Тихоокеанский океанологический институт
им. В. И. Ильичева
Дальневосточное отделение Российской Академии наук

Результаты акустических исследований, проведенных на акваториях между платформой Моликпак и заливом Пильтун, и прилегающей к заливу Чайво

12 - 23 сентября 2002 г.

о. Сахалин, Российская Федерация

С.В. Борисов
А.В. Гриценко
М.В. Круглов
Р.А. Коротченко
А.Н. Рутенко

Подготовлено для компаний
Эксон Нефтегаз Лимитед
и
Сахалин Энерджи Инвестмент Компани,

Южно-Сахалинск, о. Сахалин,
Российская Федерация

31 июля 2003 г.

Содержание

СПИСОК РИСУНКОВ II
СПИСОК ТАБЛИЦ VII
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ VIII
1 ВВЕДЕНИЕ 1
1.1 Задачи программы акустических исследований 1
1.2 Стратегия и методология исследований 2
1.3 Используемая в отчете терминология и алгоритмы 11
1.4 Единицы измерения 11
2 АППАРАТУРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 13
2.1 Гидроакустические буи 13
2.2 Аналоговый радиогидроакустический буй 13
2.3 Цифровой радиогидроакустический буй 17
2.4 Хранение и обработка данных 23
2.5 Низкочастотный (НЧ) электромагнитный резонансный излучатель 26
2.6 Программное обеспечение для анализа акустических данных 27
2.7 Калибровка цифровых и аналоговых буев и анализ погрешности совместной калибровки (кросс-калибровка) 30
3 АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ АКВАТОРИИ ПИЛЬТУН-МОЛИКПАК И ЮЖНОЙ ЧАСТИ АКВАТОРИИ ОДОПТУ 31
3.1 Анализ акустических данных для акватории Пильтун-Моликпак 31
3.2 Анализ измерений фонового шума в точке а.0 59
4 АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ АКВАТОРИИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ЗАЛИВУ ЧАЙВО 68
5 ВЫВОДЫ 98
6 ПЛАНЫ НА БУДУЩЕЕ 99
7 БЛАГОДАРНОСТИ 101
8 АВТОРЫ 101
9 БИБЛИОГРАФИЯ 101
ПРИЛОЖЕНИЕ А - СВИДЕТЕЛЬСТВА КАЛИБРОВКИ 103
ПРИЛОЖЕНИЕ В - РЕЗУЛЬТАТЫ ВЗАИМНОЙ КАЛИБРОВКИ 127
ПРИЛОЖЕНИЕ С - МЕТОДИКИ НОРМИРОВКИ И АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ 136

Список рисунков

Рисунок 1.1. Нефтедобывающий комплекс Витязь.

Рисунок 1.2. Постановка в море аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев с использованием шлюпки.

Рисунок 1.3. Буксир *Триас.*

Рисунок 1.4. Буксир *Смит Сибу* и плавучее нефтехранилище *Оха.*

Рисунок 1.5. Буксир *Смит Сахалин* и самоподъемная буровая установка *Оха* вблизи платформы Моликпак.

Рисунок 1.6. Судно *Чара* (на заднем плане) и залив Пильтун (на переднем плане).

Рисунок 1.7. Самоходная баржа, применяемая для выгрузки припасов с судна *Чара* в заливе Пильтун.

Рисунок 1.8. Бульдозер, перевозяший уголь с берега на Пильтунский маяк.

Рисунок 1.9. Разгрузка оборудования в Чайво.

Рисунок 1.10. Разгрузка оборудования в Чайво.

Рисунок 2.1 Схема постановки (a) аналогового и (b) цифрового радиогидроакустических буев..

Рисунок 2.2. Каркас для установки гидрофона вместе со сферическим гидрофоном.

Рисунок 2.3. Цилиндрические гидрофоны и усилители (подготовленные для кросс калибровки со сферическим гидрофоном).

Рисунок 2.4. Структурная схема измерительно-регистрационного тракта для аналогового радиогидроакустического буя.

Рисунок 2.5. Частотно-амплитудные характеристики сквозного тракта отвхода предварительного усилителя (Рисунок 2.4, точка p.1) до выхода частотного корректора (Рисунок 2.4, точка p.3) для трех радиоприемников и режимов узкополосного(ЧМ) и широкополоснго (ШЧМ) приема. Значение коэффициентапередачи $K_u(F)$ показано в дБ по отношению к его величине на 1 кГц.

Рисунок 2.6. Аналоговый радиогидроакустический буй, кабель и цилиндрический гидрофон.

Рисунок 2.7. Аналоговый радиогидроакустический буй с утяжеленным килем, применяемым для удерживания радиогидроакустического буя в вертикальном положении.

Рисунок 2.8. Сферические гидрофоны [тип Г61Н].

Рисунок 2.9. Частотно-амплитудная характеристика сферических гидрофонов.

Рисунок 2.10. Структурная схема измерительно-регистрационного тракта для цифрового радиогидроакустического буя.

Рисунок 2.11. Цифровой радиогидроакустический буй, донный модуль, кабели и радиоприемник.

Рисунок 2.12. Цифровой радиогидроакустический буй, донный модуль и кабели.

Рисунок 2.14. Регистация данных на Пильтунском маяке.

Рисунок 2.15. Регистрирующее оборудование на судне *Ирбис.*

Рисунок 2.16. Спуск с борта *Ирбиса* низкочастотного резонансного излучателя и калиброванного контрольного гидрофона.

Рисунок 2.17. Спектральная зависимость *G(f)* для низкочастотных данных 24 Гц (вместе с гармониками), синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.3, а также данные для поверочного гидрофона, находящегося на расстоянии 2 м от излучателя.

Рисунок 3.1. Карта района исследований с указанием точек, в которых устанавались радиогидроакустические буи (a.0, a.1, a.2, a.4, a.5) и находились потенциальные источники антропогенных шумов (Моликпак, *Оха* и *Ирбис*).

Рисунок 3.2. Батиметрический профиль акустической трассы «Моликпак – Пильтун» с указанием точек установки радиогидроакустических буев a.1, a.2, a.4 и a.5.

Рисунок 3.3. Сонограммы *G(f,t)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 13-14 сентября 2002 г. в точках a.1, a.2 и a.5(с помощью аналоговых радиогидроакустических буев).

Рисунок 3.4. Спектры *G(f)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 14 сентября 2002 г. в точках a.1, a.2 и a.5(с помощью аналоговых радиогидроакустических буев).

Рисунок 3.5. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного в точках a.1, a.2 и a.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев). Этот шум регистрировался по мере приближения буровой платформы *Оха* к платформе Моликпак 14 сентября 2002 г.

Рисунок 3.6. Сонограммы *G(f,t)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках a.1, a.2 и a.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев).

Рисунок 3.7. Сонограммы *G(f,t)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках a.1 и a.2 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев).

Рисунок 3.8. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках a.1 и a.2 (с помощьюаналоговых радиогидроакустических буев).

Рисунок 3.9. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках a.1 и a.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев).

Рисунок 3.10. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках a.1 и a.2 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 16 сентября 2002 г.

Рисунок 3.11. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках a.1 и a.2 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 16-17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.12. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 16-17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.13. Спектры G*(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.14. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.15. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.16. Спектры G*(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.17. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

Рисунок 3.18. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 17-18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.19. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.20. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.4 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.21 Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.22. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.23. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.24. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.25. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Рисунок 3.26. Сонограммы *G(f,t)* фонового шума, зарегистрированного в точке а.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 19 сентября 2002 г.

Рисунок 3.27. Спектры G*(f)* фонового шума, зарегистрированного в точке a.1 (с помощью аналогового радиогидроакустического буя) 19 сентября 2002 г.

Рисунок 3.28. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* фонового шума, зарегистрированного в точке a.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 20 сентября 2002 г.

Рисунок 3.29. Сонограммы *G(f,t)* фонового шума, синхроннозарегистрированного в точках a.0 и a.1 (с помощью аналоговыхи цифровых радиогидроакустических буев) 19 сентября 2002 г.

Рисунок 3.30. Спектры *G(f)* фонового шума, зарегистрированного в точках a.0 и a.1 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 19 сентября 2002 г.

Рисунок 4.1. Карта района исследований с указанием точек (b.1, b.2 и b.3), в которых были установлены радиогидроакустических буи и находились потенциальные источники антропогенных шумов (перегрузочная баржа в Чайво (B), *Триас* и *Ирбис*).

Рисунок 4.2. Батиметрический профиль в районе акустических исследований с указанием точек постановки радиогидроакустических буев (b.1, b.2 и b.5) и якорной стоянки судна *Ирбис*.

Рисунок 4.3. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного акустического шума, зарегистрированного в точках b.1, b.2 и b.3 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

Рисунок 4.4. Сонограммы *G(f,t)* фоновых шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

Рисунок 4.5. Спектры G*(f)* фоновых шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

Рисунок 4.6. Спектры G*(f)* фоновых шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

Рисунок 4.7. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* фоновых шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев)21 сентября 2002 г.

Рисунок 4.8. Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1, b.2 и b.3 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

Рисунок 4.9 Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22-23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.10. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2(с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

Рисунок 4.11. Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

Рисунок 4.12. Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

Рисунок 4.13. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* фоновых и антропогенных шумов, зарегистрированных в точке b.1 (с помощью аналогового радиогидроакустического буя) 22-23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.14. Спектры G*(f)* фонового и антропогенного шума, зарегистрированного в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

Рисунок 4.15. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1, и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.16. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точке b.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.17. Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1, b2 и b.3 (с помощью аналоговых ицифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.18. Спектры G*(f)* фонового и антропогенного шума, зарегистрированного в точках b.1, b.2 и b.3 (с помощью аналоговых и цифровыхрадиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.19. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.20. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.3 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.21. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного шума, зарегистрированного в точке b.1 (с помощью цифровогорадиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.22. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного шума, зарегистрированного в точке b.1 (с помощью цифровогорадиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4.23. Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного шума, зарегистрированного в точке b.1 (с помощью цифровогорадиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

Рисунок В.1. Взаимная калибровка аналоговых и цифровых буев на судне *Ирбис.*

Рисунок В.2. Анализ взаимной калибровки (ВЧ излучатель).

Рисунок В.3. Анализ взаимной калибровки (шум).

Рисунок В.4. Анализ взаимной калибровки (шум).

Рисунок В.5. Анализ взаимной калибровки (ВЧ излучатель).

Рисунок В.6. Анализ взаимной калибровки.

Список таблиц

Таблица 2.1. Технические характеристики блоков фильтрации и оцифровки компании “Нэшнл Инструментс”.

Таблица 3.1. Даты проведения исследований и места установки мониторинговых радиогидроакустических буев.

Таблица 4.1. Даты проведения акустических измерений и характеристики точек, в которых были установлены мониторинговые радиогидроакустические буи.

Таблица B.1. Подробная информация обо всех буях, использовавшихся при выполнении программы исследований акустического поля в 2002 г.

Таблица B.2. Статистический анализ погрешностей взаимной калибровки.

Основные положения

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), проведенная до начала разработки запасов нефти и газа у северо-восточного побережья о. Сахалин, показала, что ключевым вопросом охраны морской окружающей среды является защита серого кита западной популяции (*Eschrichtius robustus*). Эти киты занесены в категорию “находящихся под угрозой исчезновения” Красной книги России [Красная книга Российской Федерации (Животные) 2001] и “находящихся под критической угрозой исчезновения” Красной книги Международного союза охраны природы (IUCN)[1] [Hilton-Taylor, 2000].

В сентябре 2002 г. были проведены акустические измерения в акватории простирающейся от платформы Моликпак до устья залива Пильтун. Эти измерения показали, что платформа Моликпак и нефтяной комплекс Витязь излучают акустические тональные и узкополосные шумовые сигналы, в том числе на частотах меньше 30 Гц, спектральные уровни которых превышают уровень широкополосного шума на ~15 дБ. Было установлено, что корабли технического обеспечения являются источниками наиболее интенсивных акустических шумов с частотами ниже 1 кГц. Около платформы Моликпак (точка a.5) их уровень может достигать ~112 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Антропогенные акустические сигналы, генерируемые стационарными и движущимися источниками, зарегистрированные в зоне питания серых китов у входа в залив Пильтун, имели спектральные уровни (на частотах ниже 500 Гц) ~75 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Уровни тональных и узкополосных шумовых сигналов (на частотах ниже 35 Гц) в этом районе достигали ~95 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

На акватории, прилегающей к заливу Чайво акустические измерения проводились во время перемещений, швартовки и разгрузки барж. Измерения показали, что во время проведения этих операций в данном районе регистрировались продолжительные узкополосные шумовые сигналы с частотой ~30 Гц. Их уровни примерно на 30 дБ превышали спектральные уровни широкополосного шума и достигали 106 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц в точке b.1, и 93 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц в точке b.2. Когда разгрузочные работы прекрашались спектральные уровни шумов снижались до ~75 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

Акустические измерения показывают, что во время маневрирования судна обеспечения спектральные уровни широкополосного шума возрастают от ~80 до ~95 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, а у уровни тональных и низкочастотных компонент могут достигать ~106 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Спектральный уровень шума на частоте 1 кГц равен ~85 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, а на частоте 10 кГц – на 30 дБ меньше.

[1] Проведенные в 1997 - 2001 гг. воздушные учеты показали, что большую часть безледного периода года серые киты кормятся у северо-восточного побережья Сахалина [Blokhin et al. 2003]. У входа и северней залива Пильтун серые киты в основном наблюдаются ближе к берегу от контура глубины воды 20 м. В 2001 г. при проведении исследований с самолетов и кораблей был обнаружен второй, относительно глубоководный 30-45 м, район питания серых китов, расположенный южнее лицензионного участка Аркутун-Даги [Maminov and Yakovlev 2002; Язвенко и др. 2002].

1 Введение

Программа акустических исследований, проведенных в 2002 г. на северо-восточном шельфе острова Сахалин, была направлена на изучение временных и пространственных вариаций уровней и частотных характеристик антропогенных акустических шумов в районах Моликпака и Чайво. Для оценки возможного воздействия антропогенных шумов на кормящихся серых китов необходимо определить амплитудные и частотные параметры акустических шумов и особенности распространения звука к устью залива Пильтун – зоне сосредоточения серых китов, которые в основном кормятся в мелководной (6-12 м) области шельфа (Рис. 3.1).

Акустические измерения проводились с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев, разработанных в ТОИ ДВО РАН[2]. Цифровые радиогидроакустические буи предназначены для измерений в частотном диапазоне 1-2600 Гц. В 2002 году они были впервые применены на шельфе о. Сахалин и позволили точно измерить уровни акустических шумов на низких частотах (включая инфразвук). Подробное описание этого оборудования приводится в главе 2.

Радиотелеметрические сигналы от аналоговых и цифровых буев принимались на двух приемно-регистрационных постах. Один из них находился на Пильтунском маяке, а другой – на судне *Ирбис*. Дальность цифрового радиотелеметрического канала составляла 4 км при приеме на штыревую антенну,, установленную на Ирбисе, и свыше 7 км при радиоприеме на Пильтунском маяке. Дальность аналогового радиотелеметрического канала зависела от типа применяемого радиоприемника. Широкополосные акустические сигналы (10-10 000 Гц) могли передаваться на расстояние до 12 км; а узкополосные (10-5000Гц) при радиоприеме на Пильтунском маяке могли передаваться на расстояние свыше 20 км.

1.1 Задачи программы акустических исследований

Программа акустических исследований, проведенных в 2002 г. на северо-восточном шельфе острова Сахалин, имела две основные цели.

1. Первой целью являлось изучение временных и пространственных изменений амплитудных и частотных характеристик антропогенных акустических шумов вблизи устья залива Пильтун[3]. Сюда входило измерение уровней антропогенных акустических шумов, генерируемых механизмами, работающими на платформе Моликпак и плавучим нефтехранилище *Оха*, а также эпизодических шумов от кораблей обеспечивающих работу всего нефтедобывающего комплекса Витязь, включая движущиеся или стоящие на якоре танкеры. Измерения проводились во время регулярных операций связанных с перегрузкой нефти с судна *Оха* на танкер *Приморье*. Основными источниками антропогенных акустических шумов в данной акватории являются платформа Моликпак и весь нефтедобывающий комплекс Витязь. Кроме того, дополнительными эпизодическими источниками акустических шумов являются подвесные моторы лодок типа “Зодиак”, используемых базирующейся на Пильтунском маяке группой ученых, которые в течение нескольких лет проводят наблюдения за серыми китами и судно *Чара,* которое два раза в год поставляет грузы на Пильтунский маяк; на эту операцию уходит приблизительно одна неделя. Акустические измерения были проведены на континентальном шельфе Охотского моря, между платформой Моликпак и устьем залива Пильтун.

[2] ТОИ ДВО РАН - Тихоокеанский океанологический институт Дальневосточного отделения Российской Академии наук

[3] Устье залива Пильтун является одной из летних зон питания корейско-охотской (западной) популяции серого кита.

2. Второй задачей являлось изучение временных и пространственных изменений амплитудных и частотных характеристик акустического фона в районе залива Чайво. Эти измерения были проведены во время разгрузки транспортных барж на перегрузочную баржу, установленную (притопленную) у берега вблизи буровой площадки Чайво.

1.2 Стратегия и методология исследований

Мелководная (6 - 15 м) часть шельфа к северо-западу от острова Сахалин вблизи устья залива Пильтун является одним из наиболее важных летних ройонов питания серых китов западной популяции. Поэтому акустические исследования проводятся в данном районе с 1999 г. Материально-техническое обеспечение экспериментальных исследований значительно упрощается наличием Пильтунского маяка (высота – 35 м), который используется в качестве приемного поста для радиотелеметрических сигналов от радиогидроакустических буев, и судна *Ирбис,* с помощью которого проводились наблюдения за производственной деятельностью (Рис. 1.1). В 2002 г., как и в предыдущие годы, радиоприемный пост был организован на Пильтунском маяке. Основной приемно-регистрационный комплекс был расположенная на верхнем уровне маяка. Его электропитание обеспечивали автомобильные аккумуляторы, которые подзаряжались от бензоагрегата. Оператор осуществлял контроль за работой приемно-регистрационного аппаратурного комплекса, наблюдал за морем в районе маяка и с помощью УКВ радиосвязи координировал совместные действия с другими исследователями и судном *Ирбис*. Основное регистрирующее оборудование находилось в одной из комнат помещения дизель-генераторов маяка. Данные с верхней части маяка передовались в это здание с помощью 150- метровой сети Ethernet.

Приемный пост на маяке был оснащен четырьмя радиоприемниками (двумя АХ-400 и двумя АХ-700) и направленными антеннами. Это обеспечивало синхронный прием четырех радиотелеметрических каналов от радиогидроакустических буев, удаленных на расстояние до 23 км и запись четырех аналоговых сигналов,, при этом данные от двух цифровых радиогидроакустических буев с помощью сети Ethernet синхронно регистрировались центральным компьютером.

Рисунок 1.1 - Нефтедобывающий комплекс Витязь

Второй приемный пост находился на судне *Ирбис* и был укомплектован четырьмя радиоприемниками (двумя ICOM, одним AX-400 и одним AX-700). Сигналы от аналоговых и цифровых буев регистрировались с помощью портативного компьютера. На радиоприемники работающие на *Ирбисе* эпизодически воздействовали судовые радиопомехи, приводящие к сбоям в радиотелеметрических каналах и потерям данных поступающих от радиогидроакустических буев. Вследствие этого в полученных данных имеются небольшие пробелы. С целью хранения данных в виде непрерывных файлов эти пробелы с помощью специальной программы (UnifyData) заполнялись нулями. Все операции связанные с постановкой в море радиогидроакустических буев и их подъемом проводились с помощью судна *Ирбис*.

Радиогидроакустические буи поднимались из моря вручную с использованием спускаемой с борта *Ирбиса* шлюпки Гардинг (Рис. 1.2). Опыт проведения акустических исследований в 2002 г. подтвердил, что оптимальной стратегией проведения с помощью радиогидроакустических буев исследований в данной акватории, является сочетание радиоприемного поста на Пильтунском маяке с постановкой в море и подбором радиогидроакустических буев с помощью *Ирбиса* или аналогичного судна.

Ожидалось, что основными источниками антропогенных акустических шумов в данной акватории будут являться соединенные подводным трубопроводом платформа Моликпак и плавучее нефтехранилище *Оха*, самоподъемная буровая установка *Оха*, а также другие корабли, работающие вблизи платформы Моликпак (Рис. 1.4 и 1.5). Источниками кратковременных индустриальных шумов у устья залива Пильтун могли являться небольшие лодки (например, лодки типа “Зодиак”, использовавшимся российско-американской группой по исследованию серых китов) и судно *Чара*, обеспечивающее доставку грузов на Пильтунский маяк. На Рис. 1.6 - 1.8 показаны операции снабжения

маяка, проводимые с помощью судна *Чара* и самоходных барж, во время которой в 2002 г были проведены акустические измерения.

Рисунок 1.2 – Постановка в море аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев с использованием шлюпки

На Рис. 3.1 приведена карта района исследований с указанием точек (а.0, а.1, а.2, а.4 и а.5)4, в которых с помощью радиогидроакустических буев проводились измерения акустических шумов. На карте также показано расположение платформы Моликпак и плавучего нефтехранилища *Оха*. Точка для установки радиогидроакустического буя а.0 расположена вблизи южной границы лицензионного участка Одопту. В 2001 г. акустические измерения выполнялись вблизи этой точки во время проведения сейсморазведочных работ на участке Одопту [Борисов и др., 2002 г.]; однако, ввиду низкой чувствительности, обусловленной ограниченностью динамического диапазона радиотелеметрического канала, использовавшихся радиогидроакустических буев, в 2001 г. не удалось провести фоновые акустический измерения. Акустический фон в этой области был измерен в 2002 г.

[4] Хотя первоначальная программа также предусматривала точку а.3, но она не была использована ввиду возникших при проведении исследований сложностей.

Рисунок 1.3 - Буксир *Триас*

Приемно-регистрационный пост на Пильтунском маяке принимала радителеметрические сигналы от цифровых буев, устанавливаемых в точках а.1 и а.2 и аналоговых буев работающих в точках а.0, а.1, а.2, а.4 и а.5. При необходимости в точках а.1, а.2, а.4 и а.5, устанавливались пары из аналогового и цифрового буя.

Рисунок 1.4 - Буксир *Смит Сибу* и плавучее нефтехранилище *Оха*

Рисунок 1.5 - Буксир *Смит Сахалин* и самоподъемная буровая установка *Оха* вблизи платформы Моликпак

Рисунок 1.6 - Судно *Чара* (на заднем плане) и залив Пильтун (на переднем плане)

Рисунок 1.7 – Самоходная баржа, применяемая для выгрузки припасов с судна *Чара* в заливе Пильтун

Акустические измерения, проводились вблизи платформы Моликпак во время различных производственных операций в разных погодных условиях и разном поверхностном волнении. Акустические измерения также проводились в период интенсивной производственной деятельности вблизи платформы Моликпак, связанной с установкой самоподъемной буровой установки *Оха* возле платформы Моликпак. Во время этой операции буровая установка перемещалась с помощью трех судов и вблизи от нее регистрировался сравнительно высокий уровень акустических шумов (Рис. 1.5). Акустические шумы также измерялись во время типовых производственных операций, связанных с подходом и швартовкой танкера *Приморье* к плавучему нефтехранилищу *Оха*, отгрузкой нефти и уходом *Приморья* из данного района. Во время отгрузки нефти *Приморье* удерживается на месте постоянно работающим буксиром *Смит Сахалин*[5].

[5] При работе буксир *Смит Сахалин* прикладывает тяговое усилие до 20 тонн.

Рисунок 1.8 - Бульдозер, перевозяший уголь с берега на Пильтунский маяк

Два раза в год судно снабжения *Чара* доставляет грузы на Пильтунский маяк. Во время этой операции *Чара* становится на якорь у входа в залив, (Рис. 1.6), а для перевозки грузов по заливу Пильтун используются две самоходные баржи (Рис. 1.7). По суше материалы перемещаются к Пильтунскому маяку с помощью бульдозера (Рис. 1.8).
В дополнение к работам, связанным с платформой Моликпак и лицензионным участком Сахалин 2, акустические исследования также проводились в районе лицензионного участка Сахалин 1, расположенном восточней залива Чайво. В 2002 г. в этом районе проводились работы связанные с выгрузкой оборудования на побережье вблизи буровой площадки Чайво. Тяжелое оборудование было привезено на баржах и выгружалось на берег через пристань, организованную с помощью притопления у берега большой баржи (Рис. 1.9 и 1.10). Соответственно, в 2002 г. в этом районе наблюдалось движение судов и активная производственная деятельность, связанная с выгрузкой оборудования на берег и проведением строительных работ (земляные работы, планировка и т.д.) на берегу.

Рисунок 1.9 - Разгрузка оборудования в Чайво

В 2001 г. на расстоянии приблизительно 20 км к юго-востоку от устья залива Чайво (глубина воды 25-40 м) был открыт новый (южный) район летнего питания серых китов[6] Даги [Maminov and Yakovlev 2002; Язвенко и др. 2002]. Задача акустических исследований в районе Чайво была обратной задаче для района Моликпак – было необходимо исследовать распространение акустических сигналов от прибрежной зоны к удаленным от берега местам и прежде всего к южному району питания серых китов. Для этих исследований была организована акустическая трасса, показанная на Рис. 4.1. На этой трассе были установлены радиогидроакустические буи в точках b.1, b.2 и b.3, причем в точках b.1 и b.2 измерения проводились синхронно с помощью аналоговых и цифровых буев. Акустические измерения были проведены во время разных строительных и разгрузочных операций в штилевых и штормовых условиях (6 баллов по Бофорту).

[6] Во время всего сезона наблюдений в 2002 г. наблюдалось питание серых китов в южном районе кормления [Blokhin et al. 2003].

Рисунок 1.10 - Разгрузка оборудования в Чайво

Профиль глубины (Рис. 3.2 и 4.2) для двух трасс, на которых проводились акустические исследования, был получен с помощью штатного эхолота судна *Ирбис*. На Рис. 3.2 и 4.2 видно, что профиль глубины имеет сложную форму и это значительно снижает точность теоретических оценок потерь при распространении (TL) звука вдоль этих трасс, которые могли бы быть получены с помощью численного моделирования.

Принимаемый уровень (RL) акустического шума зависит от глубины установки гидрофона и расстояния между потенциальным источником шума и радиогидроакустическим буем. Коэффициент усиления в измерительном тракте радиогидроакустического буя должен быть установлен с учетом максимального использования динамического диапазона радиотелеметрического канала[7]. Таким образом, чем ближе к платформе Моликпак установлен радиогидроакустический буй, тем выше будет уровень акустического шума и следовательно у этого буя должен быть меньше коэффициент усиления, или чувствительность. Поэтому в радиогидроакустических буях устанавливамых на мелководье, в точках а.0, а.1 и а.2, удаленных от потенциальных источников шума (платформы Моликпак), выбраны более высокие коэффициенты усиления чем в буях, предназначенных для измерений в точках приближенных к источникам шума.

[7] Чувствительность зависит от коэффициента усиления, чем больше коэффициент усиление, тем ниже уровень акустических сигналов, которые могут быть измерены с помощью радиогидроакустического буя.

1.3 Используемая в отчете терминология и алгоритмы

Регистрируемые радиогидроакустическими буями фоновые и антропогенные шумы записываются на диск в микропаскалях (мкПа)[8]. Акустический спектр в децибелах будет использоваться для описания вариаций акустической мощности как функции частоты. В этом отчете мы будем приводить графики спектральной плотности мощности звукового давления *G(f)* (мкПа^2/Гц)[9].

Спектральный уровень шума относится к уровню акустической плотности мощности в полосе 1 Гц. Этот термин относится только к звуку с непрерывным частотным спектром[10]. Такие спектры часто усредняют с использованием 10-300 односекундных интервалов[11], чтобы улучшить статистическую стабильность данных о фоновом уровне шума[12].

Сонограммы представляют собой графики, иллюстрирующие зависимость спектра от частоты и от времени, при этом обычно используется диапазон уровней от ~40 до ~105 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

Выполняемые с помощью радиогидроакустических буев акустические измерения позволяют получить синхронные серии пространственно-дискретных данных. Такой набор данных позволяет оценить временные, пространственные и спектральные[13] характеристики акустического поля. Создаваемый движущимся судном шум (сигнал) имеет непрерывный спектр с дискретными тональными компонентами. Используемое на платформе Моликпак оборудование (газогенераторы, компрессоры, насосы и т.д.) также являются источниками непрерывного тонального и широкополосного акустического шума. Этот шум может иметь и инфразвуковые (<20 Гц) компоненты.

В Приложении С приводится подробное описание методики нормализации и оценивания амплитудных и спектральных характеристик.

1.4 Единицы измерения

В данном отчете используется разное обозначение единиц измерения. Это связано с различиями в стандартных обозначениях, используемых в разных научных дисциплинах и странах.

---

[8] Данные масштабировались (после учета чувствительности гидрофона и сквозного коэффициента усиления в измерительном тракте) в реальном времени и нормировались с использованием стандартных единиц измерения акустического давления гидрофоном.

[9] Независимо от длины исходного ряда спектральная плотность мощности, приводится к полосе 1 Гц.

[10] Непрерывным частотным спектром называется спектр, у которого есть акустический сигнал на всех оцениваемых частотах.

[11] Усреднение для 10 или 300 1-секундных реализаций спектра.

[12] Усреднение спектров стабилизирует оценку и уменьшает погрешности связанные с шумами измерительного прибора, что позволяет улучшить отношение фоновый шум / шум измерительного прибора для низких уровней фонового шума.

[13] Спектральные характеристики акустического поля анализировались в частотном диапазоне регистрирующей системы.

Ниже приводятся эквивалентные единицы измерений при использовании разных стандартных условных обозначений:

1 мкПа = 1 μPa

1 мкВ = 1 μV

Необходимо также помнить, что:

1 атм ≅ 1 бар = 0,1 МПа = 10^{11} мкПа

Для графиков спектральной плотности:

Хотя единицами измерения спектральной плотности являются мкПа^2/(с Гц), мкПа^2/с/Гц или мкПа^2, общепринято брать за единицы измерения спектральной плотности мкПа^2/Гц или мкПа/√Гц.

2 Аппаратура для регистрации и обработки акустических сигналов

В данном разделе описываются две измерительные системы, использовавшиеся для регистрации акустических данных в сезоне полевых работ 2002 г., их калибровка и подготовка к работе. Также приводится описание средств и методологии анализа данных.

2.1 Гидроакустические буи

Для измерения акустических сигналов и передачи их на береговой пост использовались индивидуально устанавливаемые радиогидроакустические буи. Аналоговые буи применялись для измерений в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц, а цифровые буи для высококачественных измерений в диапазоне от 1 Гц до 2,6 кГц. Применении, пары из аналогового и цифрового буя позволило проводить акустические измерения в диапазоне от 1 Гц до 10 кГц. На Рис. 2.1 показаны основные компоненты этих буев и схемы их постановки в море.

Практический опыт показывает, что при установке буя на мелководье (10-30 м), волнение моря может создавать значительные помехи для гидрофона. Вызванное поверхностными волнами движение радиогидроакустического буя механически передается по кабелю гидрофону, который регистрирует механические колебания как акустический шум. Для уменьшения этой помехи гидрофон устанавливается на некотором расстоянии от якоря, что уменьшает механическую связь между установленным на поверхности буем и гидрофоном. Подводная часть системы состоит из гидрофона, предварительного усилителя с элементом частотной коррекции. Гидрофон устанавливается внутри пирамидального проволочного каркаса и крепится к нему с помощью резиновых амортизаторов, что улучшает его измерительные характеристики (Рис. 2.2).

2.2 Аналоговый радиогидроакустический буй

Автономные аналоговые радиогидроакустические буи использовались для акустических измерений в диапазоне частот от 10 Гц до 10 кГц. В аналоговых буях применялись цилиндрические гидрофоны типа ПР-2[14]. В небольшом контейнере рядом с гидрофоном установлены предварительный усилитель и специальный фильтр (называемый низкочастотным корректором)[15] (Рис. 2.3). Предварительный усилитель усиливает сигнал до его передачи по 100-метровому кабелю в радиогидроакустический буй[16].

[14] Свидетельства калибровки цилиндрических гидрофонов приводятся в приложении А, а в работе Борисова и др. [2001 г.] они представлены в виде графиков.
[15] Гидрофон преобразует акустическое давление в электрическое напряжение.
[16] Предварительный усилитель расположен близко к гидрофону, что уменьшает влияние помех наводимых на кабельную линию

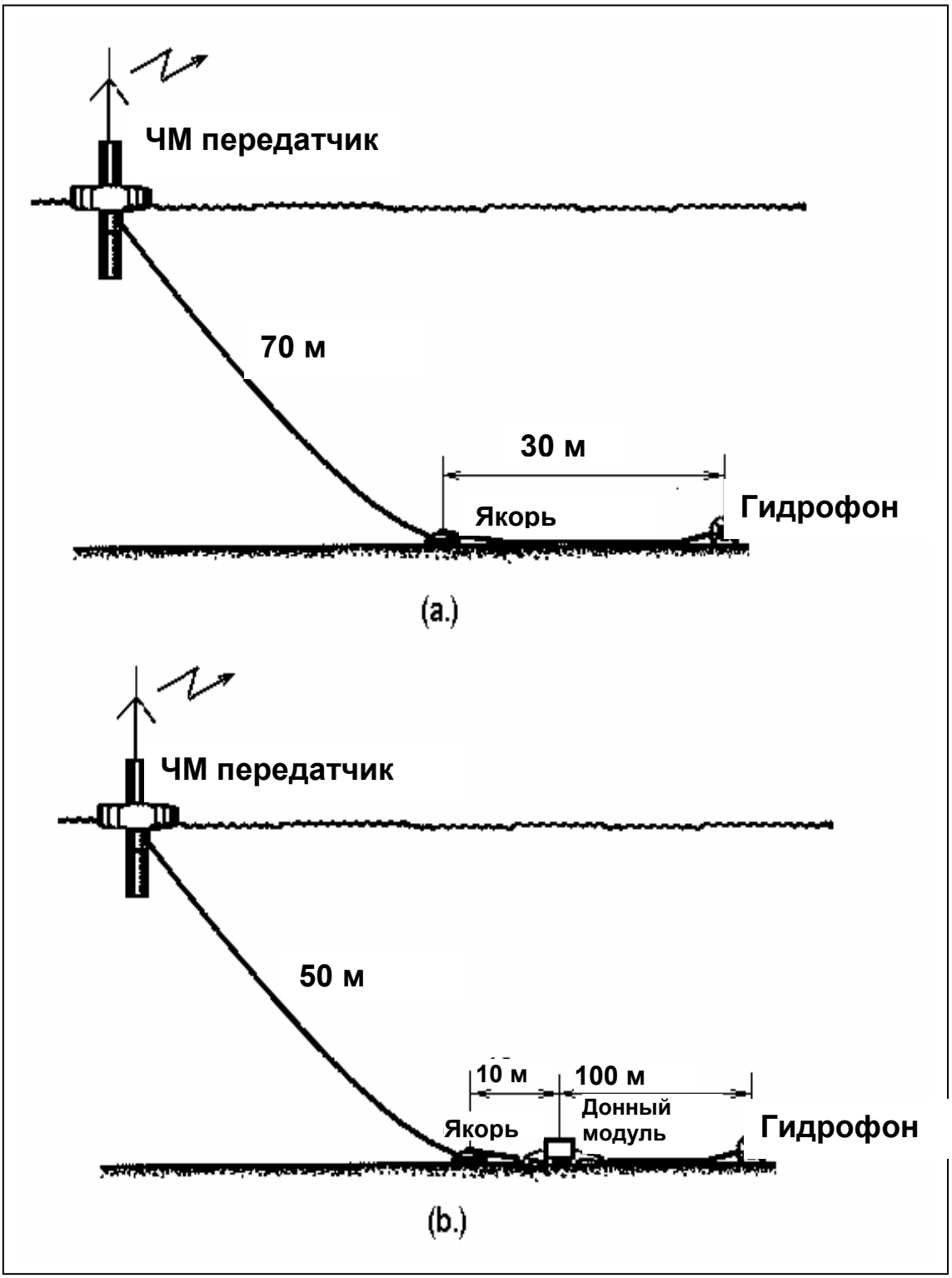

Рисунок 2.1 Схема применения а) аналогового и б) цифрового радиогидроакустического буев.

