствии С.Язвенко который находился с проверкой. Было сделано 8 трансект севернее $52^{\circ}40'$ с.ш. и учтено 47 серых китов. Если подходить формально, то 47 китов надо увеличить в 5 раз (235 китов), что не соответствует действительности. Дело в том, что на 2-х трансектах, расположенных южнее Пильтунского залива киты не были обнаружены. По трем трансектам учетом была охвачена прибрежная полоса по 5-10 метровой изобатам и здесь были учтены все киты вдоль побережья (32 кита). Поэтому экстраполировать с известной оговоркой можно только $(47-32) = 15$ китов. Общее число будет $15 \times 5 = 75 + 32 + 2$ (встречены за пределами учетной площади)= 109 китов (табл. 3.1.)

7 августа учет был выполнен по полной схеме – по 16 трансектам. Киты южнее $52^{\circ}40'$ с.ш не встречались, т.е. на 8 трансектах киты не были встречены На остальных было учтено 28 китов. Если экстраполировать на учтенную площадь, то получаем $(28 \times 5) = 140$ китов. Фактически 3 галса охватывали прибрежную полосу и там было учтено 17 китов. Оставшихся 11 китов $(28-17=11)$ мы умножаем на 5 = 55 китов. Общее число китов тогда составит $17+55= 72$ китов.

Мы рассмотрели результаты 3-х учетов по экстенсивной сетке и получили довольно неоднозначные данные.

В первом случае экстраполируя результаты учета мы имеем заведомо завышенную расчетную численность китов (в июле 145, в августе –235 и 140). С учетом фактического распределения эти цифры соответственно уменьшаются: в июле – 78, в августе –109 и 72. Мы столкнулись с фактом, когда наши попытки экстраполировать результаты учета на всю площадь в первом случае (когда мы увеличиваем число встреченных китов в 5 раз), дают завышенные данные, во

втором - полученные цифры ближе к реальным, хотя и они являются приблизительными.

4. Обзор известных физических положений и представлений об источниках акустических шумов в шельфовой зоне моря

В этом разделе приведен краткий обзор известных акустических работ с целью введения неспециалиста в круг проблем связанных с особенностями акустических шумовых полей, генерируемых в мелком море естественными (ветер, поверхностные волны и т.п.) и искусственными (например корабль) источниками.

4.1. Уровень окружающего шума

Уровень окружающего шума характеризуется выраженной в децибелах интенсивностью окружающего шумового фона, измеренной с помощью ненаправленного гидрофона и отнесенной к интенсивности плоской волны, в которой среднеквадратичное давление равно 1 мкПа. Хотя уровни окружающих шумов измеряются в различных частотных полосах, эти уровни всегда пересчитываются к полосе шириной 1 Гц, и в этом случае они называются **уровнями спектра окружающих шумов** (U_{гk}, 1978). Чтобы правильно измерить окружающий шум, необходимо исключить все возможные источники собственных шумов, кроме того, в создании шумового фона не должны участвовать никакие выделяющиеся на этом фоне отдельные источники шумов, например, отдельные корабли.

4.2. Источники окружающего шума

Сейсмические процессы. Сейсмические процессы являются существенным источником низкочастотного шума в море. Одной из весьма сильных и практически постоянно существующих форм сейсмической активности являются **микросейсмы**, обладающие почти регулярной периодичностью; их частота составляет около 1/7 Гц, а амплитуда вертикального смещения грунта имеет

порядок 10^{-4} sm. Если подобные амплитуды имеют место на глубоководных участках дна и если возмущение предполагается синусоидальным, то результирующая амплитуда давления составит 120 dB по отношению к 1 мкПа. Измерения сейсмических возмущений, выполненные с помощью подводных сейсмометров на частотах выше 1 Гц, показывают, что влияние этого источника сказывается на частотах до 10-100 Гц.

Турбулентность. Нерегулярные случайные течения малого и большого масштаба могут создавать шумовой фон несколькими путями: шумы обтекания, изменения давления и наиболее важный акустический эффект турбулентности состоит в создании изменений давления внутри области турбулентности. Если обозначит через u турбулентную составляющую скорости потока, то соответствующее динамическое давление равно ρu^2 , где ρ – плотность жидкости. Если принять u равным 5% от установившейся скорости потока, то в установившемся потоке со скоростью 1 уз турбулентная составляющая будет равна 0.05 уз, или 2.5 см/с; тогда динамическое давление турбулентного движения (при $\rho = 1$) будет равно 6.3 дин/см², или 116 dB относительно 1 мкПа. Следовательно турбулентность также является важным источником акустических шумов в диапазоне 0.1-100 Гц.

Судоходство. Судоходство в районах, далеких от пункта измерений, является доминирующим источником шума на частотах от 50 до 500 Гц. «Конкурентом» судоходства в качестве источника шумов являются *дальние штормы*, в процессе которых часть кинетической энергии ветра переходит в море в форме ультразвука.

Волны на поверхности. На еще более высоких частотах окружающий шум определяется волнением поверхности моря. Многочисленные наблюдения окружающих шумов в глубоком море на частотах от 500 Гц до 25 кГц позволили обнаружить непосредственную связь между состоянием моря (или силой ветра) и уровнем окружающих шумов. На основе этих наблюдений были получены хорошо известные спектры Кнудсена – семейство кривых, параметром которого

служит состояние моря или сила ветра. Хотя кажется очевидным, что поверхность моря должна создавать основную часть окружающего шума в упомянутом диапазоне частот, механизм этого процесса остается пока неопределенным. Например, корреляция между шумом и скоростью ветра выше чем с поверхностным волнением.

4.3. Особенности окружающего шума в мелком море

В отличие от уровней окружающего шума в глубоком море, свойства которых выражены достаточно явно, уровни шумов в прибрежных водах, заливах и гаванях отличаются большой изменчивостью. Источники шума в этих мелководных районах подвержены резким изменениям во времени и пространстве.

Шумовой фон в мелководном районе на данной частоте представляет собой смесь шумов трех различных типов: 1) *шумов судоходства и промышленных (индустриальных) шумов*; 2) *ветрового шума* и 3) *биологического шума*.

Помимо источников, вносящих свой вклад в общий шум на больших глубинах, в шельфовой зоне существенную роль в образовании шума играют промышленные предприятия, морские организмы и животные, а также шумы обусловленные турбулентностью приливных течений.

Прибрежные волны. В районах континентального шельфа скорость ветра вновь оказывается фактором, определяющим уровень шума в широком диапазоне частот. Например, в работе (Piggott, 1965) представлены результаты измерений, проведенных на Шотландском шельфе в районах с глубинами около 45 м. Установлена зависимость уровня шума от скорости ветра в диапазоне от 10 до 3000 Гц. Рост уровня шума при увеличении скорости ветра составлял 7.2 dB при удвоении скорости ветра, т.е. интенсивность возрастает несколько быстрее, чем квадрат скорости ветра. Различные процессы, предположительно влияющие на образование ветрового шума, - гидростатические явления, связанные с возбуждаемым ветром волнением, пенные гребешки и непосредственное звуковое излучение от волнующейся поверхности – все они должны влиять на уровень

шума в прибрежных районах моря. Сравнение со спектрами Кнудсена для глубокого моря показывают, что уровни шума на частотах свыше 500 Гц в прибрежных районах на 5 – 10 dB выше, чем в глубоководных районах. На низких частотах и при малых скоростях ветра воды мелких морей оказываются ощутимо более «тихими», чем на больших глубинах. Это обусловлено экранирующим эффектом мелкого моря, для которого характерны неблагоприятные условия распространения шума, возникающего на больших расстояниях. С другой стороны, когда источником шумов является судоходство или другие формы человеческой деятельности или же когда в шумовой фон моря вносят свой вклад биологические источники, мелкое море оказывается шумной и весьма изменчивой средой для гидроакустических исследований.

Окружающий шум характеризуется высокой степенью изменчивости, которая связана с изменениями в доминирующих источниках шума – например, изменениями скорости ветра и интенсивности судоходства, промышленной деятельности.

Источники прерывистых окружающих шумов. Под источниками прерывистого шума подразумеваются источники, действие которых продолжается не в течение часов или дней, а носит характер неустановившихся процессов, возникающих и исчезающих: звуки, создаваемые живыми организмами и прежде всего морскими млекопитающими - киты, дельфины; дождь; град; индустриальные источники человеческой деятельности. Например, в работе (Teer, 1949) показано, что при сильном дожде уровень шума в диапазоне от 5 до 10 кГц увеличился почти на 30 dB. Спектр шума сильного дождя близок к спектру белого шума в диапазоне от 1 до 10 кГц.

4.4. Шум, излучаемый кораблями

Корабли являются весьма сильными источниками подводного звука. Для приведения их в движение, управления ими и создания условий для обитания экипажа требуется множество машин и механизмов с вращательным и возвратно-поступательным движением. Эти машины и механизмы создают вибрацию,

которая, проходя сквозь корпус корабля и воду, воздействует на удаленный гидрофон в виде подводного звука. Особое значение с этой точки зрения имеет гребной винт, который приводит судно в движение и при этом в силу ряда специфических для него процессов генерирует звук.

Излучаемые кораблем шум можно разделить на два типа. **Широкополосный шум** с непрерывным спектром и **тональный шум**, имеющий прерывистый спектр. Этот тип шума состоит из тональных, или синусоидальных, составляющих, и его спектр содержит линейчатые компоненты, появляющиеся на дискретных частотах. Шум, излучаемый движущимся объектом, является смесью шумов двух указанных типов в большей части частотного диапазона и может рассматриваться как шум с непрерывным спектром, содержащим наложенные дискретные составляющие.

Шум машин. Шум машин порождается механической вибрацией разнообразных элементов движущегося объекта, передаваемой в воду через его корпус. Источниками вибрации машин могут быть следующие:

1. вращение несбалансированных частей машин, например, эксцентричных валов или якорей двигателей;
2. наличие повторяющихся толчков и соударений;
3. возвратно-поступательное движение отдельных частей механизмов типа поршневых машин, приводимых в движение взрывами рабочей смеси в цилиндрах;
4. кавитация и турбулентность потока жидкости в помпах, трубопроводах, клапанах и конденсаторных установках;
5. механическое трение в подшипниках и цапфах.

Первые три из названных источников создают *линейчатый спектр*, в котором преобладают тональные составляющие на основных частотах гармоник процесса, порождающего вибрацию; два других приводят к образованию шума, имеющего *непрерывный спектр* с наложенными дискретными составляющими в тех случаях, когда в структурных элементах возбуждаются резонансные колебания. Поэтому спектр шума машин движущегося объекта можно представить как

суперпозицию непрерывного спектра низкого уровня и сильных дискретных составляющих.

Шум винта. Несмотря на то что винт является частью двигательной установки судна, генерируемый им шум отличается от шума машин как по природе, так и по частотному спектру. Если шум машин образуется *внутри* корпуса судна, то шум винта создается *вне* корпуса, как следствие вращения винта и движения объекта в воде. Источником шума винта является главным образом шум кавитации, возникающей при его вращении. На концах и поверхностях лопастей вращающегося в воде винта создаются области низкого, или отрицательного, давления. Если эти отрицательные давления становятся достаточно большими, возникает разрыв сплошности воды и начинается образование полостей в виде небольших пузырьков. Эти порождаемые кавитацией пузырьки некоторое время спустя «захлопываются» – либо в турбулентном потоке, либо при столкновении с лопастями винта и при этом генерирует сильные звуковые импульсы. Поскольку кавитационный шум состоит из большого числа хаотических звуковых импульсов, возникающих при захлопывании пузырьков, он имеет непрерывный спектр. На высоких частотах спектральный уровень кавитационного шума уменьшается с частотой со скоростью 6 dB на октаву. Спектр имеет максимум, который для кораблей обычно расположен в диапазоне от 100 до 1000 Гц.

Кроме того, вращение гребного винта в кильватерной струе с периферийными неоднородностями приводит к появлению осциллирующих компонент тяги с частотами, кратными частоте вращения лопастей. Наличие осциллирующей тяги приводит к излучению звука с частотой вращения лопастей и ее гармониками. Хотя винты морских судов при малых числах Маха являются неэффективными излучателями тональных компонент с частотами вращения лопастей, колебания передаются корпусу и являются основной причиной его вибрации. Если частота осциллирующих сил совпадет с низкочастотным резонансом корпуса, могут возникнуть сильные колебания.

5. О влиянии акустических свойств пород, слагающих дно, на распространение звука в шельфовой зоне моря

В акустическом представлении шельфовая зона – «мелкое море». Характерные особенности распространения звука в такой среде, связаны главным образом с взаимодействием с морским дном. Величины характерных параметров акустического волновода, определяемого как «мелкое море», могут изменяться в достаточно широких пределах. Это зависит не только от геометрических размеров волновода, но и от частоты звука. Характерной особенностью такого волновода является то, что акустическая энергия приходящаяся на отдельную нормальную волну, значительно больше, чем на один луч (Кацнельсон, Петников, 1997), поскольку для волновода с постоянной скоростью звука и абсолютно жестким дном максимальное число энергонесущих мод определяется соотношением (Бреховских, Лысанов, 1982) $M \approx 2H / \lambda$, где H – глубина волновода, λ – длина звуковой волны, а аналогичная оценка для максимального числа энергонесущих лучей записывается в виде (Кравцов, Кузькин, Петников, 1988) $M' \approx 2r / H$, где r – расстояние между источником и приемником звука. Сравнение этих двух оценок показывает, что при выполнении условия $r \gg H^2 / \lambda$ число лучей превосходит число мод.

В свете все возрастающего интереса к мелкому морю со стороны акустиков, были предложены некоторые эмпирические законы распространения и системы классификации. Они не всегда были во всех отношениях удачны из-за плохого понимания акустических эффектов, обусловленных морским дном. Последнее является наиболее важной границей, определяющей распространение звука. Часто считается, например, что при малых углах скольжения отражение от жесткого дна или дна с жестким подстилающим слоем будет всегда близко к полному отражению без потерь или с очень малыми потерями. Хотя это и может быть справедливым, бывают случаи, когда коэффициент отражения ведет себя иначе.

С точки зрения акустики, океанский шельф представляет собой волновод, ограниченный абсолютно мягкой (поверхность) и поглощающей (дно) границами. На распространение звука в таких волноводах оказывают влияние множество

факторов. Наиболее существенные из них – форма профиля скорости звука и геоакустические свойства дна. Другими факторами, изменяющими звуковое поле, являются неровности дна, поверхностное волнение, случайные неоднородности в толще воды, приливные течения и т.д. На шельфе большинство указанных факторов испытывают большие вариации в зависимости от времени года, метеорологической обстановки и др. Сильная пространственно-временная изменчивость является характерной чертой мелкого моря как среды распространения звуковых волн. В общем случае, большинство шельфовых зон можно описать с помощью следующей геоакустической модели - водный слой лежит на многослойном дне. Слои, на которые условно можно разделить дно, различаются в качественном отношении. Верхний слой – так называемый слой неконсолидированных осадков, его толщина $\approx 1-100$ м. Плотность грунта в этом слое обычно составляет $1.5-2 \text{ г/см}^3$. Скорость звука (продольных волн) колеблется от 1470 до 1900 м/с. Слой является поглощающим, причем на частотах до 1 кГц коэффициент поглощения продольных волн можно грубо считать пропорциональным частоте: $\beta \approx \beta_f f$, где значения отнесенного к частоте коэффициента поглощения β_f лежат в пределах 0.01-0.3 dB/(km Hz). На низких частотах частотная зависимость более резкая. Второй слой - слой полуконсолидированных осадков с толщиной $\approx 10-500$ м. В этом слое скорость продольных волн составляет $C_l = (2-3) \times 10^3$ м/с. Модуль сдвига в этом слое отличен от нуля и поэтому в нем могут распространяться поперечные волны, скорость которых $C_t \approx 0,2 C_l$. Этот слой также является поглощающим. Коэффициенты поглощения продольных и поперечных волн отличаются большим разбросом и лежат в пределах от 0.01 до 0.1 dB/(km Hz). Нижнее полупространство – основание или фундамент. Этот слой состоит из коренных пород (базальт, гранит и др.). Он характеризуется большой скоростью как продольных $C_l \approx (4-6) \times 10^3$ м/с, так и поперечных $C_t \approx (1-3) \times 10^3$ м/с волн. Четырехслойная модель может быть упрощена, но иногда используется и более

сложная модель, когда обнаруживаются существенные для распространения звука детали внутренней структуры дна.

Кроме усложнения модели за счет введения дополнительных слоев, возможно и более детальное рассмотрение акустомеханических свойств самих осадков. В настоящее время имеется несколько теорий распространения звука в осадках (Акустика морских осадков, 1974), в основе которых лежит теория Био (Biot, 1956). В этих моделях осадки рассматриваются как двухкомпонентная среда, состоящая из твердого скелета и жидкой составляющей.

Еще одним важным физическим источником переноса низкочастотной акустической энергии по шельфу, и прежде всего в прибрежную зону, являются сейсмические волны. Известно, что поверхностная волна существует на границе между любыми двумя средами, если хотя бы в одной из них могут распространяться сдвиговые волны. Важной особенностью такой поверхностной волны является то, что она не имеет критической частоты, в то время, как при заданной глубине волны в воде быстро затухают ниже некоторой частоты, зависящей от окружающих условий. В работе (Енсен, Куперман, 1985) приведены результаты численного эксперимента, проведенного в приближении волновой теории для трассы с постоянными по горизонтали параметрами среды. Моделирование проведено для типичного строения моря на шельфе: пятиметровый слой осадков из достаточно уплотненного песка лежит на твердых осадочных коренных породах. Следовательно, должны существовать две поверхностные волны: одна на границе вода – песок и вторая на границе песок – твердые породы. Однако из-за сильного поглощения сдвиговых волн в песке (1.5 дБ на длине волны) оказывается, что только волна на границе песок – твердые породы вносит существенный вклад в акустическое поле на границе вода – дно. Расчеты зависимости потерь от частоты на расстоянии 10 км для сейсмического и водного (толщина водного слоя была равна 100 м) сигналов показали, что водный сигнал хорошо распространяется на частотах выше 50 Гц, а сейсмический – на частотах ниже 10 Гц. Например, на частоте 5 Гц они составили для сейсмического сигнала 70 дБ.

В заключении обзора, приведем результаты теоретической работы (Беспалов и др., 1998). В этой работе предложен метод численного моделирования низкочастотных векторных волновых полей в слоисто – неоднородных средах, отличающийся устойчивостью к разбиению сред на большое число слоев произвольной толщины. Приведены результаты расчетов для модели, состоящей из шести слоев, в частности, второй слой – осадочный чехол (рыхлые осадки, песок) – имел толщину 50 m и геоакустические параметры близкие к значениям для нашей трассы. Анализ результатов моделирования показал, что на низких частотах наблюдается своеобразный отток энергии от источника – верхние слои пропускают энергию волн вниз и не возвращают ее обратно в сторону водного слоя. В то же время, для частот источника начиная с 1 Гц и выше, введение вместо песчаного полупространства слоя песка и границы песок – известняк резко увеличивает значения амплитуд поля в придонной области. Эта добавка составляет на дистанции 20 км до 50 дБ на частоте 1 Гц и до 60 дБ на частоте 10 Гц. На частотах выше 10 Гц в интервале расстояний до 20 км слои, лежащие ниже верхней границы гранита вполне можно игнорировать.

6. Некоторые результаты акустических исследований, проведенных в районе «Моликпака» в июле-сентябре 1999 г

Введение. На рис. 8 приведена карта района в котором проводились измерения с указанием точек, в которых устанавливались измерительные радиогидроакустические буи, а также точек, в которых находились потенциальные источники акустических шумов. В точках p.1, p.2 и p.3 проводились измерения звука с помощью стационарных донных гидрофонов (см. рис.4с), а в p.4 радиобуй был установлен по схеме, показанной на рис.4b и должен был находиться на горизонте 15 м, но сильное течение разорвало демпфирующую

резиновую нить и поэтому горизонт измерений мог сильно варьировать. В сентябре месяце в этой точке дважды устанавливался заякоренный радиобуй и измерения проводились у дна стационарно. В таблице 1 представлены данные об акустических экспериментах, проведенных в летне-осенний период 1999 г. на обследуемой акватории шельфа о. Сахалин. На береговом посту осуществлялся прием радиосигналов от буйев устанавливаемых в точках p.1, p.2 и p2-1. Радиоприем сигналов из точек p.3 и p.4 проводился на борту аварийно-спасательного судна «Агат», стоящего на якоре в точке показанной на рис. 8. В летнем эксперименте регистрация акустических сигналов на борту судна осуществлялась на магнитной ленте магнитофона фирмы Брюль и Кьер, а на береговом посту сигнал записывался в ЭВМ. Во время эксперимента (3 суток) «Агат» стоял на якоре и с его борта, эпизодически производились гидрологические измерения и постоянно излучались тональные акустические сигналы разной частоты с помощью широкополосного излучателя, свешенного с борта судна на глубину примерно 6 м, но горизонт излучения варьировал из-за сильных течений. В сентябрьском эксперименте у «Моликпака» прием радиосигналов проводился на борту АСС «Агат». Акустические сигналы вводились в ЭВМ и параллельно записывались на магнитную ленту видеомэгнитофона.

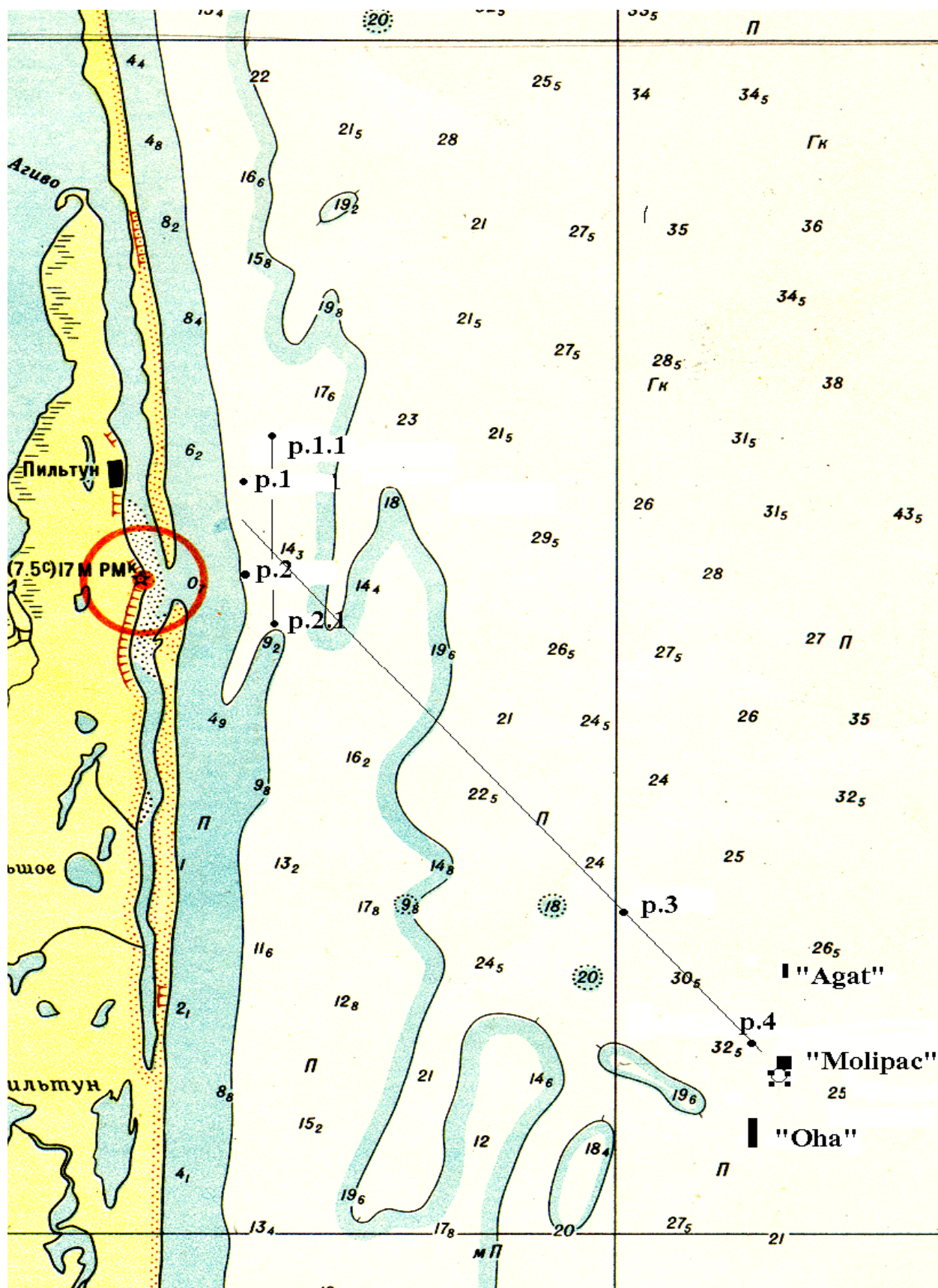


Рис.8. Карта района с обозначением точек (p.1,...,p.4) в которых проводились измерения звука с помощью стационарных радиогидроакустических буюв.