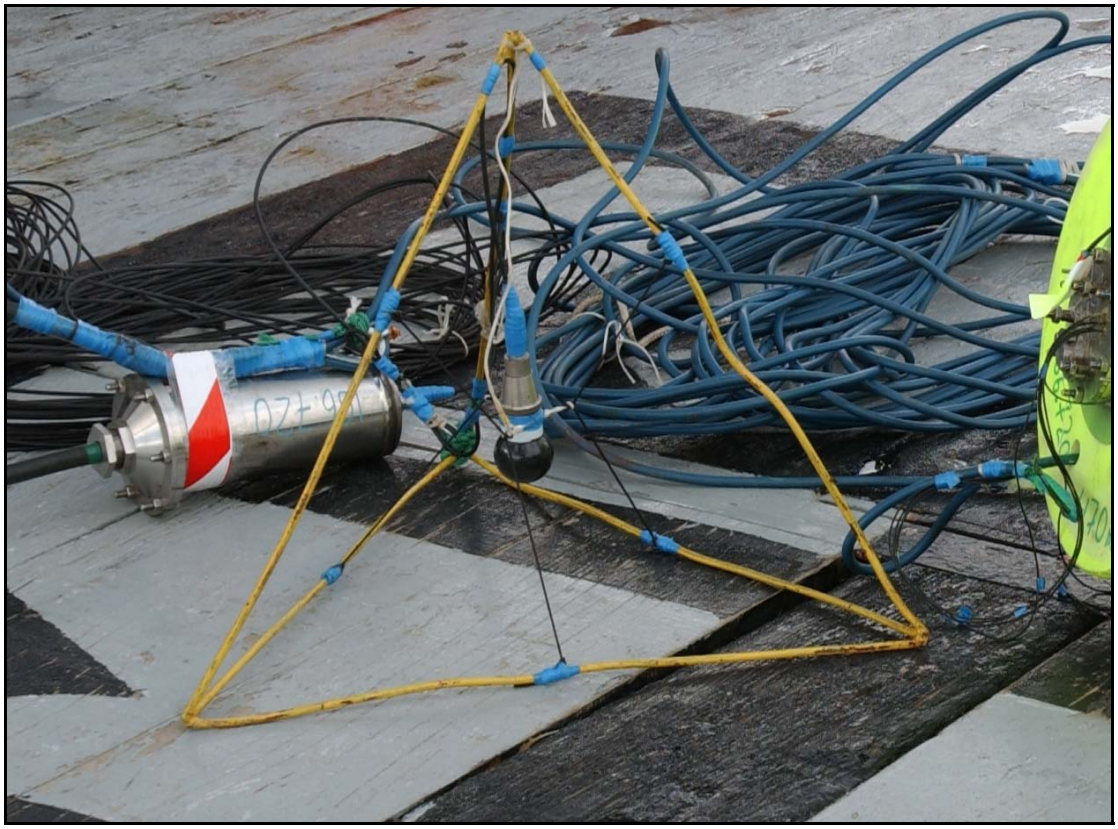

Рисунок 2.2 - Каркас для установки гидрофона вместе со сферическим гидрофоном

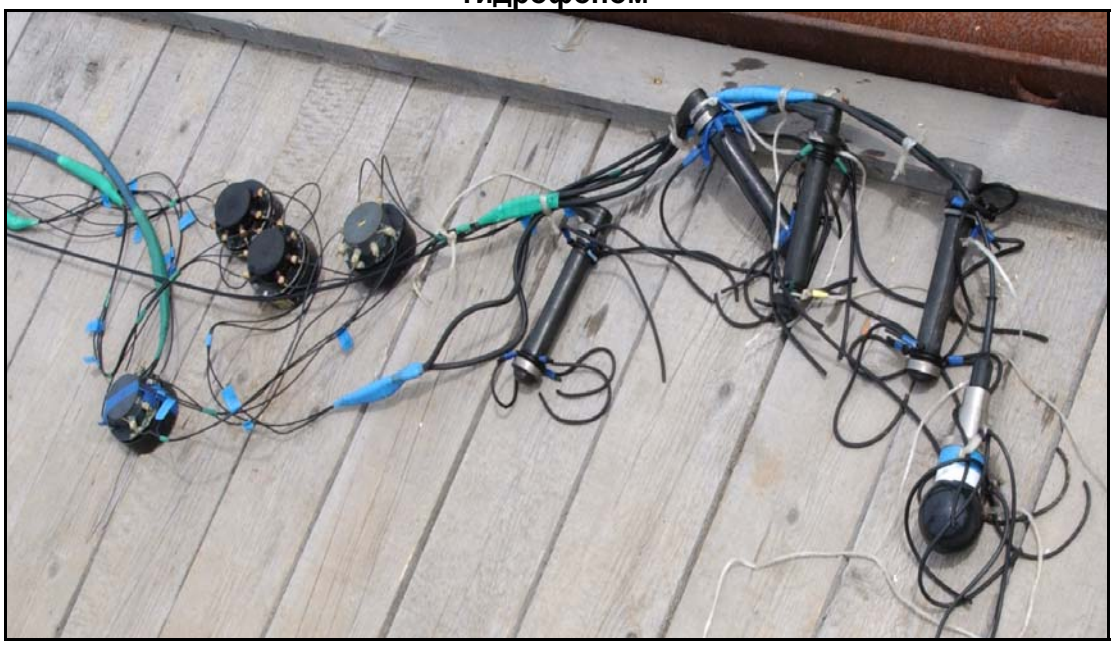

Рисунок 2.3 - Цилиндрические гидрофоны и усилители (подготовленные для взаимной калибровки со сферическим гидрофоном)

Предварительный усилитель-корректор усиливает низкочастотные составляющие сигнала сменьшим коэффициентом усиления, чем в основной полосе пропускания.. Такая коррекция АЧХ позволяет оптимизировать использование динамического диапазона (приблизительно 43 дБ) радиотелеметрического канала. Сигнал передается по кабелю в радиогидроакустический буй. В радиогидроакустическом буе сигнал проходит через низкочастотный фильтр (частота среза 10 кГц), преобразуется в частотно-модулированный (ЧМ) сигнал диапазона ультракоротких волн (УКВ) и затем передается на приемный пост с помощью ЧМ радиопередатчика (смотрите Рис. 2.4).

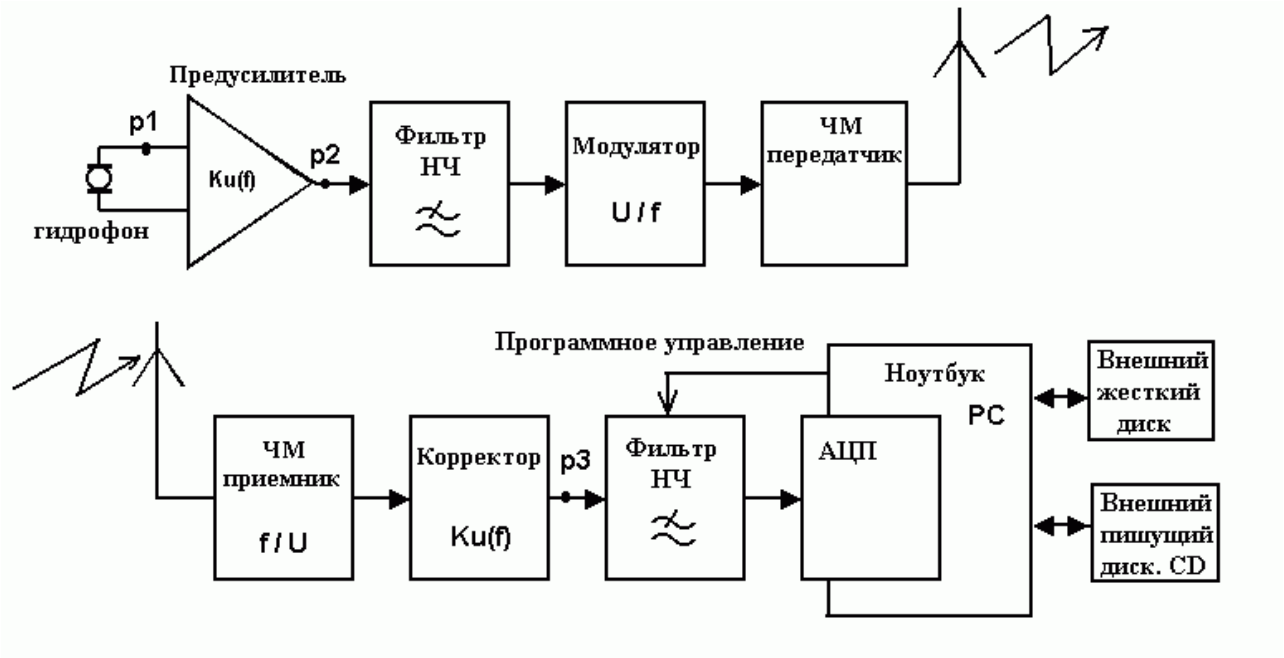

Рисунок 2.4 - Структурная схема системы регистрации аналогового радиогидроакустического буя

Передаваемые радиогидроакустическими буями радиотелеметрические сигналы принимались радиоприемниками, установленными на Пильтунском маяке и судне *Ирбис*. Выходной сигнал с радиоприемника пропускался через частотный корректор, который компенсировал частотную коррекцию предварительного усилителя-корректора на низких частотах (смотрите Рис. 2.4). На Рис. 2.5 показаны сквозные амплитудно-частотные характеристики измерительн й системы от входа предварительного усилителя (Рис. 2.4, точка р.1) до выхода корректора приемника (Рис. 2.4, точка р3) для трех радиоприемников[17] и двух режимов приема[18]. На Рис. 2.5 показана частотная зависимость коэффициента передачи $\mathbf{K_u(F)}$ по отношению к его значению на 1 кГц. После частотного корректора сигнап подавался в многоканальное устройство для усиления, фильтрации и преобразования в цифровой код, который загружался в компьютер. Это более подробно представлено в разделе 2.4.

[17] Модели Standart-AX-400, -AX-700 и ICOM
[18] Узкополосый ЧМ (1 Гц - 5 кГц) и широкополосный ЧМ (ШЧМ) (1 Гц - 10 кГц) прием.

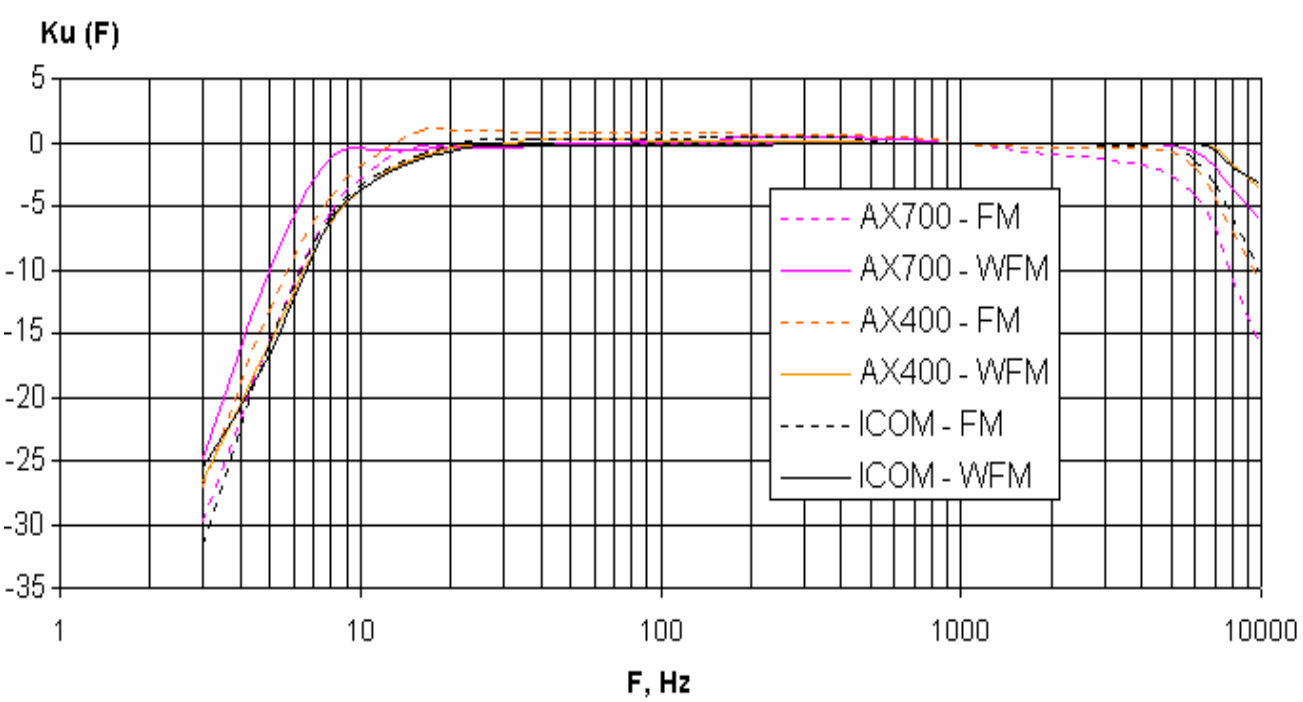

Рисунок 2.5 - - - Частотно-амплитудные характеристики сквозного тракта от входа предварительного усилителя (Рисунок 2.4, точка p.1) до выхода частотного корректора (Рисунок 2.4, точка p.3) для трех радиоприемников и режимов узкополосного (ЧМ) и широкополоснго (ШЧМ) приема. Значение коэффициента передачи $K_u(F)$ показано в дБ по отношению к его величине на 1 кГц.

Электропитание радиогидроакустических буев осуществлялось от внешнего блока аккумуляторов, который может заменяться в морских условиях. На рис. 2.6 и 2.7 показаны аналоговые радиогидроакустические буи вместе с кабелями и гидрофонами.

2.3 Цифровой радиогидроакустический буй

Автономные цифровые радиогидроакустические буи использовались для акустических измерений в диапазоне частот от 1 Гц до 2,6 кГц. В цифровых буях применялись сферические гидрофоны типа Г61Н с предварительными усилителями, разработанными специально для этих гидрофонов. Гидрофоны показаны на Рис. 2.8. На Рис. 2.9 показаны амплитудно-частотные характеристики гидрофонов, а их свидетельства калибровки приведены в Приложении А. Предварительный усилитель усиливает сигнал до его передачи по 100-метровому кабелю в донный модуль[19].

[19] Как и ранее, назначением этого усилителя является усиление сигнала как можно ближе к гидрофону. Таким образом можно повысить уровень сигнала по сравнению с наводимыми на кабель помехами.

Рисунок 2.6 - Аналоговый радиогидроакустический буй, кабель и цилиндрический гидрофон

Рисунок 2.7 - Аналоговый радиогидроакустический буй с утяжеленным килем, применяемым для удерживания радиогидроакустического буя в вертикальном положении

Рисунок 2.8 - Сферические гидрофоны [тип Г61Н]

Выходной сигнал после предусилителя, к которому подключен гидрофон, передается по кабелю длиной 100 м в донный модуль, в котором находится усилитель и фильтр, а также аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и кодирующее устройство. В донном модуле

сигнал дополнительно усиливается и через фильтр нижних частот с частотой среза 2,6 кГц поступает на 16-разрядный АЦП[20] работающее с частотой дискретизации 5,6 кГц. Устройство управления с кварцевым задающим генератором синхронизирует процесс оцифровки и задает частоту дискретизации АЦП. После этого оцифрованный сигнал кодируется и модулируется перед передачей по кабелю между донным модулем и УКВ-ЧМ радиопередатчиком, находящимся в радиогидроакустическом буе на поверхности моря. ЧМ радиопередатчик буя передает сигнал на приемный пост (см. Рис. 2.10).

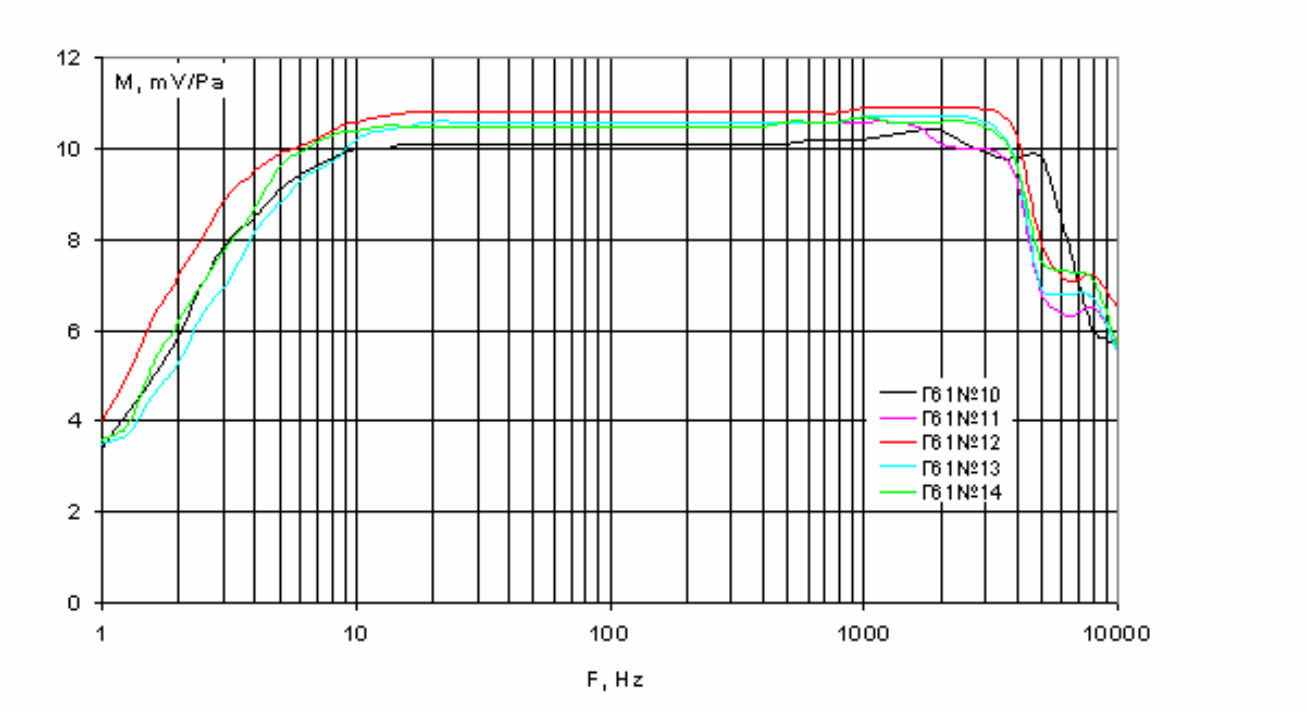

Рисунок 2.9 – Частотно-амплитудная характеристика сферических гидрофонов

Радиоприемники на Пильтунском маяке и на *Ирбисе* принимали передаваемые радиогидроакустическими буями радиотелеметрические сигналы. Выходной сигнал от этих приемников пропускался через другую цепь фильтрации (корректор). Это корректирующее устройство компенсировало частотно-зависимую коррекцию усиления, которое было сделано предусилителем-корректором для низких частот сигнала (смотрите Рис. 2.10). Выходной сигнал от частотного корректора подавался в один канал многоканального устройства для усиления, фильтрации и оцифровки до его загрузки в компьютер. Это подробно описывается в разделе 2.4.

[20] В качестве аналогово-цифрового преобразователя использовалась устройство Analog Devices AD977, имелось три 16-разрядных и один 12-разрядный буи.

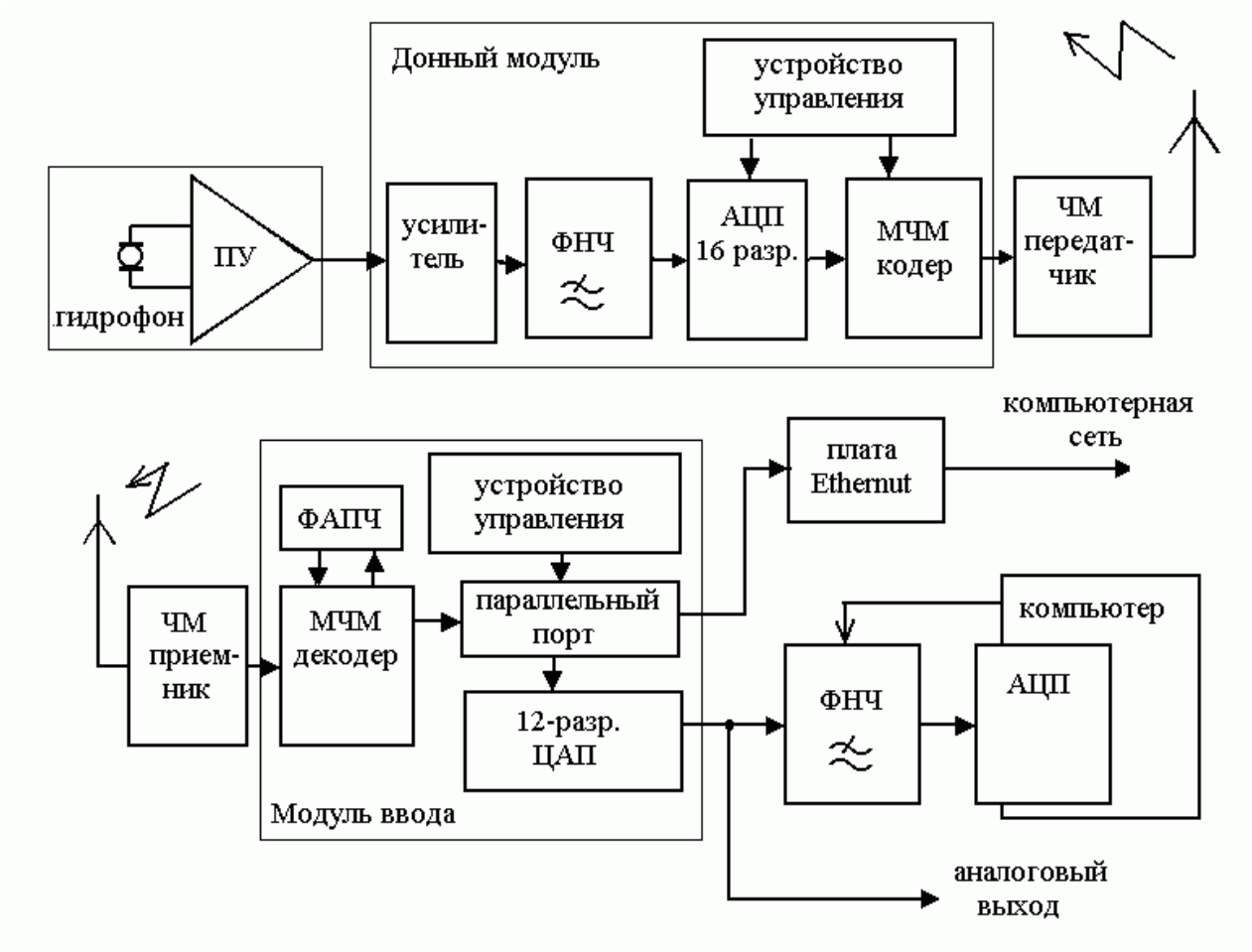

Рисунок 2.10 - Структурная схема системы регистрации цифрового радиогидроакустического буя

На Рис. 2.11 показан подготовленный к калибровке цифровой радиогидроакустический буй. Кольцевой поплавок удерживает на плаву контейнер, в котором находится электроника радиопередатчика, а в донных модулях (серебристые и желтые контейнеры на переднем плане) находится электроника донного модуля (см. Рис. 2.10).

Электропитание цифрового радиогидроакустического буя осуществляется от внешнего блока аккумуляторов, который может заменяться в морских условиях. На Рис. 2.12 показан подготовленный к установке цифровой радиогидроакустический буй (антенна пока еще не присоединена). Радиогидроакустический буй (см. Рис. 2.12 - поплавок салатового цвета) удерживается в вертикальном положении стальным килем, к которому прикреплены аккумуляторы. Поверхностный блок, в свою очередь, соединен кабелем (синим) с донным модулем (серебристым), который соединен кабелем (черным) со сферическим гидрофоном, закрепленным в треугольной раме.

Рисунок 2.11 - Цифровой радиогидроакустический буй, донный модуль, кабели и радиоприемник

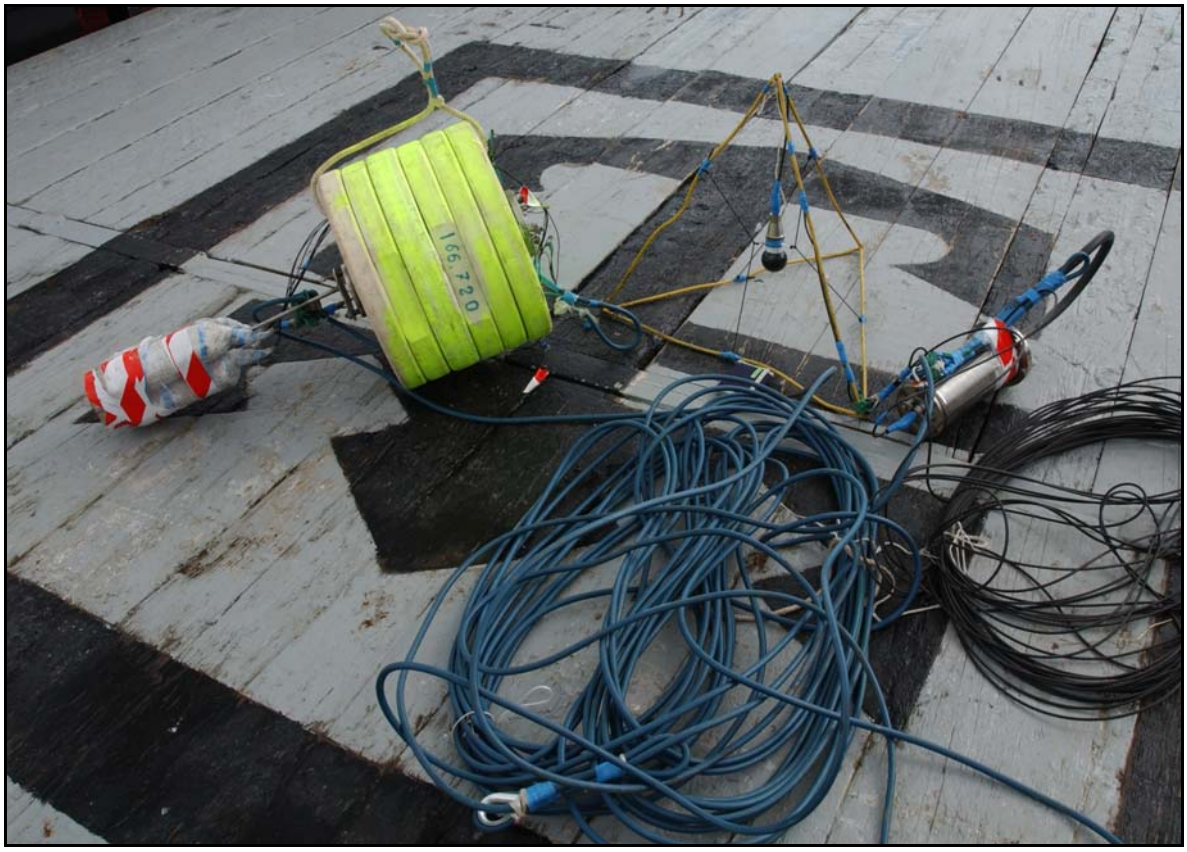

Рисунок 2.12 - Цифровой радиогидроакустический буй, донный модуль и кабели

2.4 Хранение и обработка данных

Для предварительной обработки и регистрации данных, полученных от аналоговых и цифровых буев, были разработаны две независимые приемно-регистрационные системы. На Рис. 2.13 приведена структурная функциональная схема системы, использовавшейся на борту судна *Ирбис*. В качестве основных устройств хранения данных использовались компьютеры типа ноутбук; третий ноутбук использовался для временного хранения данных. Периодически данные из ноутбуков переписывались в центральный компьютер, данные из этого компьютера временного хранения записывались на компакт-диски. Во время сезона полевых работ 2002 г. было накоплено свыше 140 Гбайт данных.

Выходной сигнал с радиоприемника, принимающего радиотелеметрический сигнал от цифрового буя, через цифровое декодирующее устройство поступал на плату Ethernet[21], а оттуда через концентратор Ethernet – в ноутбук. Концентратор давал возможность одновременно подключить к ноутбуку две платы Ethernet. Декодер направлял на плату Ethernet 16 бит данных и один бит синхронизации. После этого данные сохранялись в буферном статическом ОЗУ 16 кбайт. При заполнении этого буфера данные сегментами по 512 байт передавались в ноутбук по сети Ethernet.

Платы Ethernet с микроконтроллером 128 имеют тактовую частоту 14 МГц и могут без потерь сохранять данные в реальном времени. Платы с микроконтроллером 103 имеют тактовую частоту 3 МГц и не могут передавать и сохранять данные без потерь. В этом случае, при заполнении буфера ввод данных прекращался, и данные передавались вплоть до освобождения буфера, после этого ввод данных возобновлялся. Таким

[21] На плате (Ethernut) Ethernet установлен RISC-микроконтроллер ATmega 103(128) и контроллер Ethernet Realtek 8019AS. На плате имеется 22 цифровых входа, 8-канальный 10-разрядный АЦП и статическое ОЗУ 32 кбайт.

образом, данные в сети могут или приниматься или передаваться, но обе операции одновременно выполняться не могут; в связи с этим в данных будут регулярные пропуски. После приема, данные от цифрового радиогидроакустического буя также направлялись в аналоговый интерфейс для преобразования в аналоговый сигнал (12-разрядный) и ввода в систему записи для аналогового радиогидроакустического буя. Такое дублирование повышает надежность системы записи и обеспечивает синхронизацию всех каналов (аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев).

Модуль 8-канального фильтра Бесселя для нижних частот SCXI-1142	
Усиление в канале (задается программно):	1, 2, 5, 10, 20, 50, 100
Входное полное сопротивление (при включенном питании):	10 ГОм параллельно 40 пФ
Погрешность усиления по постоянному току (после калибровки):	± 0,02 %
Крутизна фильтра:	135 дБ/октава
Ослабление в полосе затухания:	80 дБ для 6 Fc
16-разрядный АЦП DAQCard-AL-16-XE-50	
Число каналов:	16 (8 дифференциальных,задается программно)
Тип АЦП:	С последовательным приближением
Разрешающая способность:	16 бит (1 к 65536)
Максимальная частота дискретизации:	200 тыс. точек/с (один канала), 20 тыс. точек/с, гарантированная
Усиление платы:	1, 2, 10, 100 (задается программно)

Таблица 2.1 - Технические характеристики блоков фильтрации и оцифровки компании “Нэшнл Инструментс”

Для хранения и предварительной обработки аналоговых акустических данных было разработано специальное регистрирующее устройство. Это устройство основывается на использовании оборудования компании “Нэшнл Инструментс”, смонтированном в корпусе с блоком питаниея[22]. Выходные сигналы от каждого работающего радиоприемника

[22] National Instruments SCXI-1000DC

поступали на восьмиканальный входной блок[23] с разъемами типа BNC, и затем подавались в модуль фильтра нижних частот[24], содержащий восемь предварительных усилителей и фильтров Бесселя. Эти фильтры использовались для ограничения диапазона частот входного сигнала в пределах частоты Найквиста для частоты дискретизации аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). После этого, данные от всех приемников с корректоррами одновременно преобразовывались в цифровую форму с помощью платы 16-разрядного АЦП с регулировкой усиления[25], установленной в ноутбуке[26]. Эти данные сохранялись на жестком диске компьютера с использованием

Рисунок 2.14 - Регистация данных на Пильтунском маяке

программы, специально разработанной ТОИ для этой цели. При завершении сеанса записи, для архивации данных с жесткого диска компьютера, использовалась запись на компакт-диск. Создаваемые для этой цели файлы имели максимальный размер 650 Мбайт. Данная система позволяет осуществлять фильтрацию, оцифровку, хранение и визуализацию данных для 8 отдельных каналов. Основные технические характеристики оборудования компании “Нэшнл Инструментс” приведены в Таблице 2.1.

[23] National Instruments SCXI-1305
[24] National Instruments SCXI--1142
[25] National instruments DAQCard-AL-16XE-50
[26] Для выполнения задачи по сбору данных потребовалось использовать ноутбук с процессором Pentium 3 700 МГц и жестким диском 20 Гбайт.

Вместе с оборудование компании “Нэшнл Инструментс” (Рис. 2.14) было также приобретено программное обеспечение[27] для него. В него входят программа для контроля состояния оборудования и управления им[28], и утилита для сбора данных, которая использована для конфигурирования описанного выше оборудования. Программа используется для задания параметров фильтрации и усиления, а также режима работы (параллельного или мультиплексного) и может применяться для тестирования оборудования.

Перед сохранением данных программное обеспечение, написанное на языках Object Pascal 2 и Delphi 5, вычисляет коэффициенты, необходимые для приведения входных данных к значениям абсолютной амплитуды (мкПа). Входными параметрами для программы являются чувствительность гидрофона и коэффициент усиления для каждого канала.
Все входные данные (в том числе такие системные параметры, как название, глубина воды и координаты места установки радиогидроакустического буя) хранятся в табличной форме в файле инициализации. Этот файл считывается при загрузке программы. Программа вводит данные из АЦП в ОЗУ, распределяет данные по каналам, преобразует данные в микропаскали и записывает файлы на жесткий диск (для каждого канала создается отдельный файл).

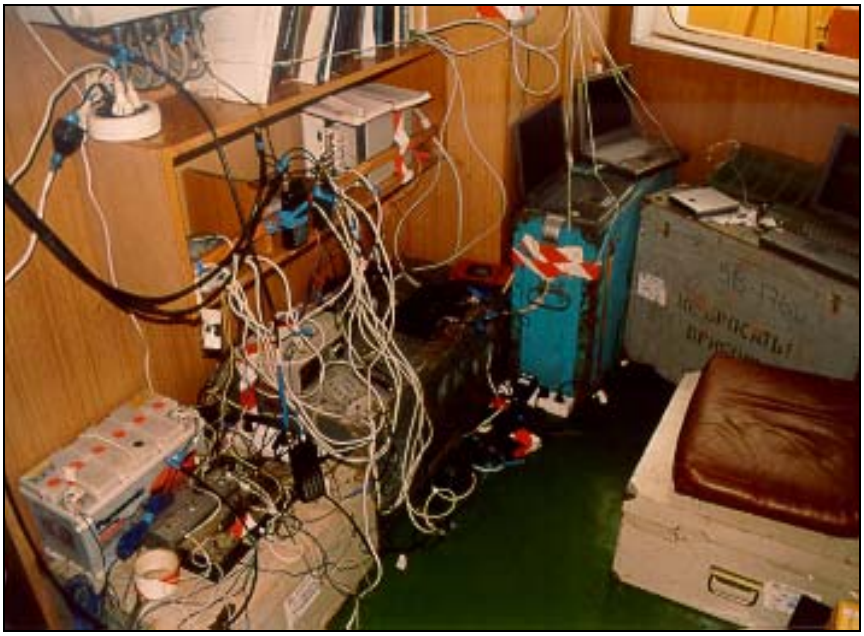

Рисунок 2.15 - Регистрирующее оборудование на судне *Ирбис*

2.5 Низкочастотный (НЧ) электромагнитный резонансный излучатель

Низкочастотный резонансный излучатель использовался для взаимной калибровки и измерений потерь при распространении. В НЧ излучателе имеется наполненный газом цилиндр[29], ограниченный парой излучающих поршней, которые колеблются в противоположных направлениях и создают объемные колебания[30]. Колебания поршней

[27] Компания “Нэшнл Инструментс” - Базовый комплект программного обеспечения для работы с компонентами
[28] Компания “Нэшнл Инструментс” - Программное обеспечение для измерений и автоматизации
[29] Размеры: диаметр 58 см, высота 15 см; вес в воздухе 48 кг, в воде ~6 кг.
[30] Во время калибровочных испытаний в Японском море амплитуда перемещения поршня на резонансной частоте составляла 3,3 мм. Таким образом, амплитуда объемных колебаний

вызывает электромагнит; поршни соединены между собой с помощью цилиндрических пружин, и, в свою очередь, соединены с торцом цилиндрического корпуса через резиновые прокладки. Излучатель питается от мостового тиристорного инвертора, соединенного с ним 4-жильным кабелем длиной 34 м. Для компенсации гидростатического давления используется воздушный насос. Для достижения электромеханического резонанса на борту *Ирбиса* в цепь электропитания излучателя последовательно подключаются электрические конденсаторы и индуктивность.

На Рис. 2.16 показан низкочастотный резонансный излучатель и контрольный гидрофон, которые опускаются с борта судна *Ирбис*. На Рис. 2.17 показаны спектральные уровни генерируемого излучателем акустического поля в различных точках на резонансной частоты 24 Гц и ее гармониках: 2-я гармоника 48 Гц и 12-я гармоника 288 Гц.

Низкочастотный излучатель опускался в воду с борта стоящего на якоре *Ирбиса* на глубину 8 м (глубина моря 20 м). Акустический сигнал с частотой 28 Гц имел интенсивность 166 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц на расстоянии 2 м от излучателя и надежно регистрировался удаленными радиогидроакустическими буями[31].

2.6 Программное обеспечение для анализа акустических данных

Программное обеспечение[32] было специально разработано для обработки экспериментальных данных и адаптировалось в ходе выполнения полевых исследований, чтобы более эффективно анализировать результаты акустических измерений,. с помощью построения сонограмм и спектров. Были разработаны дополнительные программы для взаимной калибровки, расчета спектров и применения корректирующих коэффициентов (по результатам взаимной калибровки).

составляла 0,0012 кубического метра. Испытания, проводившиеся на глубине 2 м с использованием калиброванных акселерометров, показали, что при применении максимального числа пружин (30) резонансная частота излучателя составляет 20,2 Гц с боковыми частотами 15,2 и 30,6 Гц (-3 дБ).

[31] При работе излучателей уровни акустических сигналов измерялись с помощью калиброванного гидрофона, расположенного на расстоянии 1 - 2 м от излучателя.

[32] Данное программное обеспечение было написано на языке Object Pascal 2.

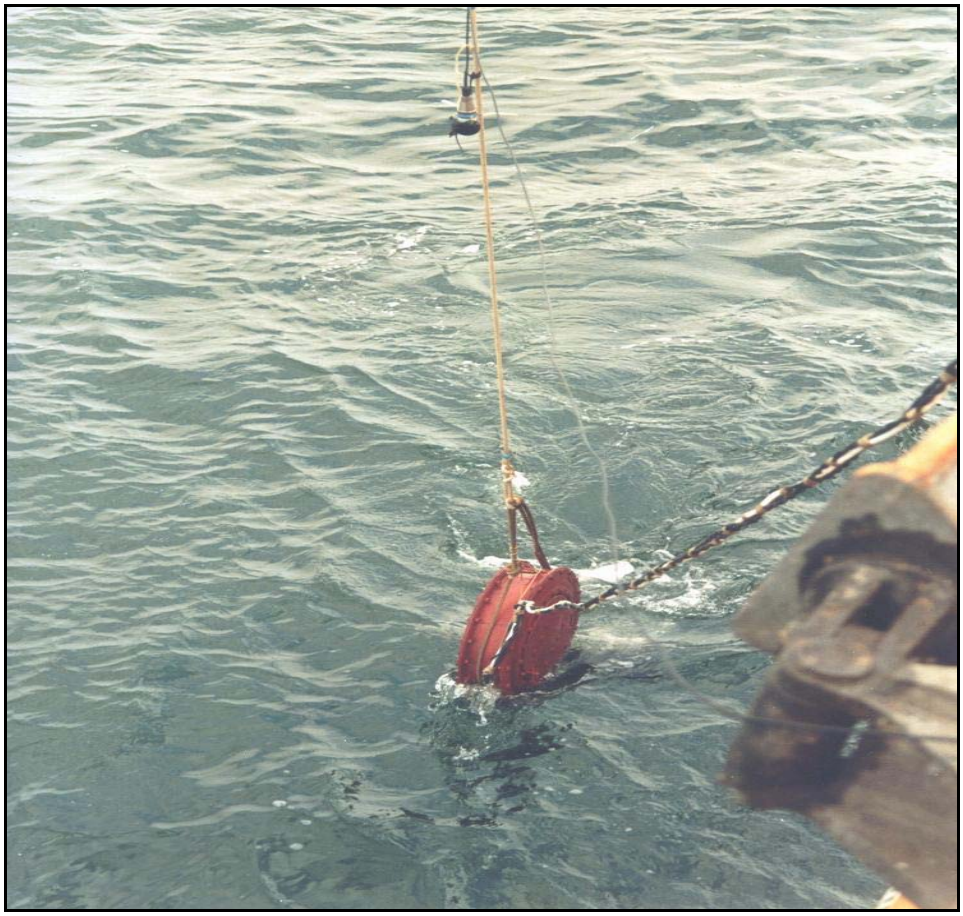

Рисунок 2.16 - Спуск с борта *Ирбиса* низкочастотного резонансного излучателя и калиброванного контрольного гидрофона

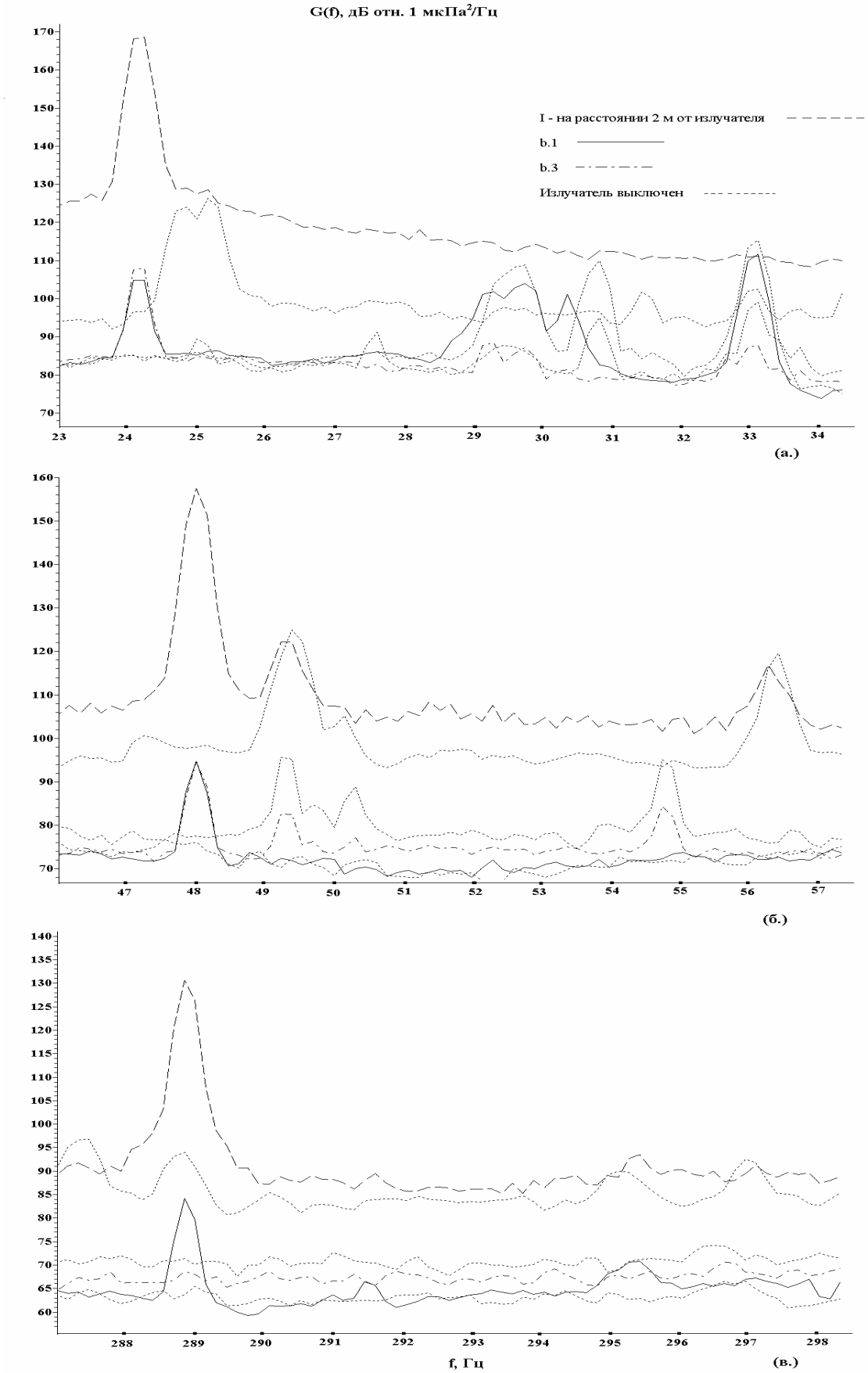

Рисунок 2.17 - Спектральная зависимость *G(f)* для низкочастотных данных 24 Гц (вместе с гармониками), синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.3, а также данные для поверочного гидрофона, находящегося на расстоянии 2 м от излучателя

2.7 Калибровка цифровых и аналоговых буев и анализ погрешности совместной калибровки (кросс-калибровка)

Для сравнения результатов акустических измерений, проведенных в районах Пильтуна и Чайво, с результатами предыдущих или будущих исследований, данные должны быть откалиброваны по абсолютным значениям звукового давления. Гидрофоны были изготовлены с известными значениями чувствительности, а коэффициенты усиления были заданы во время проведения исследований. Для подтверждения точности калибровки оборудования на месте проведения исследований была проведена взаимная калибровка (кросс-калибровка).

Калибровка гидрофонов была выполнена в ГМЦГИ[33] при ВНИИФТРИ[34] (Москва). Чувствительность гидрофонов определялась в акустической калибровочной камере[35] путем сравнения фактических величин чувствительности гидрофонов с эталонными значениями, при этом относительная погрешность составила менее 1,5 дБ (при вероятности 95%)[36]. На Рис. 2.9 представлена частотная зависимость чувствительности сферического гидрофона в диапазоне частот 1 Гц-10 кГц. Свидетельства калибровки гидрофонов приведены в Приложении А.

12 сентября 2002 г. на судне *Ирбис* была проведена взаимная калибровка цифровых и аналоговых радиогидроакустических буев. Все буи, кроме 12-битового цифрового радиогидроакустического буя, калибровались посредством сравнения шумов, создаваемых судами *Ирбис* и *Триас*, а также тональных сигналов, генерируемых низкочастотным звуковым излучателем. 12-битовый цифровой радиогидроакустический буй впоследствии прошел взаимную калибровку с аналоговым буем.

Методика взаимной калибровки подробно описана в Приложении В. Максимальная абсолютная погрешность среднего значения для любого цифрового радиогидроакустического буя составляла 0,62 дБ, а для любого аналогового радиогидроакустического буя – 1,7 дБ[37]. Эти значения укладываются в ожидаемые пределы относительной погрешности для оборудования и, таким образом, была подтверждена абсолютная калибровка данных.

[33] ГМЦГИ - Государственный метрологический центр гидроакустических измерений
[34] ВНИИФТРИ - Всероссийский НИИ физико-технических и радиотехнических измерений
[35] Модель УВТ 71-А-90
[36] Эта погрешность включает погрешность приблизительно равную 1 дБ, связанную с оценкой абсолютного звукового давления, необходимого для калибровки поверочного гидрофона.
[37] Более высокие значения погрешностей были связаны с низким уровнем калибровочного сигнала (Приложение В).

3 Анализ акустических данных для акватории Пильтун-Моликпак и южной части акватории Одопту

В данном разделе приводятся результаты спектрального анализа антропогенных и фоновых шумов, измеренных на трассе между платформой Моликпак и районом кормления серых китов, расположенным у входа в залив Пильтун. Измерения фоновых шумов также были проведены на южной границе акватории Одопту. В Таблице 3.1 приводятся координаты точек в которых установливались радиогидроакустические буи (точки а.0, а.1, а.2, а.4, а.5) и эти точки показаны на карте, представленной на Рис. 3.1. Кроме того, в таблице приводятся даты начала и конца акустической записи для каждого радиогидроакустического буя и глубина места.

№	Дата		Радиогидроакустический буй			Широта	Долгота	Глубина
	Начало	Конец	#	Тип	F(МГц)			(м)
1	19.09.02	20.09.02	а.0	ARB	188,030	52°59'43" с.ш.	143°19'14" в.д.	10,5
2	12.09.02 12.09.02 15.09.02	19.09.02 14.09.02 22.09.02	а.1 а.1 а.1	ARB D12 D12	188,030 166,720 166,720	52°52'00" с.ш.	143°20'50" в.д.	10
3	12.09.02 15.09.02	19.09.02 19.09.02	а.2 а.2	ARB D16	177,300 166,775	52°49'44," с.ш.	143°24'06.3" в.д.	21
4	13.09.02 13.09.02	19.09.02 19.09.02	а.4 а.4	ARB D16	176,650 166,125	52°44'59.9" с.ш.	143°31'01" в.д.	27
5	13.09.02 13.09.02	19.09.02 15.09.02	а.5 а.5	ARB D16	172,400 166,775	52°43'28" с.ш.	143°33'06.4" в.д.	32

Таблица 3.1 - Даты проведения исследований и места установки мониторинговых радиогидроакустических буев

3.1 Анализ акустических данных для акватории Пильтун-Моликпак

В период с 12 по 21 сентября 2002 г. проводилась периодическая регистрация акустических данных с помощью радиогидроакустических буев, расположенных между платформой Моликпак и заливом Пильтун. Радиосигналы от этих буев принимались на Пильтунском маяке и на судне *Ирбис*. На Рис. 3.1 приведена карта района исследований с указанием мест постановки радиогидроакустических буев (а.1, а.2, а.4 и а.5). На карте также показаны точки, в которых судно *Ирбис* стояло на якоре во время проведения акустических исследований. На Рис. 3.2 приведены батиметрические данные для профиля а.1 – а.5, полученные с помощью эхолота судна *Ирбис*.

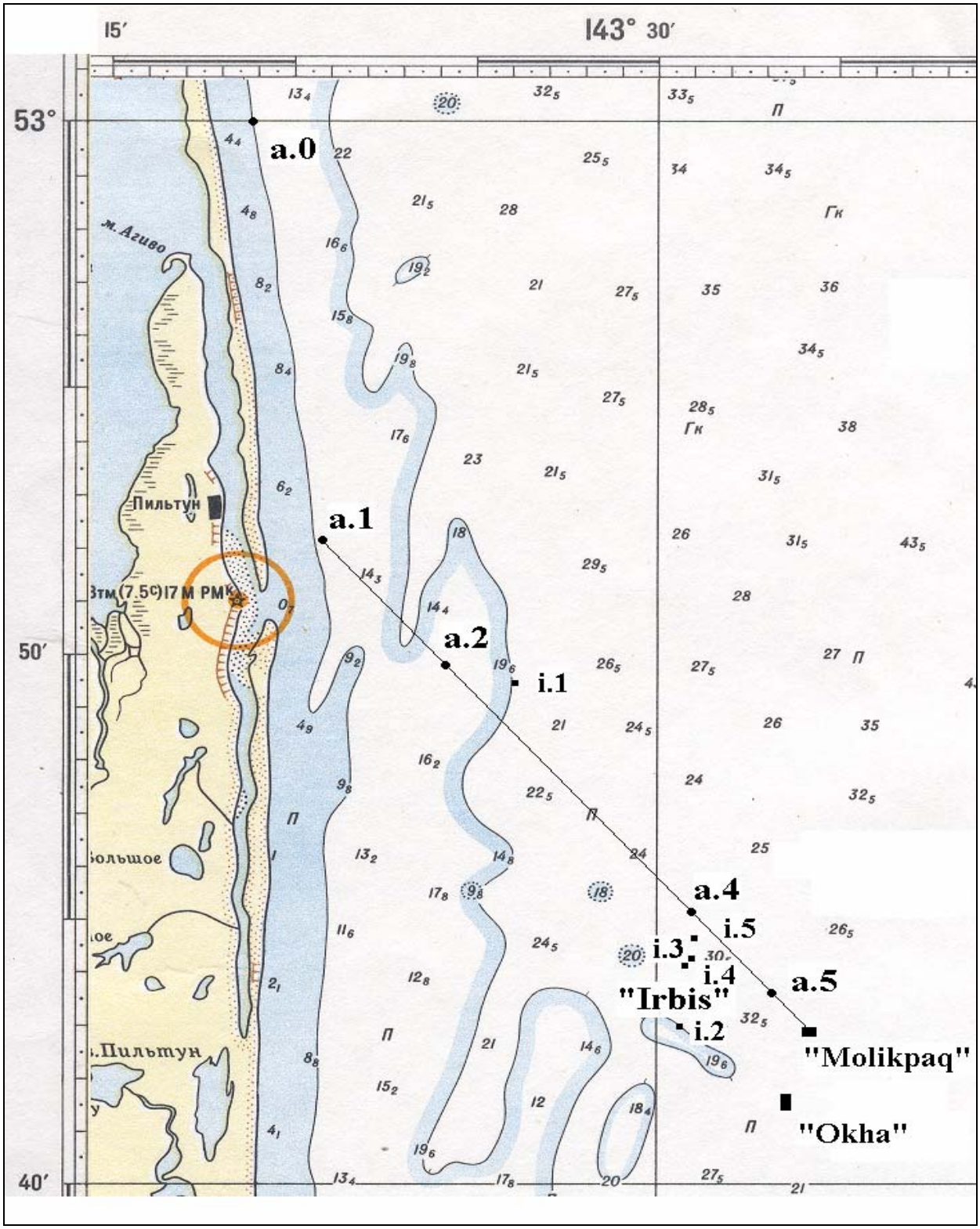

Рисунок 3.1 - Карта района исследований с указанием точек, в которых устанавались радиогидроакустические буи (a.0, a.1, a.2, a.4, a.5) и находились потенциальные источники антропогенных шумов (Моликпак, *Оха* и *Ирбис*).

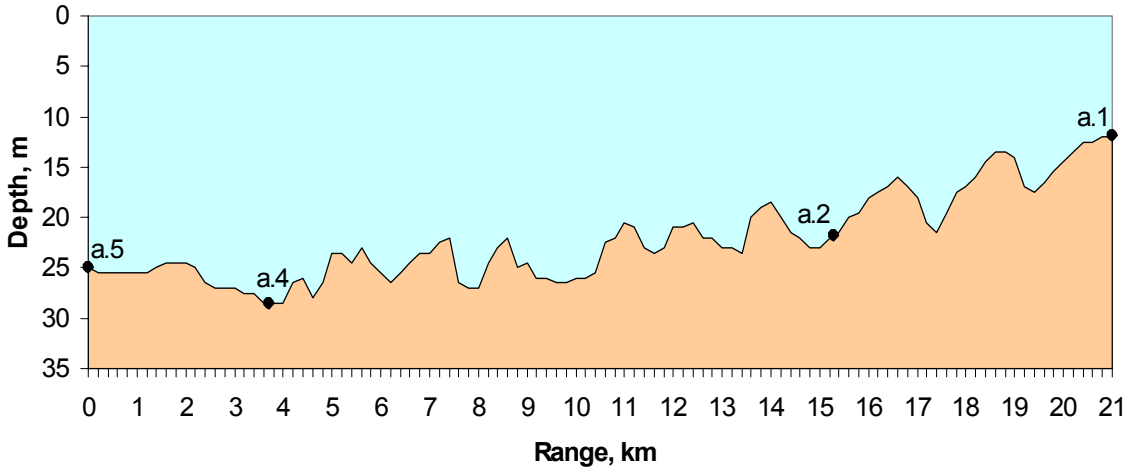

Рисунок 3.2 - Батиметрический профиль акустической трассы «Моликпак – Пильтун» с указанием точек установки радиогидроакустических буев а.1, а.2, а.4 и а.5

12 сентября 2002 г. были установлены два радиогидроакустических буя, а 13 сентября в море были поставлены еще пять буев. В 17:30 13 сентября *Ирбис* встал на якорь в точке i.2[38]. На Рис. 3.3 показана сонограмма[39], на которой значения спектральной плотности *G(f,t)* (дБ отн. 1 мкПа^2/Гц) представлены различными цветами[40]. Для упрощения визуальной интерпретации данных, графики спектральной плотности *G(f,t)* строятся для широкого (0-5000 Гц) и узкого (0-2500 Гц) диапазонов частот. На графике показаны спектральные уровни акустических шумов измеренных в точках а.1, а.2 и а.5 и их временная изменчивость в период с 23:20 13 сентября до 09:30 14 сентября. Погода ночью была безветренной, высота поверхностных волн до 1,5 м; утром волнение и интенсивность прибоя уменьшились. Ночью ледокол *Магадан* находился к северу от платформы Моликпак, буксир *Смит Сахалин* между самоподъемной буровой установкой *Оха* и платформой Моликпак, а суда *Триас* и *Нефтегаз* стояли на якоре у платформы Моликпак. На Рис. 3.3 видно, что уровни шума существенно повысились после 06:00, что связано с началом движения судов у платформы Моликпак.

07:00 - Буксир *Смит Сахалин* отошел от платформы Моликпак, и к 07:13 он находился в 200 м от *Ирбиса,* стоящего на якоре в точке i.2.

07:50 - Три судна начали операции по перемещению буровой установки к востоку от точки а.5.

09:10 - *Ирбис* поднял якорь и пошел к Охе, затем к Моликпаку.

10:20 - **Два буксира и ледокол *Магадан* подвели** буровую платформу *Оха* к платформе Моликпак. Ирбис начал двигаться к точке а.1.

Приведенные на Рис. 3.4 графики спектральной плотности G*(f)* (Рис. 3.4) позволяют количественно оценить уровень акустических шумов, зарегистрированных в точках а.1[41], а.2 и а.5. Обратите внимание, что на данном графике, как и на других графиках

[38] Точка i.2: Координаты 52°42,91 с.ш., 143°38,61 з.д.; глубина воды 25 м, температура воды на поверхности +9°C.

[39] Сонограмма представляет собой график, показывающий зависимость спектральной плотности акустической мощности от частоты и времени.

[40] Для идентификации сонограмм и спектров используется обозначение включающее точку постановки и тип буя (например, а.1-A соответствует аналоговому радиогидроакустическому бую в точке а.1, а.2-D – цифровому радиогидроакустическому бую в точке а.2)

[41] Точка а.1 находится вблизи устья залива Пильтун, в районе с высокой концентрацией кормящихся серых китов.

спектральной плотности, масштаб частоты может изменяться, что позволяет выполнять более детальный анализ низкочастотной части спектра. Показанные на графике антропогенные шумы создавались судами, стоявшими на якоре (спектр для 01:30) или работавшими вблизи платформы Моликпак (спектр для 08:39 и 08:50). При работе этих судов вблизи платформы Моликпак, спектральный уровень широкополосных акустических шумов в точке а.5 возрастал более чем на 15 дБ. В точке а.1 принимаемый спектральный уровень возрастал на 6 дБ в диапазоне 100-500 Гц, на ~9 дБ в диапазоне 500-3500 Гц, и на <4 дБ в диапазоне 4000-5000 Гц. На Рис. 3.5 более подробно показаны сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* для акустических шумов, измеренных на различных расстояниях от платформы Моликпак, пока три буксира перемещали самоподъемную буровую установку *Оха* к Моликпаку[42].

На Рис. 3.6 показаны сонограммы *G(f,t)* акустических сигналов, синхронно зарегистрированных в период между 03:20 и 17:30 15 сентября в точках а.1, а.2 и а.5. Высокие уровни шумов наблюдались между 05:20 и 07:20 15 сентября 2002 г., источник этих шумов неизвестен, но, вероятно, они были вызваны прохождением судна поблизости от платформы Моликпак, так как у Пильтунского маяка уровни шумов были ниже. В 11:24 было отмечено, что судно *Нефтегаз* двигается по направлению к Охе, создаваемые этим прохождением шумы можно четко наблюдать на Рис. 3.6 для периода с 11:30 по 12:45. Приблизительно в 16:00 *Ирбис* начал двигаться к точке а.1 для установки цифровых радиогидроакустических буев. На сонограмме зарегистрирован шум, создаваемый *Ирбисом* по мере движения к точке а.2 (Рис. 3.6, 16:40 – 17:10). После установки цифровых буев *Ирбис* вернулся к платформе Моликпак и в 20:04 встал на якорь в точке i.4. На Рис. 3.7 показаны сонограммы *G(f,t)* сигналов, зарегистрированных аналоговыми и цифровыми радиогидроакустическими буями в точках а.1 и а.2[43], на них четко видно, что после того, как *Ирбис* встал на якорь, уровень шумов в этих местах снизился, и частотно-временная характеристика помех - интерференционная картина стабилизировалась.

[42] Непрерывные высокие уровни шумов на очень низких частотах, вероятно, вызваны псевдошумами обтекания. Наличие таких шумов обусловлено большими скоростями течения у входа в залив Пильтун.

[43] Аналоговые гидроакустические буи использовались для выполнения синхронных акустических измерений в частотном диапазоне 10-10 000 Гц, а цифровые буи – в диапазоне 1-2600 Гц.

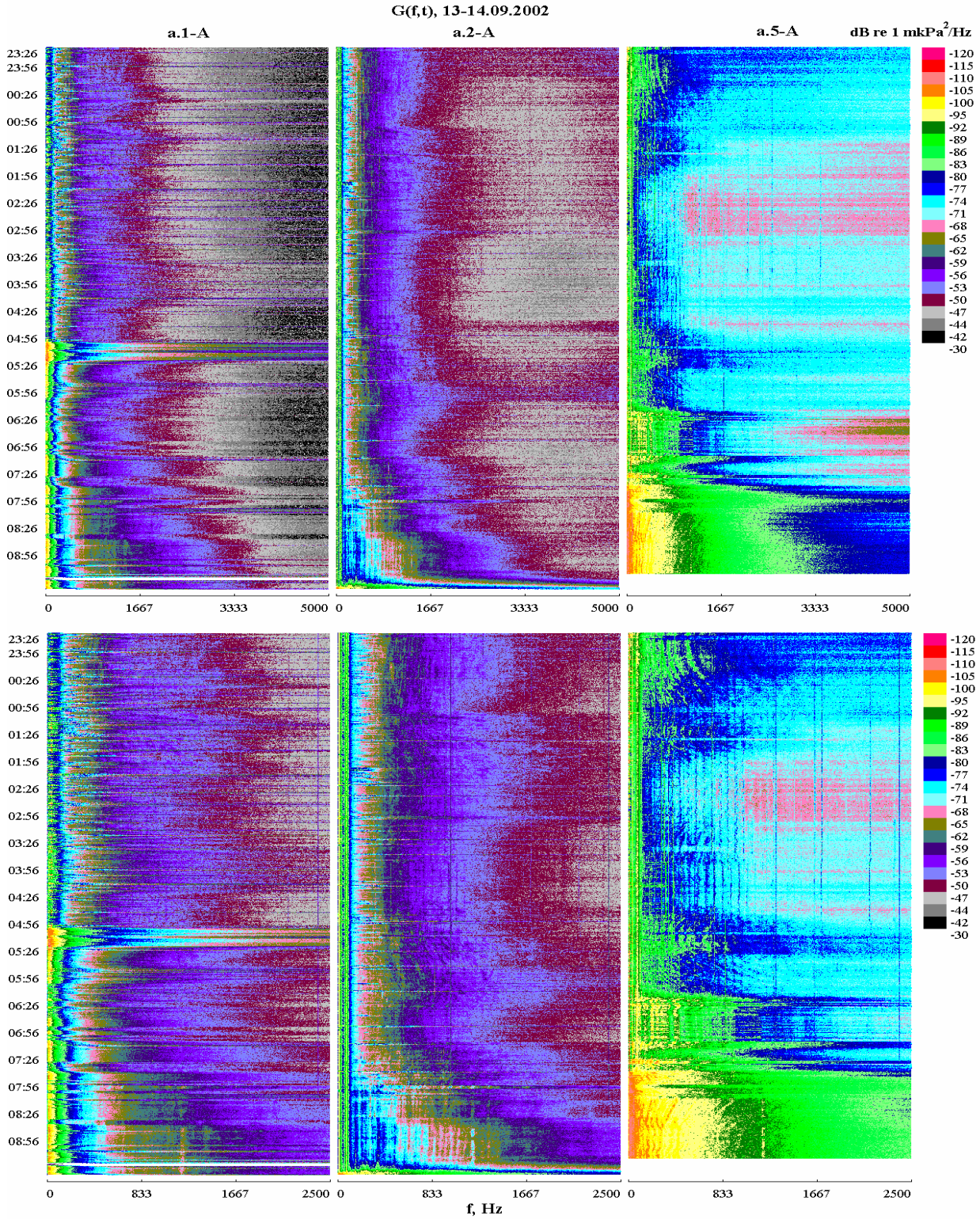

Рисунок 3.3 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 13-14 сентября 2002 г. в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев)