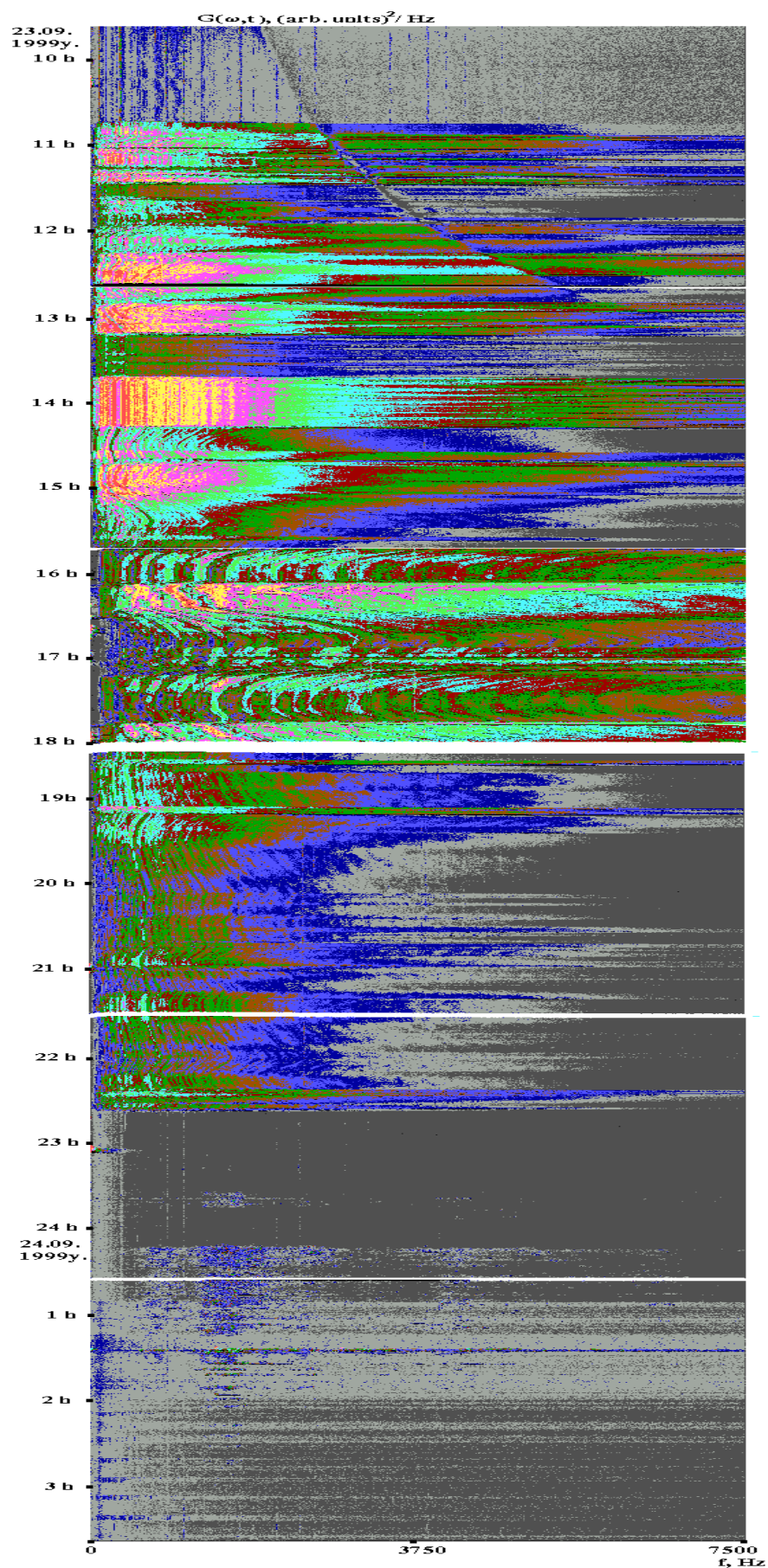


Рис. 9. Сонограмма спектра акустического фона, измеренного 23-24.09.99г. в точке p.4.

Таблица 1.

Acoustical dates (information)

The beginning of measurements.	Finishing of measurements	Number coordinate of measuring point	Registering device	Additional measurements and observations of a whales	Comments notes
8h10min 16 July	13h15min 20 July	p.1 52°52'57,1'' 143°20'23.1''	Computer, tape recorder	The emission of the tone's signals from the rescue ship "Agat" in point: 52°44'30'', 143°34'06''. Hydrological measurements. A visual observations. Map-time whales movements.	Whale's pulse signals, rain with hail. Datas about ships movements at the "Molikpaq"
13h00min 18 July	9h00min 21 July	p.3 52°45'34'' 143°30'44''	tape recorder		
13h00min 18 July	9h00min 21 July	p.4 52°43'26'' 143°33'25''			
12h20min 25 July	15h00min 27 July	p.1 52°52'57,1'' 143°20'23.1''	Computer, tape recorder	A works with the towing sound source. An observation of the whales in a sea.	
12h20min 25 July	15h00min 27 July	p.2 52°52'58,6'' 143°21'21.4''			
7h55min 4 August	7h30min 5 August	p.1 52°52'57,1'' 143°20'23''	Computer, tape recorder	Experiments with the towing sound source. An observation of the whales in a sea.	Whale's pulse signals.
7h55min 4 August	7h30min 5 August	p.2 52°51'48,3'' 143°20'31''			
9h36min 23 September	15h20min 25 September	p.4 52°43'27'' 143°33'34''	Computer, Video tape recorder	Receiving on a board of the rescue ship "Agat".	Dolphin's acoustical signals.
19h20min 25 September	8h00min 27 September	p.4 52°43'20'' 143°33'35''			
19h20min 25 September	8h00min 27 September	p.3 52°45'40'' 143°30'46''			
10h18min 3 October	2h34min 5 October	p.2-1 52°50'52'' 143°21'45.6''	Computer, Video tape recorder	Receiving at the beacons. Whale's observations on the beacon.	

6.1. Акустический фон вблизи платформы «Моликпак»

В этом разделе представлены результаты спектрального анализа акустического фона, измеренного около платформы «Моликпак» с целью выявления его изменчивости в течении суток, получения количественных оценок спектральных уровней шумов, генерируемых обслуживающими платформу судами и механизмами работающими на самой платформе. Приведены результаты специальных исследований распространения звука на данной акватории.

6.1.1. Суточная изменчивость акустических шумов

На рис. 9 приведена сонограмма оценок спектра мощности $\hat{G}(\omega, t)$ акустического фона, измеренного 23-24 сентября с помощью стационарного гидрофона радиогидроакустического буя, установленного в точке р.4 (см. рис. 8). Этот рисунок иллюстрирует суточную изменчивость акустического фона, генерируемого «Моликпаком», обслуживающими его судами, а так же скоплением морских животных (МЖ), предположительно касатками (сигналы МЖ прослушивались в период с 0 до 2 часов ночи 24 сентября, см. рис. 9). Из рисунка видно, что наиболее интенсивный звук в исследуемом диапазоне частот, как и предполагалось, генерируется движущимися судами. Контраст в уровне шума, создаваемого «Моликпаком» и судами стоящими на якоре по сравнению с шумом, генерируемым движущимися судами, наиболее ярко выражен на рис. 9 в интервалы времени 10-11 часов и 22-23 часа. На рис. 10 – рис. 13 представлены спектры, которые количественно характеризуют суточную изменчивость акустического фона. На всех рисунках оценки спектров мощности $\hat{G}(f)$, представлены в дБ по отношению к интенсивности плоской волны, в которой среднеквадратичное (rms) давление равно 1 мкПа. Значения $\hat{G}(f)$ приведены к полосе 1 Гц. В основном, мы использовали частоту дискретизации натуральных данных $f_d = 15$ кГц, поэтому будем указывать в подписях к рисунку, чему равна

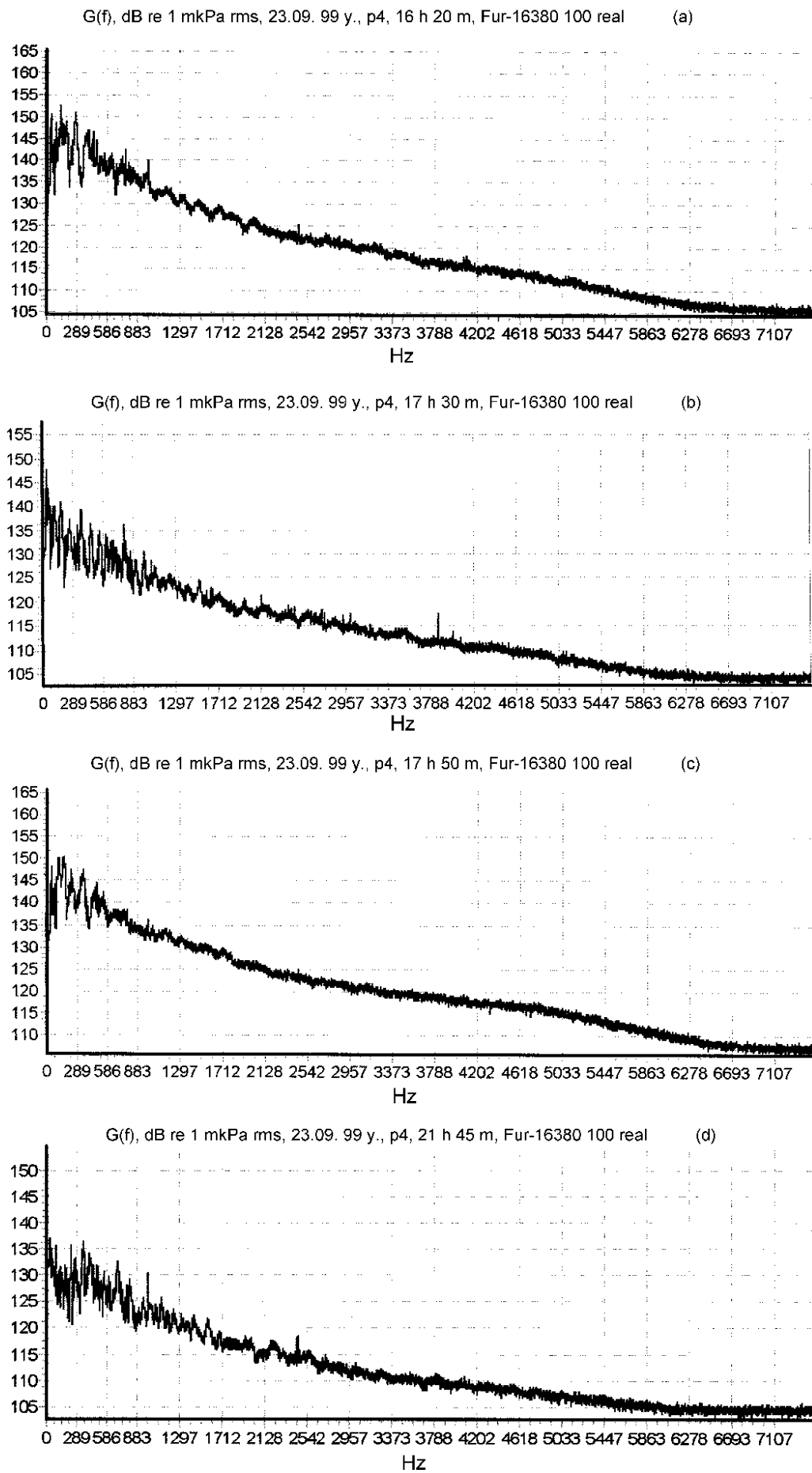


Рис. 10

$G(f)$, dB re 1 mkPa rms, 23.07.99y., 15h44m, Fur- 65536, 150 real.

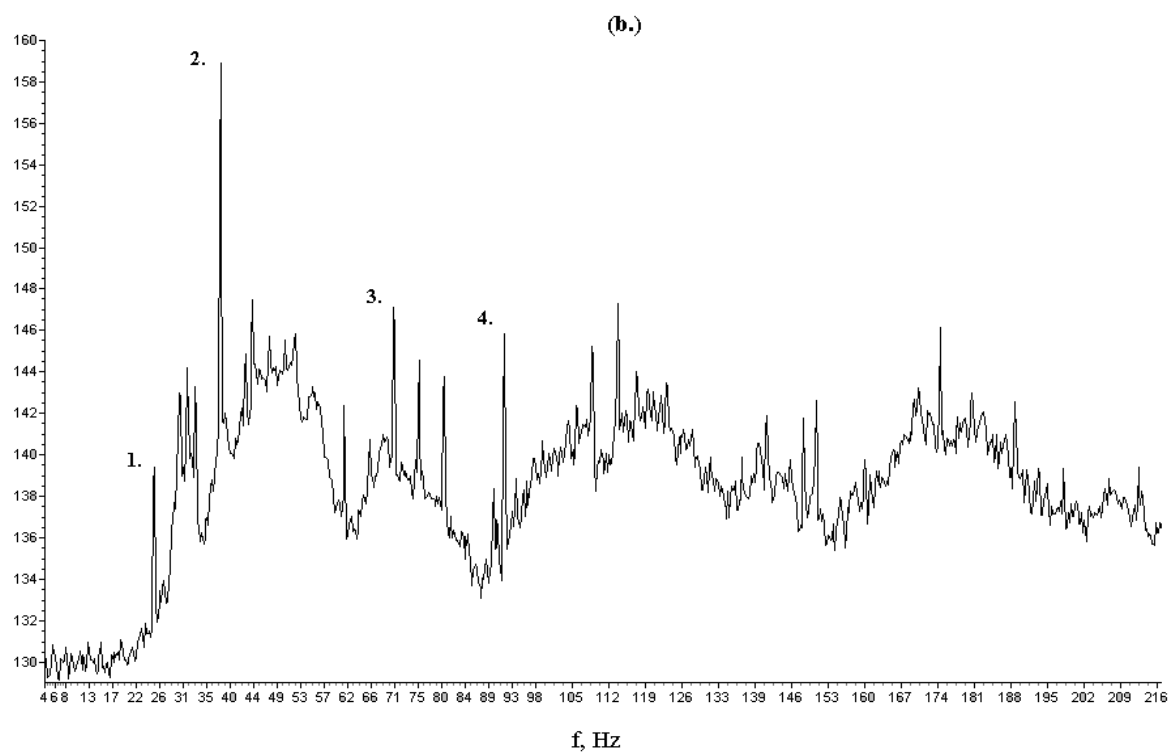
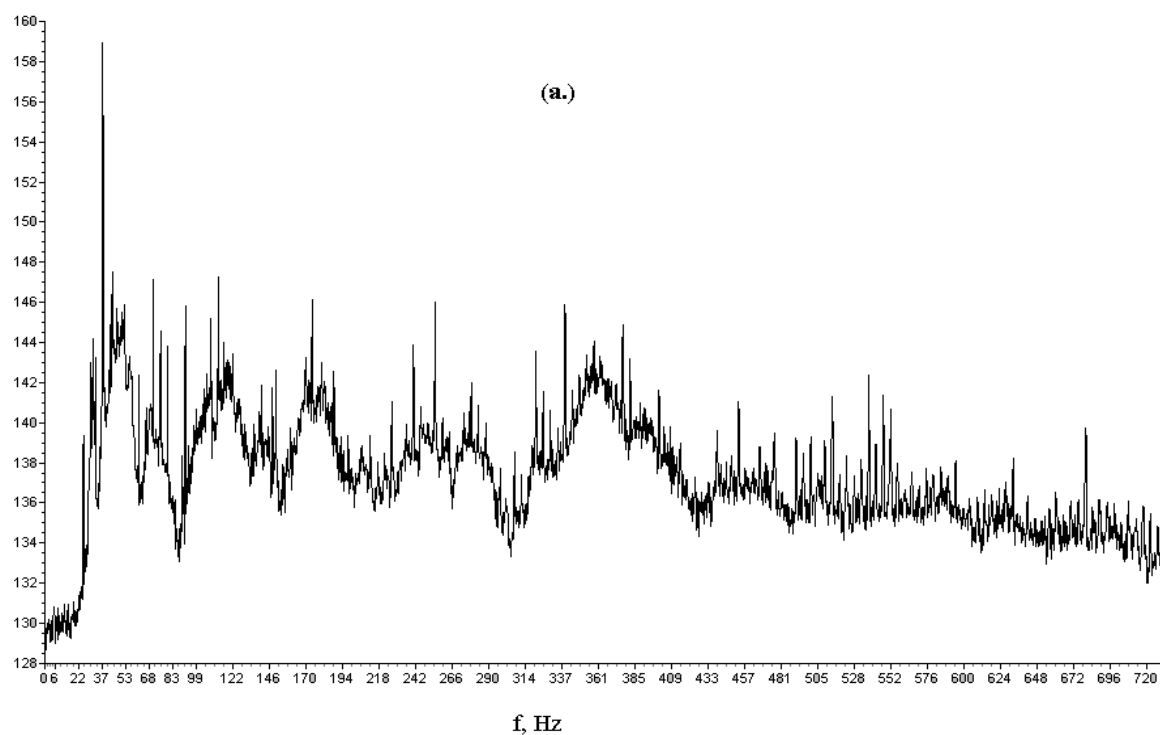


Рис. 11. Оценки спектров мощности акустического фона, измеренного днем 23.09.99г. в точке p.4

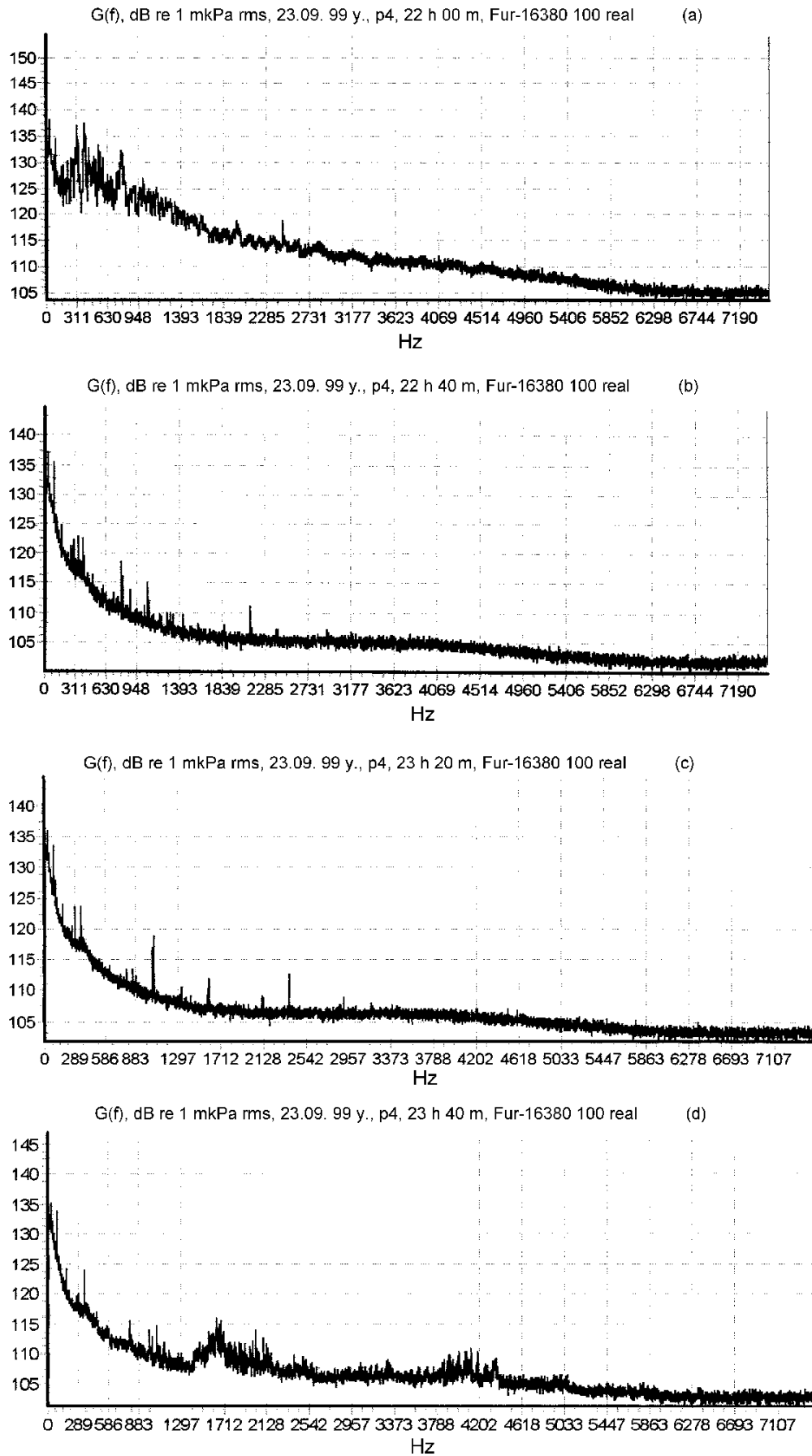


Рис. 12

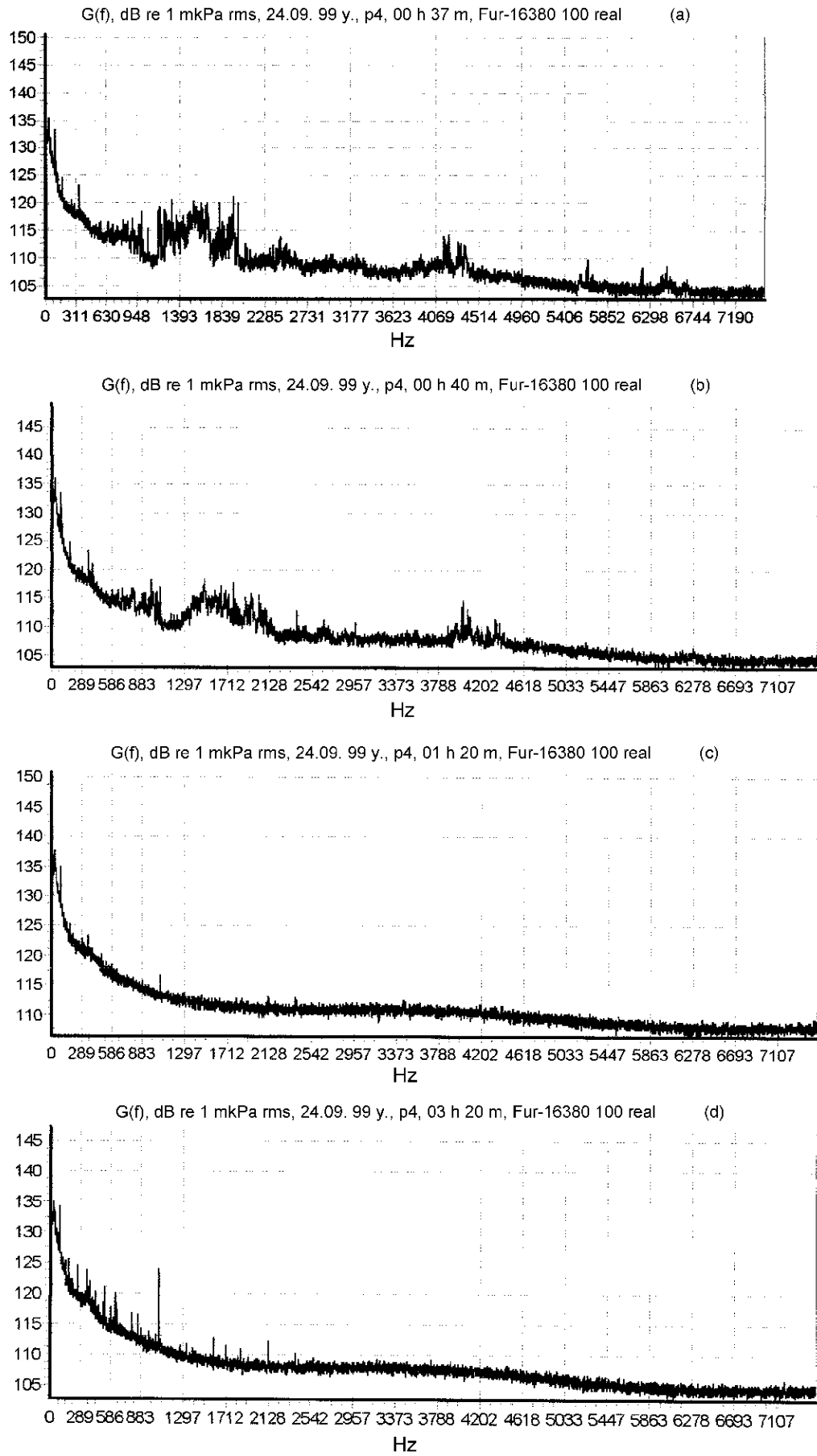


Рис. 13

f_d , только в том случае, если она отлична от 15 кГц. Длину ряда по которому рассчитывалось БПФ мы будем показывать как $F_{иг}$ -, например, для ряда длиной 4096 значений $F_{иг-4096}$; после этой информации показывается число реализаций по которым рассчитана (усреднение) оценка $\hat{G}(f)$, например, 100 real означает, что проведено усреднение по 100 последовательным не перекрывающимся реализациям. Перейдем к обсуждению результатов спектрального анализа, представленным на данных рисунках.

Графики на рис. 10 соответствуют измерениям, проведенным во время движения вблизи платформы «Моликпак» судна «Sm. Siby». В этот день вблизи платформы проводились водолазные работы – судно «Anabar», которые закончились в 16 часов. В 20 часов пришло судно «Miss Sybil» ($\varphi = 52^\circ 38' 4''$, $\lambda = 143^\circ 33.1'$, $V = 14,5$ узл.) в 20ч27мин оно подошло к платформе для высадки людей, затем работало с «Sm. Siby», а в 22ч30 мин снялось ($\varphi = 52^\circ 42' 1''$, $\lambda = 143^\circ 33' 5''$) и пошло с $V = 16$ узл. в п/п Кайган.

Из рис. 10 видно, что акустический фон, генерируемый перемещающимися судами, характеризуется непрерывным спектром, спадающим с ростом частоты пропорционально 0.01 дБ/Гц в диапазоне до 2 кГц и 0.005 дБ/Гц на частотах от 2 до 6 кГц. Согласно рис. 11 спектральный уровень шумов в диапазоне до 500 Гц имеет ярко выраженную частотную интерференционную структуру, которая хорошо просматривается и в сонограмме $\hat{G}(\omega, t)$ (см. рис.9). На более высоких частотах, из-за распространения большего числа мод, интерференционные максимумы и минимумы менее выражены, а поскольку источники звука еще и перемещаются, то при данном временном усреднении их вариации и частотные смещения не разрешаются ни в сонограмме, ни в спектре. В диапазоне до 1 кГц $\hat{G}(f)$ имеют узкие пики мощности, соответствующие периодическим источникам сигналов. Максимальный уровень 159 дБ (рис. 11) имеет пик на частоте ≈ 38 Гц. Согласно рис. 10 спектральный уровень судовых шумов в точке р.4 в диапазоне до 600 Гц варьировал от 145 дБ (рис. 10а) до 128 дБ (рис.10д).

На рис. 12 представлены $\hat{G}(f)$, соответствующие измерениям во время

движения судов (рис. 12a), удаленного движения уходящего судна «Miss Sybil» (рис. 12b), относительно спокойного фона (рис. 12c) и когда прослушивались акустические сигналы морских животных, по-видимому стаи касаток (рис. 12d). Графики $\hat{G}(f)$ на рис. 13, рис. 14 и рис. 15 иллюстрируют временную изменчивость акустического фона у «Моликпака» в ночное время. Из рис. 12 видно, что спектральный уровень акустического фона в диапазоне выше 200 Гц существенно уменьшился с прекращением движения судов вблизи платформы «Моликпак», например, согласно рис. 12a и рис. 12b, спектральная мощность звука в диапазоне от 300 до 1000 Гц уменьшилась на 15 дБ, но проявились узкие пики мощности соответствующие тональным источникам звука. Можно выделить устойчивый пик мощности на частоте около 1 кГц, который просматривается на всех графиках и согласно рис. 13с в 3ч20мин достигал уровня 125 дБ. Прерывистые акустические сигналы морских животных внесли существенный вклад в усредненный фоновый спектр в диапазонах частот: 600 - 2000 Гц, 4 – 4.5 кГц и 6 – 7 кГц (см. рис. 12с, рис. 13а, рис. 14а и рис. 15а). Спектральный уровень мощности акустических сигналов МЖ в фоновом спектре достигает 118 дБ на частотах около 1.5 кГц.

Графики $\hat{G}(f)$ на рис. 15, получены в результате усреднения по 1000 последовательным реализациям, что примерно эквивалентно 17 минутам и соответственно характеризуют стационарную часть акустического фона у «Моликпака» в данное время суток. На рис. 16 приведены оценки $\hat{G}(f)$, соответствующие усреднению по 100 реализациям длиной 65536 значения каждая и более подробно характеризующие непрерывную часть спектра и дискретные составляющие акустического фона в диапазоне до 4.5 кГц.

Графики $\hat{G}(f)$ на рис. 11b и рис. 17 показывают тональные компоненты в низкочастотной части фоновой спектра у «Моликпака», наблюдаемые во время движения по акватории судов (рис. 11b) и относительного покоя (рис. 17). Узкие пики мощности на частотах, примерно 26, 92 и 178 Гц просматриваются на рисунках соответствующих ночным измерениям, а пик на частоте 26 Гц хорошо

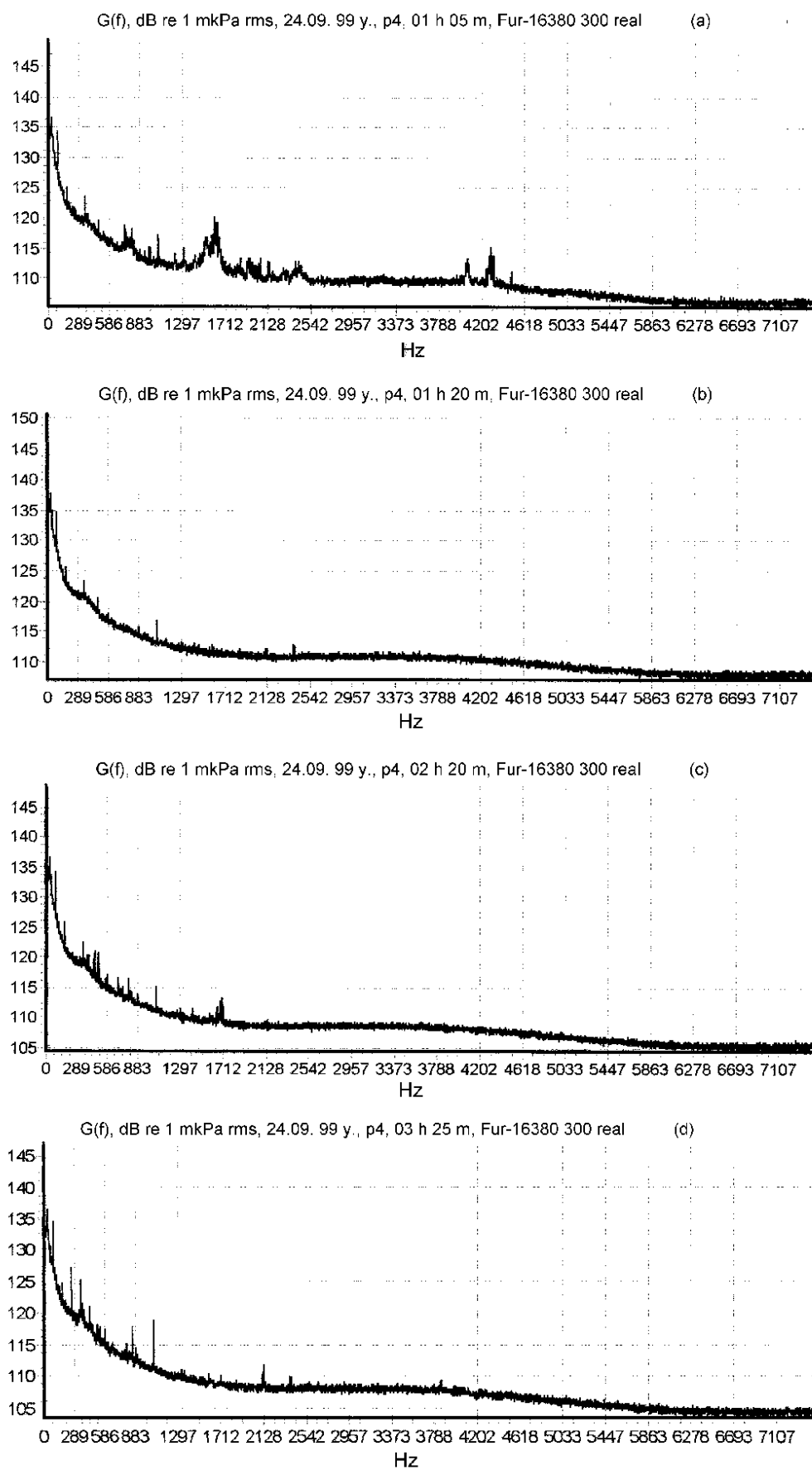


Рис. 14

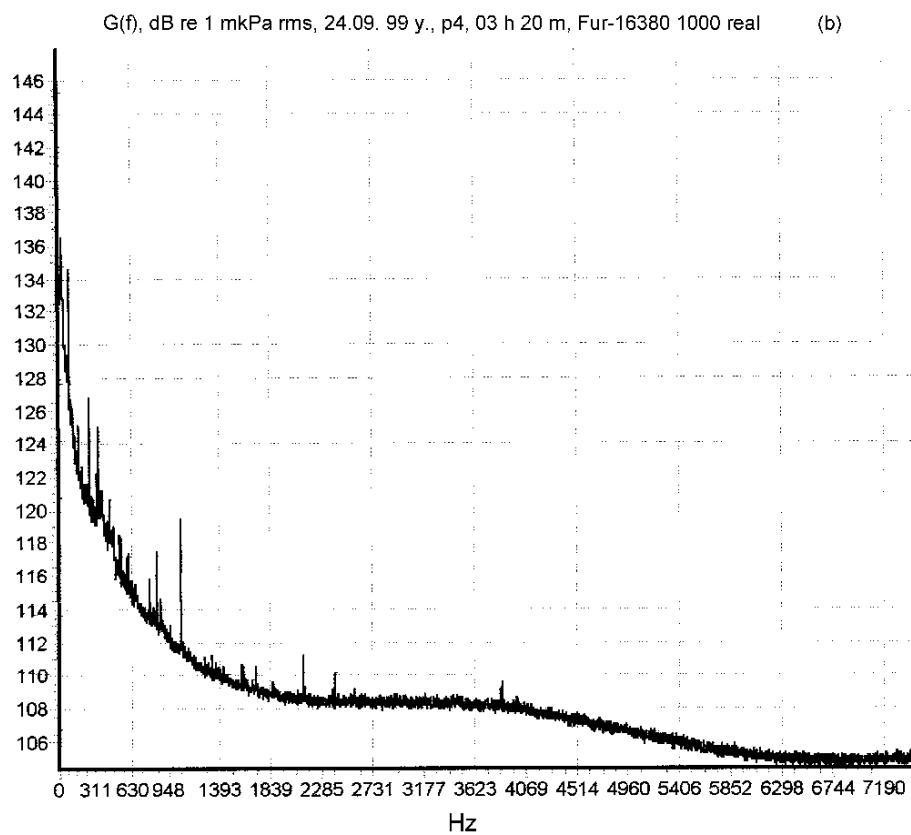
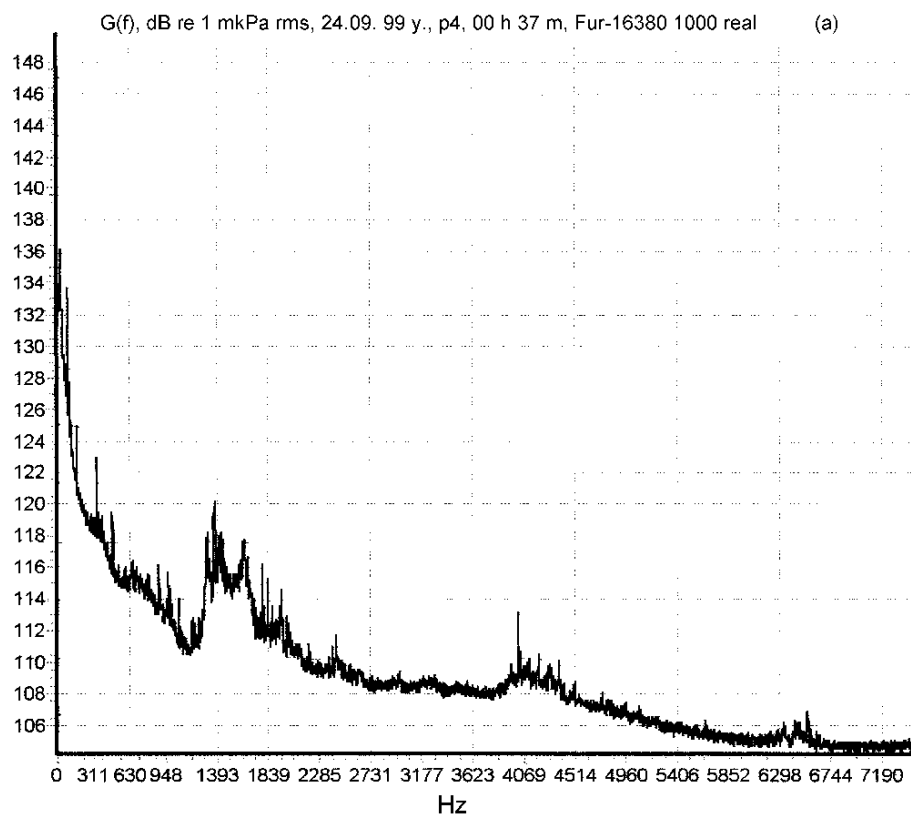
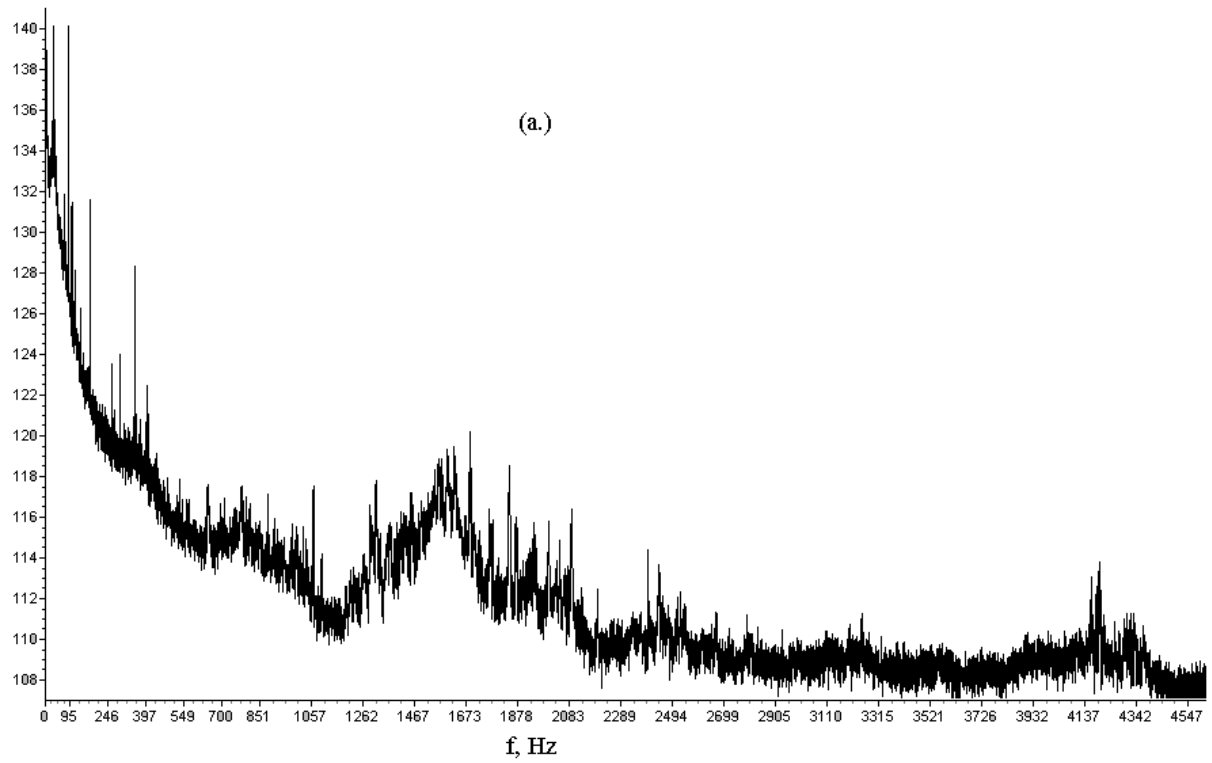


Рис. 15. Оценки спектров мощности акустического фона, измеренного в точке p.4.

$G(f)$, dB re 1 mkPa rms, 24.09.99y., p.4, 0h37m, Fur-65536, 100 real.



$G(f)$, dB re 1 mkPa rms, 24.09.99y., p.4, 3h00m, Fur-65536, 100 real.

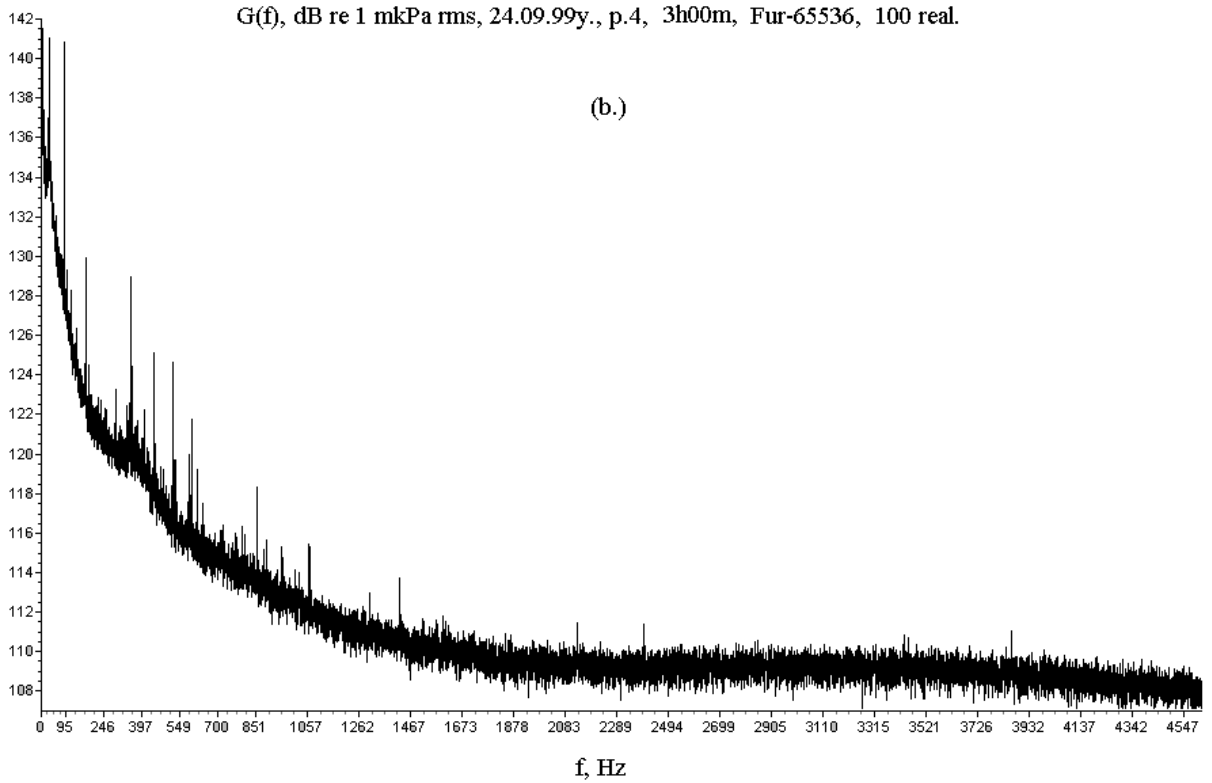


Рис. 16. Оценки спектров мощности акустического фона, измеренного ночью 24.09.99г. в точке p.4.

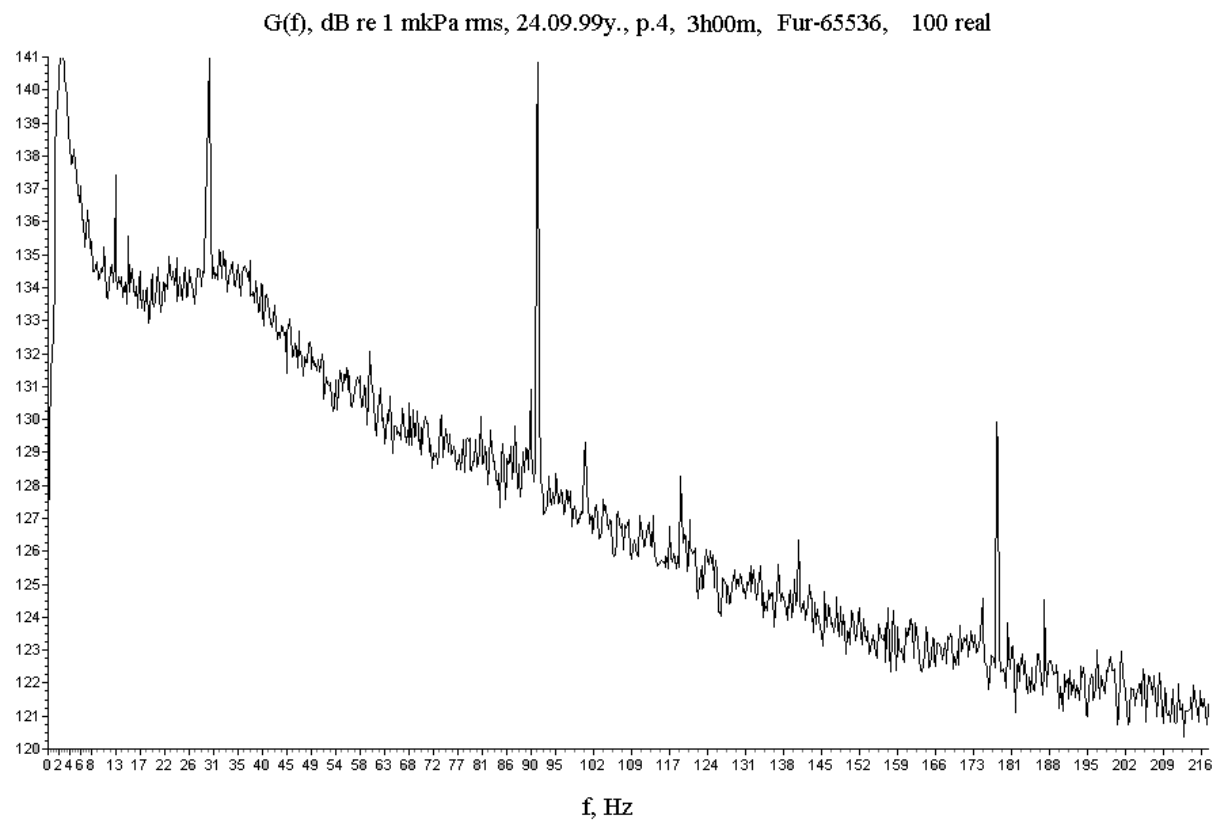
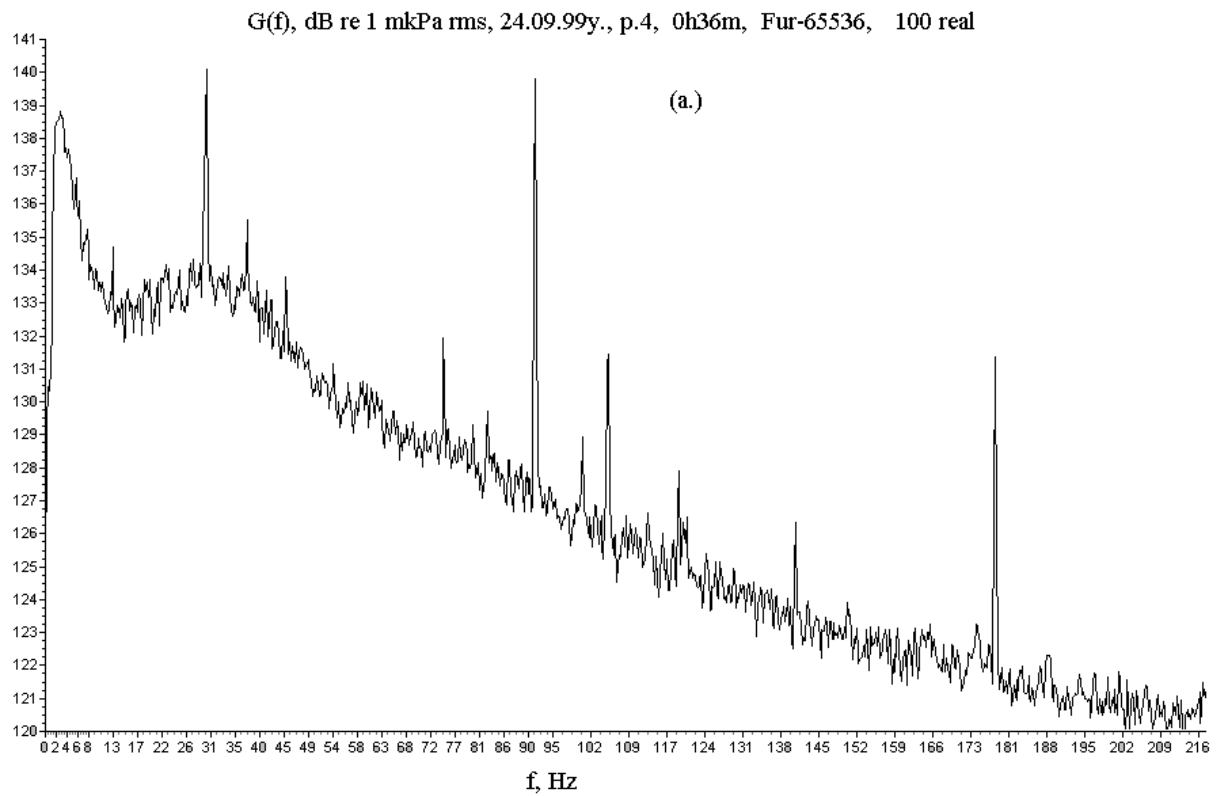


Рис. 17. Оценки спектров мощности акустического фона, измеренного ночью 24.09.99г. в точке p.4.

выражен на всех трех рисунках соответствующих измерениям проведенным в 15ч44мин – 23.07, 0ч36мин и 3ч – 24.07, соответственно. На всех трех графиках этот пик мощности характеризуется спектральным уровнем равным 140 дБ. Ночью (см. рис. 17) спектральные уровни двух других пиков мощности так же были стабильны и достигали 140 и 131 дБ. Из сравнения графиков $\hat{G}(f)$ представленных на рис. 11 и рис. 17 видно, что во время движения судов спектральная мощность акустического фона, измеренного в точке р.4, в частотном диапазоне до 200 Гц имеет три пика в частотной интерференционной структуре поля, а ночью (см. рис. 17) один на частотах 22-45 Гц, затем спектральная мощность уменьшается с ростом частоты пропорционально 0.08 дБ/Гц. Здесь необходимо отметить стационарный пик мощности на частоте 26 Гц, поскольку он наблюдался и в прибрежной зоне на расстоянии 30.5 км от «Моликпака» и поэтому его источник необходимо идентифицировать.

Сонограмма $\hat{G}(\omega, t)$, представленная на рис. 18 показывает, что движущееся судно генерирует акустические шумы в частотном диапазоне до 10 кГц, которые значительно превышают средний акустический фон на данной акватории. В этом эксперименте ввод акустических данных в ЭВМ осуществлялся с частотой дискретизации $f_d = 20$ кГц.