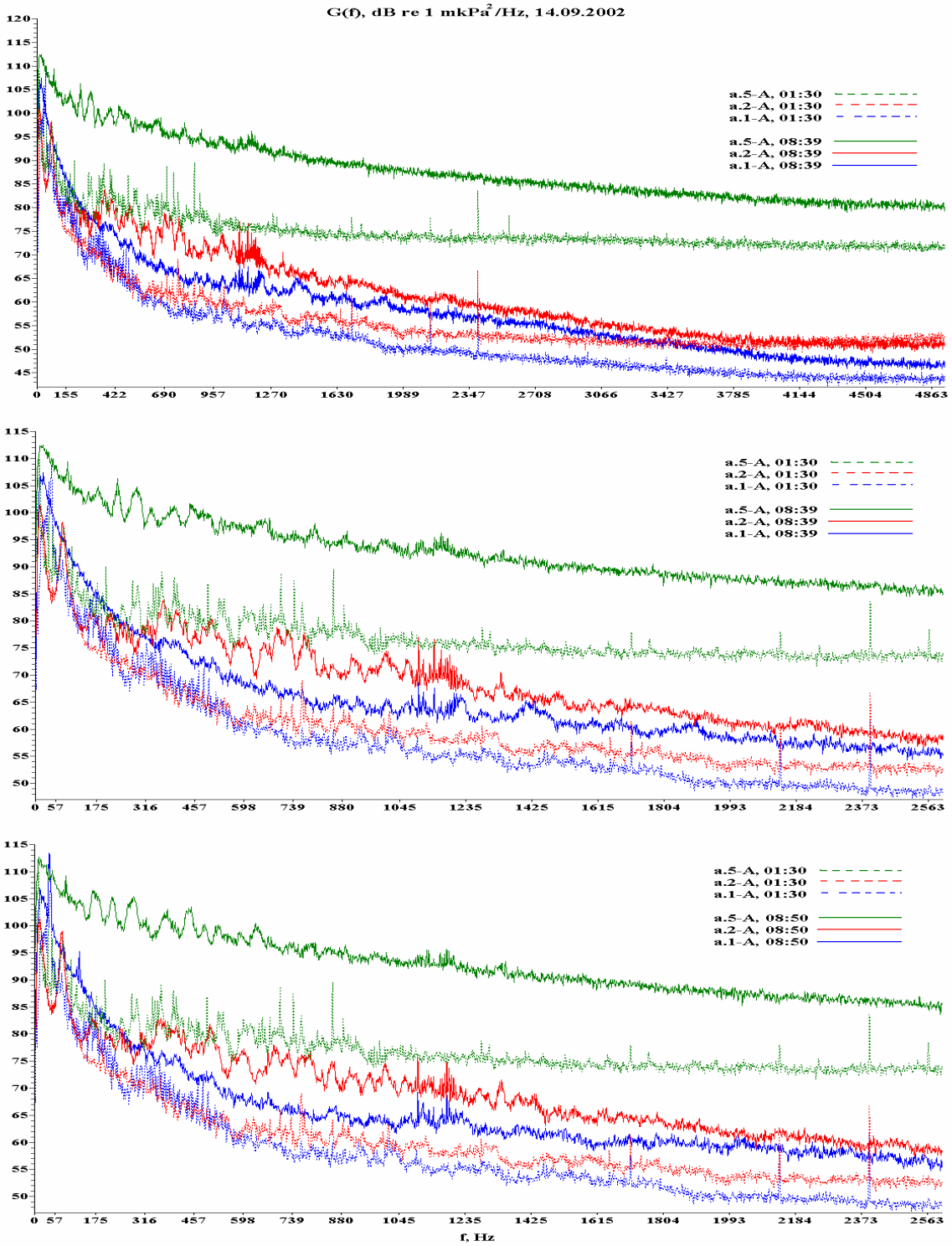

Рисунок 3.4 - Спектры *G(f)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 14 сентября 2002 г. в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев)

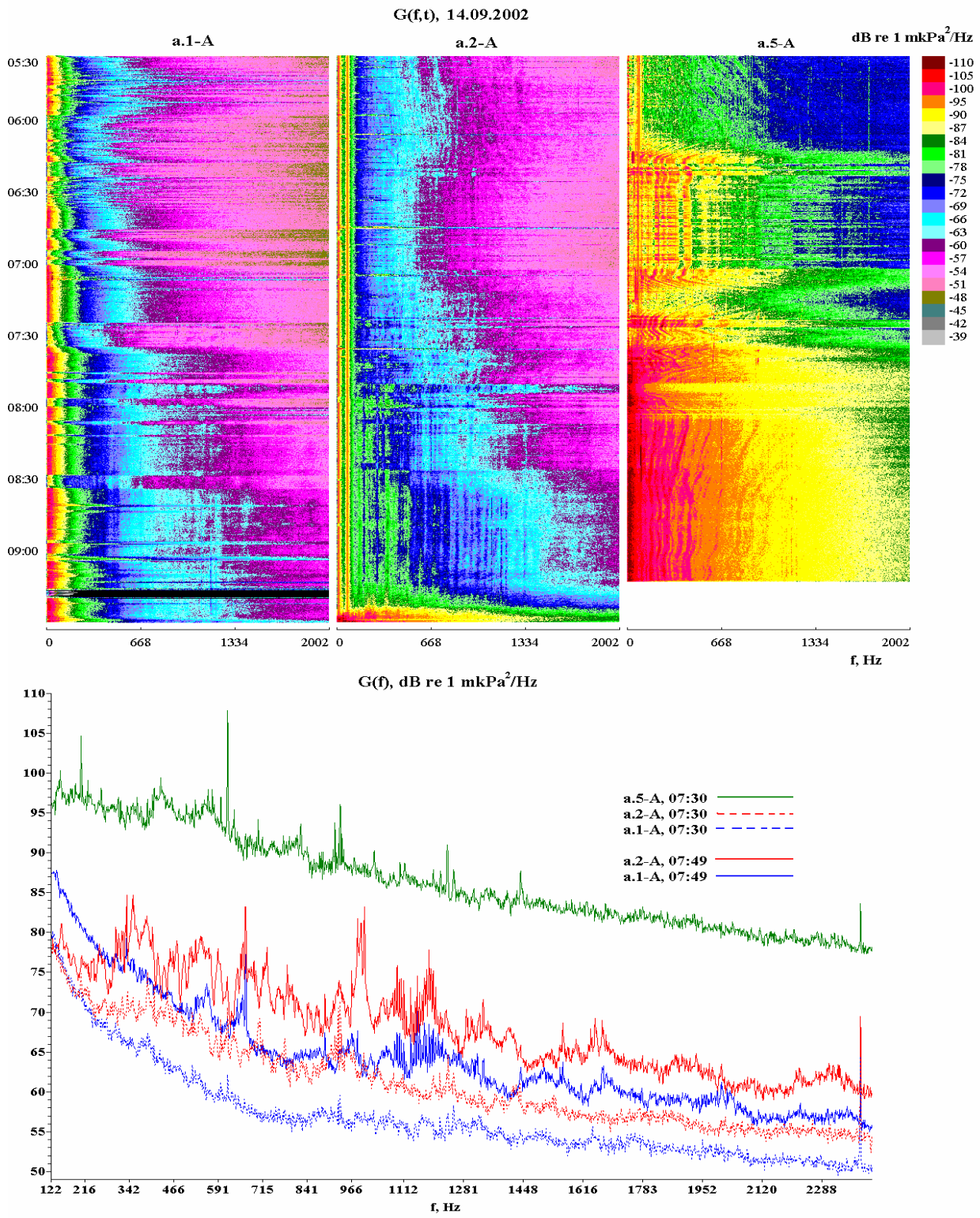

Рисунок 3.5 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев). Этот шум регистрировался по мере приближения буровой платформы *Оха* к платформе Моликпак 14 сентября 2002 г.

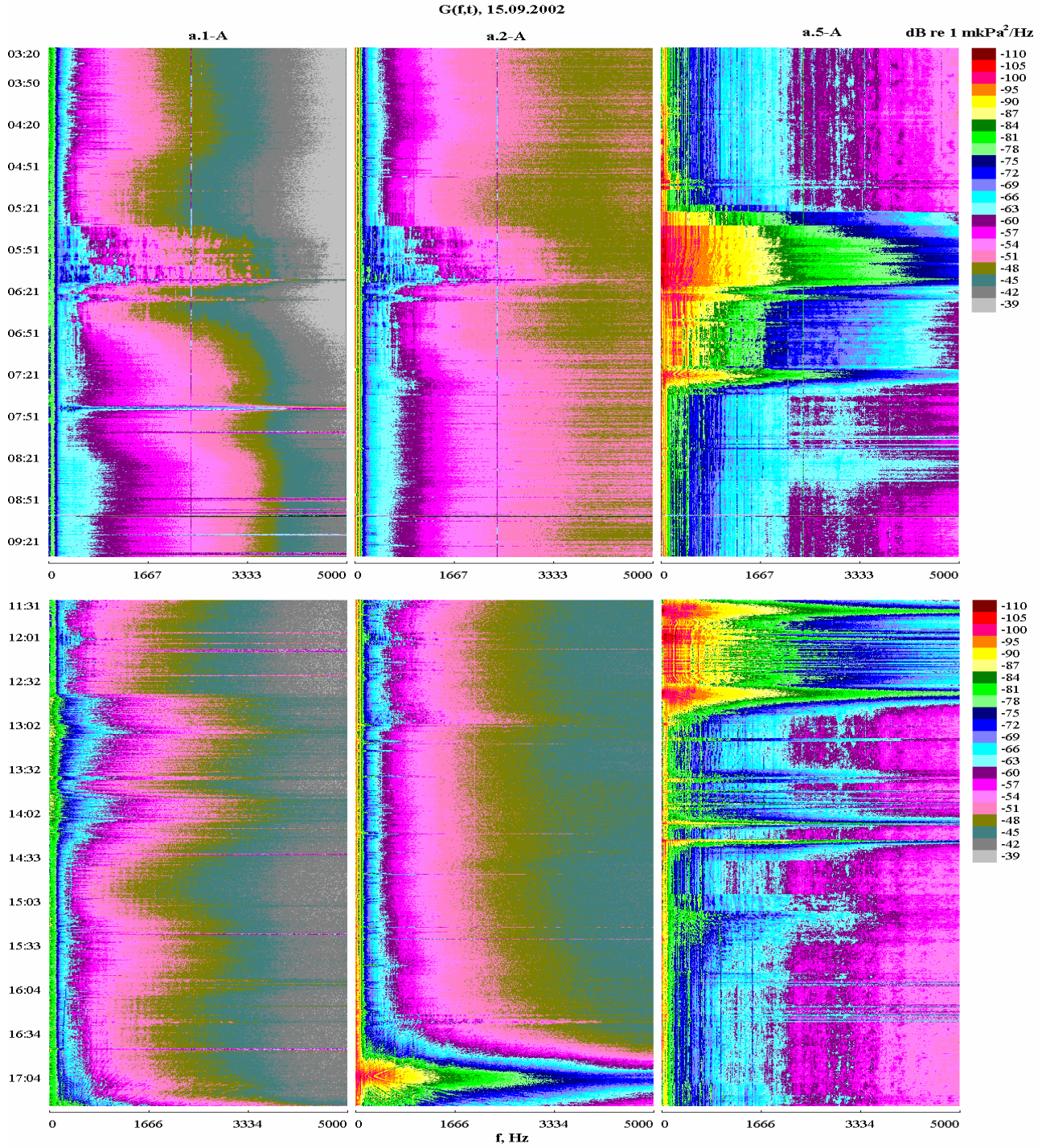

Рисунок 3.6 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев)

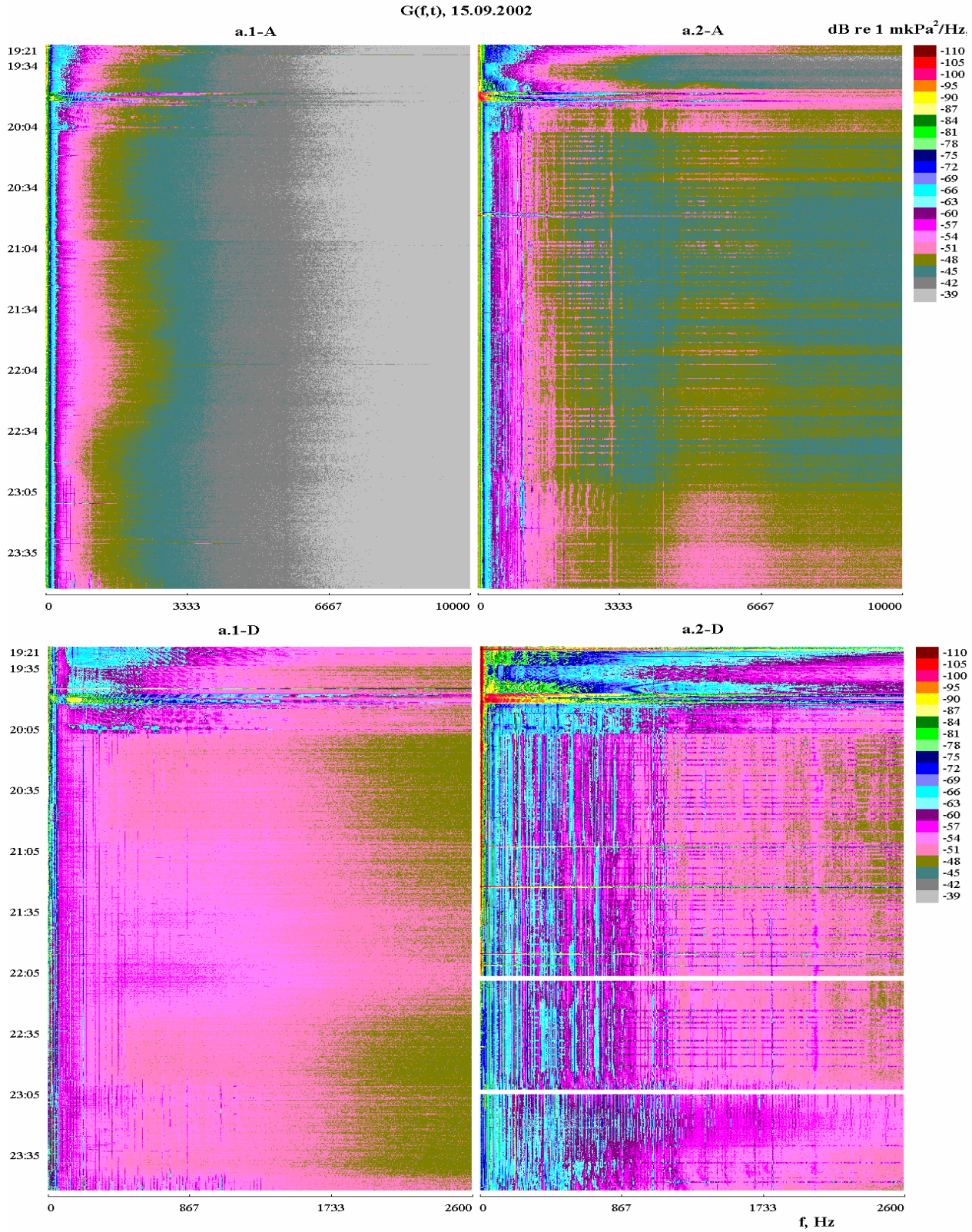

Рисунок 3.7 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенного акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках а.1 и а.2 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев)

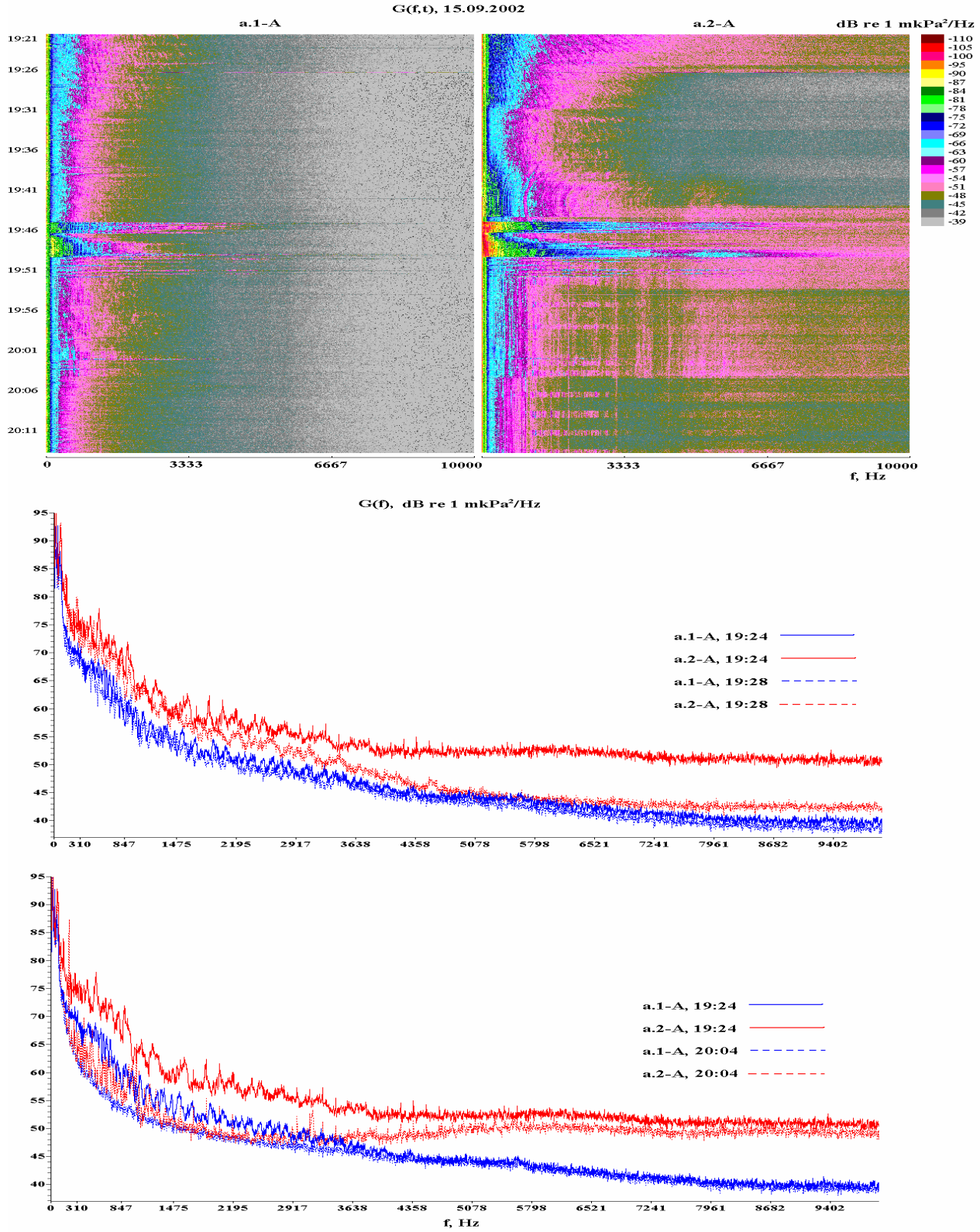

Рисунок 3.8 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках а.1 и а.2 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев)

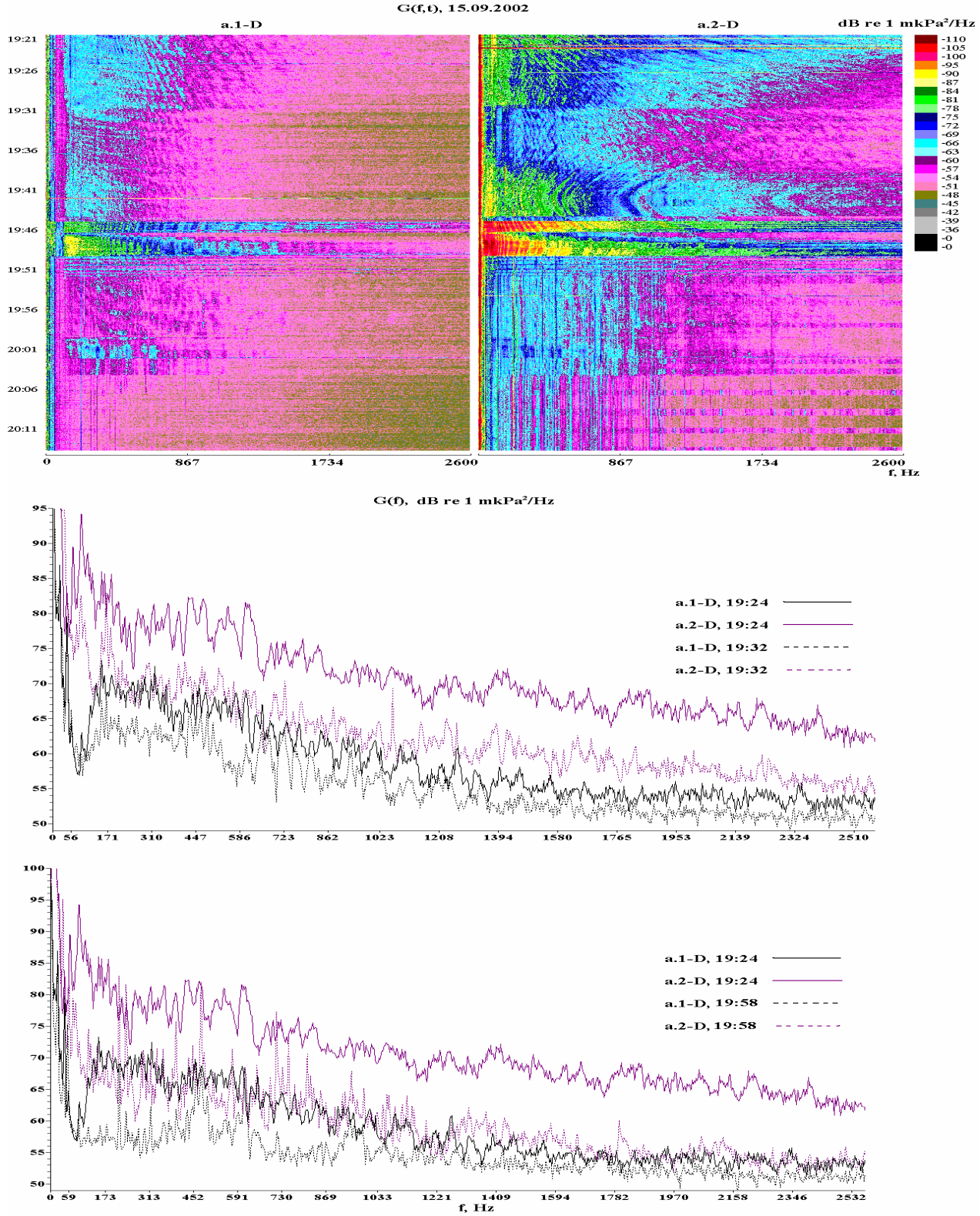

Рисунок 3.9 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустического шума, синхронно зарегистрированного 15 сентября 2002 г. в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев)

В дополнение к шумам, генерируемым *Ирбисом*, на Рис. 3.7 показаны шумы от гидрографического судна *Чара*, которое доставляет дизельное топливо, уголь, дрова и продукты на Пильтунский маяк с использованием спускаемых с судна небольших

самоходных барж[44] (Рис. 1.6 и 1.7). *Чара* подошла к точке а.2 между 19:36 и 19:50 и встала на якорь приблизительно в 19:50. Зарегистрированные после 20:10 узкополосные и тональные шумы в основном создавались оборудованием работающим на борту *Чары*. Представленные на Рис. 3.8 и 3.9 сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* более подробно показывают создаваемые *Ирбисом* и *Чарой* акустические шумы. Записанный в точках а.1 и а.2 уровень акустических шумов можно оценивать в диапазоне 1 - 10 000 Гц[45]. Приведенные на Рис. 3.8 и 3.9[46] спектры для 19:24, соответствуют периоду, в который *Ирбис* создавал сравнительно высокий уровень шумов при проходе на расстоянии 1,5 км от точки а.2.

Спектры *G(f)* на Рис. 3.8 количественно характеризуют частотную зависимость распространения акустических шумов для данного участка шельфа. Например, на частотах выше 3,5 кГц в воде на данных глубинах может распространяться большое число интерферирующих нормальных мод, суммарный спектр акустического поля, образуемого этими интерферирующими модами, напоминает спектр белого шума (например, Рис. 3.8: радиогидроакустический буй а.2-А, 19:24, 4-10 кГц)[47]. Спектры *G(f)* для 20:04 (Рис. 3.8) показывают, что спектральная плотность шума, генерируемого *Чарой* при стоянке на якоре на мелководье, может быть относительно высокой на частотах свыше 3,5 кГц.

На Рис. 3.9 показано распространение сравнительно низкочастотного шума. При данной глубине моря может распространяться ограниченное число нормальных волн с низкими частотами и поэтому, сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* показывают хорошо выраженную частотно-пространственную интерференционную структуру. Спектры *G(f)* для радиогидроакустического буя а.1-D иллюстрируют особенности распространения низкочастотного звука на мелководье (глубина <11 м). Известно, что если длина волны акустических колебаний превышает глубину слоя воды (например, для частот меньше 150 Гц) то возрастают потери связанные с затуханием моды и поглощением в дне. Однако, на частотах ниже 40 Гц акустическая энергия может распространяться в дне в виде сейсмических волн. Потери при таком низкочастотном сейсмическом распространении уменьшаются и это может повысить уровень низкочастотных шумов в мелководной части шельфа. Распространяющиеся таким образом акустические шумы будут проникать в толщу воды экспоненциально убывая при удалении от границы по которой они распространяются. Такое распространение может объяснить низкочастотную форму спектров *G(f),* полученных с помощью радиогидроакустического буя а.1-D (Рис. 3.9: 19:24).

Приведенные на Рис. 3.10 сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* показывают изменение акустического фона в точках а.1 и а.2 во время движения двух небольших самоходных барж[48] из устья залива Пильтун к судну *Чара*, стоящему на якоре вблизи точки а.2. Эти

---

[44] Припасы для снабжения маяка доставляются морем два раза в год.

[45] На Рис. 3.8 приведены данные, полученные с помощью аналоговых буев, работающих в диапазоне 10-10 000 Гц; на Рис. 3.9 приведены данные, измеренные цифровыми буями в диапазоне 1-2600 Гц.

[46] Приведенные на Рис. 3.9 и 3.10 спектры G*(f,t)* для момента времени 19:24 соответствуют расстоянию 7,1 км между Ирбисом и точкой а.1, и 1,5 км между Ирбисом и точкой а.2; в 19:28 эти расстояния составляли 8,2 и 3,3 км, соответственно; в 19:32 - 10,1 и 4,8 км; в 19:47 - 15 и 9,5 км; и в 19:58 - 17,2 и 11,9 км.

[47] В пределах данного частотного диапазона график *G(f)* для гидроакустического буя а.1-А в момент времени 19:24 расположен выше, чем для момента времени 19:28; это указывает, что в данном частотном диапазоне уровень принимаемого акустического шума превышает собственный шум оборудования.

[48] Эти небольшие самоходные баржи спускались с борта *Чары* и использовались для перевозки припасов внутри залива Пильтун и их выгрузки на берег возле маяка.

спектры характеризуют акустические шумы, создаваемые баржами, находящимися на различных расстояниях от радиогидроакустических буев. Спектры *G(f)* для 17:10 соответствуют движению самоходных барж внутри залива Пильтун. Баржи вышли из залива в 17:21, и в 17:49 приблизились к *Чаре*. В течение этого времени погода была ясной и безветренной, был прилив.

Эти данные показывают, что зарегистрированные вблизи стоящего на якоре судна Чара узкополосные низкочастотные шумы могут достигать уровня 115 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц (Рис. 3.10: радиогидроакустический буй а.2-D, 17:10 и 17:24). Акустический шум, принимаемый в точке а.1 вблизи устья залива Пильтун, имеет уровень менее 103 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

На Рис. 3.11 (аналоговые радиогидроакустические буи) и 3.12 (цифровые радиогидроакустические буи) приведены сонограммы *G(f,t),* показывающие изменения уровня акустических шумов, зарегистрированные в точках а.1 и а.2 между 23:00 16 сентября и 11:00 17 сентября. На Рис. 3.12 также показаны сонограммы *G(f,t),* соответствующие отходу *Чары*; на Рис. 3.13 показаны спектры акустических шумов, измеренных в точках а.1 и а.2 при отходе *Чары* (Рис. 3.13: 00:07 и 00:51), а также во время активной производственной деятельности вблизи платформы Моликпак. Спектры показанные на Рис. 3.13 иллюстрируют особенности распространения низкочастотных акустических колебаний от точки а.2 до точки а.1. Например, акустическая энергия в диапазоне 40-150 Гц существенно уменьшилась на мелководье вблизи точки а.1 (<20 м), при этом низкочастотные колебания затухали менее значительно (Рис. 3.13: 00:07).

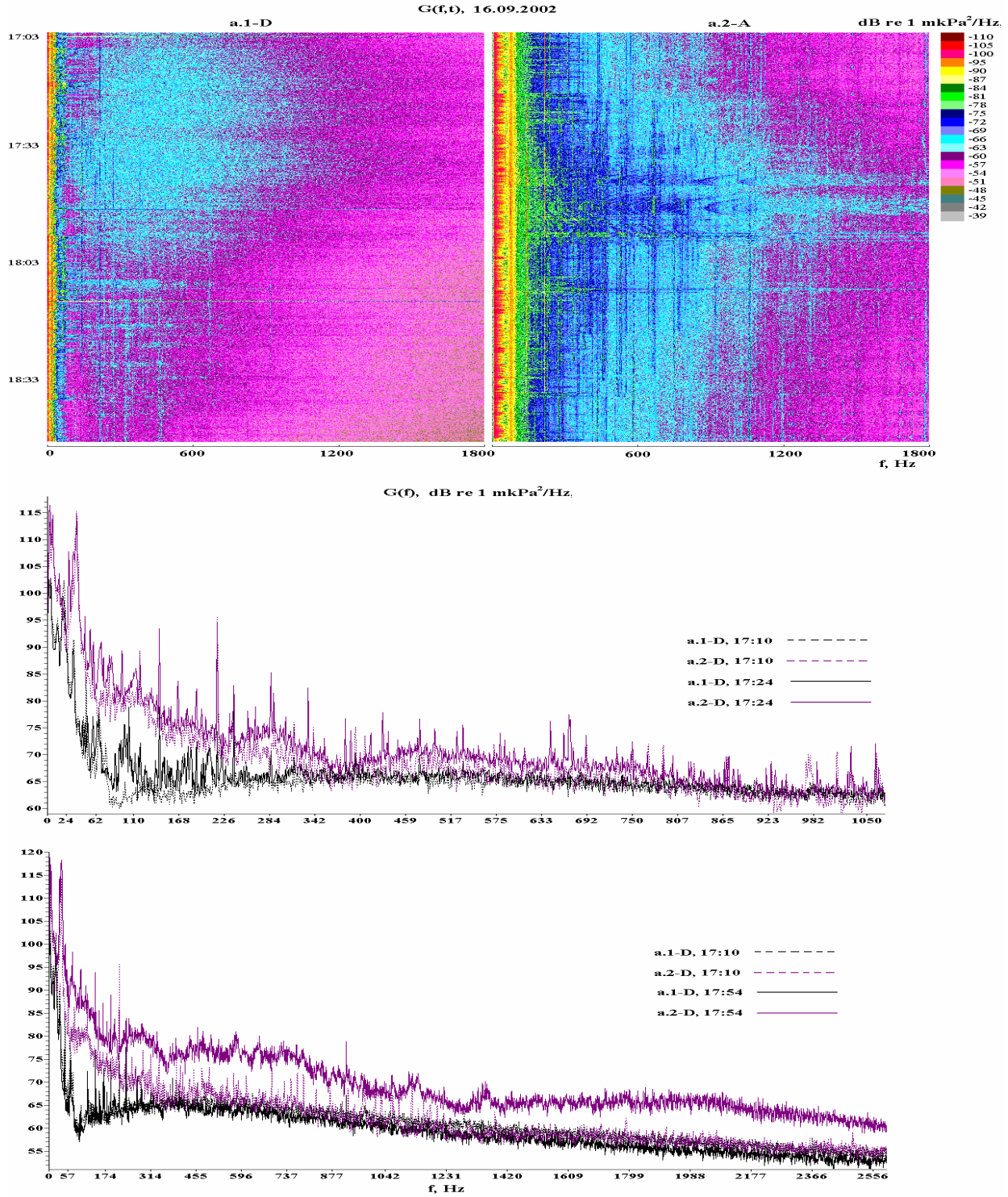

Рисунок 3.10 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 16 сентября 2002 г.

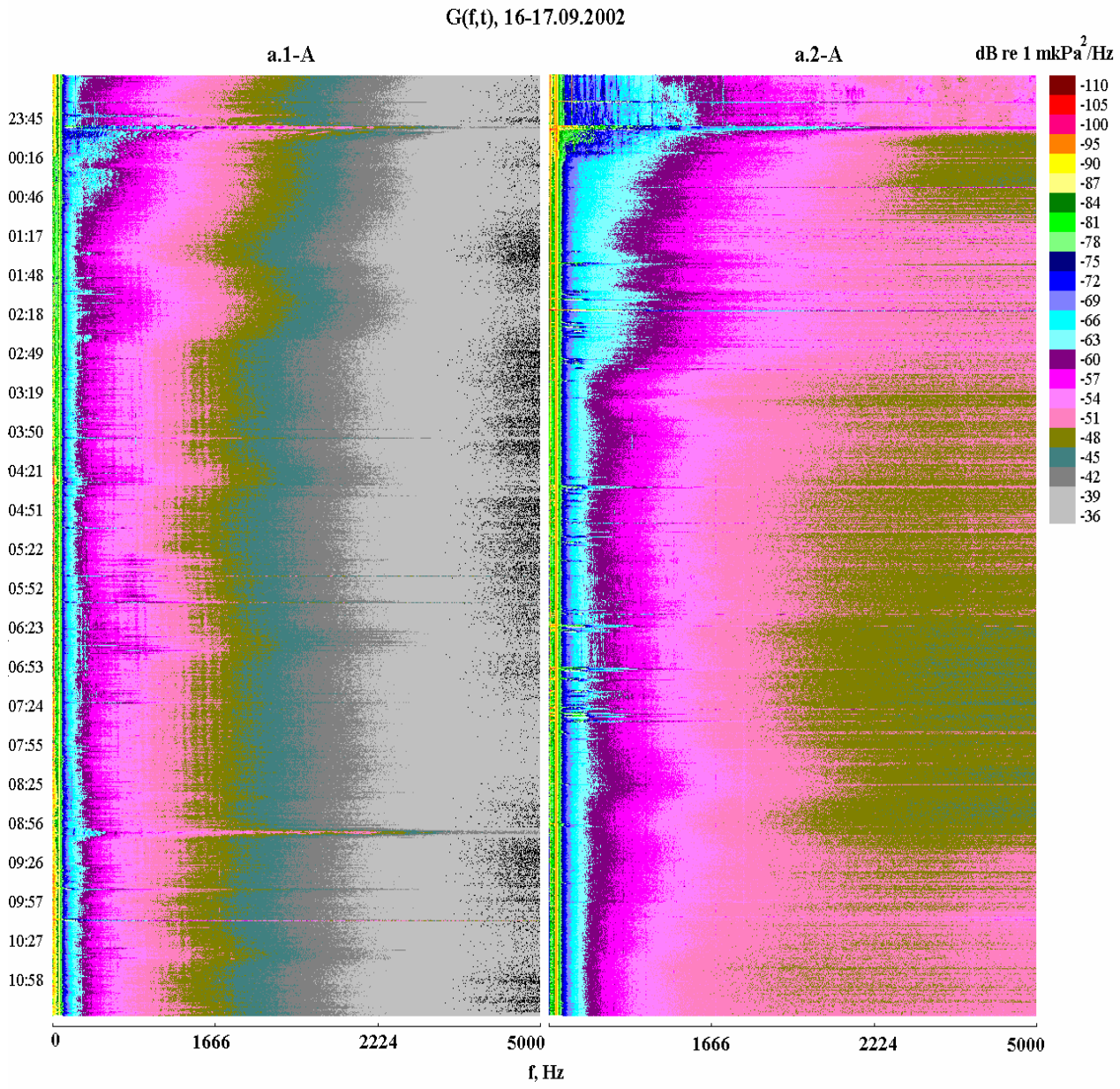

Рисунок 3.11 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 16-17 сентября 2002 г.