На сонограммах, представленных на рис. 9 и рис.18 легко визуально выделяется акустическое поле, генерируемое движущимся судном, по характерному рисунку частотно-пространственной интерференции, создаваемого им широкополосного звука с практически непрерывным спектром. В $\hat{G}(\omega, t)$, особенно на низких частотах, хорошо выражены интерференционные максимумы интенсивности, генерируемого движущимся судном звука. При приближении судна к точке приема эти максимумы смещаются по частоте в область более низких частот, а при удалении наоборот, поэтому когда судно проходит мимо приемной системы, траектория интерференционного максимума интенсивности звука в координатах частота-время подобна параболе. Точке изгиба соответствует траверз или минимальное расстояние до приемника. Еще одним важным

критерием того, что данная тональная компонента акустического поля генерируется движущимся судном, является доплеровский сдвиг частоты $\Delta f = \frac{2V}{C} f_0$, где V – скорость изменения расстояния между источником тонального звука с частотой f_0 и точкой его приема; C – средняя скорость звука в воде. Если скорость звука равна 1500 м/с, то можно записать: $f = \pm 0.69$ Гц/(узел)(кГц), здесь скорость изменения расстояния выражена в узлах, а частота генерируемого судном звука в кГц. Если судно, генерирующее тональный сигнал с частотой $f_0 = 1$ кГц, приближается к приемной системе со скоростью 10 узлов, то частота стационарно измеряемого акустического сигнала увеличится по отношению к f_0 на 6.9 Гц. Знак \pm в формуле означает, что приближающееся судно создает «положительный доплер», а удаляющееся – «отрицательный доплер».

На рис.19 показаны более подробно $\hat{G}(\omega, t)$, соответствующие ночному акустическому фону у «Маликпака». Здесь необходимо отметить, что несмотря на значительный уровень промышленных акустических шумов, наблюдаемых на данной акватории в светлое время суток (см. рис. 9), уже в 22ч 50 мин стали прослушиваться одиночные характерные звуковые сигналы МЖ (предполагается стаи касаток), которые после 0 часов превратился в «птичий базар», закончившийся в 2 часа ночи. В июле и в последующие ночи это не повторялось, но эпизодически прослушивались дальние сигналы МЖ. Здесь с учетом представленных ранее $\hat{G}(f)$ можно отметить, что когда нет движущихся судов, уровни зарегистрированных сигналов МЖ значительно превышают акустический фон, характерный для данной акватории.

После 2 часов ночи в сонограммах $\hat{G}(\omega, t)$ представленных на рис. 9 и рис. 19 хорошо выражены относительно широкополосные шумы которые, по-видимому, генерируются периодически (пять раз в час) включаемым механизмом, который работает в течении 5-7 минут.

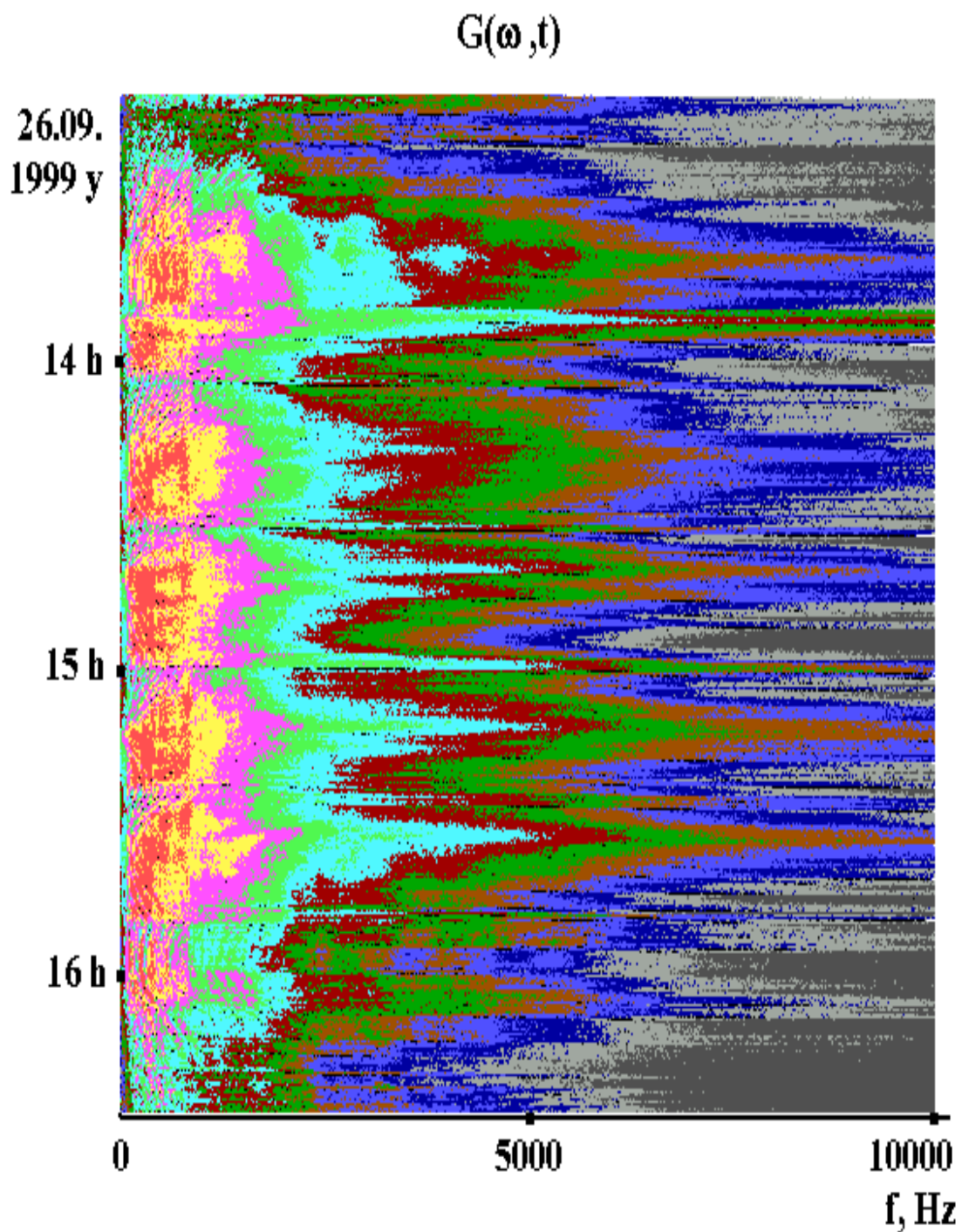


Рис. 18 Сонограмма акустического фона, измеренного 26.09.99г. в точке р.4 с помощью стационарного радиогидроакустического буя.

6.1.2. Исследование особенностей распространения шумовых и тональных акустических сигналов

Рассмотрим результаты измерений, проведенных у «Моликпака» в июле. В этом эксперименте измеряемые акустические сигналы записывались на магнитную ленту магнитофона фирмы Брюль и Кьер типа 7005 и к сожалению, часть данных утрачено из-за плохого качества используемых магнитных лент. Мы применяли прецизионную магнитную ленту фирмы AMPEX, но 1984 года изготовления. В 1999 году мы не смогли купить во Владивостоке более свежую магнитную ленту для магнитофона такого типа. Кроме того, запись производилась со скоростью протяжки магнитной ленты равной 3.81 см/с и соответственно применялись записывающие блоки основанные на амплитудной модуляции записываемых сигналов, что обеспечило верхнюю частоту рабочего диапазона равной 7 кГц, но ограничило его снизу 20 Гц. Поэтому в сентябрьском эксперименте мы записывали акустические сигналы параллельно с ЭВМ на Hi-Fi видеомэгнитофон фирмы JVC по его двум аудиоканалам, что обеспечило высокое качество записи акустических сигналов в полосе частот 20 Гц – 20 кГц с динамическим диапазоном равным 80 dB. Таким образом, только при прямом вводе сигналов в ЭВМ, без искажений, реализованы АЧХ сквозных измерительных трактов, показанные на рис. 1. С учетом выше сказанного перейдем к рассмотрению результатов летних измерений, проведенных с помощью двух радиогидроакустических буев, установленных в точках: р.3 - стационарно, в р.4 радиобуй был привязан к заякоренному поплавку и в начале эксперимента его гидрофон должен был находится на глубине 15 метров, но из-за сильных течений произошел разрыв резинового амортизатора. Это привело к значительному удлинению (примерно на 20 м) снижения и поэтому гидрофон с грузом лег на дно так, что измерения в точке р.4 тоже можно считать стационарными.

На рис. 20 приведены сонограммы $\hat{G}(\omega, t)$ акустического фона, синхронно измеренного в точках р.4 (а., с.) и р.3 (б., д.). На рис. 20а,б хорошо выражены

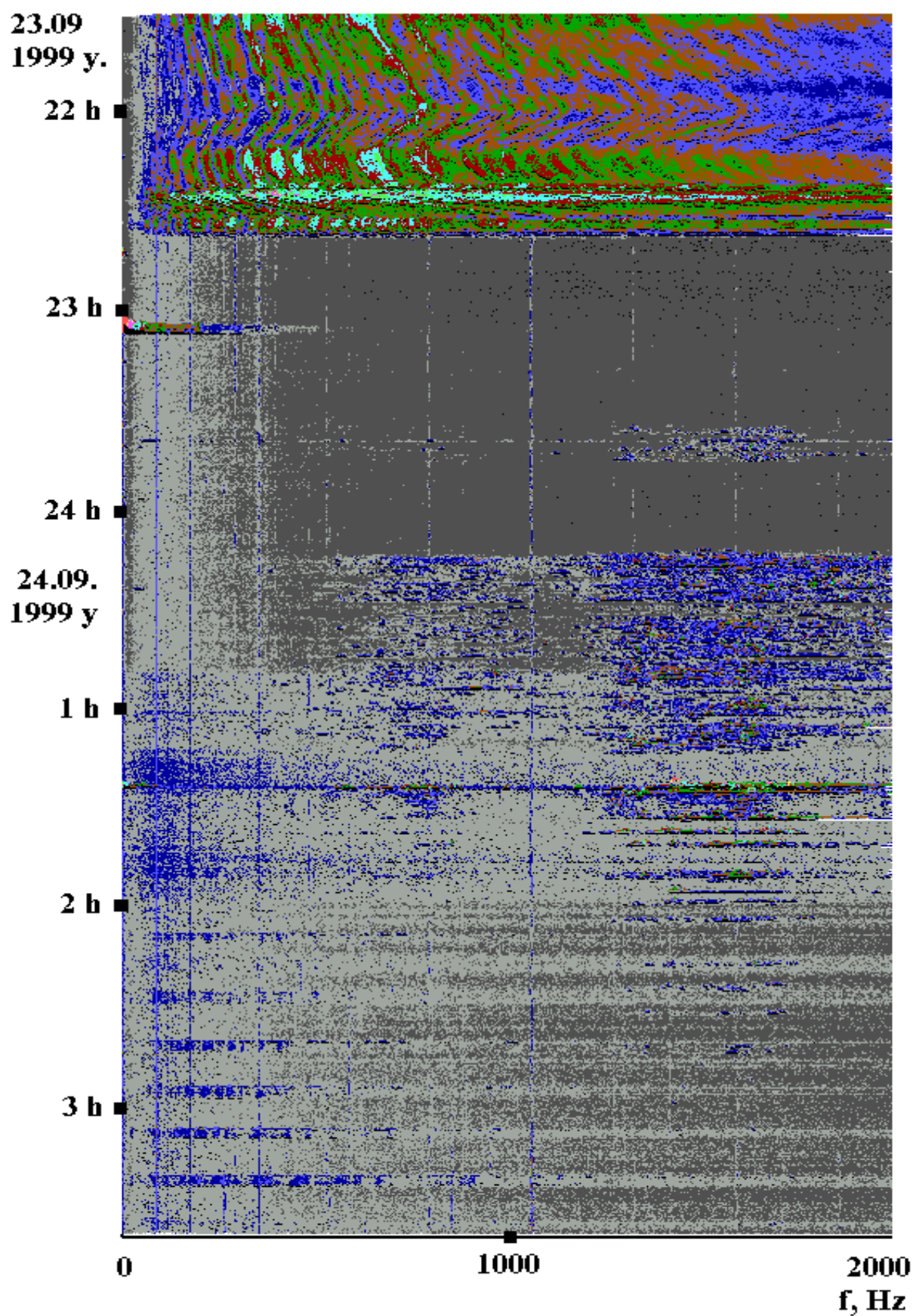


Рис. 19. Сонограмма акустического фона, измеренного ночью 23-24.09.99г. в точке p.4

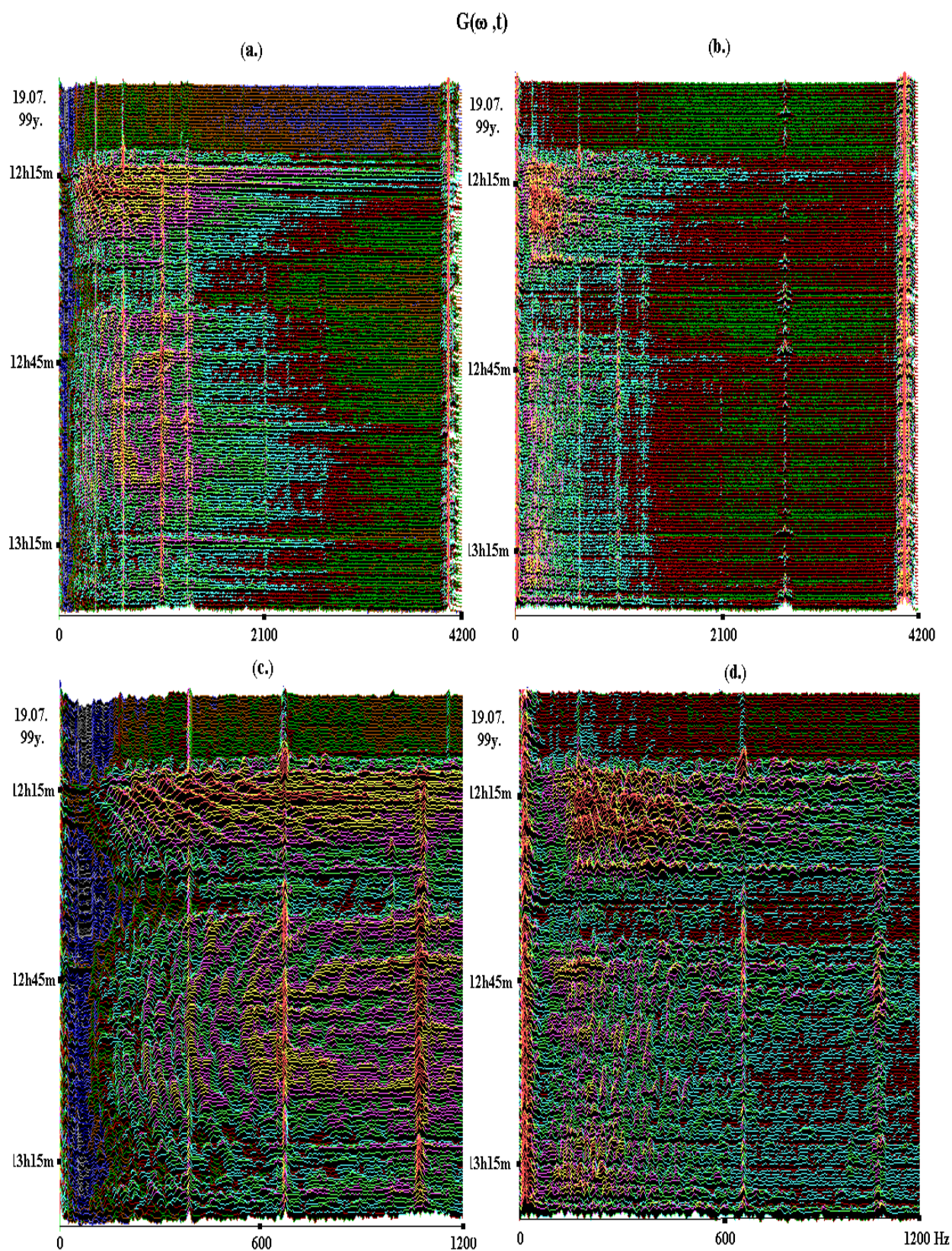


Рис. 20. Сонограммы акустического фона синхронно измеренного 19.07.99г. в точках р.4 (а, с) и р.3 (b,d). В точке якорной стоянки АСС «Агат» излучался тональный акустический сигнал с частотой 4 кГц.

пики мощности на частоте 4 кГц, соответствующие тональному акустическому сигналу, непрерывно излучаемому с помощью широкополосного излучателя, свешенного с борта АСС «Агат», стоящего на якоре в точке с координатами: $\varphi = 52^{\circ}44'30''$, $\lambda = 143^{\circ}34'06''$ (см. рис. 8). На рис. 20с,d графики $\hat{G}(\omega, t)$, показаны в частотном диапазоне 0-1200 Гц и иллюстрируют вариации интерференционной структуры шумового акустического поля, генерируемого движущимся судном. На рис. 21 представлены количественные оценки спектров мощности $\hat{G}(f)$, измеренного акустического поля соответствующие интервалу времени, когда на акватории не было движущегося судна – рис. 21а и когда было – рис. 21б. Из рис. 21а видно, что спектральный уровень тонального акустического сигнала с частотой 4 кГц, излучаемого в точке якорной стоянки АСС «Агат» почти на 30 дБ превышает акустический фон регистрируемый в обеих точках, причем их уровни отличаются примерно на 5 дБ. Спектральные уровни тональных компонент акустического фона, измеренного в точках р.4 и р.3 (см. рис. 21а) с частотами примерно 630 и 1300 Гц, отличаются по уровню на 17 и 14 дБ, соответственно. Из рис. 21б видно, что непрерывный фоновый спектр и дискретные тональные компоненты акустического поля генерируемого движущимся судном хорошо просматриваются на обоих графиках $\hat{G}(f)$ в частотном диапазоне до 3 кГц, но следует отметить значительные потери при распространении звука в мелководную часть шельфа. В среднем спектральный уровень шумов на частотах от 200 до 1000 Гц в точке р.3 ниже уровня фона в точке р.4 примерно на 22 дБ. Уровень тональной компоненты с частотой примерно 1 кГц (см. рис. 21б) в р.3 ниже чем в р.4 на 17 дБ.

На рис. 22 приведены сонограммы акустических полей, синхронно измеренных в точках р.4 и р.3 во время маневрирования судна «Нефтегаз» в районе платформы «Моликпака». Во время этого эксперимента в точке якорной стоянки АСС «Агат», с помощью свешенного с его борта излучателя в воде генерировались тональные акустические сигналы с частотами 2.2, 4.4 и 6.6 кГц. «Нефтегаз» начал движение к «Моликпаку» в 18ч10мин с целью встать к

G(f), dB re 1 mkPa rms, 19.07. 99 y., 11 h 40 m, p.4

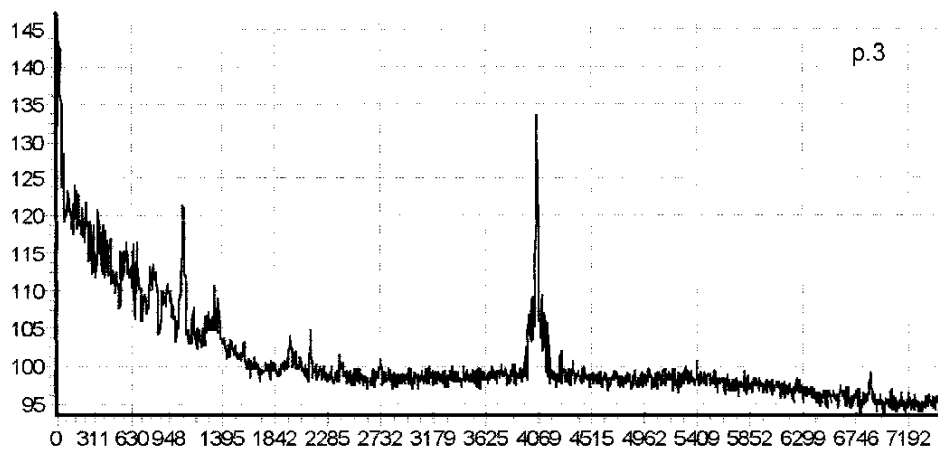
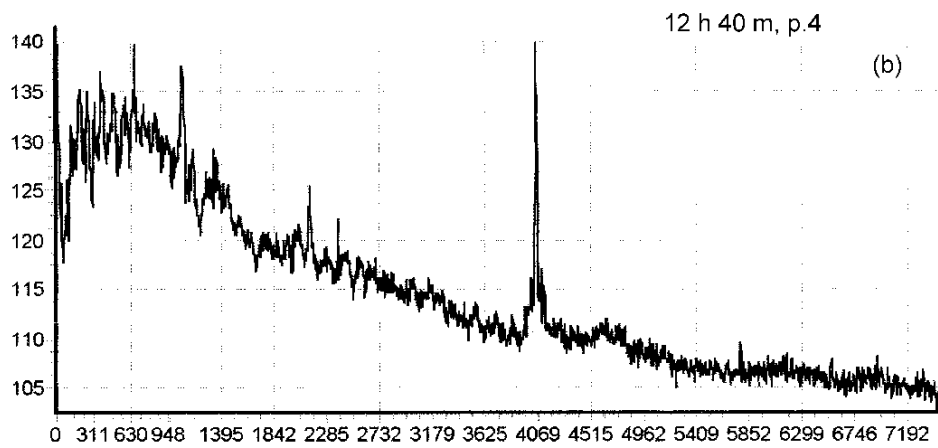
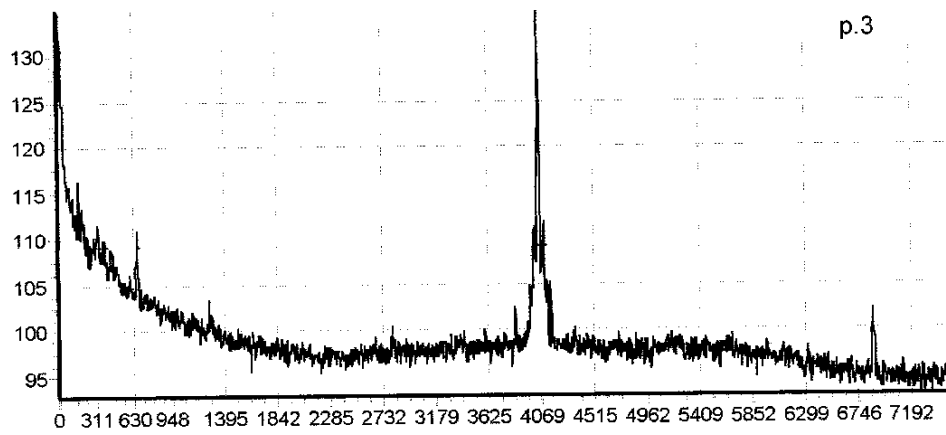
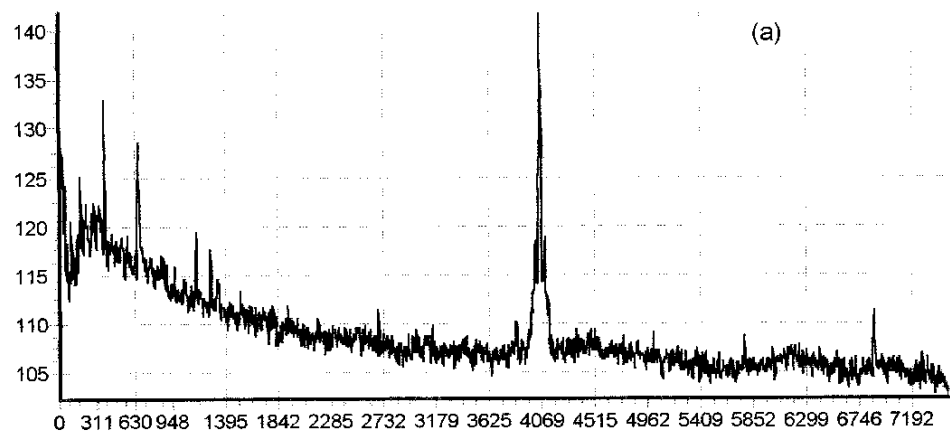


Рис. 21

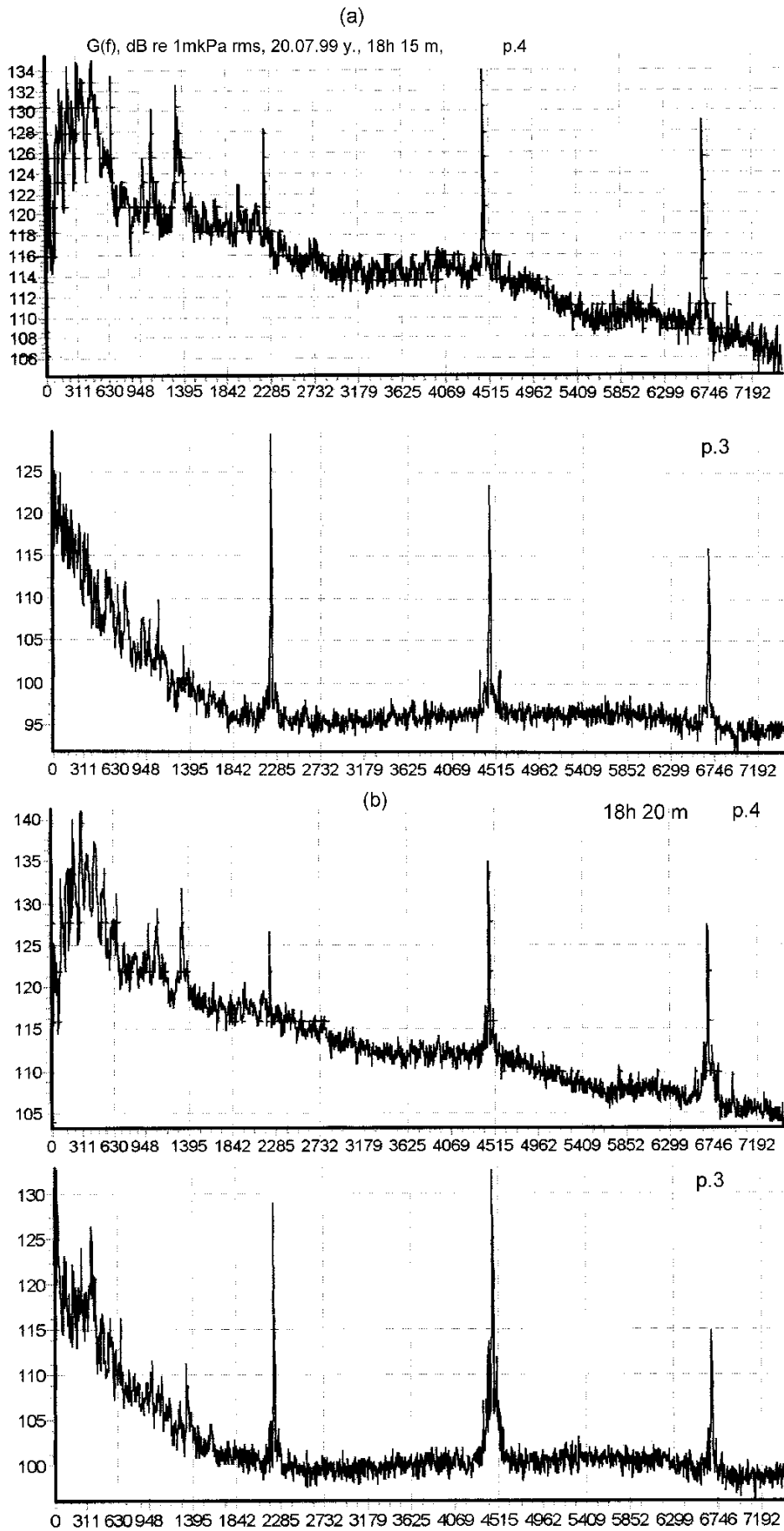


Рис. 22

третьему крану под разгрузку. В 18ч15мин он находился в точке с координатами: $\varphi = 52^{\circ}43,5'$; $\lambda = 143^{\circ}34,4'$ и двигался курсом 192.8° со скоростью 4.6 узла. В 18ч20мин судно находилось в точке: $\varphi = 52^{\circ}43.2'$, $\lambda = 143^{\circ}34.2'$, двигалось курсом 194° со скоростью 5.4 узла. В 18ч23мин «Нефтегаз» проходил точку с координатами: $\varphi = 52^{\circ}43'$, $\lambda = 143^{\circ}34,1'$ и двигалось со скоростью 6 узлов. В 18ч 26мин судно зашло за платформу «Моликпака». Данные о движении судна «Нефтегаз» получены с помощью радиолокатора АСС «Агат».

На рис. 22 представлены графики $\hat{G}(f)$ соответствующие измерениям проведенным в точках р.4 и р.3 в интервалы времени, когда было известно положение судна «Нефтегаз». Рис. 22а соответствует времени 18ч15мин, рис.22b – времени 18ч20мин. Графики $\hat{G}(f)$ на рис. 23а соответствуют измерениям проведенным в 18ч23мин, а на рис. 23b – в 18ч43мин. На всех рисунках, соответствующих измерениям во время движения судна, хорошо выражены непрерывный шумовой спектр и дискретные тональные составляющие, которые с определенными потерями при распространении измерены в обеих точках. Позже будет проведен более детальный анализ этих данных. Уровни излучаемых тональных акустических сигналов в среднем на 20 – 30 дБ превышают уровень акустического фона, измеренного в точке р.3. Уровни сигналов с частотами 4.4 и 6.6 кГц в точке р.4 превышают уровень фона также на 30 и 20 дБ, а сигнала с частотой 2.2 кГц, из-за относительно высокого уровня шумов генерируемых судном «Нефтегаз», превышает уровень фона только на 8 дБ, но в 18ч46мин (см. рис. 23b) их разница достигла 20 дБ. Согласно экспериментальным данным, представленным на рис. 20 – 23, уровень тональных акустических сигналов, излучаемых в точке якорной стоянки АСС «Агат» более чем на 20 дБ превышали уровни фонового акустического поля вблизи «Моликпака», даже во время движения судна вблизи платформы. Синхронные измерения акустического поля в точке р.1 удаленной от «Моликпака» на 30.5 км показали, что из-за потерь при распространении в мелководную часть шельфа, энергия этих сигналов ниже уровня акустического фона, регистрируемого в этой точке.

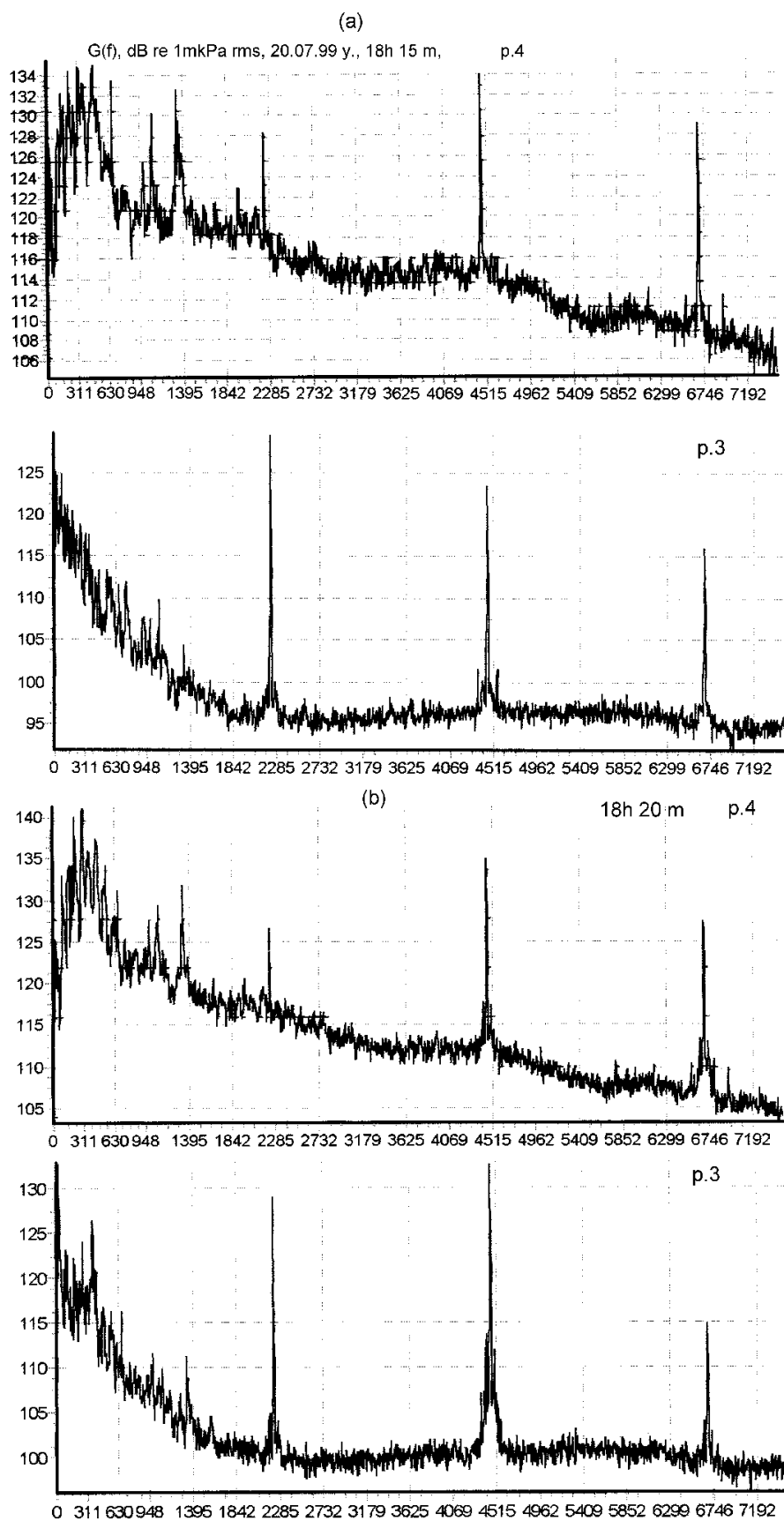


Рис. 23. Оценки спектров мощности акустического фона, синхронно измеренного 20.07.99 г. в точках p.3 и p.4.

6.2. Результаты теоретических и натурных исследований распространения звука по трассе «Моликпак-Пильтун»

Предположение о возможном антропогенном воздействии на серых китов акустического шума, генерируемого нефтедобывающим комплексом «Моликпак» и обслуживающими его судами, потребовало специальных теоретических и экспериментальных исследований особенностей распространения звука вдоль трассы, показанной на рис. 8.

Распространение акустических волн моделировалось нормальными волнами в адиабатическом приближении с помощью программы MOATL (Miller, Wolf, 1980). Данная программа позволяет провести расчеты потерь при распространении звука в волноводе с изменяющейся по трассе гидрологией и учетом реальной геометрии дна. При каждом изменении гидрологии и геометрии дна, заданных таблично, в программе пересчитываются параметры нормальных волн; коэффициент затухания каждой моды интегрируется по расстоянию. Глубина в моделируемом волноводе изменялась от 28 метров в месте излучения звука до 10 метров в месте постановки приемника. Источник звука находился на глубине 5 м, приемник на глубине 10 м. Скорость распространения звука в волноводе изменялась от 1494 м/с на поверхности до глубины 6 м и линейно до 1460 от глубины 6 до 10 м, ниже 10 метров скорость звука была постоянной и равной 1460 метров. Дно представлено «жидким», лежащем на основании со скоростью звука 5500 м/с, плотностью 5.5 г/см^3 и коэффициентом поглощения, равном 0.00011дБ/км. Скорости звука в дне изменялись линейно по глубине от 1700 до 1900 м/с, коэффициент поглощения был равен 0.0007 дБ/км, плотность составляла 1.8 г/см^3 , что соответствует экспериментальным данным. Расчеты проведены для звука с частотами 500 Гц, 1кГц и 3кГц. В численных экспериментах при расчете потерь при распространении звука с указанными частотами, соответственно частоте акустического поля, учитывались 16, 32 и 89 нормальных мод.

На рис. 24 показаны геометрия акустической трассы и графики потерь (в дБ) при распространении в клине акустических волн с частотами 500, 1000 и 3000 Гц. Расчеты показывают, что в летних гидрологических условиях, звук генерируемый на глубине 5 метров в районе «Моликпака» при распространении в сторону берега по трассе «Моликпак-Пильтун», затухает на 60 и более дБ. Пространственная интерференционная структура в мелководной части трассы хорошо выражена для акустического поля с частотой 1 кГц и характеризуется вариациями уровня более чем на 40 дБ.

Численное моделирование подтвердило экспериментальные данные. Нам не удалось зарегистрировать в точке р.1 (см. рис. 8) тональные сигналы, излучаемые в точке якорной стоянки АСС «Агат», поскольку уровни излучаемых сигналов с частотами 2.2, 4.4 и 6.6 кГц (см. рис. 21 и рис. 22), только на 30 – 35 дБ превышали уровень фона в точках р.3 и р.4.

К сожалению, в настоящее время мы не располагаем программой, учитывающей упругие свойства дна, которая позволила бы произвести расчеты потерь при распространении акустических волн с более низкими частотами. В обзорной части было показано, что существенная часть энергии низкочастотного акустического поля может переноситься в прибрежную область шельфа поверхностными сейсмическими волнами, распространяющимися по границе между любыми двумя средами, если хотя бы в одной из них могут распространяться сдвиговые волны. Напомним, в теоретической работе (Беспалов и др., 1998) было показано, что для звука, генерируемого в водном слое, с частотой 1 Гц и выше, введение вместо песчаного полупространства слоя песка и границы песок – известняк резко увеличивает значения амплитуд поля в придонной области. Эта добавка составляет на дистанции 20 км до 50 дБ на частоте 1 Гц и до 60 дБ на частоте 10 Гц.

Учитывая результаты численных экспериментов, представленные в работе

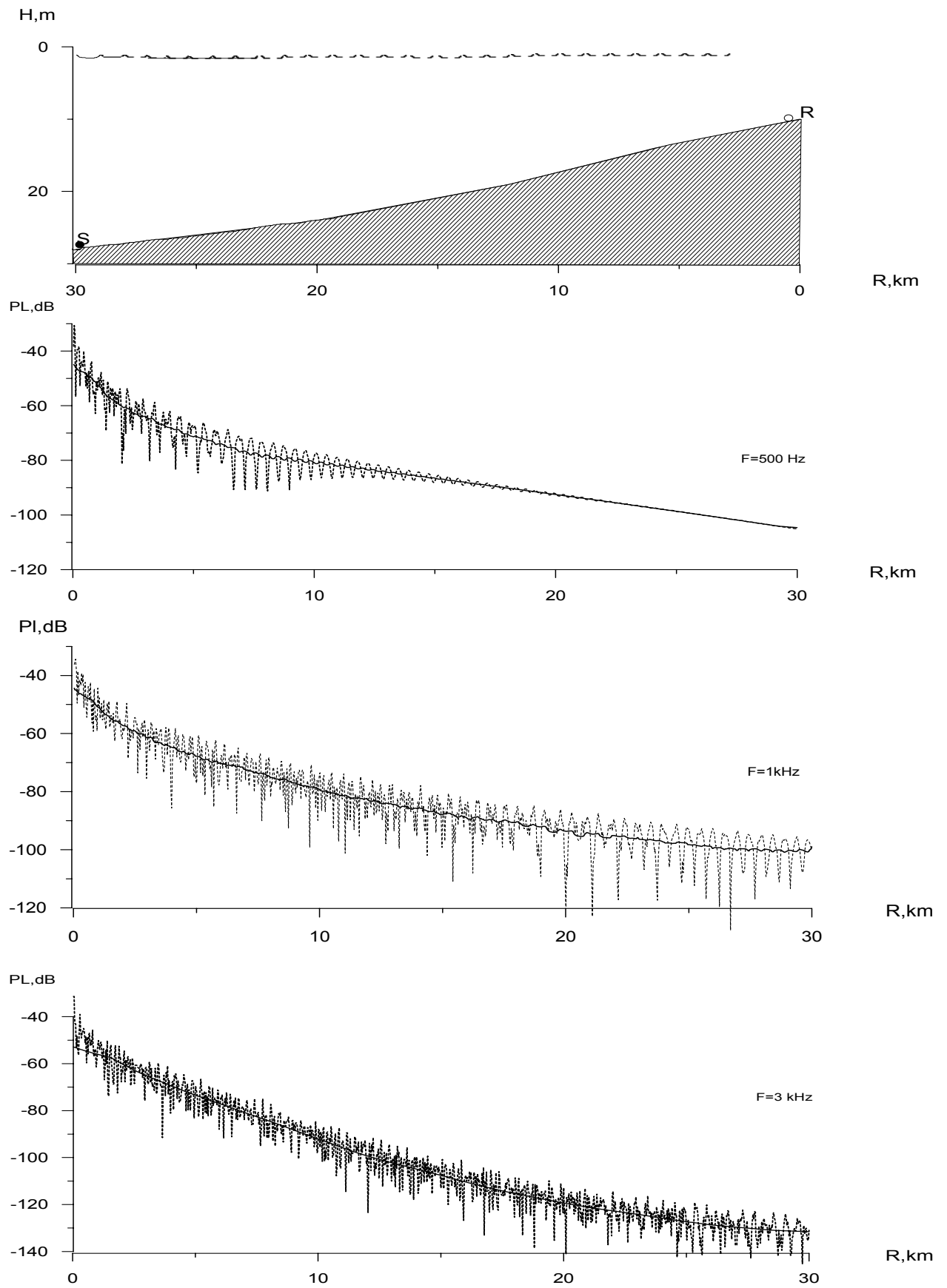


Рис. 24. Геометрия акустической трассы и результаты вычислений потерь при распространении звука с частотами 500 Гц, 1 кГц и 3 кГц.

(Беспалов и др., 1998) рассмотрим на рис. 25 графики оценок спектров мощности $\hat{G}(f)$ акустического фона, измеренного 3.10.99г. в точке p.2, (см. рис. 8). Пики мощности на частотах, примерно 2.7, 4.3 и 4.4 кГц (см. рис. 25a) по-видимому вызваны электрическими наводками от ЭВМ. Заметны невысокие пики мощности на частотах 50 и 100 Гц (см. рис. 25b). Электропитание измерительной аппаратуры, установленной верхней части башни Пильтунского маяка, осуществлялось от бензоэлектрической станции удаленной от маяка на расстояние более 70 м. Во время данных измерений в море не было существенного волнения, поскольку уже несколько дней дул ветер западного направления и практически не было поверхностных волн зыби, характерных для летнего сезона. На представленном рисунке лучше всех выражен узкий пик мощности на частоте 26 Гц, превышающий фон более чем на 10 дБ. Устойчивый пик мощности на этой же частоте был нами зафиксирован и при измерениях вблизи «Моликпака» в точке p.4 (см. рис. 17). Можно предположить, что его источником является какой-то постоянно работающий механизм на «Моликпаке». По уровню, сигнал измеренный в p.2 всего на 10 дБ меньше чем в p.4. Столь малые потери при распространении могут быть объяснены местом расположения источника данного сигнала и тем, что его энергия переносится в прибрежную зону сейсмическими волнами.

6.3. Исследование акустического фона и распространения звука в районе летне-осеннего нагула серых китов

Систематические измерения акустического фона в акватории наибольшего скопления, в летне-осенний период года, серых китов проводились с помощью стационарно устанавливаемых в точках p.1 и p.2 (см. рис. 8) радиогидроакустических буев. Измерения проводились непрерывно в течении нескольких суток и заканчивались с разрядом батарей, обеспечивающих электропитание. Радиобуй, установленный 16 июля в точке p.1, простоял в море

$G(f)$, dB re 1 mkPa rms, 3.10.99y., p.2, 17h30m, Fur-65536, 200 real.

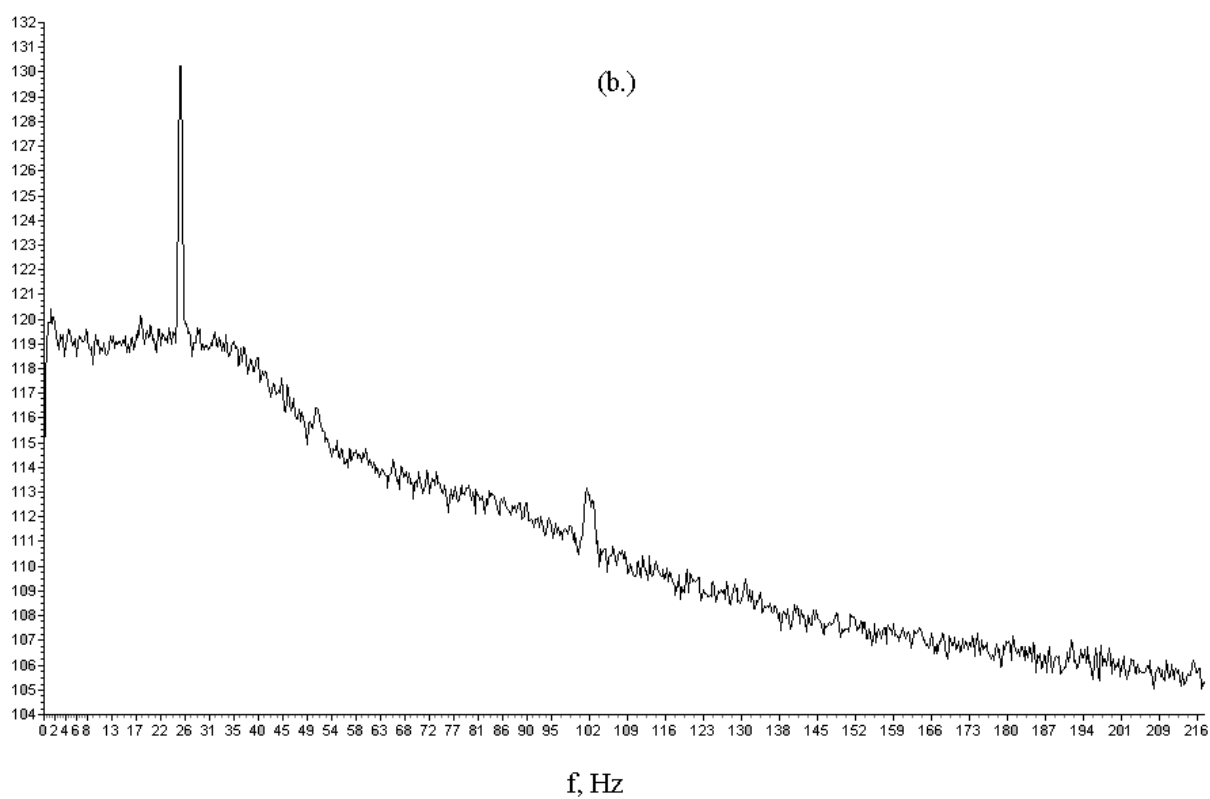
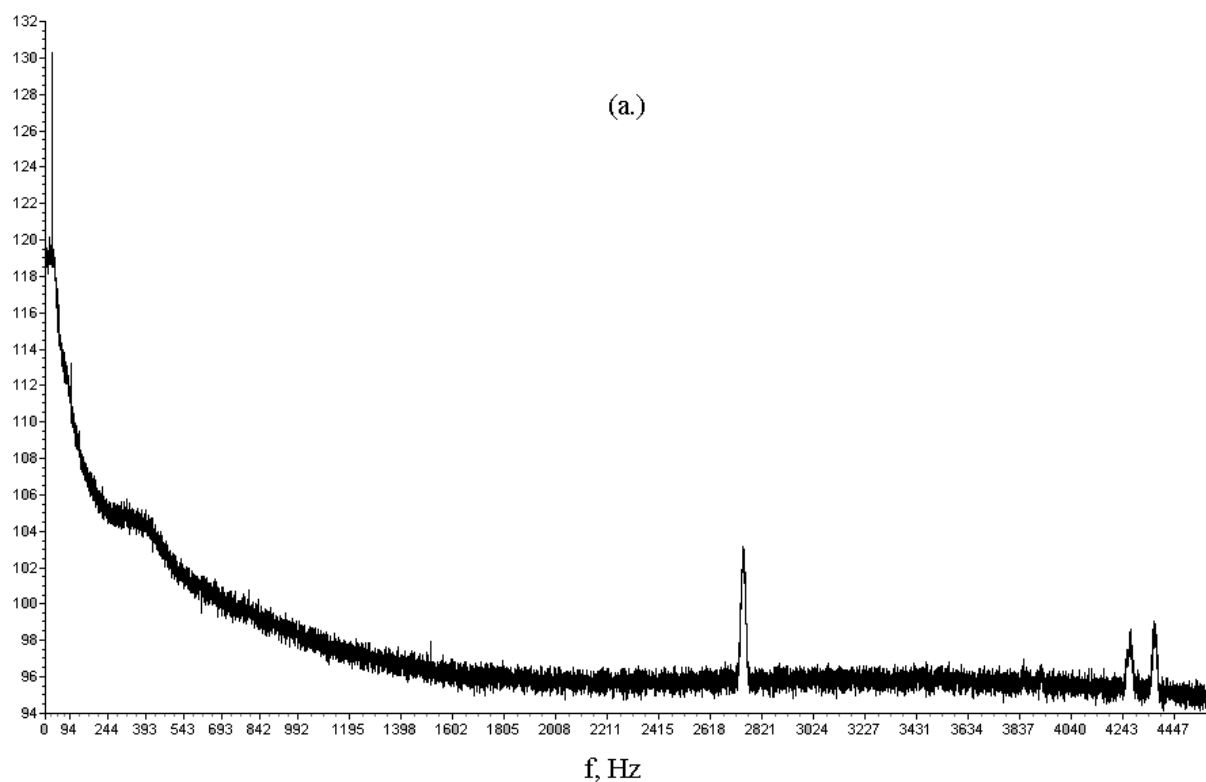


Рис. 25. Оценки спектров мощности акустического фона, измеренного в октябре 1999 г. в точке p.2.

до 5 августа. Работа буя начиналась после простой смены блока батареек, которая производилась в море с борта катера, без подрыва удерживающего его донного якоря. К сожалению, в августе после подъема буя на борт катера мы увидели, что несмотря на значительное удаление от дна (не менее 25 см) его гидрофон, защищенный от обтекания специальной сеткой, был забит илом и песком, что конечно же должно было повлиять на измерение звука на высоких частотах. Кроме того, первые постановки показали на необходимость удаления измерительного гидрофона от радиобуя на расстояние не менее 60 – 100 метров, чтобы не мешали шумы обтекания буя поверхностными волнами. При анализе сонограмм спектров, измеренного акустического фона, мы выявили существенный технический недостаток специально приобретенных нами в 1999 г. для работы с радиобуями радиоприемников-сканеров АХ-400 (фирма Standart). В электрическом сигнале с выхода частотного дискриминатора присутствует узкополосный шум, частота которого изменяется со временем, явно коррелируя с разрядом батареек, обеспечивающих электропитание сканера. На этот недостаток радиоприемника АХ-400, мы указали фирме изготовителю и в результате он переведен из класса профессиональных в радиолюбительский. Тем не менее, мы надеемся в будущем более успешно использовать эти приемники применяя стабилизированные источники электропитания.

Перейдем к обсуждению результатов измерений. На рис. 26 приведена сонограмма спектра акустического фона, измеренного в точке р.1, иллюстрирующая изменение фона с увеличением интенсивности поверхностного волнения и скорости ветра.