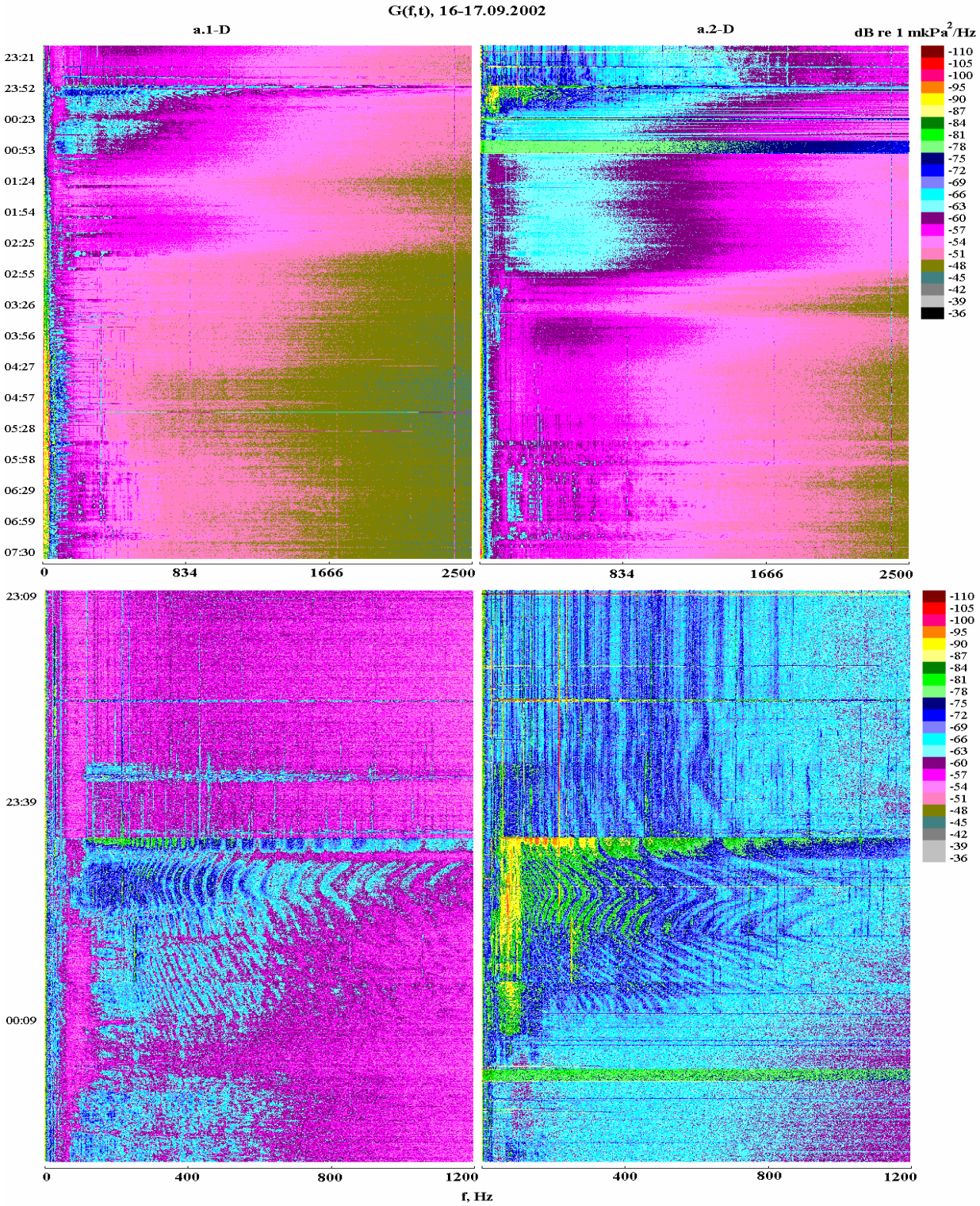

Рисунок 3.12 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 16-17 сентября 2002 г.

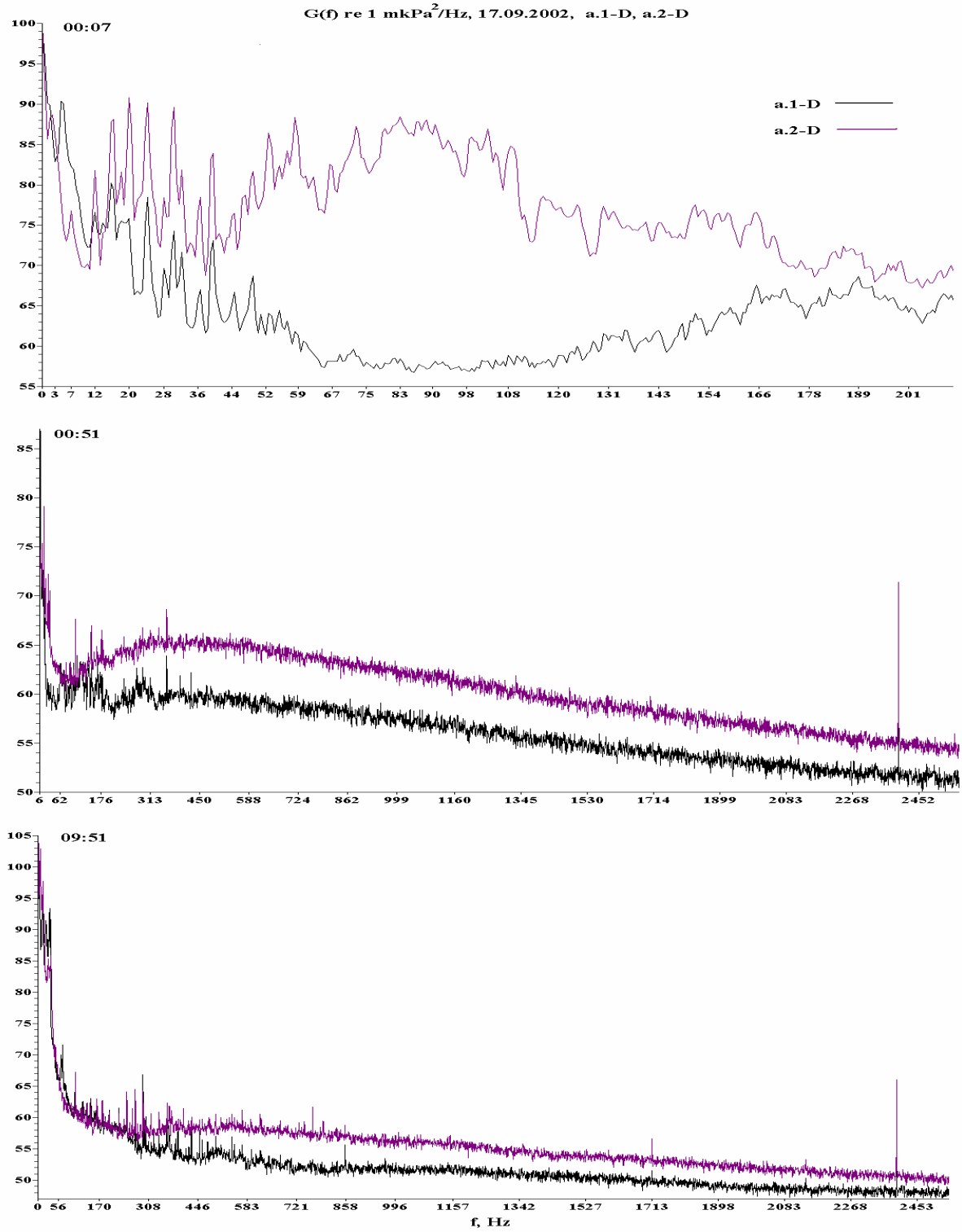

Рисунок 3.13 - Спектры G*(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

Утром 17 сентября пришел танкер *Приморье*. В 08:46 танкер *Приморье* находился в 7,5 морских милях к западу от точки i.4 (в которой на якоре стоял *Ирбис*), и двигался со скоростью 7,8 узлов по азимуту 314°. В 09:09 танкер *Приморье* встал на якорь приблизительно в 6 морских милях к западу от точки i.4. На Рис. 3.14 и 3.15 приведены

сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5. Эти данные были зарегистрированы во время выполнения следующих подготовительных операций, связанных с погрузкой танкера Приморье:

15:02 - Танкер *Приморье* встал на якорь, приблизилось судно *Мисс Сибил*[49].
16:09 - Судно *Смит Сахалин* направилось от 500-метровой закрытой зоны к плавучему нефтехранилищу *Оха*.
16:22 - *Приморье* начало двигаться к *Охе*; корма *Охи* направлена на север.
16:40 - Приморье вошло в 5-километровую закрытую зону.
16:49 - *Мисс Сибил* вошла в 5-километровую закрытую зону и движется к танкеру.
17:18 - *Мисс Сибил* приблизилась к танкеру *Приморье*, который находится к югу от *Охи.*

На Рис. 3.14 и 3.15 приведены сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 с использованием аналоговых (а.2, а.4 и а.5) и цифровых (а.1, а.2 и а.4) радиогидроакустических буев. Эти измерения были выполнены до начала операций перегрузки нефти (15:06 и 15:08) и во время перехода судна *Смит Сахалин* от платформы Моликпак к *Охе* (16:20 и 16:23). За эти четыре минуты судно *Смит Сахалин* прошло приблизительно половину данного расстояния. Спектры *G(f)* на Рис. 3.15 и 3.16 (радиогидроакустические буи а.1-D и а.2-D в 16:23) показывают, что уровень акустического шума, принимаемого в точках а.1 и а.2 во время выполнения указанных маневров судном *Смит Сахалин,* не превышал для частот выше 40 Гц уровня 82 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Для частот ниже 40 Гц принимаемый в точке а.1 уровень был меньше 99 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

На Рис. 3.17 показаны временные изменения принимаемых уровней акустических шумов, синхронно измеряемых в точках а.1, а.2 и а.5 во время причаливания танкера *Приморье* к плавучему нефтехранилищу *Оха,* а также при начале отгрузки нефти[50].

[49] Погодные условия: восточный ветер, волнение моря 2-3 балла по Бофорту, температура поверхности воды +9°С.
[50] Перегрузка нефти с *Охи* на *Приморье* была начата приблизительно в 19:09.

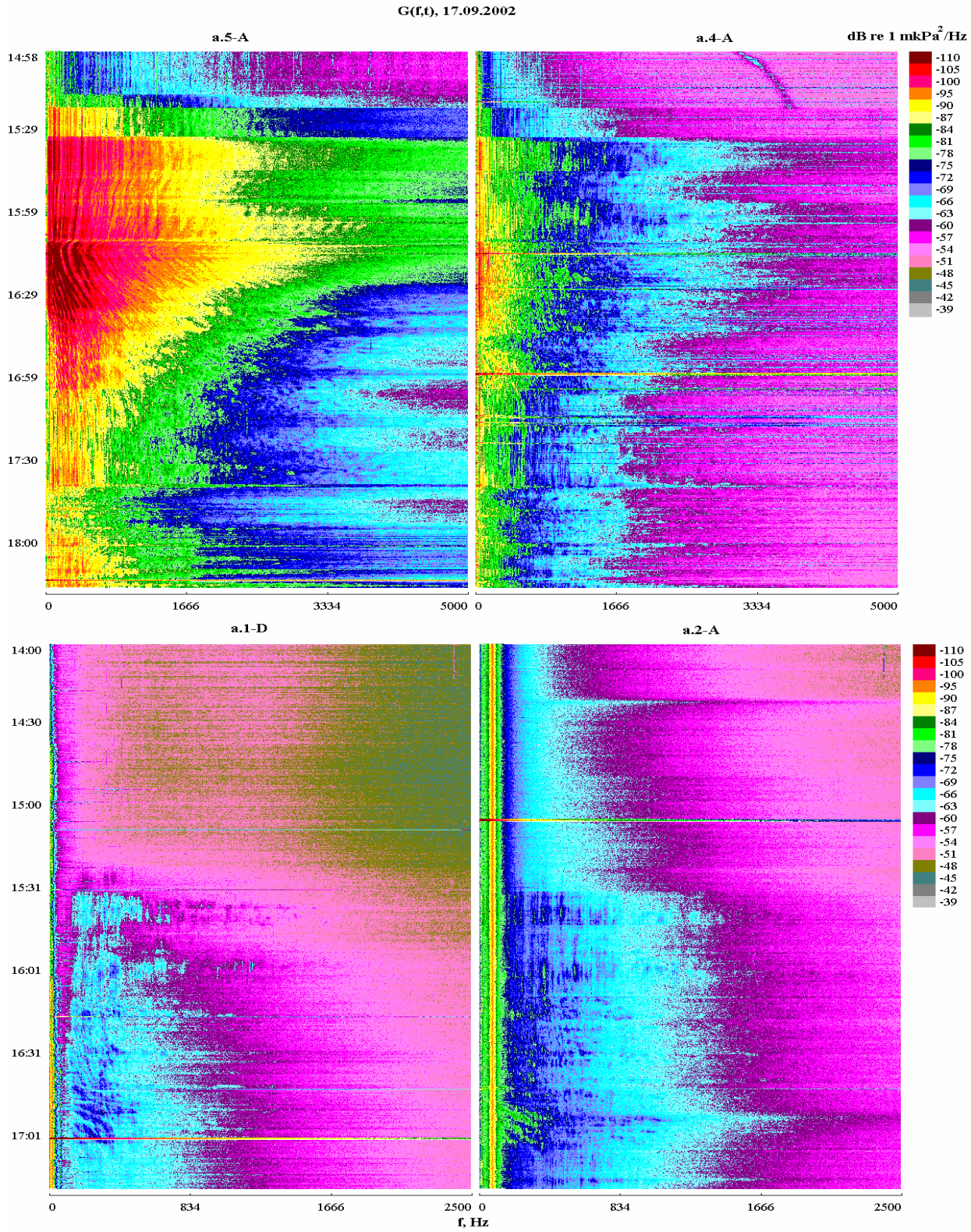

Рисунок 3.14 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

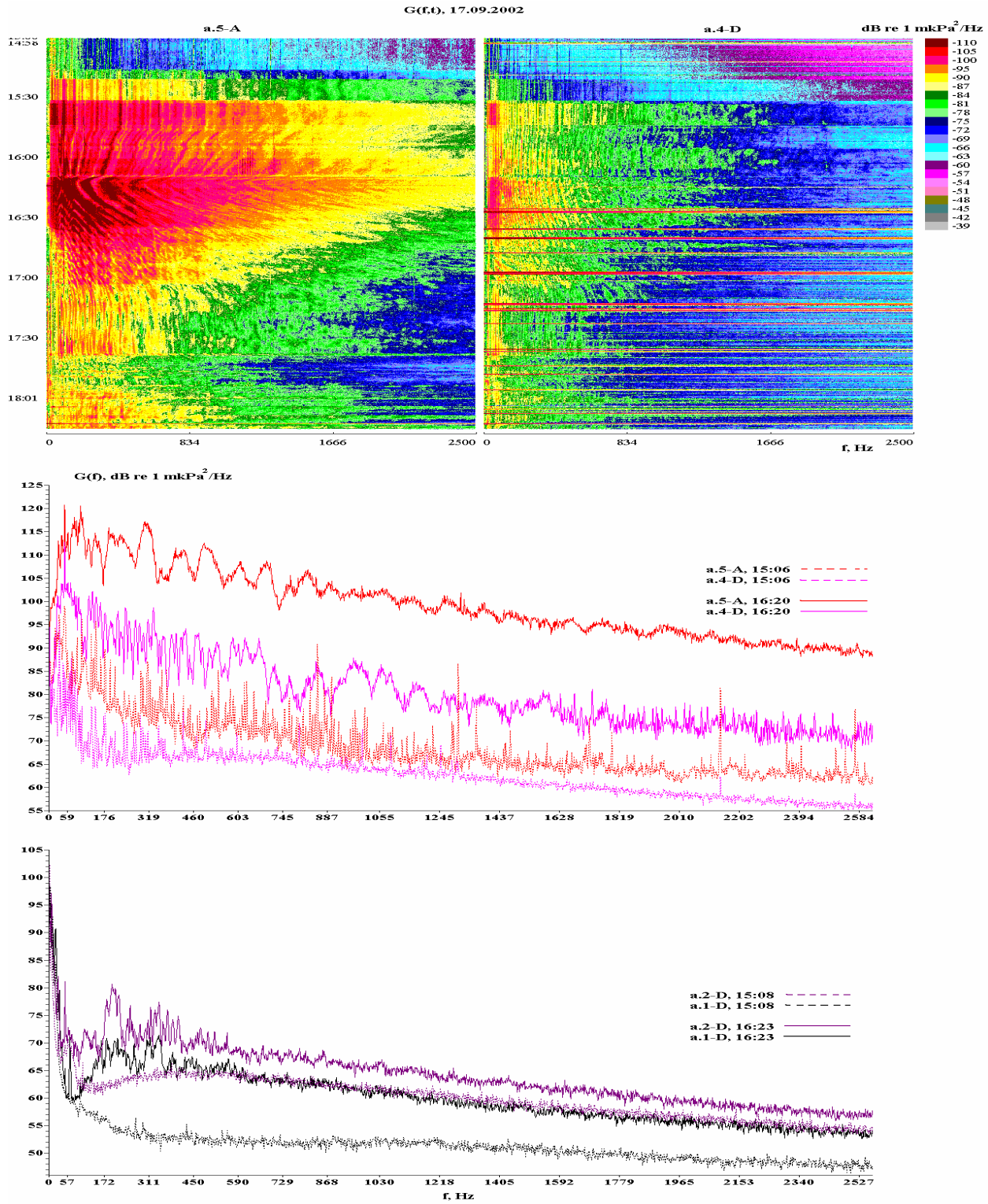

Рисунок 3.15 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

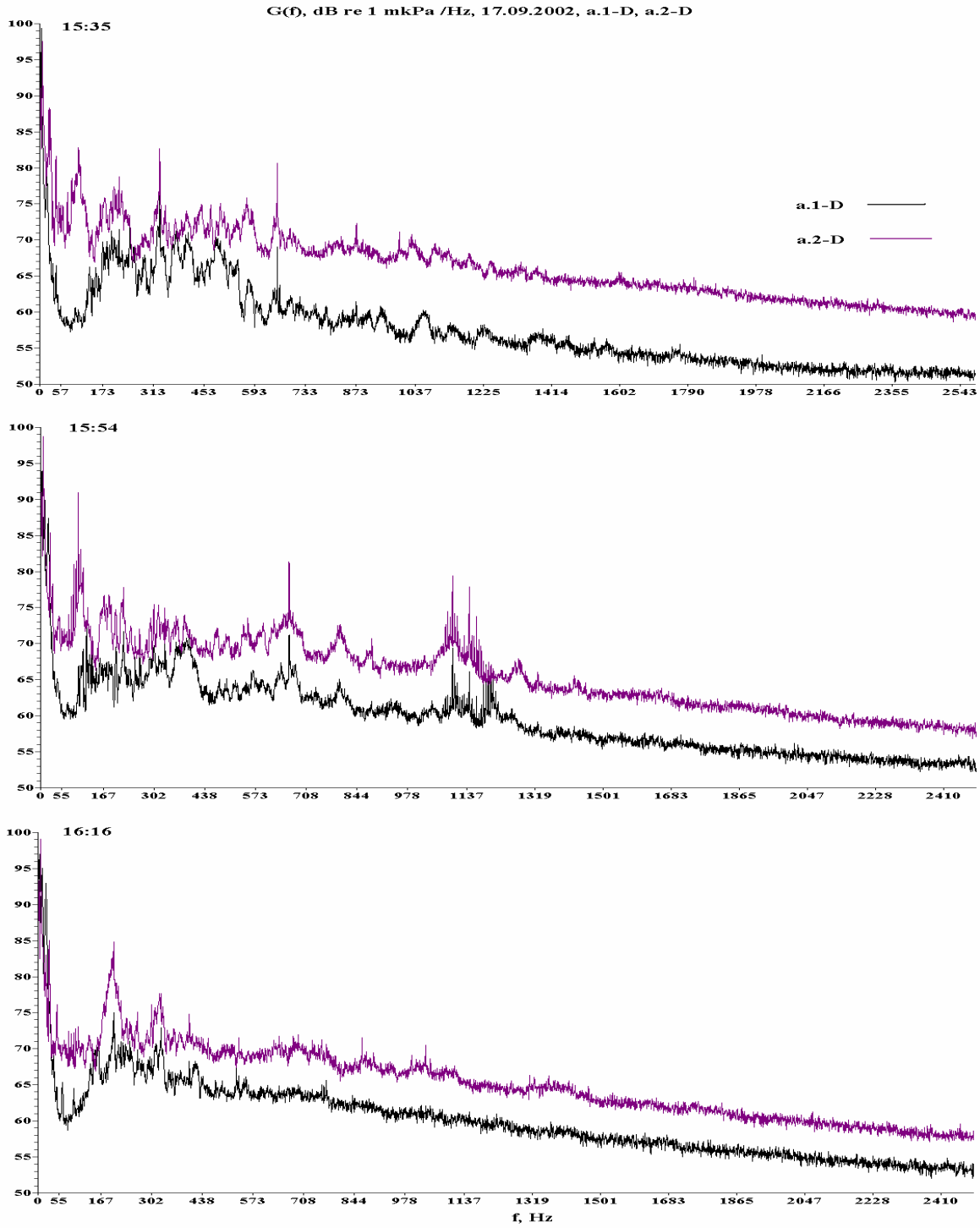

Рисунок 3.16 - Спектры G*(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1 и а.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

На Рис. 3.18 и 3.19 показаны спектральные и временные изменения акустических шумов, зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 во время отгрузки нефти на танкер *Приморье*. Приведенный на Рис. 3.19 спектр *G(f)* позволяет оценить изменения спектральных уровней акустических шумов в точках а.1, а.2 и а.5 для двух

пространственных ориентаций цепочки перегружающих нефть судов[51], соответствующих разным направлениям приливного течения. Спектр в 02:02 соответствует южному направлению приливного течения, а в 05:30 – северному направлению приливного течения. На Рис. 3.19 также показан тональный сигнал с частотой 2,4 кГц, генерируемый высокочастотным излучателем спущенным в воду с борта *Ирбиса*.

Утром 18 сентября в течение одного часа вблизи платформы Моликпак регистрировалось повышение уровня широкополосного (1 Гц-10 кГц) акустического шума. На Рис. 3.20 приведена сонограмма *G(f,t)* данных результатов для точки a.5. На Рис. 3.20 также приведены сонограммы *G(f,t)* синхронных акустических измерений, выполненных в точках a.5 и a.4 во время перегрузки нефти. Сонограммы *G(f,t)* на Рис. 3.21 показывают изменения уровней акустических шумов в точках a.4 и a.5 во время перегрузки нефти и во время последующего перемещения судов обеспечения.

Во время перегрузки нефти совершались следующие основные перемещения судов:

09:11 - Судно *Мисс Сибил* приблизилось к *Ирбису* (находящемуся на якоре в точке i.4).
12:51 - Цепочка перегружающих нефть танкеров была ориентирована на север от одноякорного причала.
13:19 - Судно *Мисс Сибил* перемещается к платформе Моликпак.

Сонограммы на Рис. 3.22 характеризуют изменения уровня акустических шумов на последних стадиях перегрузки нефти. Синхронные данные регистрировались для точек a.1, a.2, a.4 и a.5, а сонограммы *G(f,t)* построены с использованием широкополосной (1 Гц-10 кГц) и узкополосной (1-2500 Гц и 1-500 Гц) шкал частот.

[51] Данная цепочка судов состояла из одноякорного причала, плавучего нефтехранилища *Оха*, танкера *Приморье* и буксира *Смит Сахалин,* который обеспечивает пространственную стабилизацию всей цепочки.

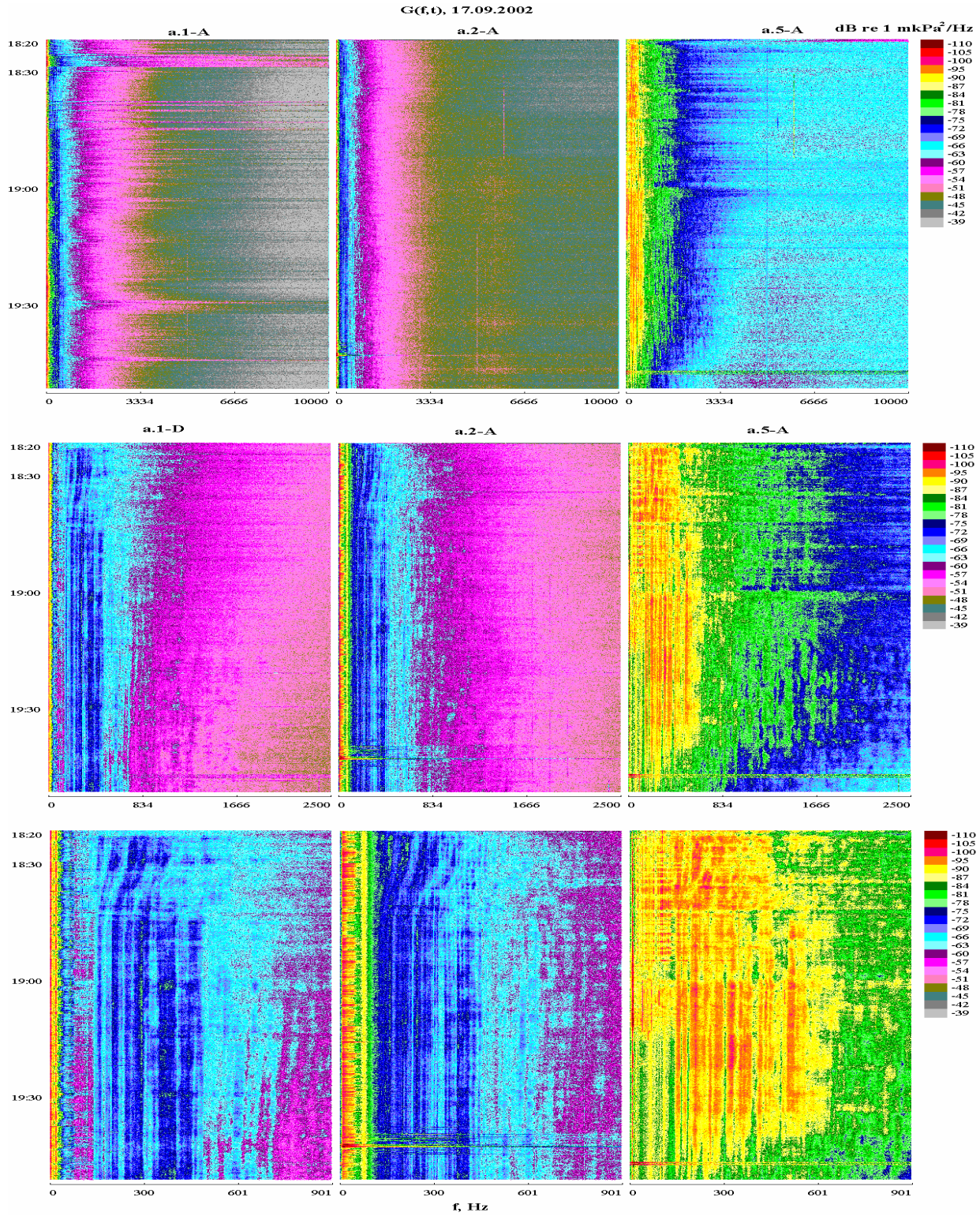

Рисунок 3.17 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 17 сентября 2002 г.

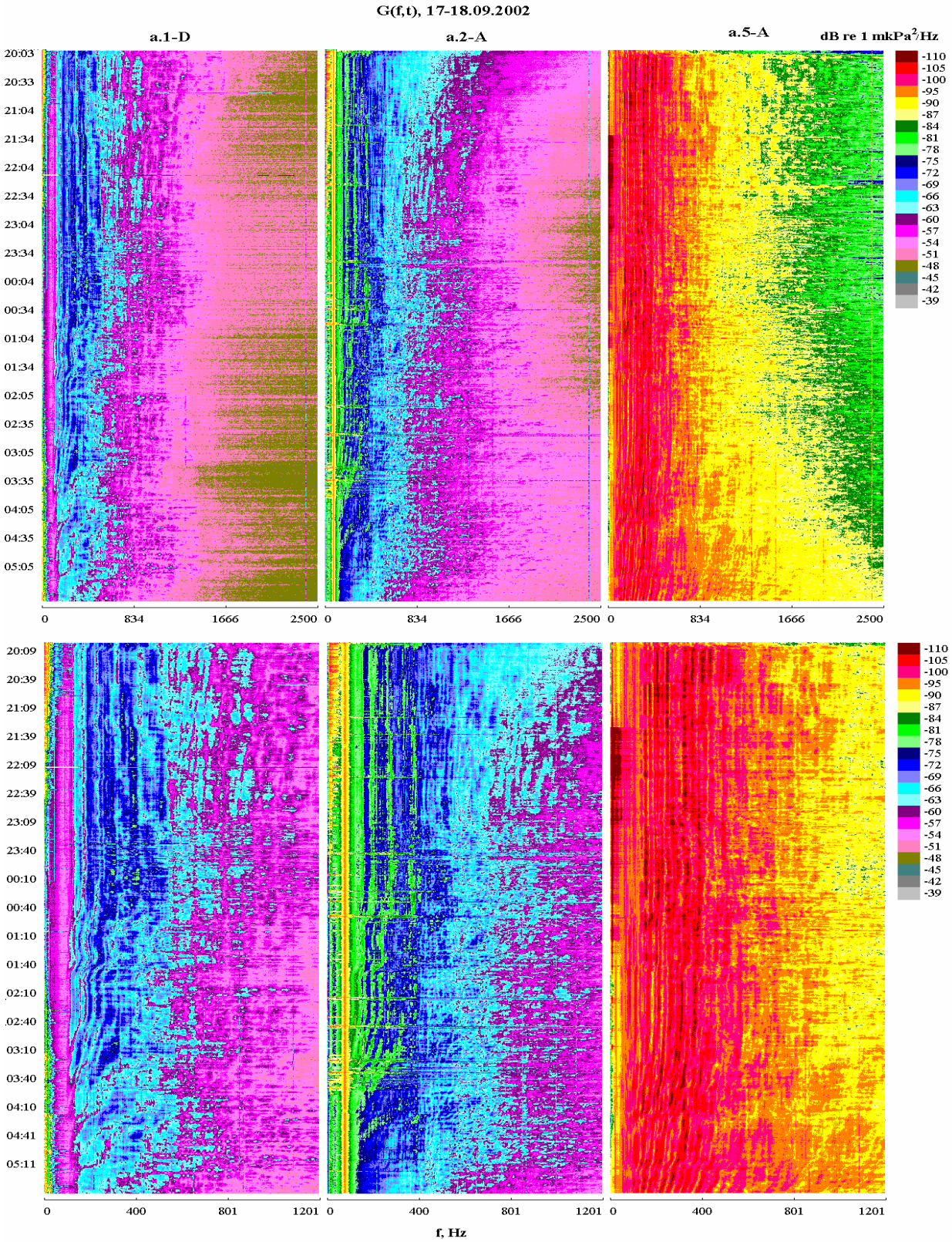

Рисунок 3.18 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 17-18 сентября 2002 г.