Сонограммы, представленные на рис. 27 показывают частотно-пространственную интерференционную структуру звукового поля, генерируемого проходящим мимо радиобуя (на расстояние не менее 500 м) моторным катером (см. рис. 27b) и кратковременным дождем с градом – рис. 27a интервал времени с 8ч30мин до 8ч40мин. Соответствующие этим явлениям оценки спектров мощности $\hat{G}(f)$ показаны на рис. 28a и рис. 28c. На рис. 29 графики $\hat{G}(f)$,

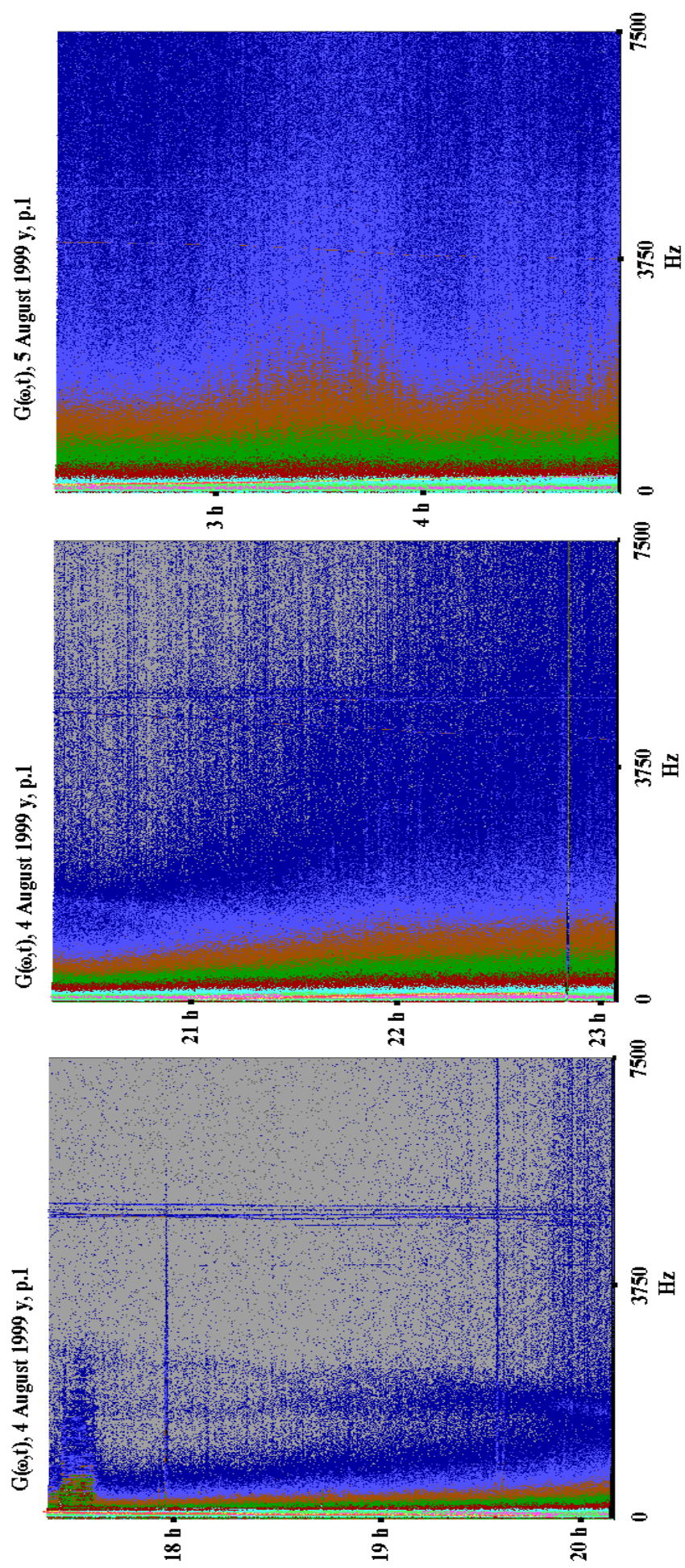


Рис. 26. Сонограмма акустического фона в точке p.1

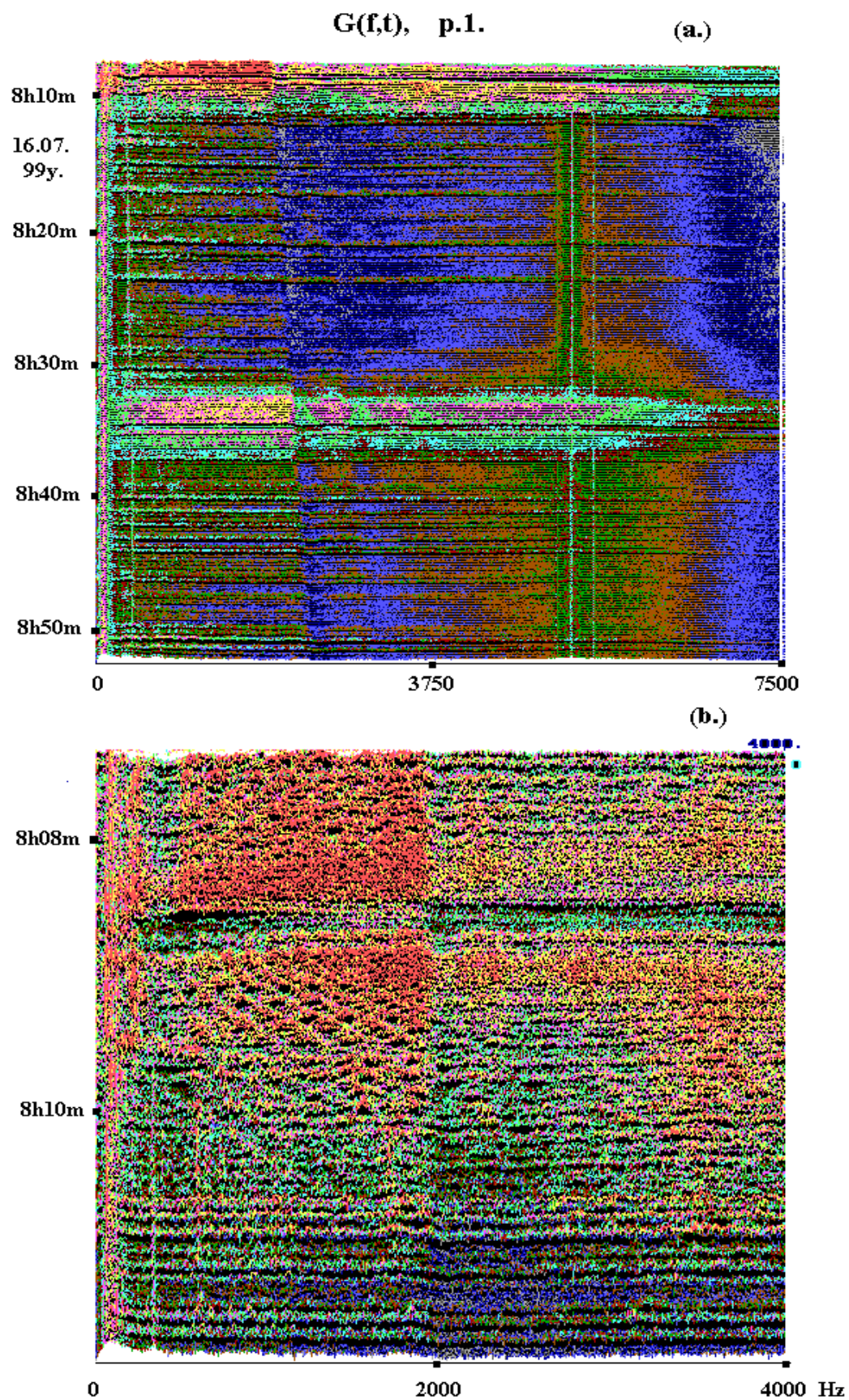


Рис. 27. Сонограммы акустического фона, измеренного в точке p.1 во время прохода мимо буя моторного катера.

G(f), dB re 1mkPa rms, 16.07.99 y., 2000 real, p.1

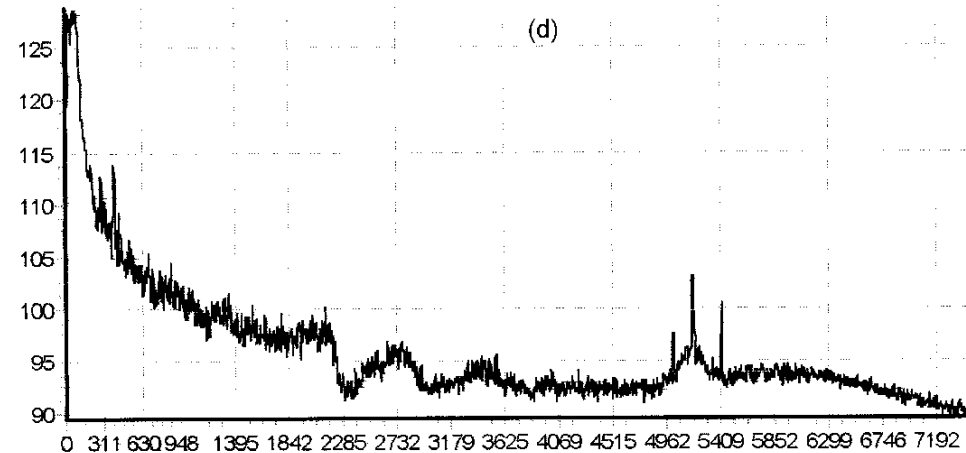
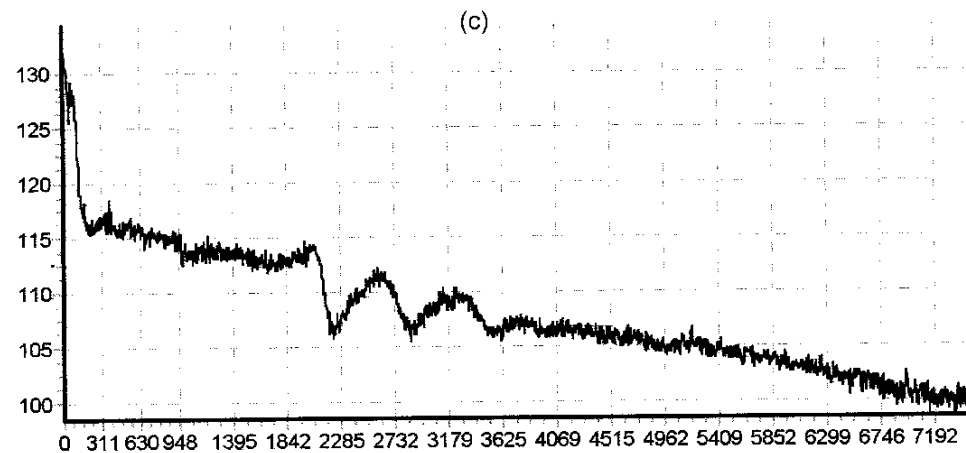
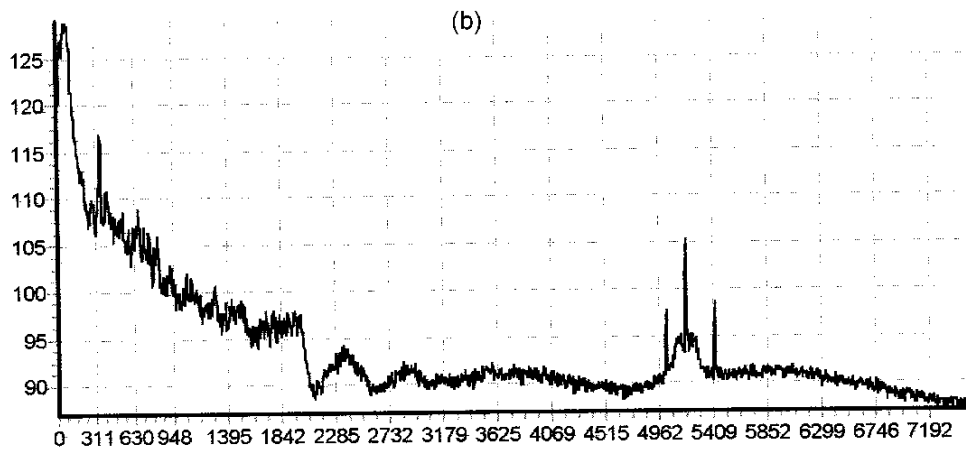
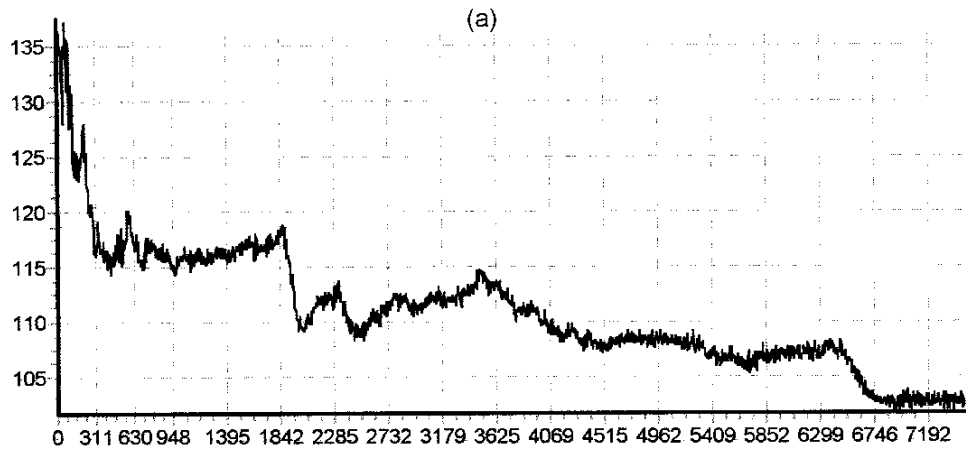


Рис. 28

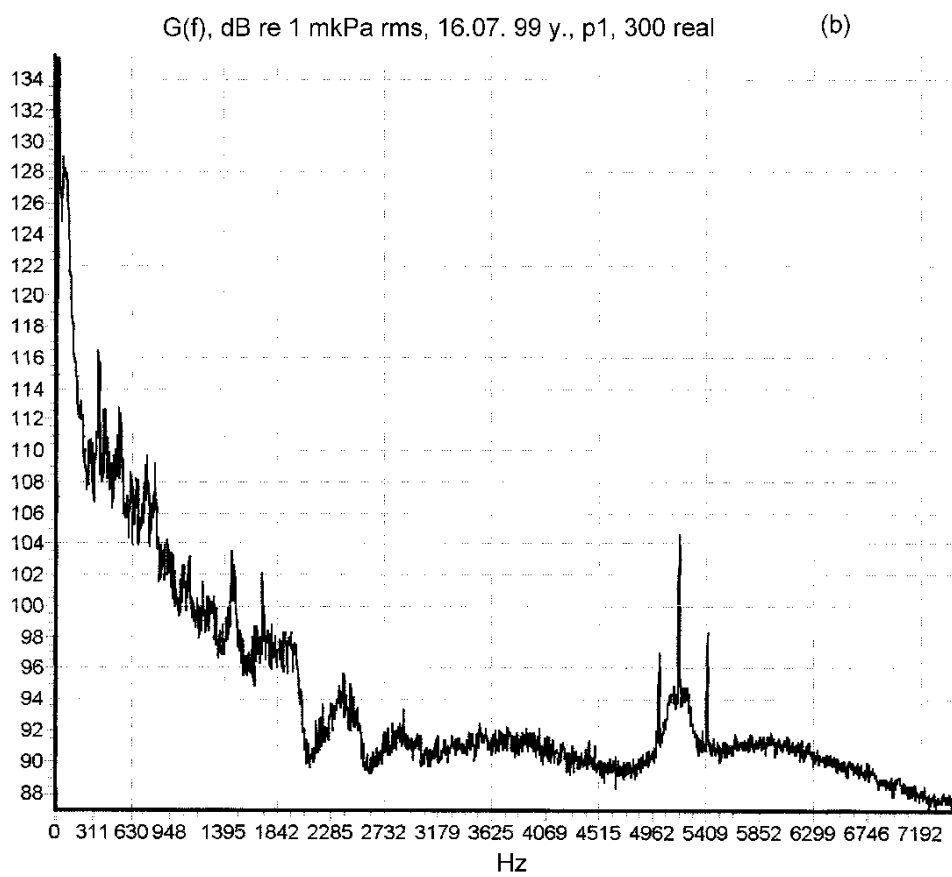
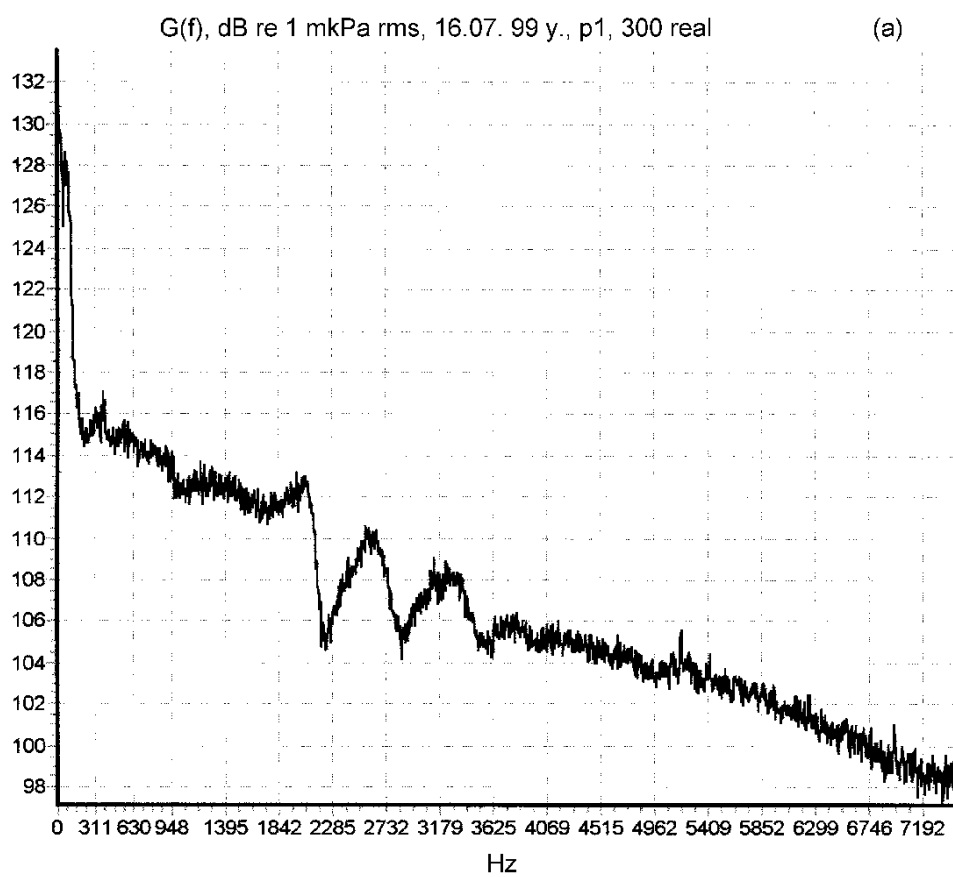


Рис. 29

соответствующие шумам генерируемым дождем с градом (рис. 29a) и относительно спокойному фону (рис. 29b), приведены для сравнения более крупно. Из этих рисунков видно, что моторный катер генерирует в данной акватории практически непрерывный с несколькими ступенями спектр шумов в диапазоне до 7 кГц. Его уровень превышает фоновый (см. рис. 28d) в среднем на 15 дБ в диапазоне до 2 кГц и почти на 20 дБ в диапазоне от 2.5 до 4 кГц. График $\hat{G}(f)$, соответствующий шумам измеренным у дна вблизи точки p.1 во время кратковременного дождя с градом (см. рис. 28с и рис. 29a), подобен спектру красного шума с наклоном, примерно -0.003 дБ/Гц. Необходимо отметить периодические изменения спектральной мощности звука в частотном диапазоне от 1.8 до 3.6 кГц. Эти вариации (зависимость интенсивности от частоты звука) явно выражены во всех графиках представленных на рис. 28 и рис. 29 и, возможно, связаны с особенностями распространения и генерирования акустических волн в данном месте. Еще одной важной особенностью приема звука в море глубиной 7 – 8 метров является модуляция интенсивности принимаемых акустических сигналов и акустического фона в целом поверхностными волнами зыби. Отражение и рассеяние звука морской поверхностью во время прохождения над гидрофоном гребня поверхностной волны создает фокусирующий эффект, который и вызывает наблюдаемую и прослушиваемую модуляцию.

Особенности распространения звука на данной акватории исследовались с помощью буксируемого катером излучателя, генерирующего сетку тональных акустических сигналов. На рис. 8 показана трасса p.1.1 – p.2.1 вдоль которой осуществлялась буксировка излучателя. Акустическое поле измерялось синхронно в точках p.1 и p.2. На рис. 30 приведена сонограмма спектра акустического фона, измеренного во время обсуждаемого эксперимента. На рисунке хорошо видны пики мощности соответствующие излучаемым тональным акустическим сигналам. Из рисунка видно, как быстро затухает акустическое поле на исследуемых частотах. Увеличение интенсивности сигналов, измеренных

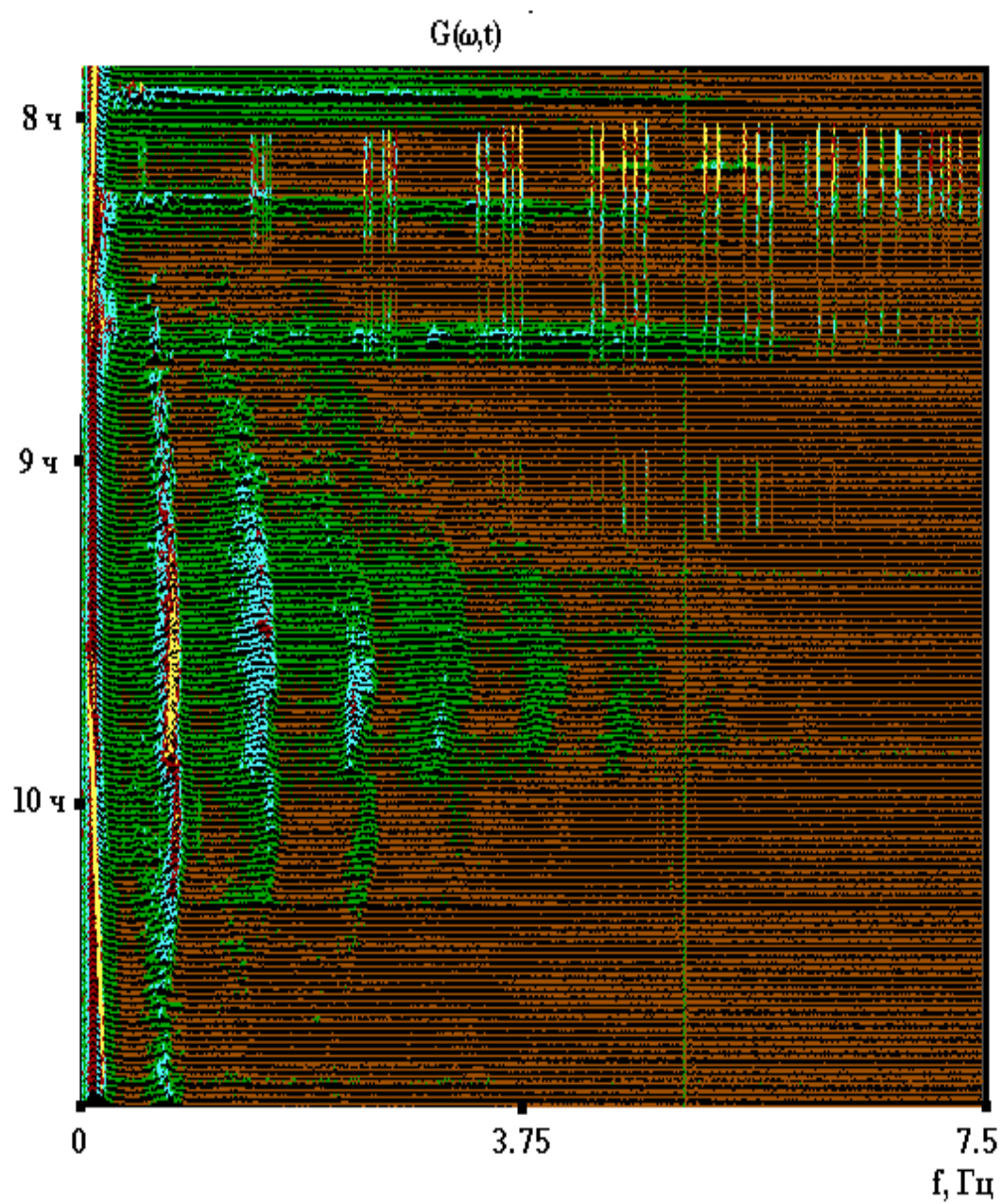


Рис. 30. Сонограмма спектра акустического фона, измеренного в точке p.1 во время эксперимента с буксируемым излучателем.

в р.1 в интервал времени сразу после 9 часов, соответствует специальному режиму излучения, проведенного в дрейфе около точки р.2.1 (см. рис. 8): в 9ч04мин излучатель был положен на дно, в 9ч07м был начат медленный подъем излучателя и в 9ч08м он находился у поверхности, через 30 секунд было начато заглубление излучателя, в 9ч11м он был снова поднят к поверхности и с 9ч16м до 9ч18м излучатель находился на глубине 3 м, после этого излучатель был выключен и поднят на борт катера.

На рис. 31 и рис.32 приведены оценки спектров мощности $\hat{G}(f)$ акустического фона, измеренного в точке р.1 и соответствуют интервалам времени эксперимента с излучателем, в которые было известно положение катера, определяемое с помощью GPS. Приведем описание эксперимента. Буксировку излучателя начали в 8ч20м. В 8ч23м увидели три фонтана от китов, скорость буксировки 10 км/час. В 8ч25м проходим в 100 м от кита. В 8ч33м прошли точку р.1.1 ($\varphi = 52^{\circ}53'58''$, $\lambda = 143^{\circ}20'53''$). В 8ч37м движемся к точке р.2.1 со скоростью 10 км/час. В 9ч04мин пришли в точку р.2.1 ($\varphi = 52^{\circ}50'54''$, $\lambda = 143^{\circ}20'55''$) и легли в дрейф. Работы в дрейфе были описаны выше, здесь укажем координаты положения катера, характеризующие скорость течения: 9ч08м - $\varphi = 52^{\circ}50'58.3''$, $\lambda = 143^{\circ}20'57.6''$; 9ч11м - $\varphi = 52^{\circ}50'53''$, $\lambda = 143^{\circ}20'58.6''$; 9ч16мин - $\varphi = 52^{\circ}50'56''$, $\lambda = 143^{\circ}21'04.2''$. Перейдем к рассмотрению результатов акустических измерений. График $\hat{G}(f)$ на рис. 31а характеризует фоновые условия акустического эксперимента. Рис. 31b соответствует началу буксировки излучателя. В графике $\hat{G}(f)$ хорошо выражены пики мощности на частотах излучаемых акустических сигналов, которые по уровню превышают фон в среднем на 15 дБ. График $\hat{G}(f)$ на рис. 31с характеризует потери при распространении звука от точки р.1.1 до точки р.1. Рис. 31d и рис. 32a,b,c иллюстрируют особенности распространения на данной акватории звука с разными частотами. Здесь необходимо отметить, что излучатель буксировался со скоростью 10 км/час, а поскольку движение осуществлялось против течения, то скорость движения излучателя относительно воды была еще больше и поэтому

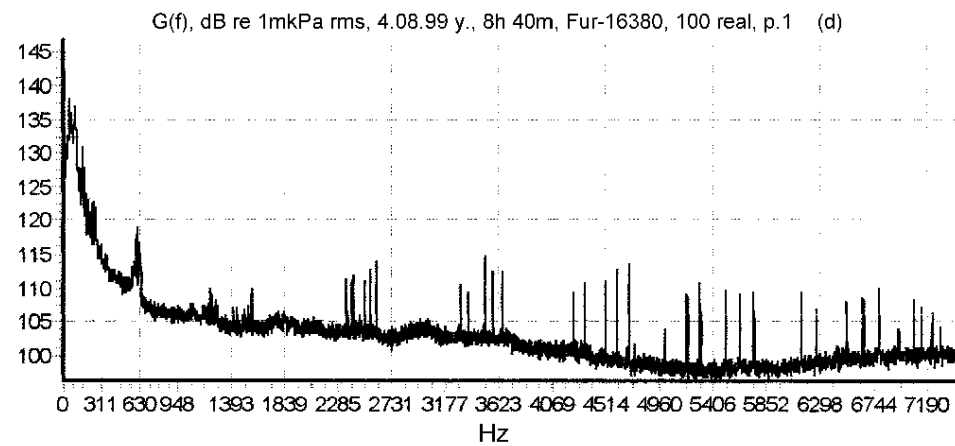
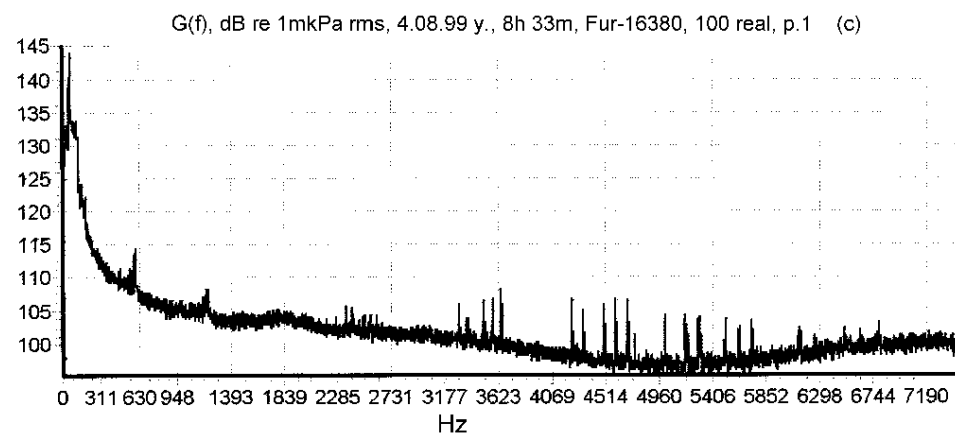
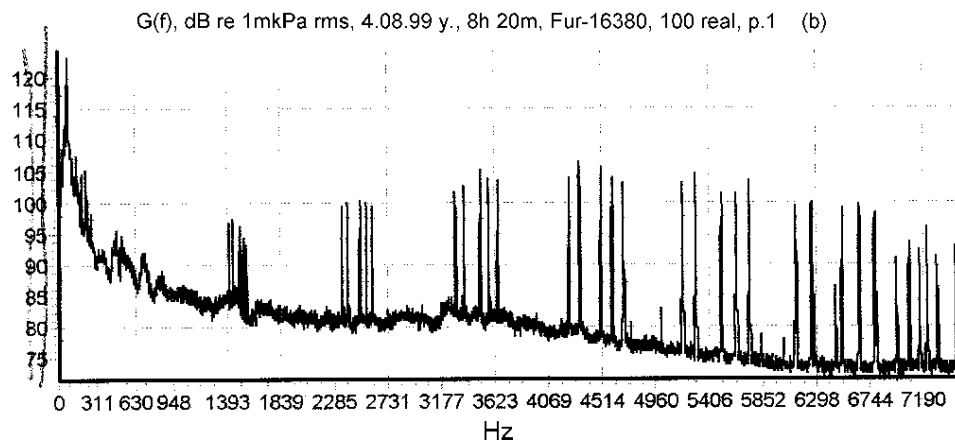
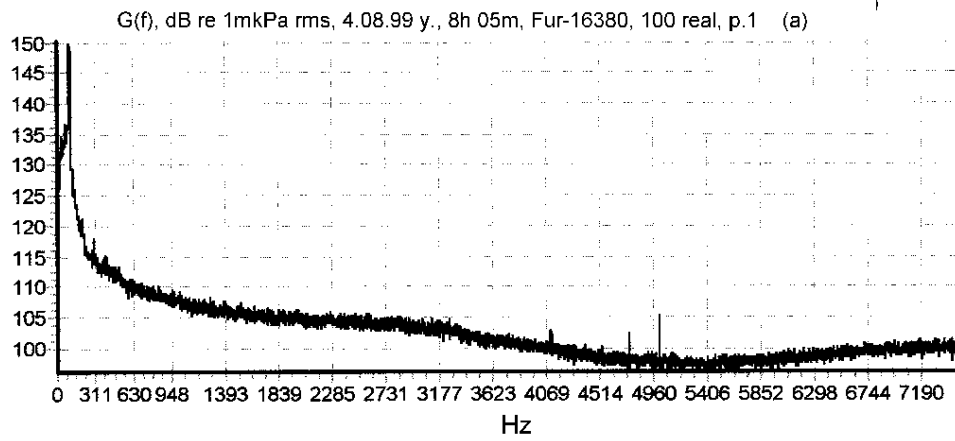


Рис. 31

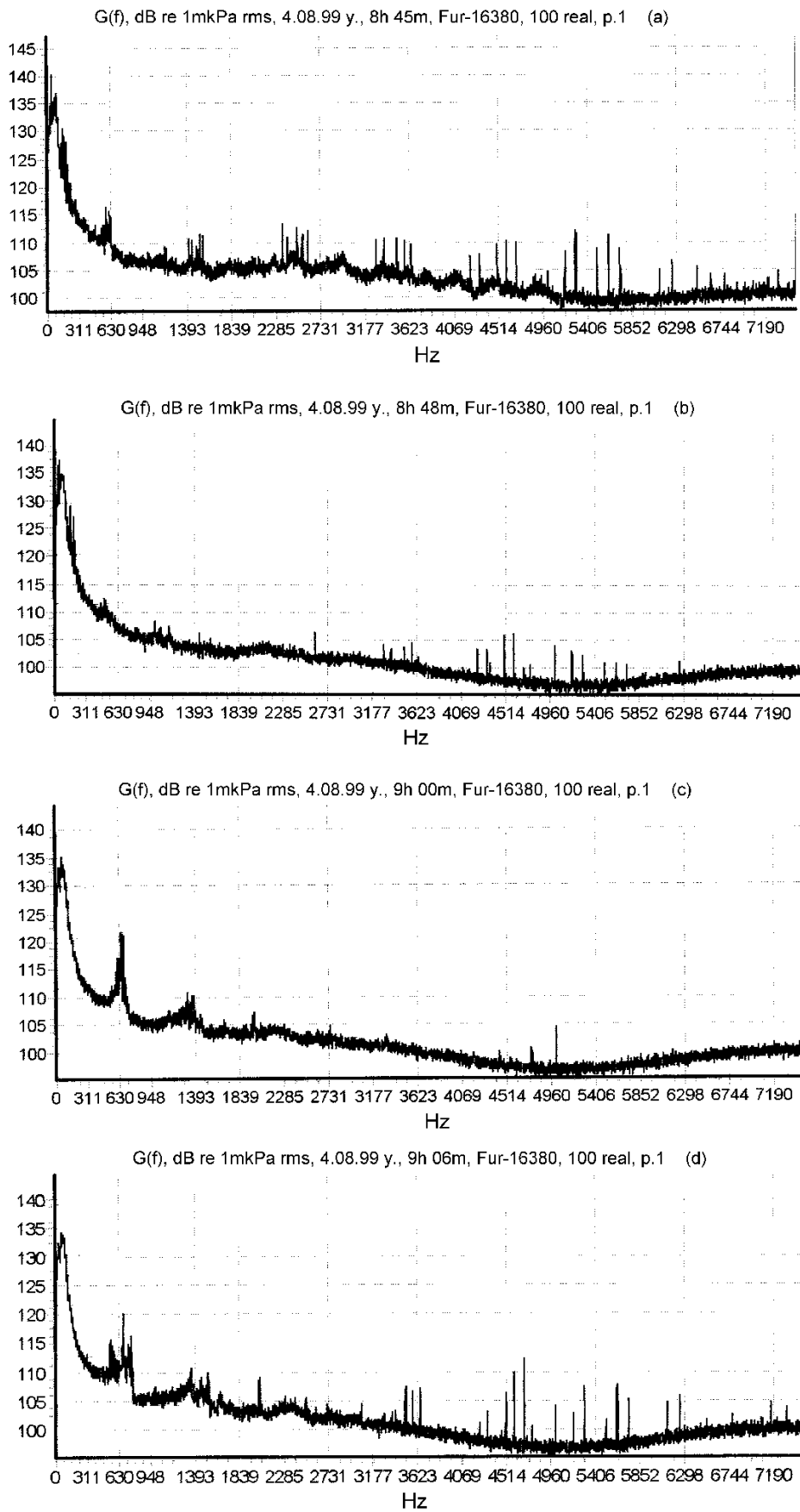


Рис. 32. Оценки спектров мощности акустического фона, измеренные в разные интервалы времени в точке р.1.

излучение осуществлялось практически с поверхности моря, поэтому, когда мы легли в дрейф опустили излучатель на дно вблизи токи р.2.1, уровни сигналов измеряемых в точке р.1 значительно выросли (см. рис.32d).

На рис. 33 приведены графики $\hat{G}(f)$ и функции квадрата когерентности $C_0^2(f)$ между акустическими сигналами, синхронно измеренными в точках р.1 и р.2. Значения $C_0^2(f)$ характеризуют линейную связь или уровень помех (если она априорно известна) между двумя сигналами на данной частоте. Согласно рис. 33b шумовой фон в диапазоне от 1 до 3 кГц разрушил линейные соотношения между сигналами принимаемыми в точках р.1 и р.2, т.е. их параметры приобрели свойства случайных величин из-за флуктуаций, вызываемых рефракцией и рассеянием на взволнованной поверхности моря, рельефе и акустических неоднородностях дна и водного слоя, но следует так же учитывать относительно невысокое отношение сигнала к уровню акустического фона в этом частотном диапазоне (см. рис. 33a).

6.4. Акустические сигналы морских животных

В разделе 6.1.1 мы приводили оценки спектров мощности акустического фона измеренного ночью 24 сентября вблизи платформы «Моликпак» во время скопления у точки р.4 группы морских животных, излучающих продолжительные серии акустических сигналов и отдельные крики, хорошо прослушиваемые и визуализируемые. Проведение визуальных наблюдений было невозможно, но предполагаем, что это была группа косаток. Например, в июле мы днем наблюдали косатку вблизи точки якорной стоянки АСС «Агат» (см. рис.8).

На рис. 34 приведены фрагменты записей акустического фона, проведенных ночью 24 сентября в точке р.4, и днем 4 августа у берега в районе скопления серых китов в точке р.1 (см. рис. 8). Из этого рисунка видно, что если данные МЖ обладают частотной избирательностью в восприятии звука, хотя бы подобной нашей АЧХ (см. рис. 3), то используемые ими акустические (по-

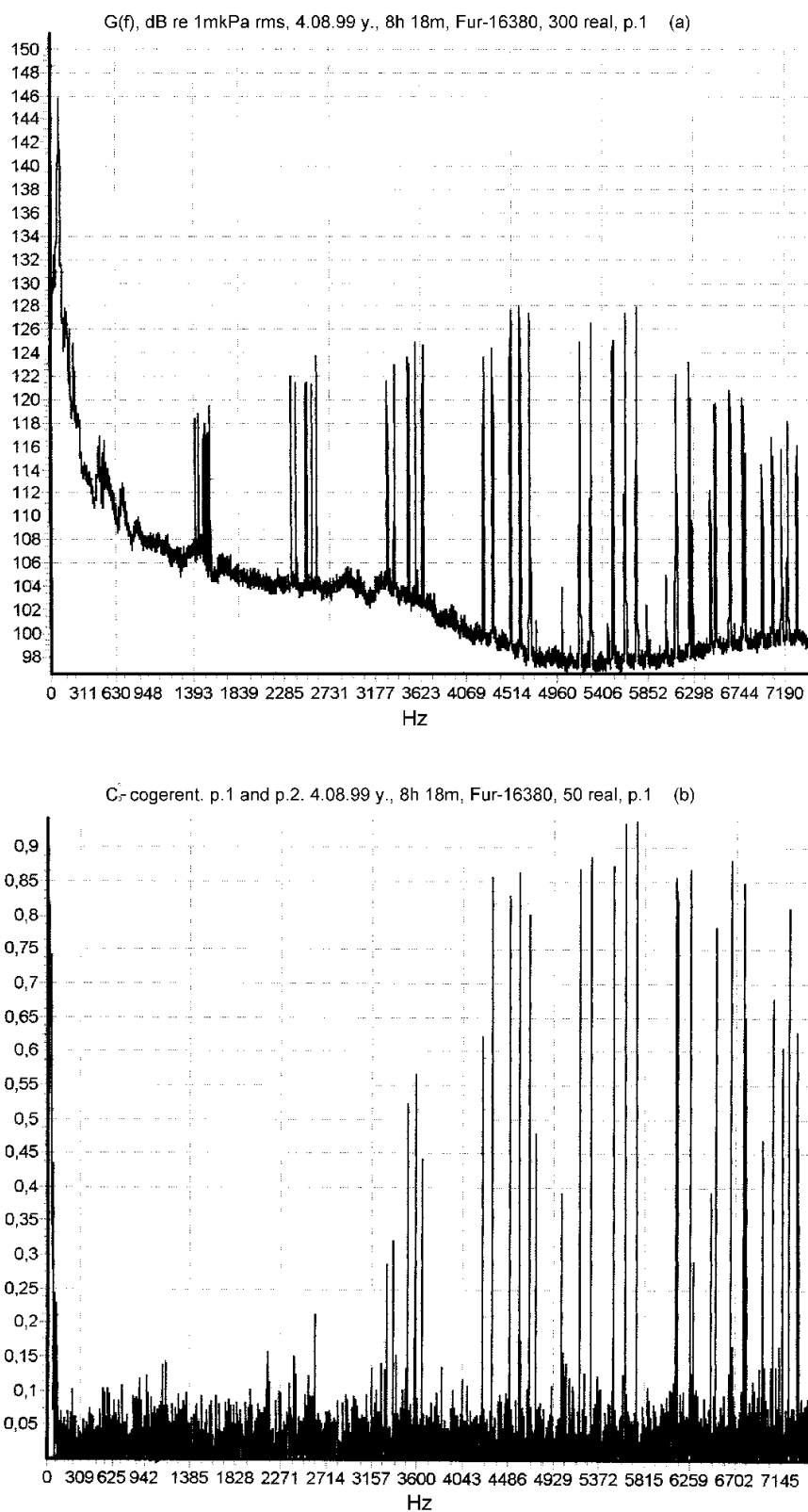
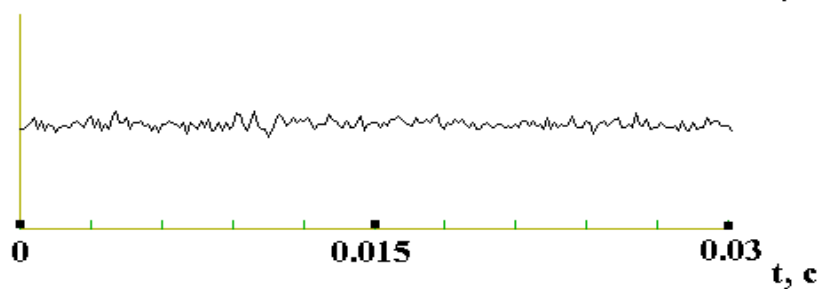
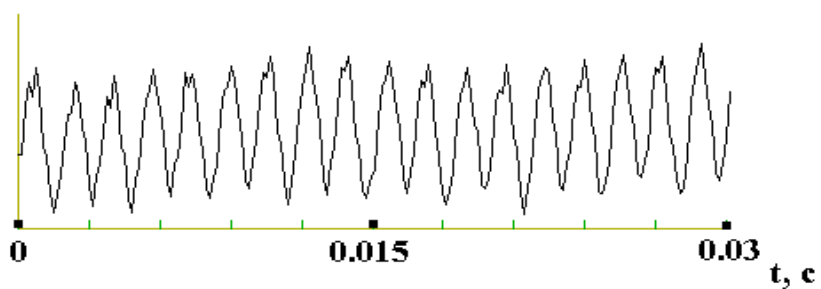
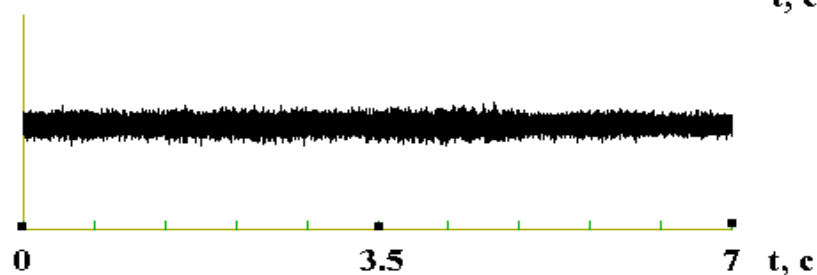
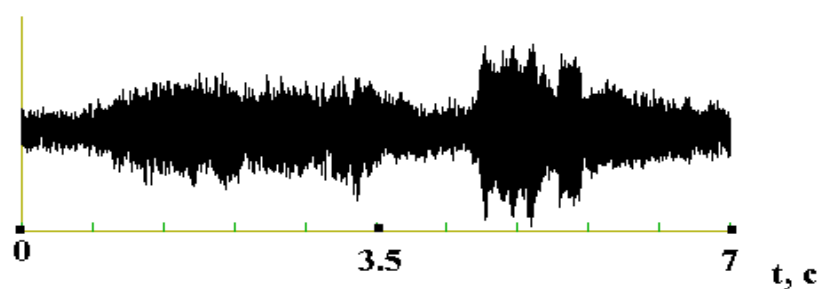


Рис. 33. Оценка спектра мощности акустического фона, измеренного 4.08.99 г. в точке p.1 (a). Функция квадрата когерентности C_0^2 между акустическими сигналами, синхронно измеренными в точках p.1 и p.2 (b).

A(t), p.4, 24 Septembr



p.1, 4 August

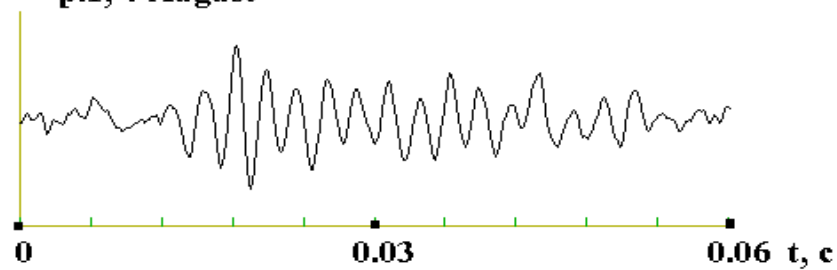


Рис. 34. Акустические сигналы морских животных записанные вблизи платформы «Моликпака» в точке p.4 и возле берега в точке p.1.

видимому, коммуникационные) сигналы значительно превышают уровень шумов в данном частотном диапазоне.

На рис. 35 представлены фрагменты синхронной записи акустического фона в точках p.1 и p.2 (см. рис. 8) в момент облучения обоих гидрофонов акустическими импульсами, генерируемыми серыми китами. В этом случае амплитуды импульсных сигналов не могут быть измерены, поскольку превышали допустимые динамическим диапазоном измерительных трактов уровни.

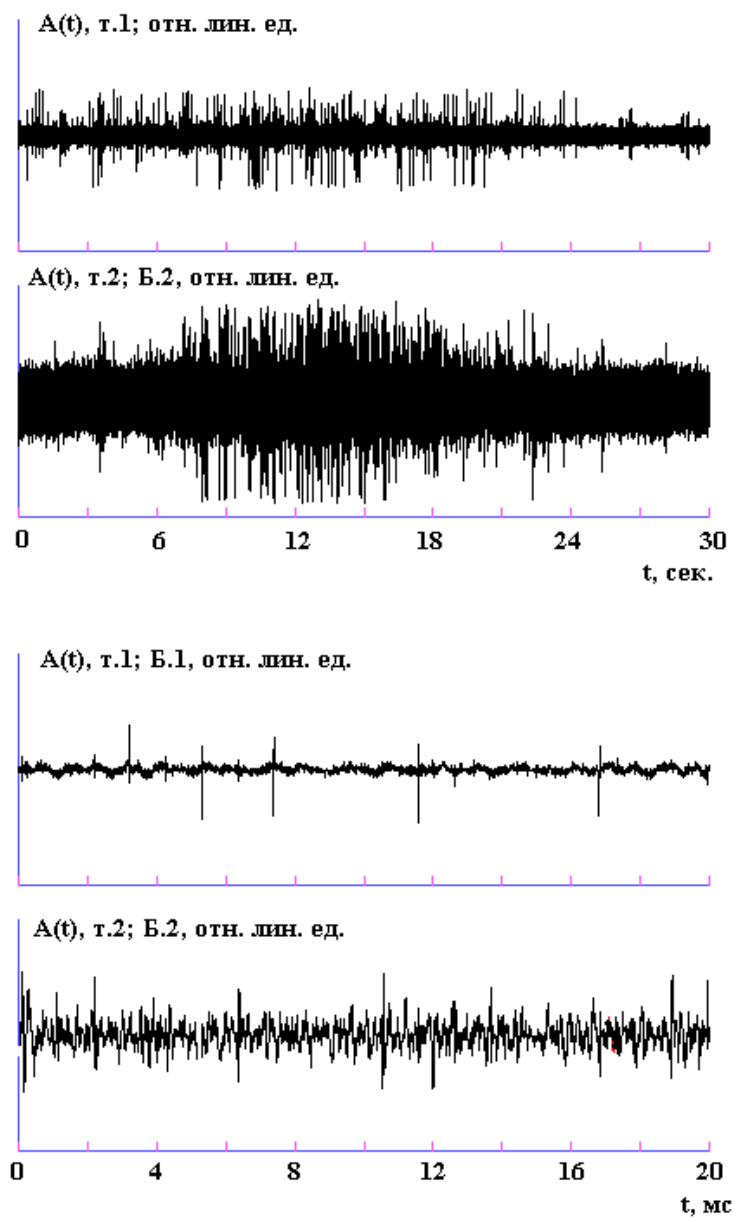


Рис. 35. Фрагменты синхронной записи акустического фона в точках р.1 и р.2 во время облучения гидрофонов акустическими сигналами, генерируемыми серыми китами.

Обсуждение

Исследования, проведенные в летне-осенний период, на северо-восточном шельфе Сахалина, позволили уточнить характер распределения серый китов охотско-корейской популяции и дать приблизительную оценку их численности в районах летнего нагула.

Суммируя результаты месячных наблюдений мы имеем довольно полную картину распределения морских млекопитающих в районах их летнего обитания. Исследования подтвердили сезонную привязанность серых китов к мелководным участкам шельфа (Wursug et.al. 1988; Weller, et.al. 1999). Как показали наблюдения за серыми китами в 1995г. на научно-исследовательском судне «Вулканолог» ДВО РАН летом примерно 36% серых китов были встречены на 5-10 м изобатах и 45% над глубинами в 11-20 метров (Соболевский, 1998). В 1999г. характер распределения китов на шельфе практически остался прежним. На изобатах до 10м был встречен 121 кит (38%), а на 11-20 метровых изобатах 167 (53%). На участках шельфа глубже 50м серые киты в августе-ноябре не были обнаружены.