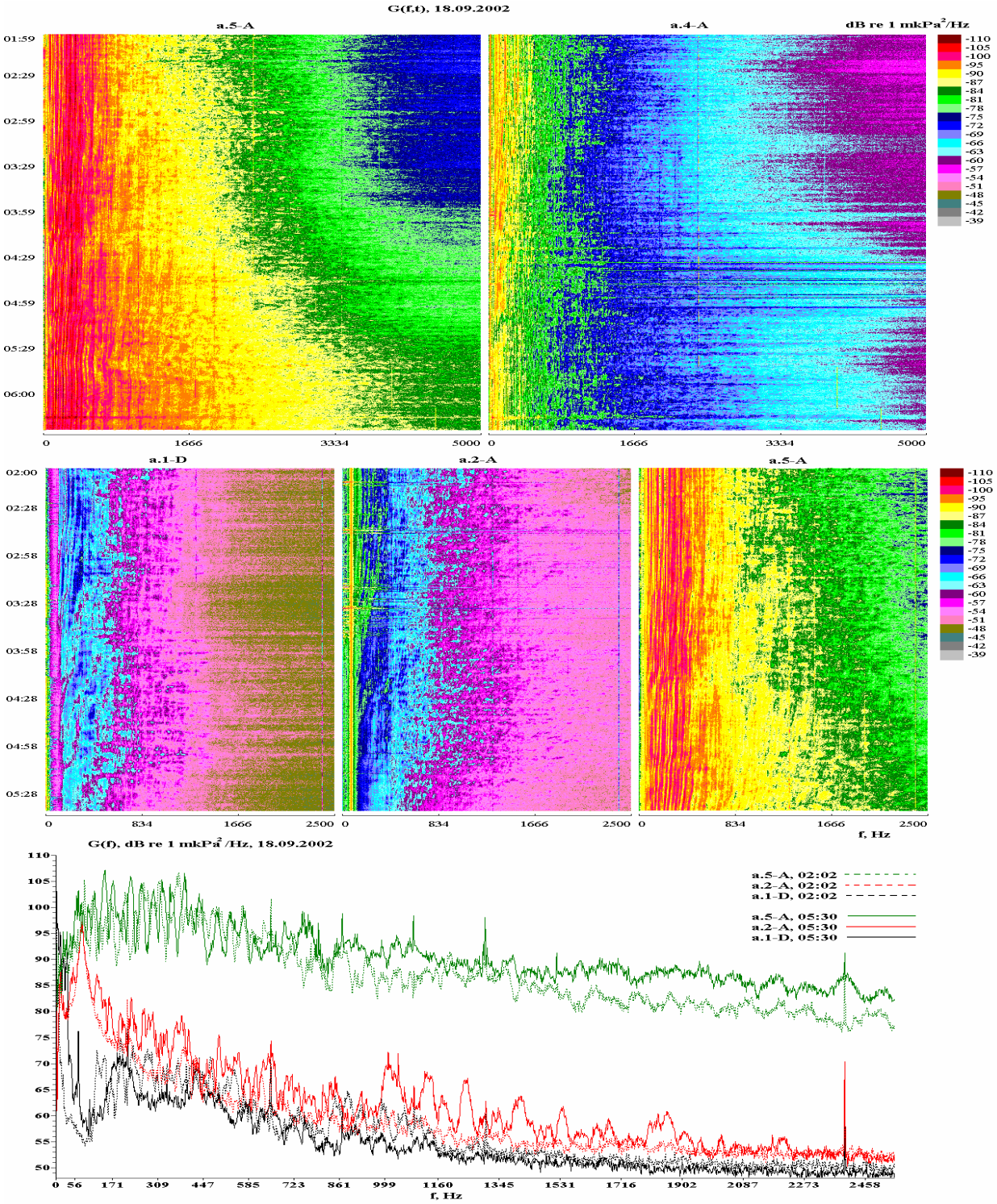

Рисунок 3.19 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

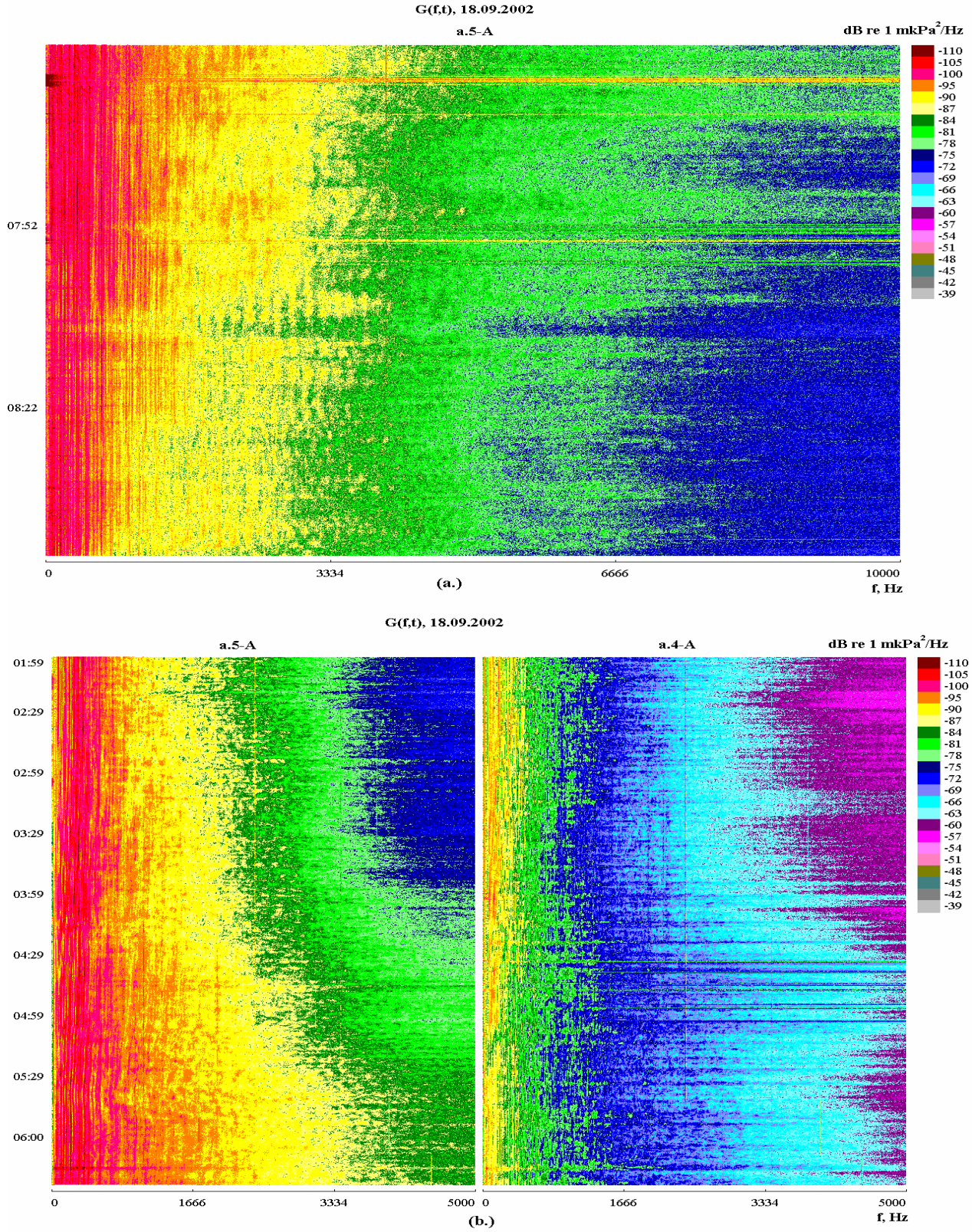

Рисунок 3.20 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.4 и а.5 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

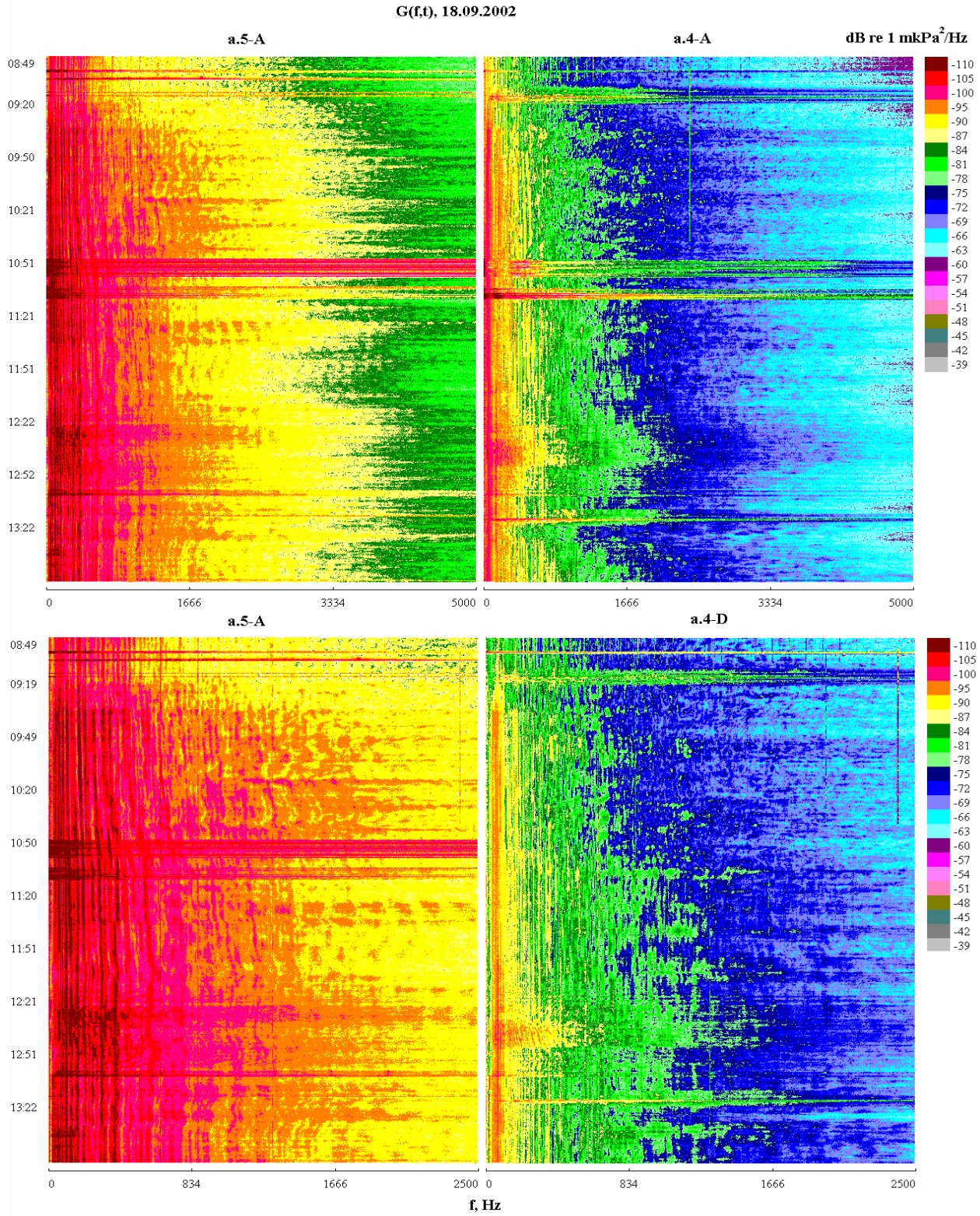

Рисунок 3.21 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

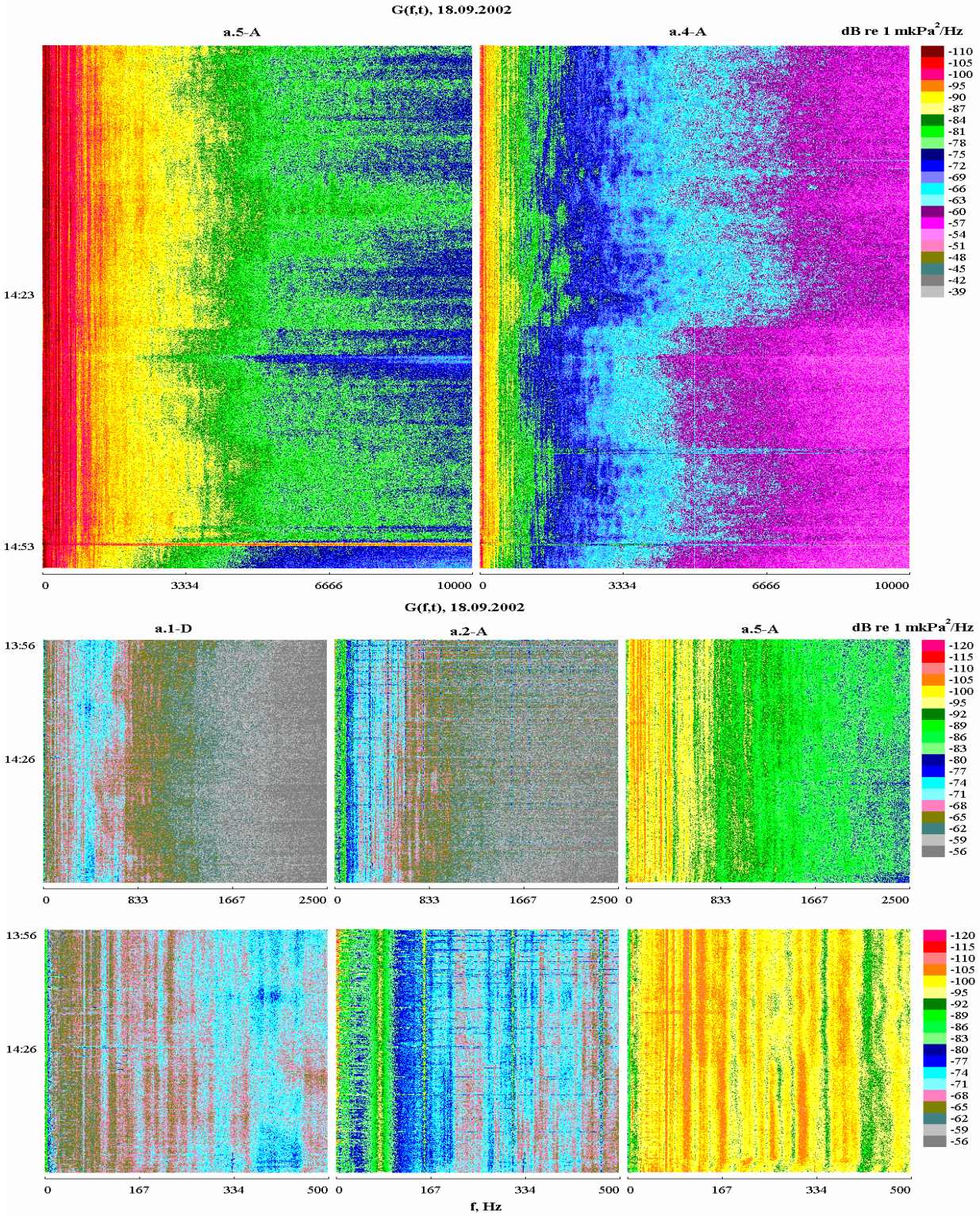

Рисунок 3.22 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2, а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

Показанные на Рис.3.23 - 3.25 сонограммы *G(f,t)* соответствуют измерениям акустических шумов при отходе танкера *Приморье*. В течение этого времени находящиеся вокруг платформы Моликпак суда обеспечения принимали активное участие в этих операциях. Были зарегистрированы следующие перемещения судов (18 сентября 2003 г):

15:11 - Танкер *Приморье* отходит от Охи.
15:16 - Неизвестное судно приближается к платформе Моликпак с севера.
15:19 - Неизвестное судно проходит к востоку от платформы Моликпак.
15:26 - Неизвестное судно приближается к *Охе*.
17:08 - Судно *Триас* начинает двигаться от платформы Моликпак к *Охе*.
17:38 - Судно *Мисс Сибил* приближается к стоящему на якоре *Ирбису*.
19:47 - Погода ухудшается, дует восточный ветер и волнение моря достигает 3 баллов по шкале Бофорта.

Вечером 19 сентября погода начала ухудшаться, в 18:00 подул сильный юго-восточный ветер и началось обрушение поверхностных волн («барашки»), в 19:35 скорость ветра превысила 15 м/с. На Рис. 3.26 - 3.28 приведены результаты измерения уровней фоновых шумов, зарегистрированных в точке а.1 между 19 и 20 сентября. На спектрах G*(f)* на Рис. 3.27 показаны спектральные уровни этого шума на низких частотах, например, в 22:52 уровень узкополосного шума на частоте ~28 Гц достиг 95 дБ, а в 20:20 и в 20:55 уровень шума превышал 100 дБ. На Рис. 3.28 показано, что в 02:40 резко возрос уровень шума на частотах ниже 60 Гц, но в 03:15 средний уровень широкополосного фонового шума стал уменьшаться[52].

3.2 Анализ измерений фонового шума в точке а.0

Одной из целей программы исследований 2002 г. в зоне залива Пильтун являлось проведение измерений фонового уровня шума в точке а.0, которая находится на южной границе района Одопту, в котором в 2001 году были проведены сейсмические исследования. К сожалению, при установке аналогового радиогидроакустического буя в точке а.0 он был поврежден и залит водой после передачи данных приблизительно в течение одного часа. На Рис. 3.29 и 3.30 показаны сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно измеренных в точках а.0 и а.1. В течение этого времени судно *Ирбис* перемещалось от точки а.0 к якорной стоянке вблизи платформы Моликпак. Таким образом, для точки а.0 не были корректно измерены фоновые шумы.

[52] Такие высокие спектральные значения на низких частотах могут являться следствием влияния потока на гидрофон и его подвеску, рама также может быть смещена течением. При ухудшении погодных условий возрастает вероятность возникновения этих явлений.

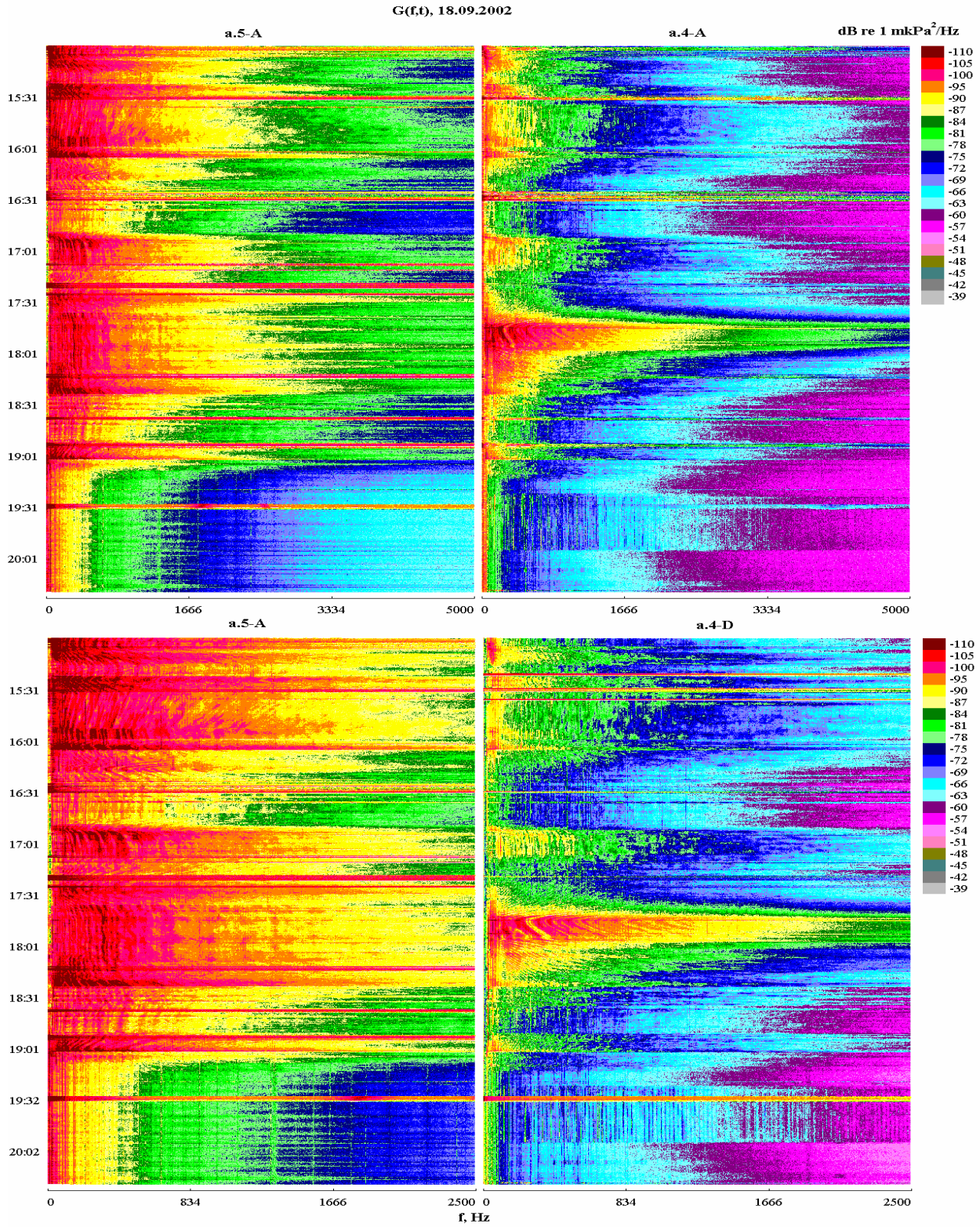

Рисунок 3.23 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно Зарегистрированных в точках а.4 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

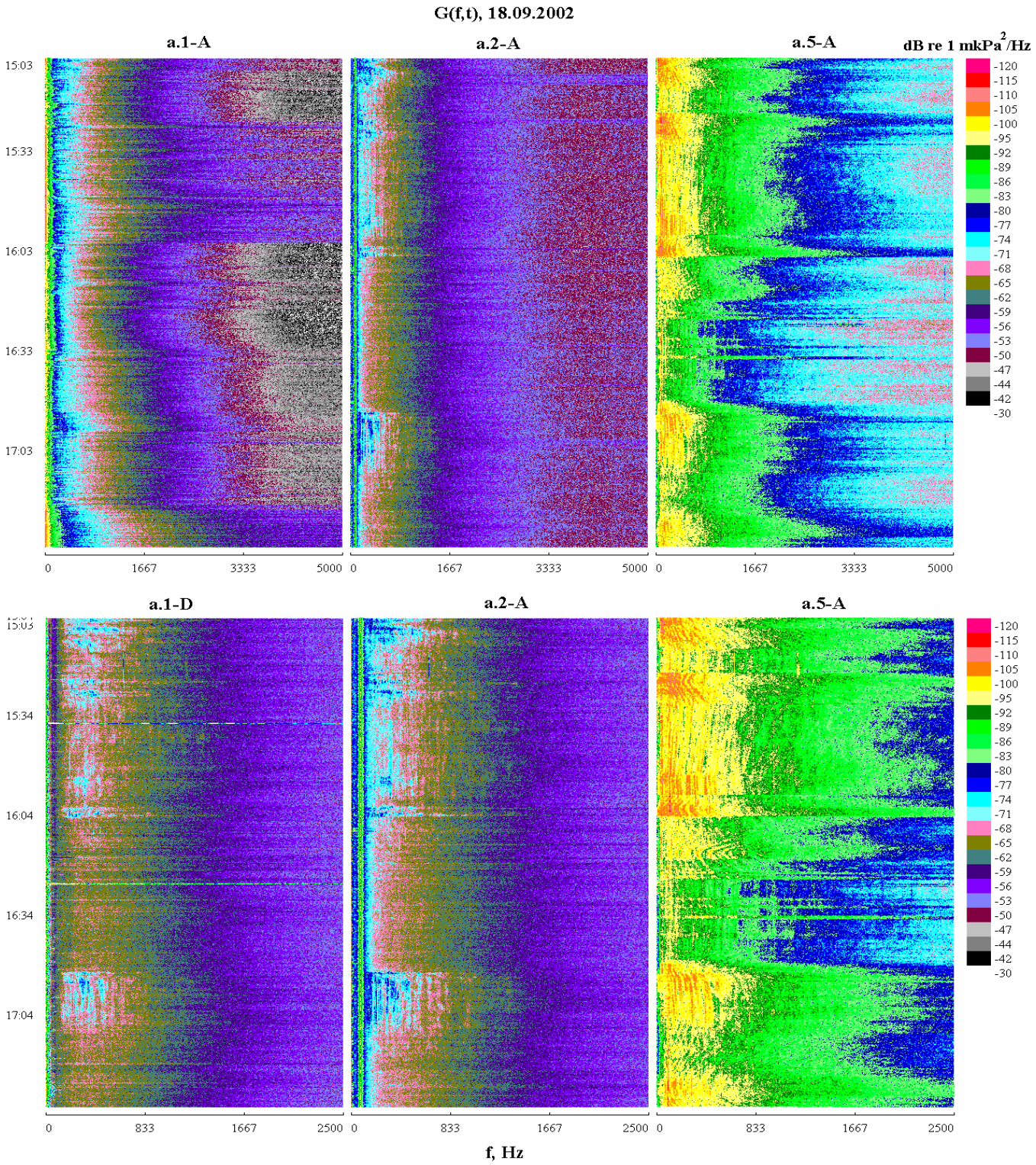

Рисунок 3.24 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

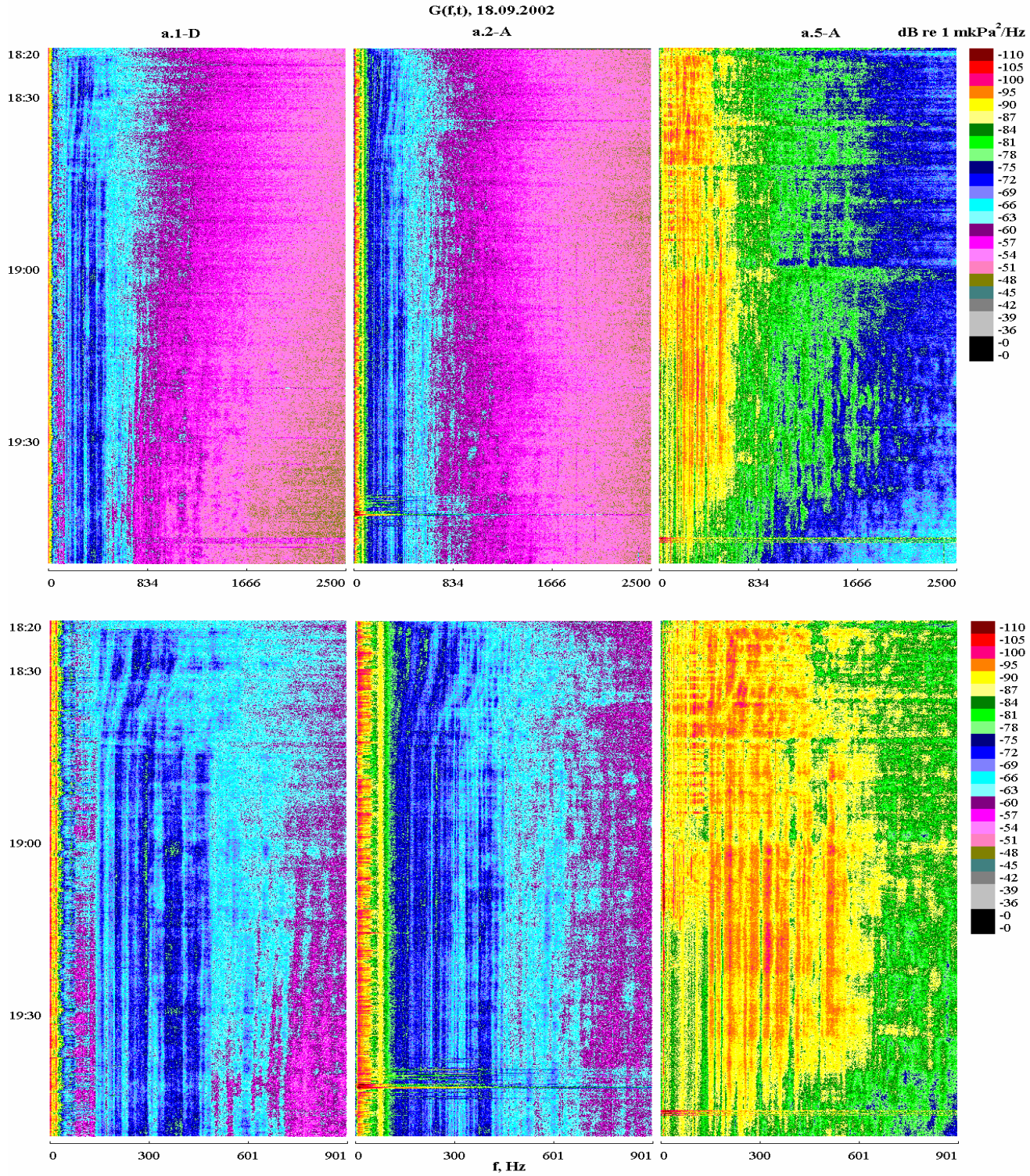

Рисунок 3.25 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках а.1, а.2 и а.5 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 18 сентября 2002 г.

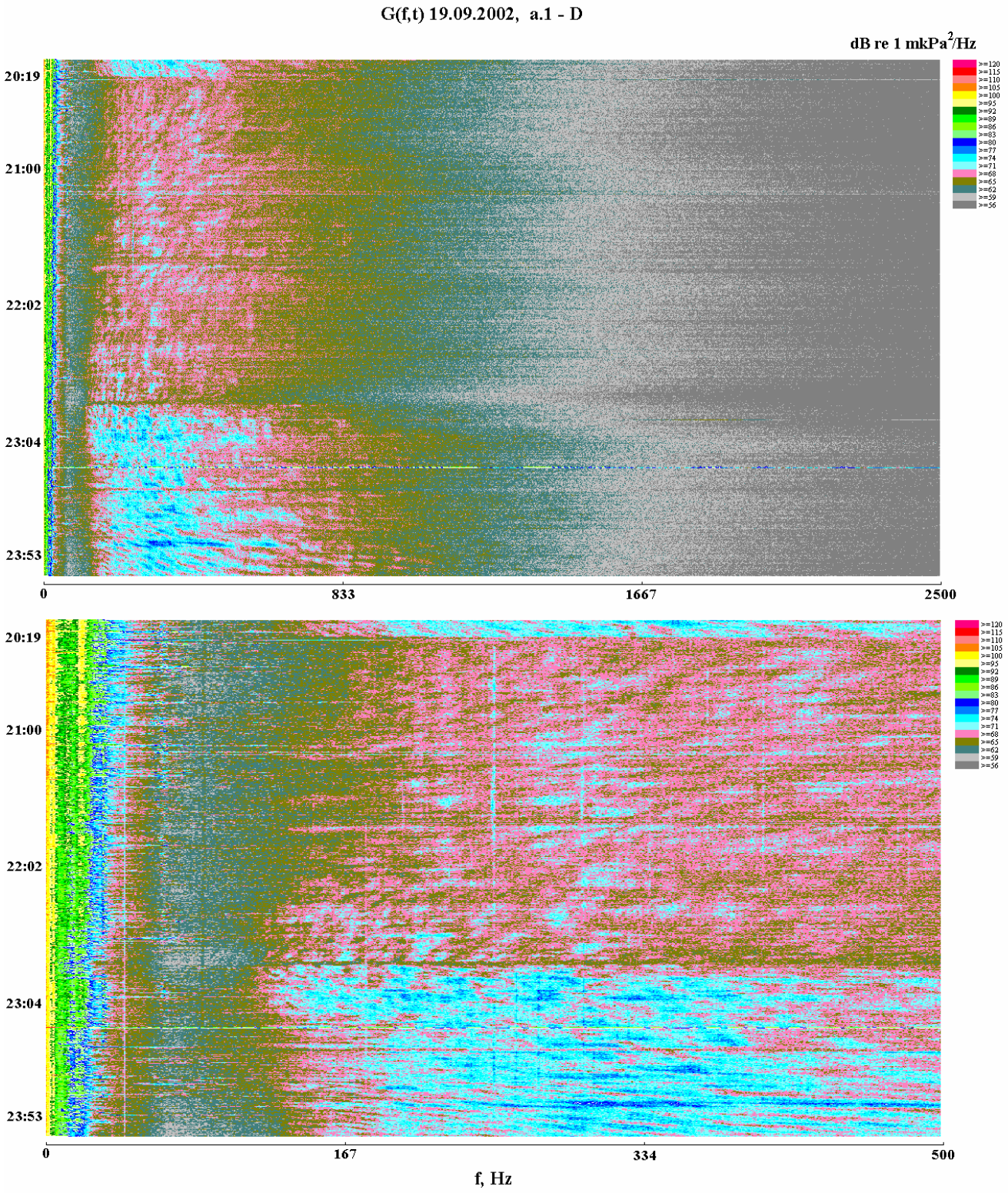

Рисунок 3.26 - Сонограммы *G(f,t)* фонового шума, зарегистрированного в точке а.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 19 сентября 2002 г.

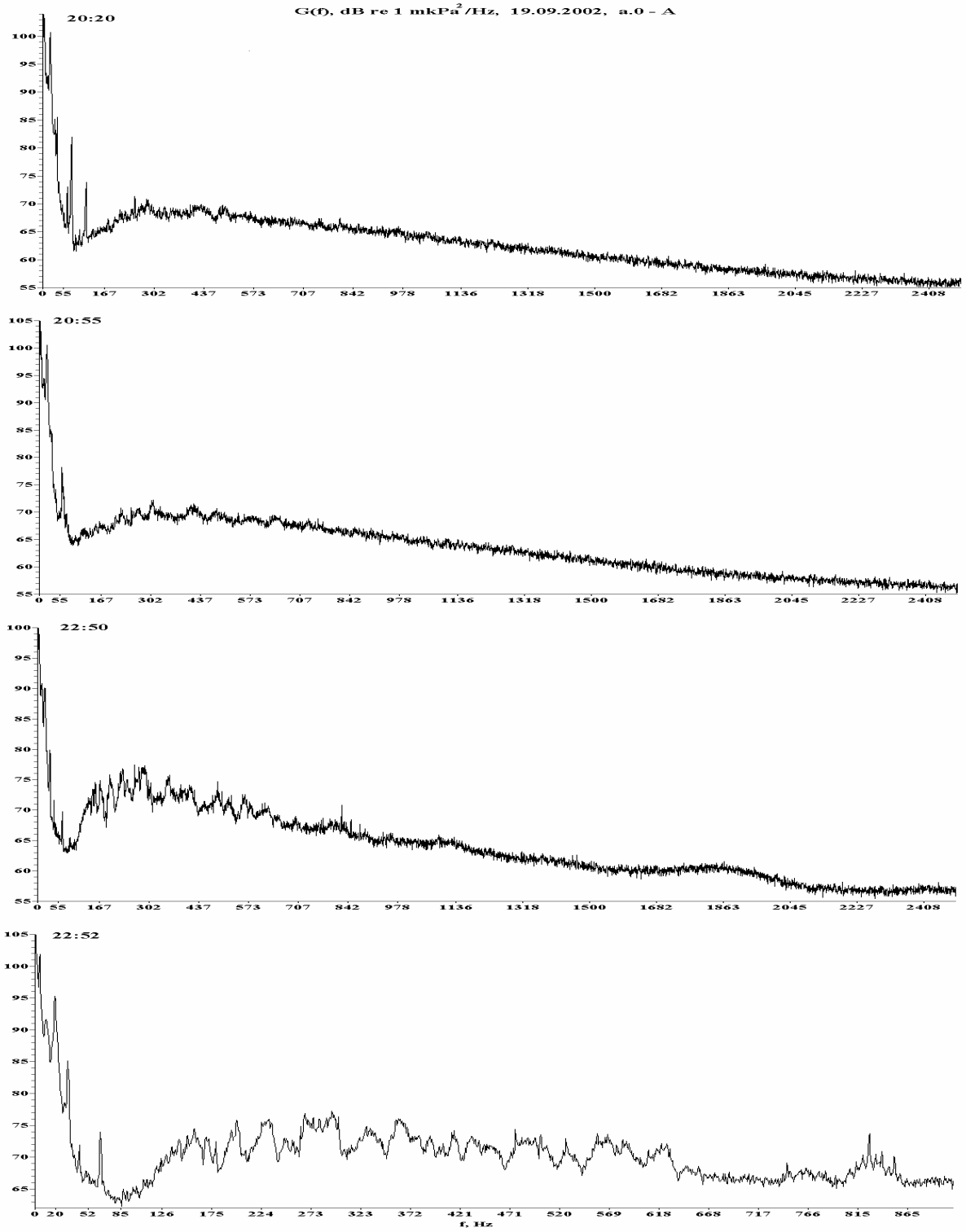

Рисунок 3.27 - Спектры G*(f)* фонового шума, зарегистрированного в точке а.1 (с помощью аналогового радиогидроакустического буя) 19 сентября 2002 г.