Таким образом, проведенный анализ показал, что встречаемость серых китов в основном связана с мелководными участками шельфа, которые являются их основными районами нагула. Вероятно, мелководный шельф наиболее доступен в кормовом отношении для китов. Известно, что серые киты – типичные бентофаги (Mizue, 1951; Томилин, 1957; Pike, 1962; Зимущко, Ленская, 1970). Исследования видового состава макробентоса выполненные в 1995г. на НИС «Вулканолог» в местах интенсивного питания серых китов у северо-восточного Сахалина, показали, что самым массовым и обильным кормом для китов по видовому составу будут амфиподы (34 вида) с преобладанием *Pontoporeia affinis*, *Anisogammarus pugettensis* и *Eoaustozius eous ceous*. Из других ракообразных местами в достаточно больших количествах встречались изоподы – *Synidotea cinerea*, *Saduria entomon* и двустворчатые моллюски – *Siliqua alta* и *Spisula voyi*. Что касается обитателей дна, то из представителей макробентоса в районе

Пильтуна встречаются пятиугольный волосатый краб *Telmessus cheiragonus* семейства *Atelecyclidae*. На глубине 20м амфипод и креветок становится меньше, двухстворчатые моллюски не были встречены, количество изопод резко уменьшилось и преобладал морской таракан *S. entomon* (Соболевский и др., в печати).

По данным количественных водолазных сборов, которые выполнялись сотрудниками Института биологии моря (Ю.Яковлев и В.Панченко) биомасса макробентоса была наибольшей на глубинах 7м (427 г/м^2). Здесь преобладали двустворчатые моллюски (308 г/м^2 при общей биомассе 427 г/м^2).

На глубине 12м, где проводились водолазные сборы среди кормящихся китов, биомасса бентоса была значительно меньше и колебалась от 85 до 137 г/м^2 (Соболевский и др., в печати).

На шельфе северо-восточного Сахалина важная роль в питании серых китов несомненно принадлежит амфиподам. Амфиподы играют также важную роль и в питании серых китов в Беринговом море (Blokhin, Pavluchkov, 1983; Соколов, Арсеньев, 1994).

Как показали исследования, летний нагул серых китов охотско-корейской популяции проходит на отдельных локальных участках напротив залива Пильтун и на довольно ограниченной площади. Серые киты предпочитают кормиться на 7-12м изобатах. Эти участки шельфа наиболее богаты в кормовом отношении, по сравнению с остальными глубинами (Соболевский и др., в печати).

Известно, что суточная потребность в корме серых китов составляет примерно 1000-1200 кг (Зимушко, Ленская, 1970; Brodie, 1975), а его разовая потребность составляет 200-300 кг (Rice, Wolman, 1971).

При низкой биомассе бентоса на Пильтуне серые киты должны кормиться на участках шельфа, где имеется наибольшая биомасса корма. Такими участками в районе Пильтуна вероятнее всего будут районы отмеченные на карте (рис. 2.14). Именно в этих местах мы наблюдали в летний период наибольшее число серых китов. В осенний период (сентябрь-октябрь) серые киты так же отдают предпочтение мелководному шельфу. Однако, в поисках богатых в кормовом

отношении участков, серые киты совершают местные миграции вдоль побережья на север за 53° с.ш.. Одной из причин таких миграций по-видимому является истощение кормовой базы в районе Пильтуна и снижение биомассы бентоса в конце лета из-за интенсивного его выедания китами.

В настоящее время неравномерное освоение шельфа китами создает повышенные нагрузки на мелководные участки, что в дальнейшем приведет к снижению запасов бентоса в этих районах (Соболевский, 1998). Последнее обстоятельство заставит серых китов совершать более активные миграции вдоль побережья Сахалина, искать новые кормовые районы и осваивать более глубоководные районы шельфа. В данное время эта проблема не стоит так остро, в связи с низкой численностью охотско-корейской популяции, однако с увеличением численности китов она возникнет.

Анализируя встречаемость серых китов при авиаучетах по различным месяцам и опираясь на предварительные расчеты, мы полагаем, что современная численность китов в районе Пильтуна составляет не более 100 особей. Это примерно в 2-2,5 раза меньше, чем приводит данные по численности Владимиров (1994). По его оценке численность охотско-корейской популяции может достигать до 200-250 особей. Если согласится с оценками выше названного автора, то в связи с тем, что район летнего нагула серых китов довольно ограничен по площади, при учетных работах с вертолета, мы были должны наблюдать значительно большее число китов. В действительности максимальная численность встреченных китов в августе в районе нагула составила 47 особей. В остальные учетные дни она была меньше. Приведенная в прежних работах (Берзин и др., 1986; Владимиров, 1993) численность серых китов вероятно завышена и не соответствует действительной.

Нельзя согласиться так же с мнением ряда исследователей в том, что киты охотско-корейской популяции покидают район Пильтуна в октябре. Наблюдения с вертолета 18 и 20 ноября показали, что в районе Пильтуна остается еще много серых китов. За два дня мы встретили 21 кита, причем погодные условия были

довольно сложными для проведения учета, поэтому часть китов осталась не учтенной.

Нам хотелось бы обсудить вопрос об осенних миграциях китов. Существует устоявшееся мнение (Соколов, Арсеньев, 1994; Владимиров, 1993), что осенние миграции серых китов проходят вдоль побережья о.Сахалина и через пролив Лаперузу киты попадают в Японское море. Если придерживаться данной миграционной схемы, то в октябре-ноябре мы обязательно должны были наблюдать серых китов на их миграционных путях. Киты должны были встречаться южнее 52°30' с.ш. В действительности в сентябре-ноябре мы не встретили ни одного мигрирующего кита на юг вдоль побережья о.Сахалина. Наоборот, в эти месяцы, особенно в сентябре четко прослеживались миграции китов на север за 53° с.ш. Вероятно, это были кормовые миграции, связанные с поиском благоприятных в кормовом отношении районов. Однако, можно предположить, что в дальнейшем миграционные пути китов возможно проходят на значительном удалении от побережья Сахалина. В настоящее время мы не знаем их. Можно допустить, что часть китов огибает о.Сахалин с севера в районе мыса Елизаветы и через Сахалинский залив проходит мелководным Амурским лиманом в Татарский пролив, попадая таким путем в Японское море. Это только предположение и мы высказываем его, в связи с тем, что в конце августа в Сахалинском заливе (район Москальво) наблюдали серого кита.

Результаты учетных работ в ноябре и анализ ледовой обстановки в 1999г. позволяют предположить, что часть серых китов в декабре по-прежнему будет находиться на шельфе северо-восточного Сахалина. Киты, вероятно, покинут шельф к середине декабря, когда начнется активный процесс образования льда. В принципе в аналогичных условиях проходит и миграция серых китов калифорнийско-чукотской популяции из Берингова моря. Серых китов мы наблюдали в районах летнего нагула в Беринговом море в конце ноября при проведении ихтиологических работ. В настоящее время охотско-корейская популяция серых китов, которая была на грани истребления (Rice, Wolman, 1971; Соколов и др., 1974; Берзин, Яблоков, 1978) постепенно восстанавливает

численность и вполне возможно, что в недалеком будущем мы станем свидетелями расширения нагульного ареала серых китов в Охотском море.

Как показали результаты учета самым массовым видом среди тюленей в летний период является ларга. Распределение ларги на шельфе северо-восточного Сахалина в летне-осенний период во многом сходно с ее распределением в других районах дальневосточных морей. Летом тюлени предпочитают находиться в защищенных бухтах и на тех участках шельфа, где имеется возможность с наименьшими энергетическими затратами добывать корм. Наличие корма в летний период для рыбоядных тюленей, какой является ларга, будет играть важную роль в характере распределения. Залив Пильтун, обладающий достаточно высокой биомассой рыб и видовым разнообразием ихтиоценоза (34 вида рыб), является достаточно привлекательным местом для летнего обитания тюленей. При этом, даже постоянное беспокойство со стороны работников маяка и местных охотников-нивхов, которые ведут отстрел тюленей из ружей, не может вытеснить тюленей из Пильтунского залива.

Примерно аналогичная ситуация наблюдается в заливах Чайво и Ныйский. Фактор беспокойства, а в ряде случаев и отстрела тюленей является довольно обычным в летне-осенний период. В этой связи значительная часть тюленей вынуждена держаться в устьевой части заливов и вдоль побережья в местах менее доступных для местного населения.

В период хода лососей распределение тюленей вдоль побережья претерпевает серьезные изменения. Тюлени покидают открытые районы шельфа и сосредотачиваются вблизи нерестовых рек и в устьях заливов. Здесь образуют довольно многочисленные залежки и временные лежбища.

Такое распределение тюленей характерно для шельфа северо-восточного Сахалина, в частности для заливов Пильтун, Чайво, Ныйский и Луньский. Именно в этих заливах и рядом с ними скапливается в июле-сентябре основная масса ларги. По нашим расчетам в период хода лососей в заливах Пильтун, Чайво и Ныйский численность тюленей в отдельные периоды достигает 3-4 тысяч особей.

Вероятно эта численность и является реальной в исследуемом районе северо-восточного шельфа.

Довольно редкие встречи других тюленей – лахтака, акибы, крылатки, северного морского котика и сивуча свидетельствуют о малой пригодности Пильтунского района для их обитания в летний период. Связано это с тем, что лахтак и акиба не имеют здесь хорошей кормовой базы. Спектр питания этих тюленей значительно отличается от спектра ларги. Лахтак отдает предпочтение бентосным организмам, а акиба – крупному зоопланктону. Сильные приливно-отливные течения в районе заливов и песчаные грунты значительно снижают биомассу многих беспозвоночных, которые являются важным кормом в питании этих тюленей. Морская выдра или калан *Enhydra lutra* не были встречены в период летних работ. Теоретически они могут здесь быть, поскольку случаи встреч каланов мы наблюдали к северо-западу от Сахалина в районе Шантарских островов (Соболевский, 1999). Несколько настораживает отсутствие дельфинов – короткоголового и белокрылой морской свиньи в летне-осенний период 1999г. В прежние годы мы наблюдали дельфинов в районе Луньского залива. Вполне возможно, что отсутствие дельфинов связано в первую очередь с резким возрастанием биомассы мелких стайных рыб и кальмаров в заливах Анива и Терпения. Как известно, косяки мелких стайных рыб являются основным кормом в нагульный период для многих дельфинов (Слепцов, 1961). Наличие кормовых полей на юге Сахалина вероятно значительно сократило летние миграционные пути дельфинов на север вдоль Сахалина, поэтому мы перестали их наблюдать в районе Пильтуна.

На данном этапе (29 февраля 2000 г.) мы представляем первый, черновой вариант научного отчета по разделу проекта «НААЕР» – результаты акустических исследований. В данном отчете мы подробно представили методику, техническое и программное обеспечение накопления, визуализации и статистического – спектрального анализа натурных данных. Особое внимание уделено особенностям цифрового спектрального анализа (см. раздел 5), нормировке и коррекции представляемых в отчете акустических данных. Применяемые программы

количественного цифрового спектрального анализа проверены на тестовых шумовых и тональных электрических сигналах, вводимых в ЭВМ через АЦП. В отчете приведен краткий обзор известных акустических работ с целью введения не специалиста в круг проблем связанных с особенностями распространения звука в мелком море, шумовых полей, генерируемых естественными (ветер, поверхностные волны и т.п.) и искусственными (например корабль) источниками, важной роли дна и акустомеханических свойств слагающих его пород.

Мы постарались показать методы и подходы, которыми мы будем пользоваться в дальнейшем при более тщательном анализе, полученных данных. В частности, предстоит исследовать и идентифицировать спектры кораблей, которые осуществляли движение вблизи платформы «Моликпак» во время акустических измерений. Выявить тональные и шумовые источники, работающие на «Моликпаке», разобраться с тональным сигналом имеющим частоту равную, примерно 26 Гц и регистрируемым как возле «Моликпака», так и в мелководной части шельфа в районе скопления серых китов. Более тщательно исследовать потери при распространении звука в прибрежной части шельфа. С учетом пожеланий W.J. Richardson разработана программа, позволяющая представить спектр акустического фона в третьоктавных полосах. К сожалению, мы не успели ею воспользоваться и поэтому приведем обработанные с ее помощью спектры в заключительном отчете.

Выводы

1. На шельфе северо-восточного Сахалина в летне-осенний период можно наблюдать 7-8 видов морских млекопитающих. Доминирующими видами являются серый кит и ларга. Из крупных дельфинов периодически отмечается косатка. Среди тюленей довольно обычны кольчатая нерпа и морской заяц,

однако они не образуют скоплений и летом рассредоточены вдоль побережья. Представители семейства ушастых тюленей (Otariidae) северный морской котик и сивуч заходят в данный район как правило в единичных экземплярах. В последние годы крайне редки стали встречи белокрылой морской свиньи и короткоголового дельфина.

2. Основным районом летнего нагула серых китов остается по-прежнему прибрежная акватория моря напротив залива Пильтун. Серые киты отдают предпочтение мелководным участкам шельфа с глубинами от 6 до 15м. На этих изобатах наблюдали основную массу китов .
3. Характер распределения серых китов в районах летнего нагула имеет довольно существенные различия. Большая часть серых китов нагуливается севернее входа в залив Пильтун и только незначительное число китов можно встретить южнее Пильтунского залива. На всем протяжении шельфа киты крайне редко встречаются за 20м изобатами и практически отсутствуют над глубинами более 50м.
4. В период нагула серые киты не образуют плотных скоплений и держатся довольно рассредоточенно вдоль побережья. В июле-августе излюбленными участками для нагула остается акватория вблизи входа в залив Пильтун и мелководные участки шельфа к северу до 53° с.ш. В сентябре-октябре наблюдаются активные миграции китов вдоль шельфа севернее 53° с.ш.. Этот район является основным местом осеннего нагула китов.
5. Поведение серых китов в районе Пильтуна остается обычным и не вызывает беспокойства. За последние 5 лет нам не известны случаи гибели или выброса на побережье северо-восточного Сахалина мертвых китов. В тоже время вызывает беспокойство и остаются не ясными причины, по которым серые киты практически прекратили нагуливаться южнее Пильтунского залива.
6. Степень обеспеченности (доступности) кормом серых китов на северо-восточном шельфе Сахалина довольно не однозначна. В кормовом отношении наибольшая роль принадлежит мелководным участкам шельфа с глубинами 7-12 (460 г/м²). Более глубоководный шельф имеет значительно меньшую

биомассу кормовых объектов, которые могут быть использованы китами (110 г/м²). Видимо это обстоятельство заставляет китов проводить большую часть времени на мелководном шельфе.

7. Общая численность серых китов на шельфе северо-восточного Сахалина в нагульный период не превышает 100 особей. Это примерно в 2-2,5 раза меньше, чем приводятся цифры в публикациях сотрудников ТИНРО.
8. Осенние миграции серых китов из района Пильтуна вероятно заканчиваются в декабре. Во второй половине ноября значительная часть китов продолжает оставаться на шельфе северо-восточного Сахалина в районах летнего нагула. Поведение серых китов на завершающем этапе нагула (ноябрь) становится очень скрытным, киты подолгу занывают и их бывает трудно заметить на поверхности.
9. Исследования береговой полосы с вертолета на высоте 150м показали не целесообразность проведения учета тюленей на плаву. В тоже время такие полеты оказались крайне полезными и необходимыми для фотографирования тюленей на лежбищах и временных залежках с последующим определении их численности на фотоснимках. В летний период на береговых лежбищах преобладает рыбоядный тюлень-ларга, другие виды - кольчатая нерпа и морской заяц составляют не более 10% от численности ларги.
10. Распределение тюленей на северо-восточном шельфе Сахалина в летне-осенний период во многом зависит от состояния кормовой базы и наличия защищенных бухт и заливов. В начале лета тюлени рассредотачиваются вдоль береговой полосы и не образуют крупных скоплений в устьях заливов. В самих заливах в это время тюлени распределяются довольно равномерно и в основном держатся в устьевой части на довольно обширной акватории. Разнообразие ихтиофауны и достаточно высокая биомасса рыб (навага, кунджа, корюшки, лососи и др.) в устьевой части заливов создают благоприятные условия для добычи корма и позволяют тюленям избегать жесткой внутривидовой конкуренции в течении всего лета.

11. В период подхода лососей к берегам Сахалина тюлени как правило образуют залежки в устьях заливов и на песчаных косах. Облеты с вертолета выявили крупные скопления тюленей в заливах Чайво, Ныйский и Пильтун. Наибольшая численность тюленей отмечена в заливе Чайво (более 2000 особей), значительно меньше в заливах Пильтун (более 500) и Ныйский (более 150). Общая численность тюленей в районе исследований на шельфе северо-восточного Сахалина в летней период оценивается примерно в 3-4 тыс. особей.
12. Индустриальные акустические сигналы с частотами выше 1 кГц, генерируемые вблизи «Маликпака» и распространяющиеся в мелководную часть шельфа, в летних гидрологических условиях на расстоянии 30 км уже не создают заметного по уровню акустического фона.
13. В районе летнего нагула серых китов практически постоянно наблюдаются относительно узкополосные акустические сигналы индустриального происхождения на инфранизких и низких частотах.
14. Коммуникационные и импульсные сигналы, генерируемые морскими животными по уровню значительно превышают акустический фон в используемом ими диапазоне частот.

Литература

- Акустика морских осадков. 1974 / Под ред. Н.Л. Хэмптона. М.: "Мир". 498с.
- Берзин А.А., Владимиров В.Л., Дорошенко Н.В. 1986. Результаты авиаучетных работ по изучению распределения и численности китообразных в Охотском море в 1979-85гг.//Научно-исслед. работы по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1984-85гг. М., с.18-28.
- Берзин А.А., Владимиров В.Л. 1996. Антропогенное воздействие на китов Охотского моря. Известия ТИНРО. т № 121. с. 4-8.
- Берзин А.А., Яблоков А.В. 1978. Численность и популяционная структура основных эксплуатируемых видов китообразных Мирового океана.// Зоол. журн. Т.57. Вып. 12. С.1771-1785.
- Блохин С.А. 1996. Распределение, численность и поведение серых китов (*Eschrichtius robustus*) американской и азиатской популяций в районах их летнего распределения у берегов Дальнего Востока. Известия ТИНРО. т 121. с. 36-53
- Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. 1982. Теоретические основы акустики океана. // Л.: Гидрометеиздат. 264с.
- Беспалов Л.А., Державин А.М., Кудрявцев О.В., Семенов А.Г. 1998. Оценка влияния подстилающих слоев дна на сейсмоакустическое поле низкочастотного источника в зоне океанического шельфа // Сб. труд. школы-семинара акад. Л.М. Бреховских / М.: ГЕОС. С.104-108.
- Владимиров В.Л. 1993. Современное распределение, численность и популяционная структура китов дальневосточных морей.// Дис. канд. биол. наук. Владивосток, 28 с.
- Владимиров В.Л. 1994. Современное распределение и численность китов в дальневосточных морях//Биология моря. т.20, N1, с.3-13.
- Енсена Ф.Б., Купермана У.А. 1985. Детерминированные модели распространения звука // Подводная акустика и обработка сигналов. М.: «Мир». С. 125-134.

- Земский В.А. 1974. Основные черты распределения морских млекопитающих в Мировом океане.// Зоология позвоночных т.6. Морские млекопитающие. М., с.21-39.
- Зимушко В.В., Ленская С.А. 1970. О питании серого кита (*Eschrichtius gibbosus* Erxl.) на местах нагула // Экология. N 3. С.26-35.
- Косыгин Г.М., Трухин А.М., Бурканов В.Н., Махнырь А.И. 1986. Лежбища ларги на берегах Охотского моря. Научно-исслед. работы по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1984-85 гг. с. 60-70
- Крушинская Н.Л. 1974. Поведение морских млекопитающих. //Зоология позвоночных. т.6. Морские млекопитающие. М., с.40-86.
- Кацнельсон Б.Г., Петников В.Г. 1997. Акустика мелкого моря//М.: "Наука". 189 с.
- Кравцов Ю.А., Кузькин В.М., Петников В.Г. 1988. О различимости лучей и мод в идеальном волноводе // Акуст. журн. Т. 34. № 4. С.674-678.
- Слепцов М.М. 1961. Наблюдения над мелкими китообразными в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана//Китообразные дальневосточных морей. Изд. АН СССР. вып.34. М. с.136-143.
- Соболевский Е.И. 1983 Морские млекопитающие Охотского моря, их распределение, численность и роль, как потребителей морских животных. Биология моря. № 5. С. 13-20
- Соболевский Е.И. 1988 Популяционная морфология ластоногих. М.: Наука.. 216 с.
- Соболевский Е.И. 1998 Наблюдения за поведением серых китов (*Eschrichtius gibbosus* Erxl. 1777) на шельфе северо-восточного Сахалина. //Экология.. № 2. С. 121-126.
- Соболевский Е.И. 1999. Летнее распределение тюленей в районе Шантарских островов//Экология. N3. с.234-237.
- Соболевский Е.И., Яковлев Ю.М., Кусакин О.Г. 1999. Некоторые данные по составу макробентоса на кормовых участках серого кита (*Eschrichtius gibbosus* Erxl., 1777) на шельфе северо-восточного Сахалина (статья принята в печать в журнал «Экология»).

- Соколов В.Е., Арсеньев В.А. 1994 Млекопитающие России и сопредельных регионов. Усатые киты. М.: Наука, 208 с.
- Соколов В.Е., Томилин А.Г., Яблоков А.В. 1974 О необходимости восстановления численности промысловых видов китообразных в Мировом океане.// Зоология позвоночных. т.6. Морские млекопитающие. М., с.9-20.
- Томилин А.Г. 1957 Китообразные. Звери СССР и прилежащих стран. т.9. М.: Изд-во АН СССР. 756 с.
- Федосеев Г.А. 1970. Распределение и численность тюленей у о-ва Сахалин//Известия ТИНРО. т.71, с.319-324.
- Федосеев Г.А., Гольцев В.Н., Косыгин Г.А. 1970. Аэровизуальный учет тюленей на ценных залежках в Охотском море//Известия ТИНРО. т.70. с.107-113.
- Шилов И.А. 1977 Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных. М.: Изд-во МГУ, 260 с.
- Blokhin S.A., Pavlyuchkov V.A. 1983. Feeding of Gray whales off Chukotka // Rep.Int.Whal.Commn. 33. P.549-552.
- Brodie P.F. 1975. Cetacean energetics: An overview of intraspecific size variation // Ecology. V.56. N 1. P.152-161.
- Brownell, R.L., Jr., Blokhin S.A., Burdin A.M., Berzin A.A., LeDuc R.G., Pitman R.L, and Minakuchi. 1997. Observations on Okhotsk-Korean gray whales on their feeding ground off Sakhalin Island. Report of the International Whaling Commission 47: 161-162
- Biot M. 1956. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid // Ibid. V. 62(3), P.1129-1135.
- Mate D.R., Harvey J.T. 1984. Ocean movements of radio-tagged gray whales // The gray whale *Eschrichtius robustus*. N.Y.: Acad.press, p.577-590.
- Marple S.L. 1987. Digital spectral analysis with applications // М.: «МИП». 1990. 584с.
- Miller J.F., Wolf S.N. 1980. Modal acoustic transmission loss (MOATL): A transmission-loss computer program using a normal - mode model of the acoustic field in the ocean // Naval research laboratory. Washington. 58 p.

- Mizue K. 1951. Gray whales in the east sea area of Korea // Sci. Rep. Whal. Res. Inst. N 5. P.71-79.
- Piggott C.L. 1965. Ambient sea noise at low frequencies in shallow water of the Scotian shelf // JASA. V. 36. P.2152.
- Pike G.C. 1962 Migration and feeding of the gray whale (*Eschrichtius robustus*)// J. Fish. Res. Bd Can.. V.19. P.815-838.
- Rice D.W., Wolman A.A. 1971 The life history and ecology of the gray whale (*Eschrichtius robustus*)// Spec. Publ. Amer. Soc. Mammal. № 3.142 p
- Teer C.A. 1949. Informal Report (British), Underwater Detection Establishment.
- Urik R.J. 1975. Principles of underwater sound // Ленинград: «Судостроение». 1978. 445с.
- Weller D.W., Wiizsig B., Bradford A.L., Burdin A.M., Blokhin S.A., Minakuchi H., Brownell R.L. Jr. 1999. Gray Whales (*Eschrichtius robustus*) off Sakhalin island, Russia: Seasonal and annual patterns of occurrence//Marine mammal science, 15(4). P.1208-1227.
- Wursig B., Dousey E.M., Fraker M.A. et al. 1986. Behavior of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, summering in the Blaufort sea: A summary // Rep.Intern.Whal. Commiss. Spec. Iss. 6.p. 167-175.
- Wursig, B., Weller D.W., Burdin, A.M., Blokhin S.A., Reeve S.H., Bradford A.L., and Brownell R.L. Jr. 1998. Gray Whales Summering Off Sakhalin Island, Far East Russia: July-October 1997. A Joint U.S. - Russian Scientific Investigation. Report by Texas A and M Research Foundation, College Station, TX, and Kamchatka Institute of Ecology and Nature Management, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia, for Sakhalin Energy Investment Company, Houston, TX and Exxon Neftegas, Moscow

Благодарности

В заключении отчета нам хотелось бы выразить глубокую признательность за финансовую поддержку работ компаниям Сахалин Энерджи и Эксон Нефтегаз. Мы благодарим всех участников Гавайской встречи SRAC от 4 декабря 1999г. за ценные замечания и советы, которые были сделаны в ходе обсуждения предварительных результатов исследований морских млекопитающих на шельфе северо-восточного Сахалина. Особо хотелось бы отметить помощь Джеймса Робинсона и Нэнси Кралик, их постоянную поддержку в преодолении бумажного бюрократизма и за содействие в скорейшем продвижении деловых бумаг.

Мы глубоко признательны экипажу вертолета МИ-8 и его командиру Глазкову А.Н. за большую помощь в проведении учетных работ по морским млекопитающим.

В заключении хотим выразить благодарность инженеру Масленникову Е.А, за участие в натурных измерениях, Бугаевой Л.К. за консультации при проведении численного эксперимента – распространение звука вдоль трассы «Моликпак-Пильтун» и членам экипажа судна «Агат» за гостеприимство и помощь в проведении акустико-гидрофизических исследований на акватории «Моликпака».