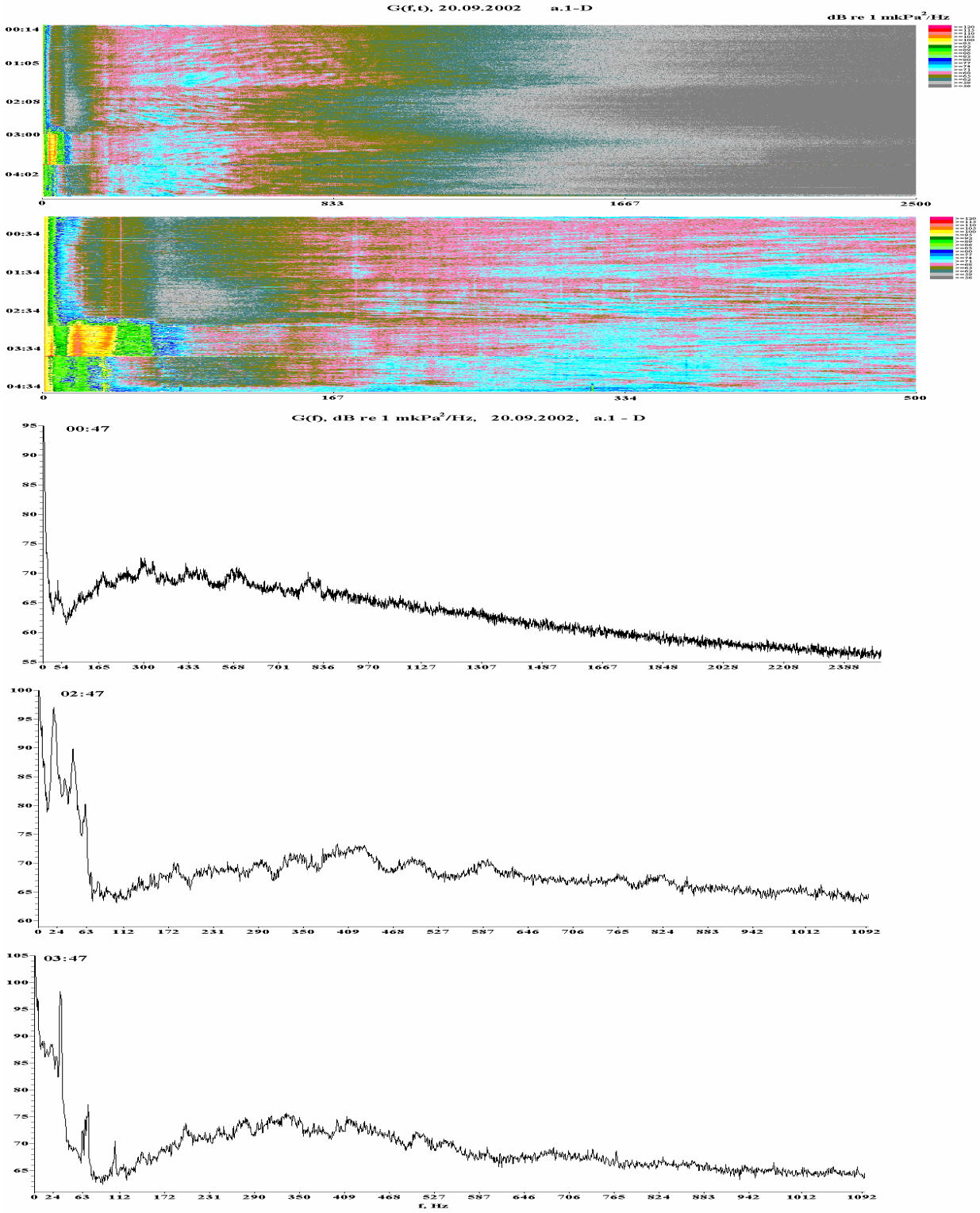

Рисунок 3.28 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* фонового шума, зарегистрированного в точке а.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 20 сентября 2002 г.

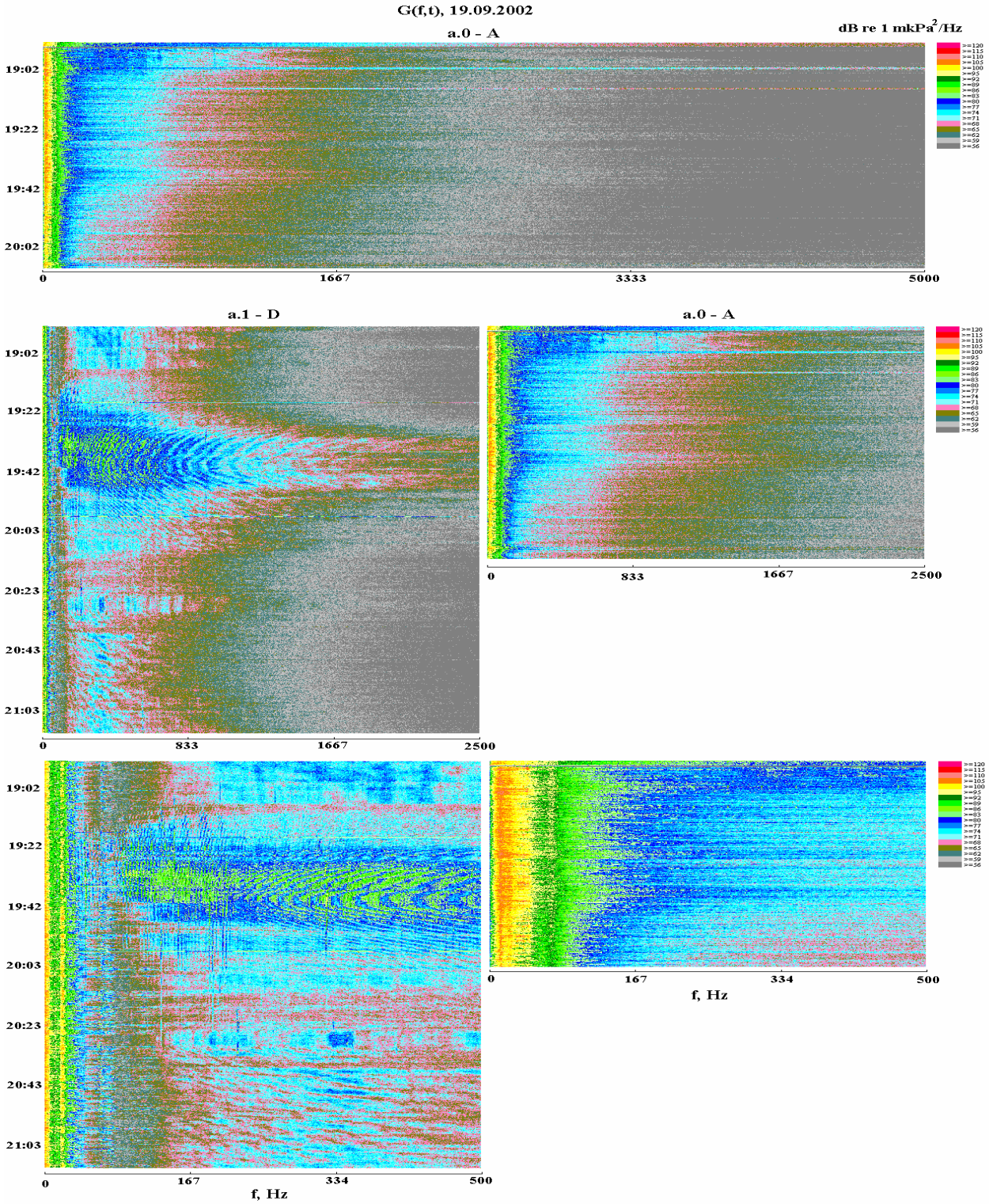

Рисунок 3.29 - Сонограммы *G(f,t)* фонового шума, синхронно зарегистрированного в точках а.0 и а.1 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 19 сентября 2002 г.

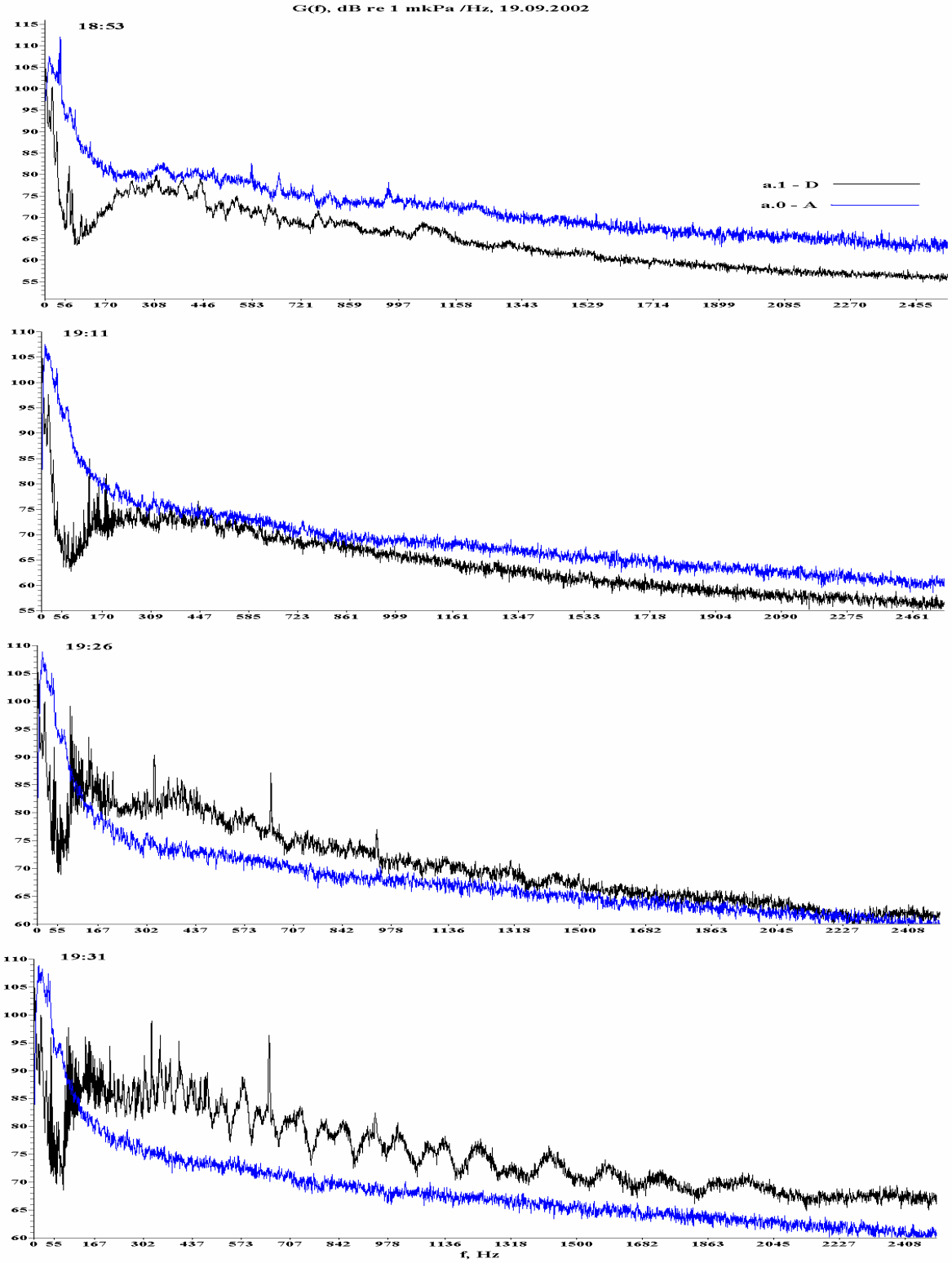

Рисунок 3.30 - Спектры *G(f)* фонового шума, зарегистрированного в точках а.0 и а.1 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 19 сентября 2002 г.

4 Анализ акустических данных для акватории, прилегающей к заливу Чайво

В данном разделе описываются результаты спектрального и временного анализа измерений антропогенных и фоновых шумов, проведенных вблизи от специально организованного причала во время выгрузки на него оборудования, доставленного на баржах для строительства и организации буровой площадки Чайво. Кроме того, акустические измерения проводились на акустической трассе, простирающейся от прибрежного района выгрузки в Чайво до южного района кормления серых китов.

На Рис. 4.1 приведена карта района исследований с указанием точек (b.1, b.2 и b.3), в которых устанавливались радиогидроакустические буи. На карте также показана точка, в которой судно *Ирбис* стояло на якоре во время проведения акустических исследований. В Таблице 4.1 приведены координаты и глубины моря в точках постановки радиогидроакустических буев. Для каждого буя указаны даты начала и конца его работы.

№	Дата		Радиогидроакустический буй			Широта	Долгота	Глубина
	Начало	Конец	#	Тип	F(МГц)			(м)
1	21.09.02 21.09.02	23.09.02 23.09.02	b.1 b.1	ARB D16	172,400 166,775	52°27'00" с.ш.	143°19'30" в.д.	12,5
2	21.09.02 21.09.02	23.09.02 23.09.02	b.2 b.2	ARB D16	176,650 166,125	52°47'40" с.ш.	143°22'30" в.д.	12,5
3	21.09.02	23.09.02	b.3	ARB	177,300	52°21'00" с.ш.	143°26'30" в.д.	22,5

Таблица 4.1 - Даты проведения акустических измерений и характеристики точек, в которых были установлены мониторинговые радиогидроакустические буи

В данном районе потенциальными источниками антропогенных шумов являлись:

- Строительные работы на берегу и работа механизмов обеспечивающих выгрузку оборудования на берег.
- Производственные операции связанные с перегрузкой на пирс, организованный путем притопления одной из барж (**B**), оборудования с пришвартованных к нему грузовых барж.
- Механизмы работающие на грузовых баржах, стоящих в данном районе на якоре.
- Буксиры и суда технического обеспечения (*Ирбис* и *Триас*)
- Низкочастотный (НЧ) и высокочастотный (ВЧ) (Рис. 1.7) излучатели, находящиеся на борту стоящего на якоре судна *Ирбис*. Эти излучатели применялись для контроля работы буев и исследований потерь при распространение звука вдоль заданной акустической трассы.

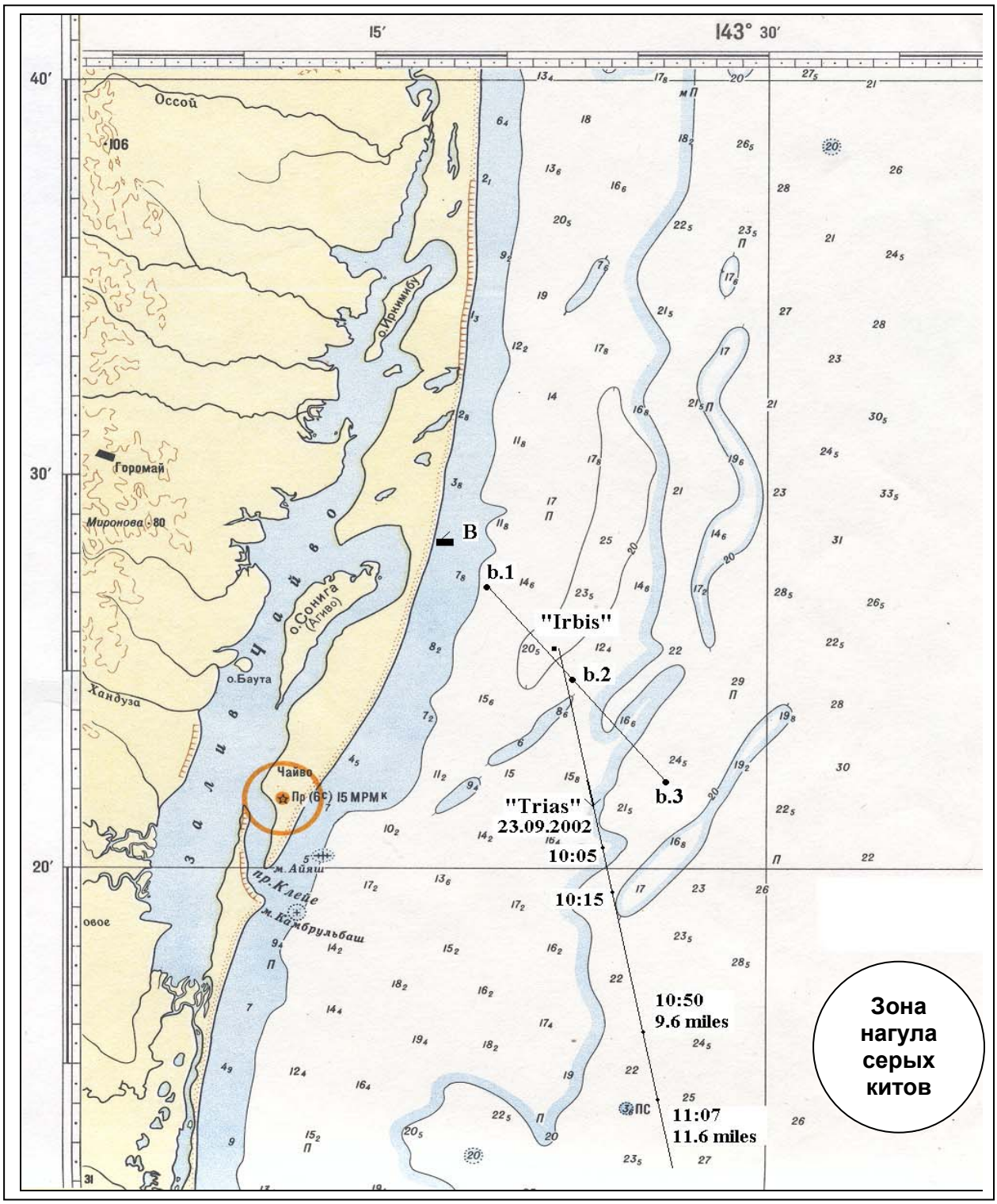

Рисунок 4.1 - Карта района исследований с указанием точек (b.1, b.2 и b.3), в которых были установлены радиогидроакустических буи и находились потенциальные источники антропогенных шумов (перегрузочная баржа в Чайво (B), *Триас* и *Ирбис*).

Постановка радиогидроакустических буев была завершена в 11:08 21 сентября. Акустические данные поступающие с этих буев практически непрерывно записывались в

период с 21 по 23 сентября 2002 г. В точках b.1 и b.2 гидроакустические буи были установлены парами (один аналоговый, один цифровой). Цифровые буи обеспечивали высококачественные измерения в частотном диапазоне от 1 Гц до 2,6 кГц, а аналоговые – от 10 Гц до 10 кГц. В точке b.3 был установлен только аналоговый радиогидроакустический буй, это было связано с большим расстоянием (8 км) от этой точки до *Ирбиса*[53], который являлся единственным радиоприемным постом для радиогидроакустических буев, причем надежные акустические измерения в точке b.3, производились при ЧМ режиме радиоприемника, т.е. в диапазоне 10 Гц - 5 кГц. Кроме того, сразу же после постановки этого буя в его сигнале на частотах свыше 2 кГц были замечены паразитные электрические помехи; однако они не влияли на качество измерений на более низких частотах, а 01:00 23 сентября они практически исчезли.

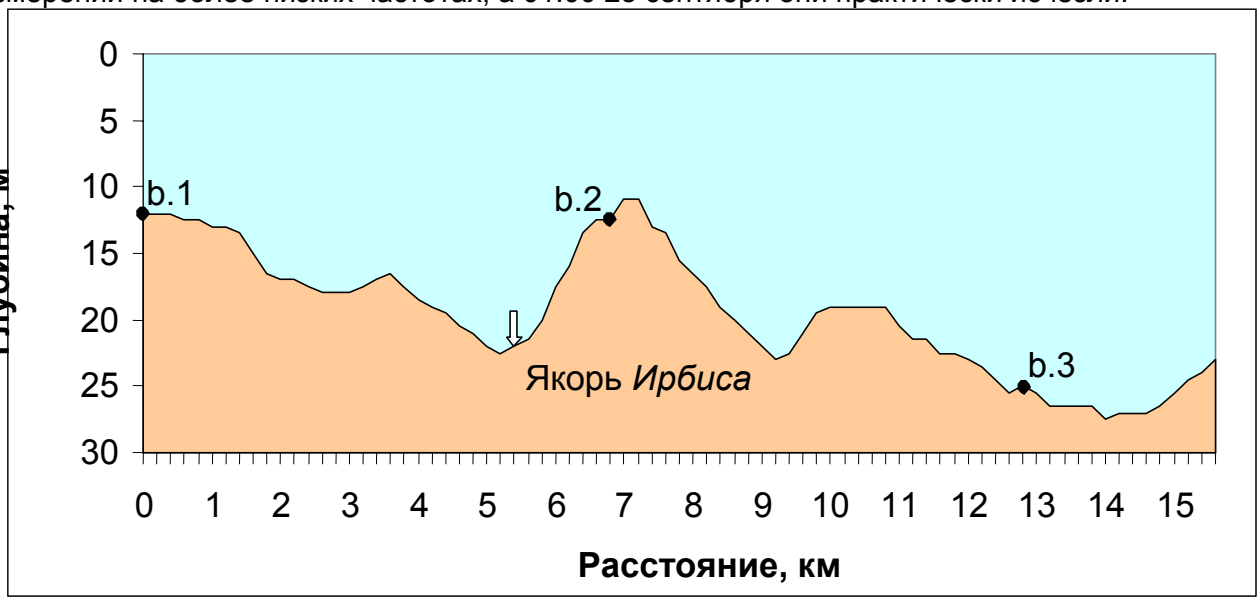

Рисунок 4.2 - Батиметрический профиль в районе акустических исследований с указанием точек постановки радиогидроакустических буев (b.1, b.2 и b.5) и якорной стоянки судна *Ирбис*.

На Рис. 4.2 приведены батиметрические данные для профиля от точки b.1 до точки b.3, полученные с помощью штатного эхолота судна *Ирбис* [54].

Из-за ряда проблем, связанных с организацией передачи радиоприемников работавщих на Пильтунском маяке,, на борту *Ирбиса* в период обсуждаемых акустических измерений (с 10:24 21 сентября по 16:00 23 сентября) было только четыре радиоприемника. Поскольку в море были установлены пять радиогидроакустических буев, то акустические измерения проводились таким образом, чтобы в разные интервалы времени записывались различные комбинации радиогидроакустических буев.

[53] *Ирбис* стоял на якоре между точками b.1 и b.2 для обеспечения стабильного приема радиосигналов от цифровых радиогидроакустических буев, установленных в этих точках.
[54] Измеренные значения глубины составляли: точка b.1 - 12,5 м; точка b.2 - 12,5 м; точка b.3 - 22,5 м; место якорной стоянки *Ирбиса* - 18 м.

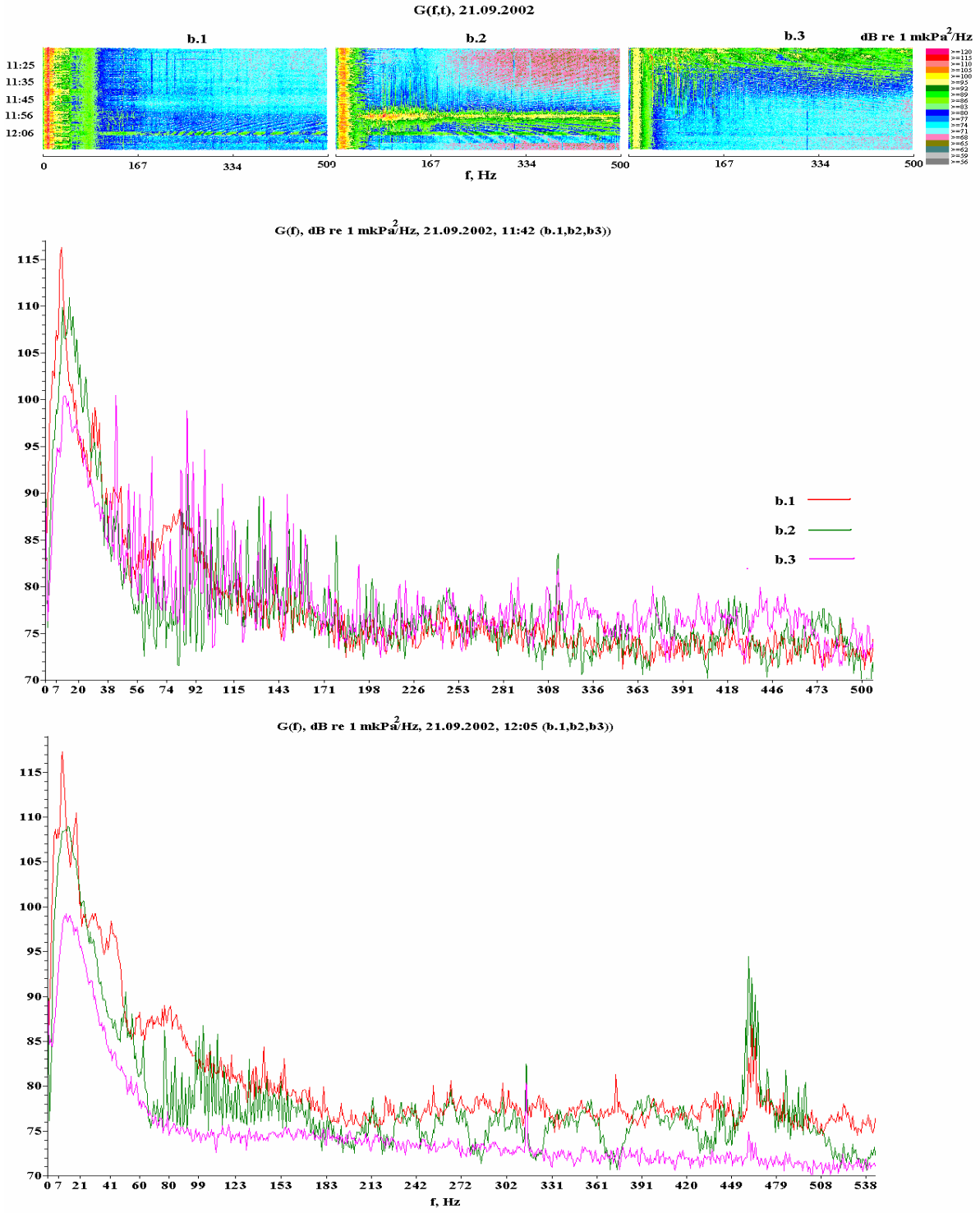

Рисунок 4.3 - Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного акустического шума, зарегистрированного в точках b.1, b.2 и b.3 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

На Рис. 4.3 показаны сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f),* соответствующие синхронным акустическим измерениям, проведенным с помощью трех аналоговых радиогидроакустических буев, установленных в точках b.1, b.2 и b.3, во время движения

Ирбиса от точки b.3 к месту своей якорной стоянки.

Во второй половине дня 21 сентября погода продолжала ухудшаться:

12:30 - Волнение моря 5 баллов по шкале Бофорта.
16:00 - Волнение моря усиливается до 6 баллов (шторм), порывы ветра до 25 м/с, скорость течения возле *Ирбиса* 1,4 узла.
21:05 - Начался сильный дождь.
21:43 - Дождь и ветер 15 м/с, порывы до 18 м/с.

На Рис. 4.4 приведены сонограммы *G(f,t)* акустических шумов синхронно измеренных в точках b.1 и b.2 с помощью цифровых буев во время описанного ухудшения гидрометеорологических условий. В 17:20 прекратил работу неидентифицированный механизм, который генерировал узкополосный низкочастотный шум синхронно наблюдаемый в обеих точках, но источник этих шумов был ближе к точке b.1, чем к точке b.2. Приведенные на Рис. 4.5 спектры G*(f)* количественно характеризуют уровни измеренных шумов во время работы этого механизма (Рис. 4.5: 12:46 и 17:12). В точке b.1 уровень измеренного узкополосного шума на частоте ~30 Гц превышал 105 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, а в точке b.2 – 93 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Примерно в 17:20 данное устройство прекратило работу, и уровень регистрируемого в обеих точках шума (Рис. 4.5: 17:36) понизился до 75 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. В 20:31 в спектрах G*(f)* заметен шум, генерируемый неизвестным стационарным источником, который работал с 20:15 до 20:50. График спектра *G(f)* на Рис. 4.5, построенный с высоким разрешением снова показывает отмеченный ранее[55], минимум спектральной плотности в диапазоне 20-100 Гц.

[55] Необходимо отметить, что на представленные на этих сонограммах и спектрах данные могут оказывать влияние три возможных эффекта. Данные могут отсутствовать (показывается на сонограмме белой линией) или подвергаться воздействию радиопомех (показывается линией высокой амплитуды), и то и другое оказывает влияние на все частоты. Высокие спектральные плотности на низких частотах могут являться воздействием на гидрофон шумов обтекания. Такой шум имеет тенденцию к возрастанию при ухудшении погодных условий.

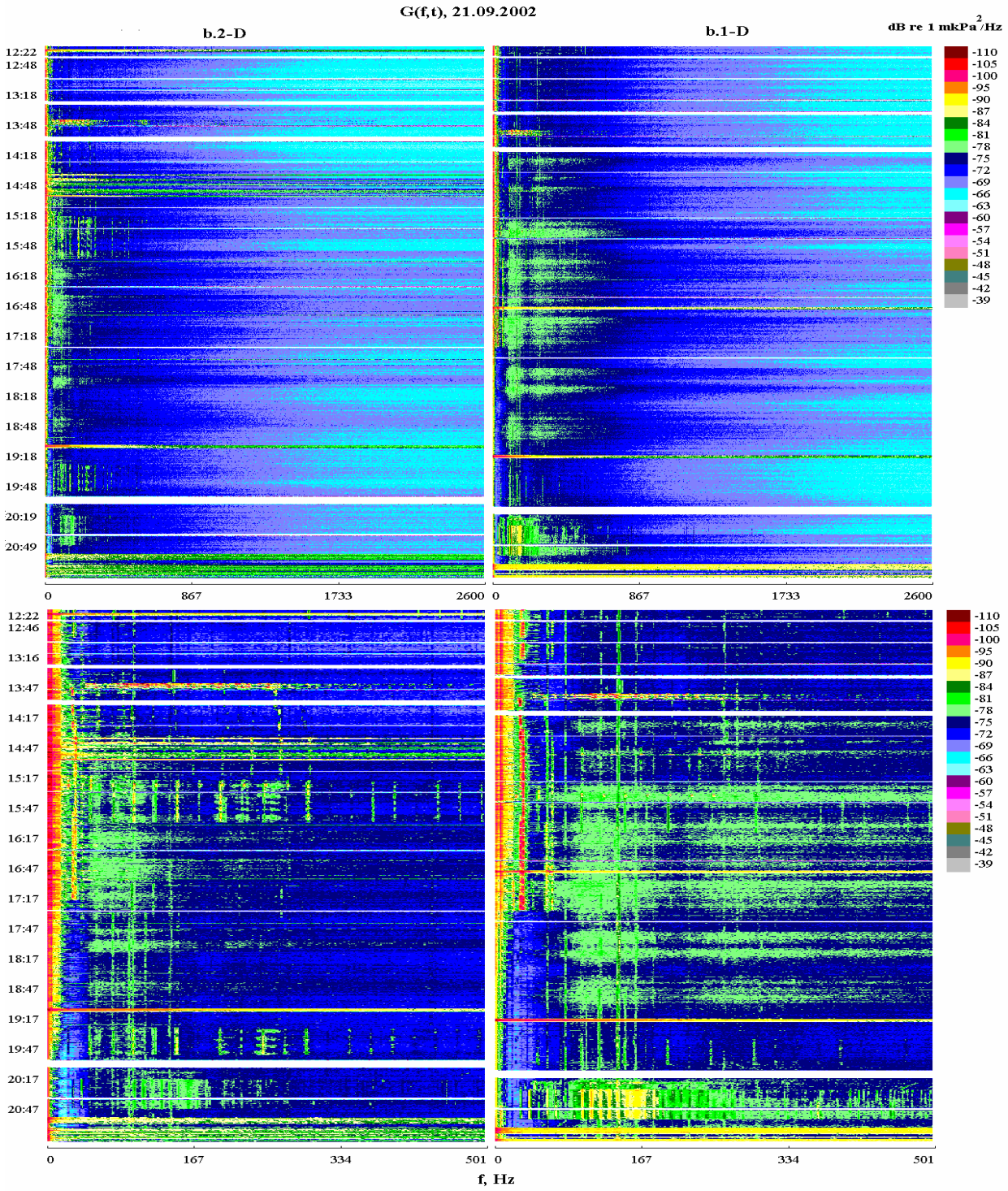

Рисунок 4.4 - Сонограммы *G(f,t)* фоновых шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

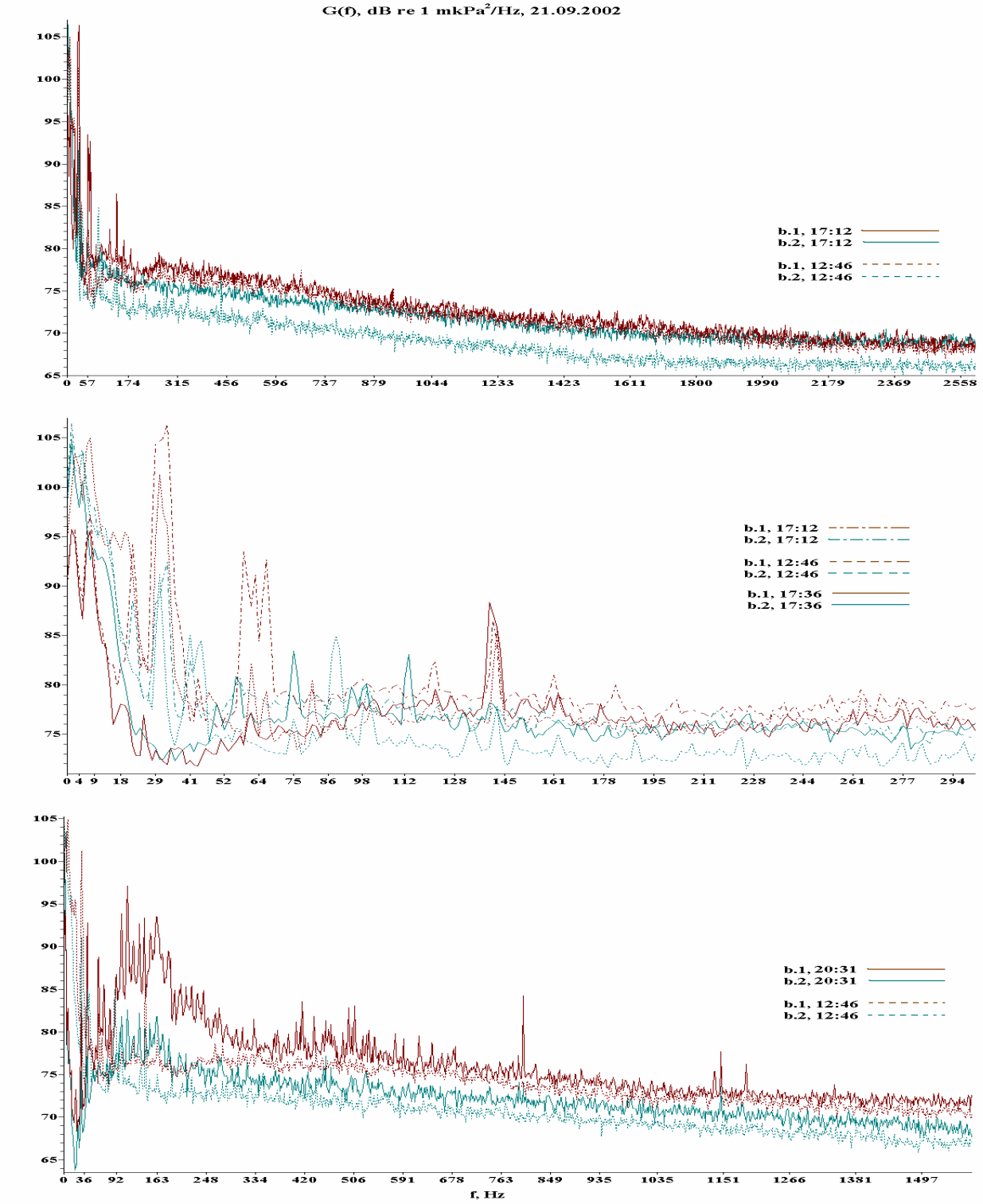

Рисунок 4.5 - Спектры G*(f)* фоновых шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

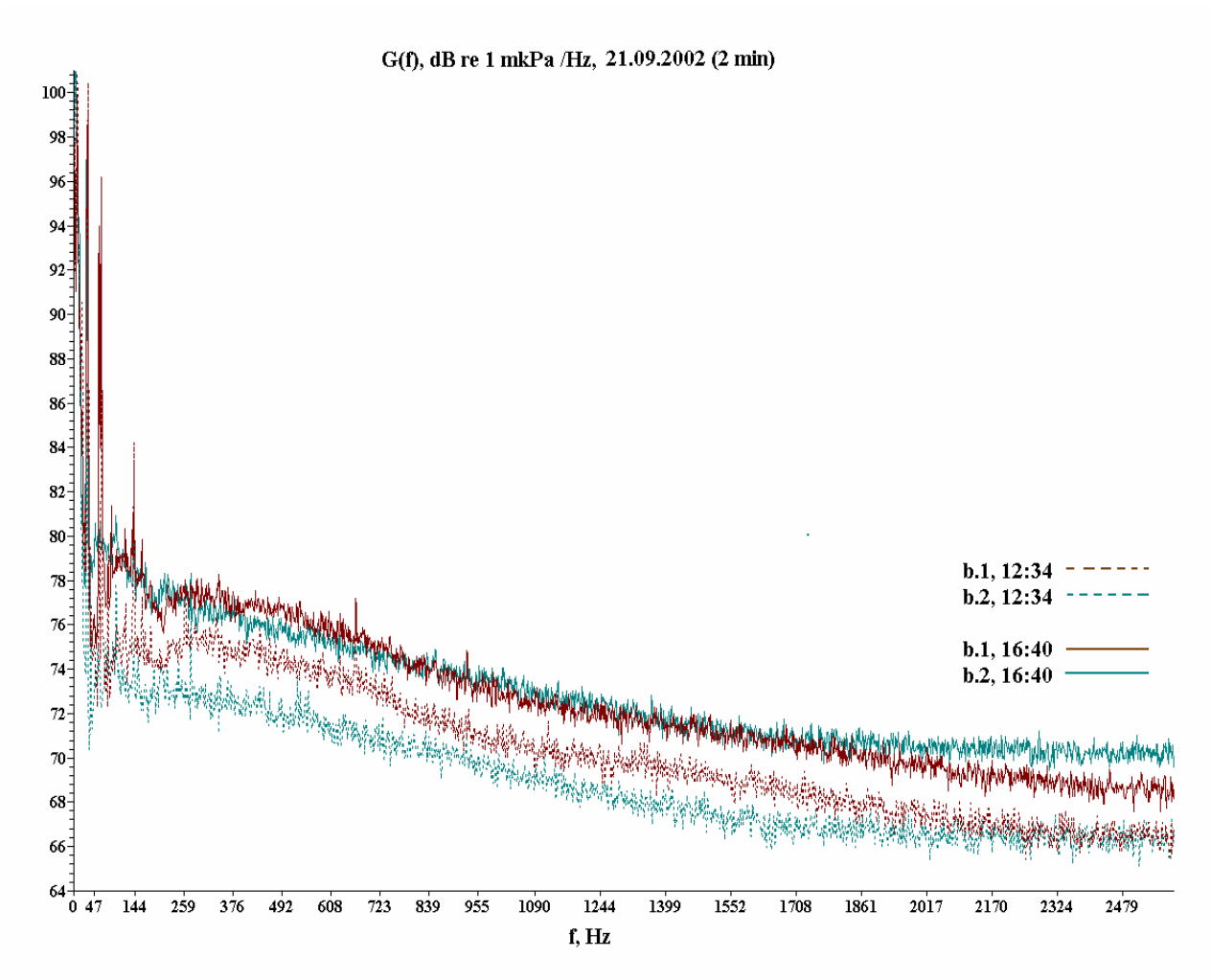

Рисунок 4.6- Спектры G*(f)* фоновых шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

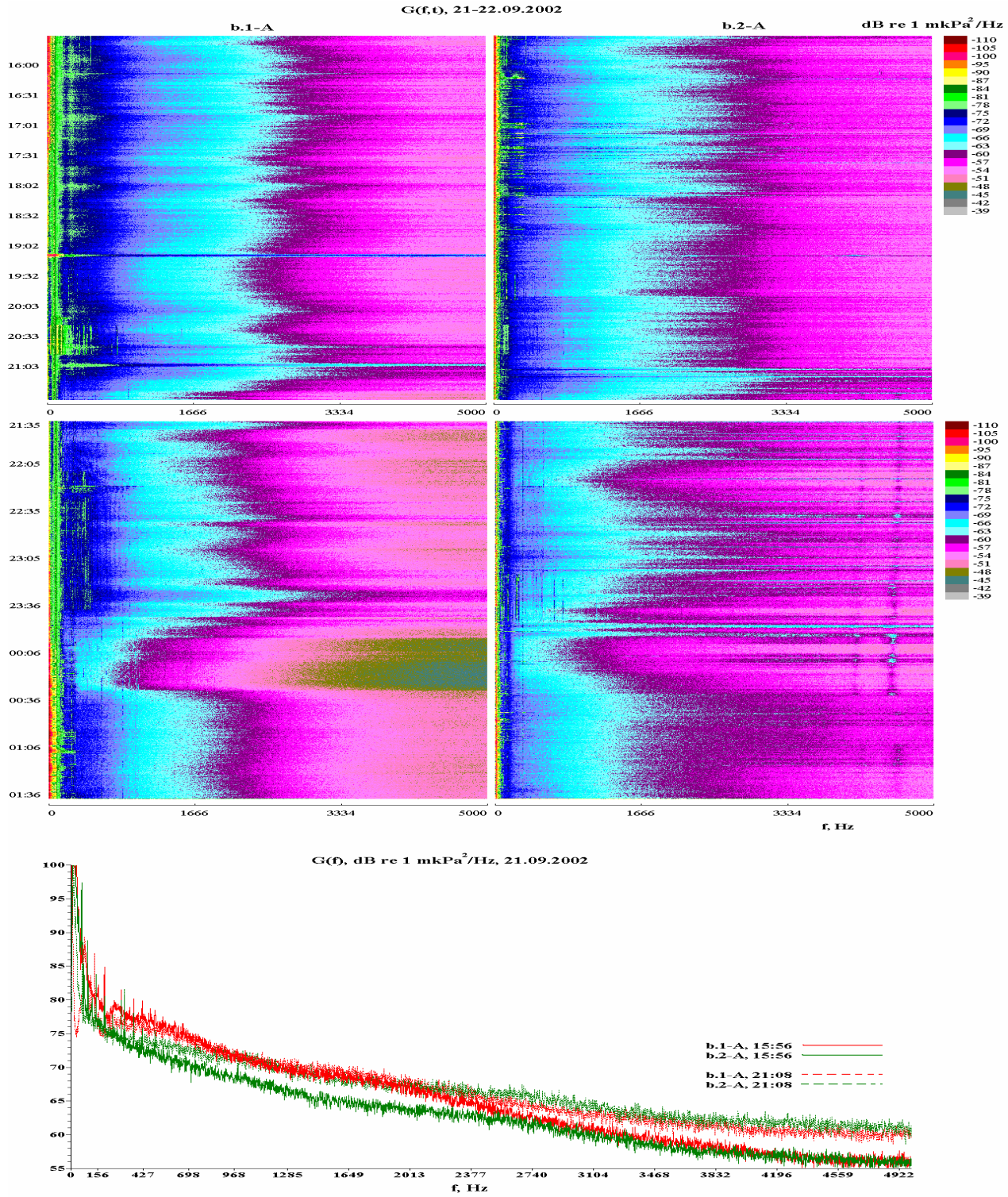

Рисунок 4.7 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* фоновых шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 21 сентября 2002 г.

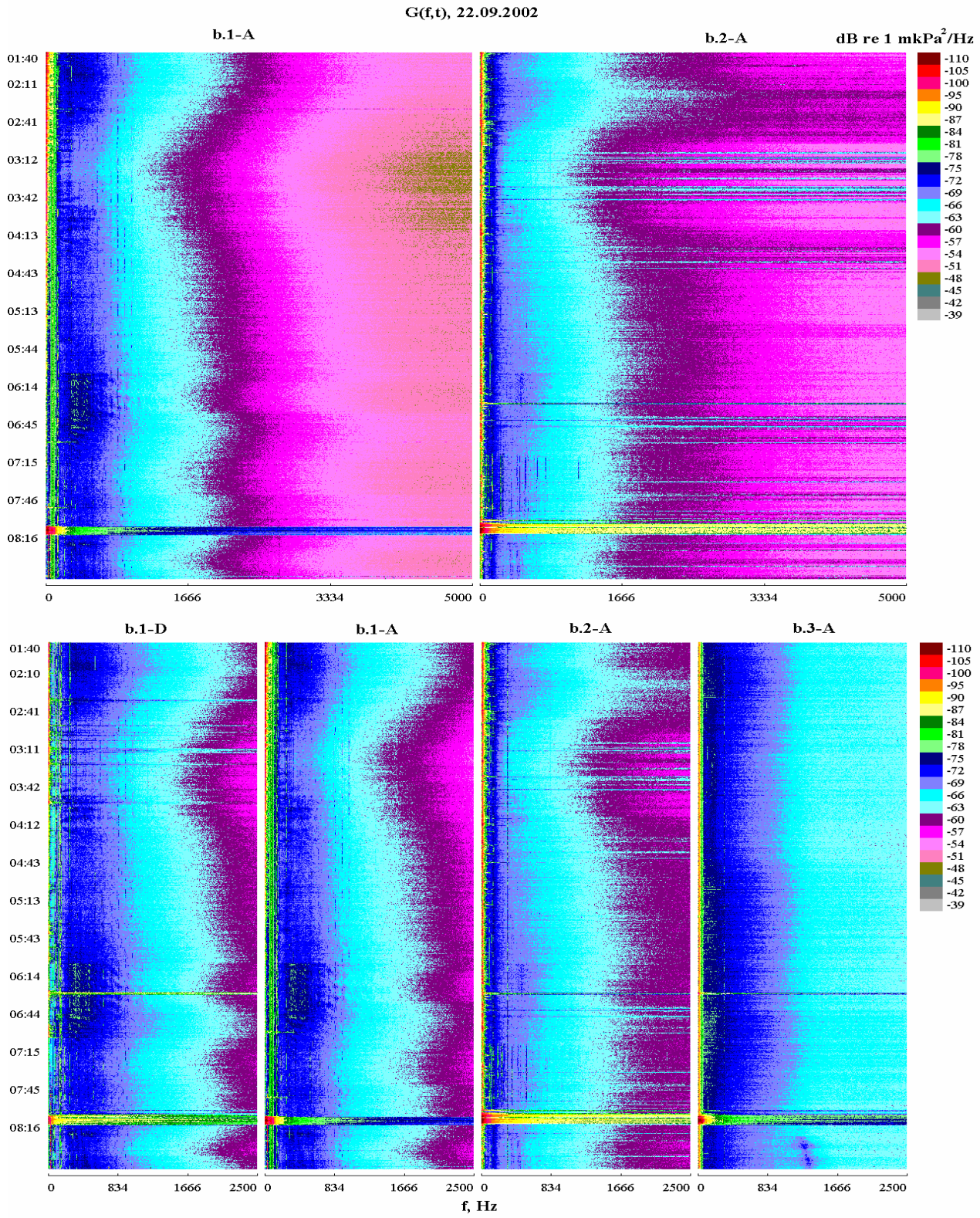

Рисунок 4.8 - Сонограммы *G(f,t)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1, b.2 и b.3 (с помощью аналоговых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

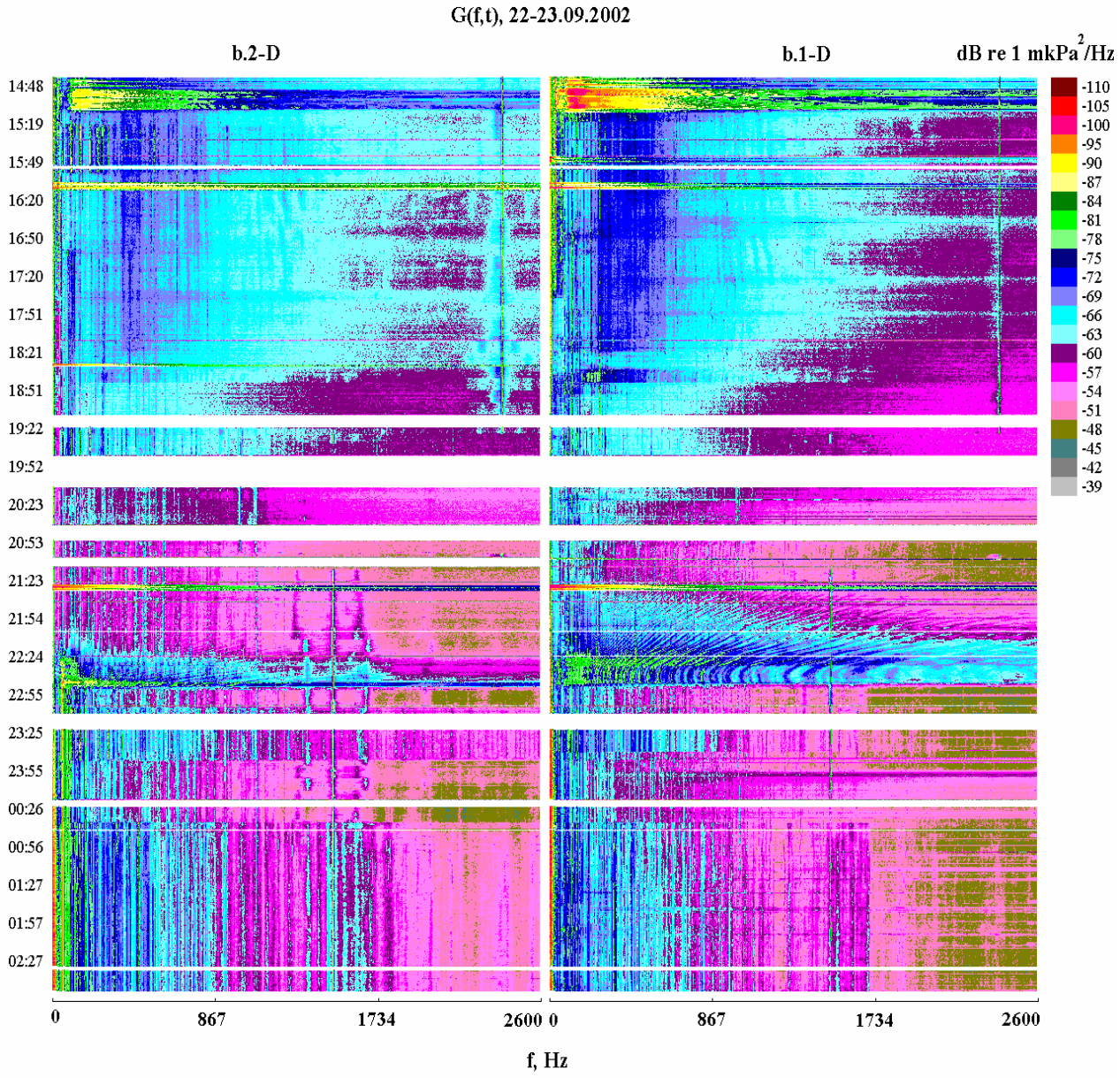

Рисунок 4.9 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22-23 сентября 2002 г.

Приведенные на Рис. 4.6 спектры *G(f)* показывают повышение уровня акустического шума, зарегистрированного на этом сравнительно мелководном участке шельфа во время шторма. В 12:34 волнение моря достигало 5-6 баллов по шкале Бофорта, к 16:40 начался шторм со скоростью ветра свыше 20 м/с и порывами до 25 м/с. На Рис. 4.6 показано, что уровни фонового шума в обеих точках выровнялись и превышали уровни антропогенных широкополосных шумов на ~2 дБ в точке b.1, и более чем на 4 дБ в точке b.2. На частотах больше 1,8 кГц уровень шума в точке b.2 был выше, чем в точке b.1 в связи с большей высотой создаваемых северо-западным ветром поверхностных волн в точке b.2. На Рис. 4.7 приведены сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 с помощью аналоговых буев (в диапазоне 10 Гц - 5 кГц). В 15:56 спектры G*(f)* соответствовали штормовой погоде и скорости ветра свыше 20 м/с, в 21:08 штормовая погода сочеталась с сильным дождем.

Данные спектры *G(f)* показывают, что во время сильного дождя (Рис. 4.7: 21:08), уровни шума на частотах свыше 1 кГц были равными в обеих точках. В точке b.2 в период с 15:56 до 21:08 уровень спектральной плотности шума вырос более чем на 5 дБ.

На Рис. 4.8 и 4.9 приведены сонограммы *G(f,t),* соответствующие акустическим измерениям, проведенным 22-23 сентября в точках b.1, b.2 и b.3. 22 сентября наблюдались следующие гидрометеорологические условия и производственные операции[56]:

00:15 - Дождь кончился, скорость ветра уменьшилась до 15 м/с и небо очистилось.
03:55 - Снова начался дождь.
07:08 - Низкая облачность, волнение моря 4 балла по Бофорту, волны с белыми барашками.
09:00 - 10:30 - ТОИ для оценки потерь при распространении звука в данном районе провел эксперимент с тональными акустическими сигналами, которые генерировались с помощью ВЧ- излучателя спущенного с борта *Ирбиса* на глубину 12 м.
11:57 - Скорость течения в месте нахождения *Ирбиса* составляет 0,5 узла.
13:20 - По мере улучшения погоды началась активная производственная деятельность.
13:30 - Начали двигаться буксиры с целью постановки одной из барж к перегрузочной барже - пирсу.
14:00 - 2 буксира перемещают баржу к берегу и подводят ее к перегрузочной барже. С этого момента антропогенные шумы непрерывно регистрировались в точках b.1 и b.2, периодически регистрировались шумы, генерируемые тяжелым оборудованием.
14:43 - Большой буксир движется от баржи в море.
14:47 - Буксир проходит между *Ирбисом* и третьей баржой.
14:50 - Буксир разворачивается на 180 градусов и возвращается к берегу северней *Ирбиса*.
14:53 - Буксир проходит северней второй баржи.
15:00 - Небольшой буксир медленно подводит грузовую баржу к пирсу. Большой буксир останавливается у баржи №2.
15:14 - Маленький буксир подвел грузовую баржу 1 к перегрузочной барже, однако, разгрузка баржи 0 еще не завершена.
16:45 - Погода улучшилась, на поверхности моря нет «барашков».
19:17 - Скорость течения в месте нахождения *Ирбиса* составляет 0,3 узла.
21:40 - *Триас* приближается к *Ирбису*.
23:01 - *Триас* встает на якорь недалеко от *Ирбиса*.

На Рис. 4.10 показаны изменения спектров акустических шумов, синхронно измеренных в точках b.1 и b.2 во время проведения операций связанных с подводом и причаливанием грузовой баржи. Приведенные на Рис. 4.11 и 4.12 сонограммы *G(f,t)* количественно характеризуют временные изменения акустического шума в точках b.1 и b.2. Вариации низкочастотного шума (Рис. 4.11) уменьшились при завершении работ связанных с выгрузкой оборудования на берег (в 17:20), при этом уровнь широкополосного фонового шума (Рис. 4.12) понизился вследствие улучшения погодных условий и соответственно уменьшения высоты поверхностных волн. В графиках *G(f,t)* на Рис. 4.12 заметна стабилизация уровней шума после окончания рабочего дня.

[56] Расстояние между Ирбисом и потенциальными источниками антропогенных шумов (измеренное с помощью радара) составляло: баржа 1 - 3,5 морской мили, буксир 1 - 3,6 морской мили, буксир 2 - 4,3 морской мили, баржа 3 - 4,4 морской мили.

Вечером 22 сентября *Триас* подошел к *Ирбису* с севера. Создаваемый *Триасом* акустический шум регистрировался начиная с 21:30 (Рис. 4.9). На Рис. 4.13 приведены данные, зарегистрированные аналоговым радиогидроакустическим буем в точке b.1 22-23 сентября (на частотах ниже 5 кГц). На Рис. 4.13 для количественного сравнения приведены спектры акустических шумов, измеренных в точке b.1 при волнении моря 4 балла по шкале Бофорта (12:12), во время подхода *Триаса* к *Ирбису* (22:26) и при низком уровни фоновых шумов (Рис. 4.13: 23.09.2002, 05:06). При волнении моря 4 балла по Бофорту (направление ветра 270°, скорость ветра 12-14 м/с) уровень фоновых шумов в точке b.1 (Рис. 4.13: 22.09.2002, 12:12) более чем на 12 дБ превышал уровни широкополосных промышленных шумов (Рис. 4.13: 23.09.2002, 05:06). Сонограмма *G(f,t)* на Рис. 4.13 также показывает, что по мере уменьшения высоты поверхностных волн уменьшаются уровни, генерируемого ими акустического шума.

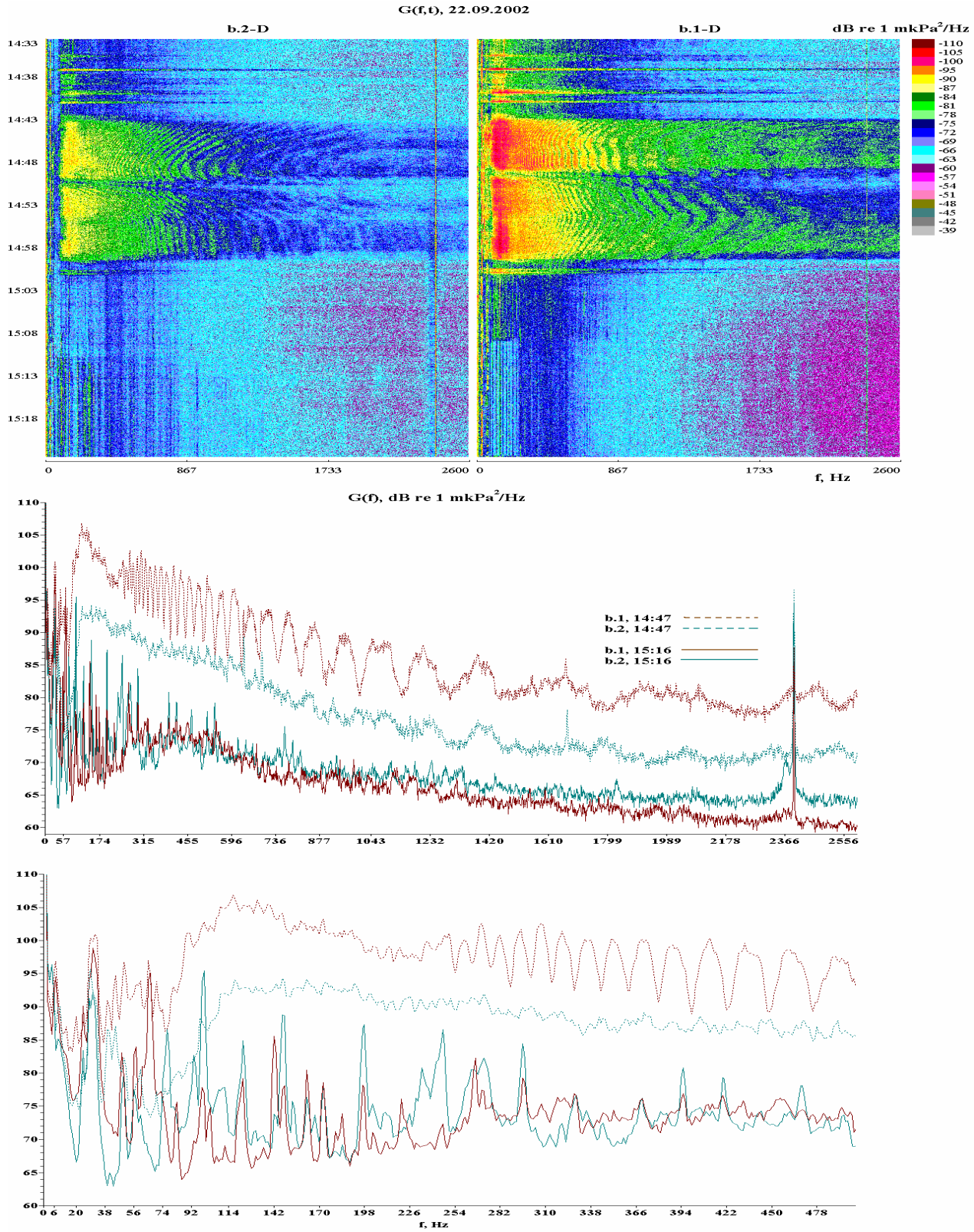

Рисунок 4.10 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2(с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

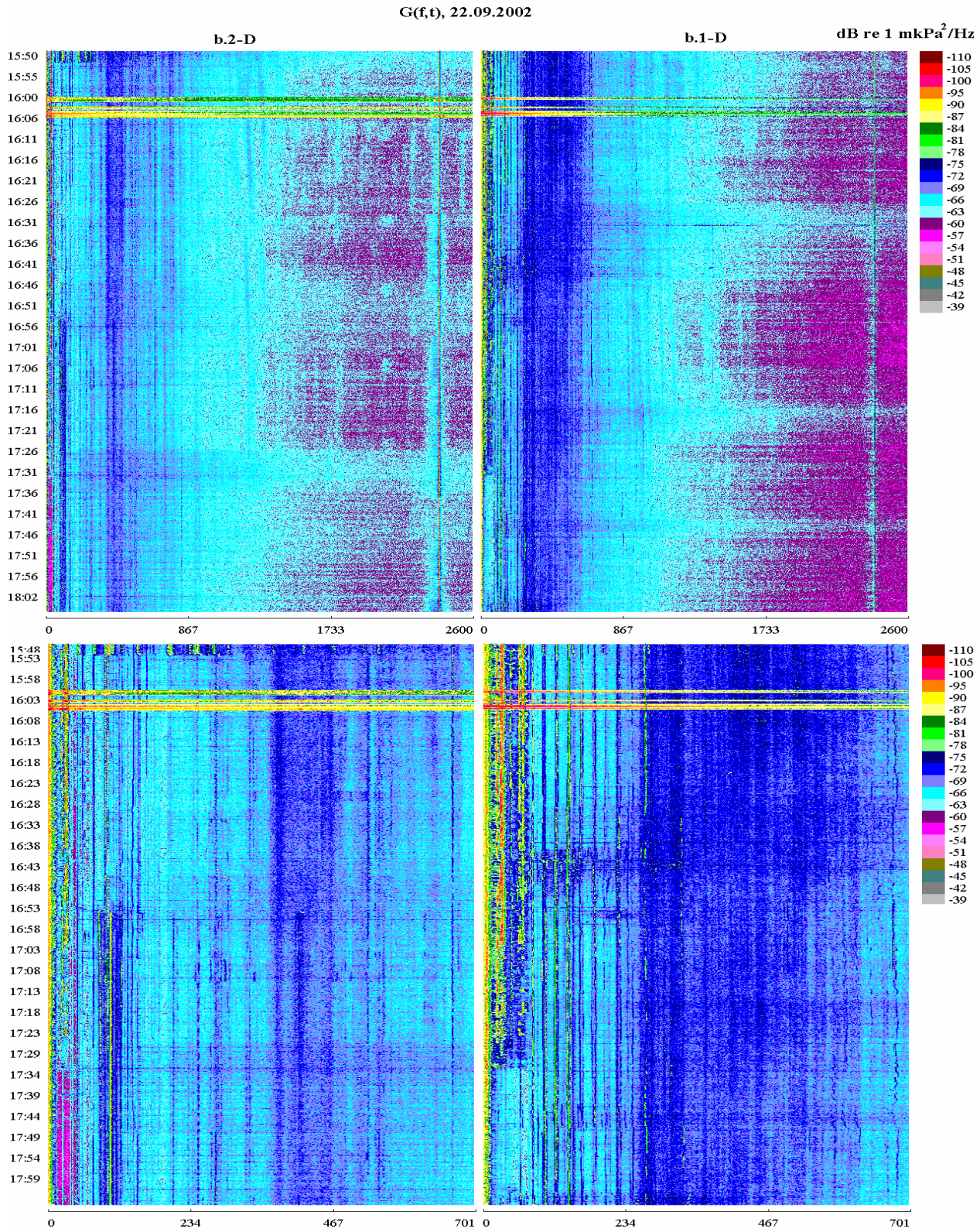

Рисунок 4.11 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

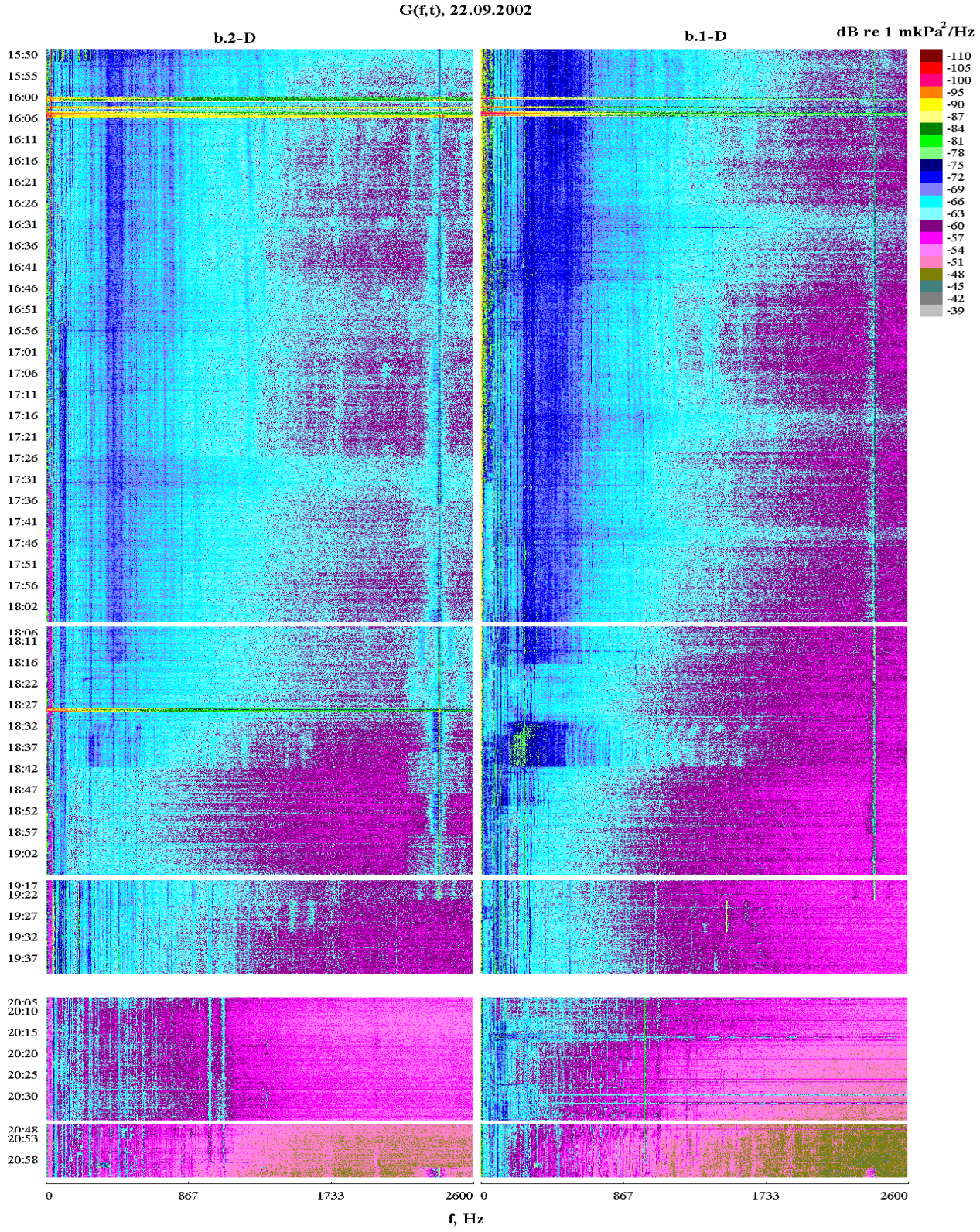

Рисунок 4.12 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

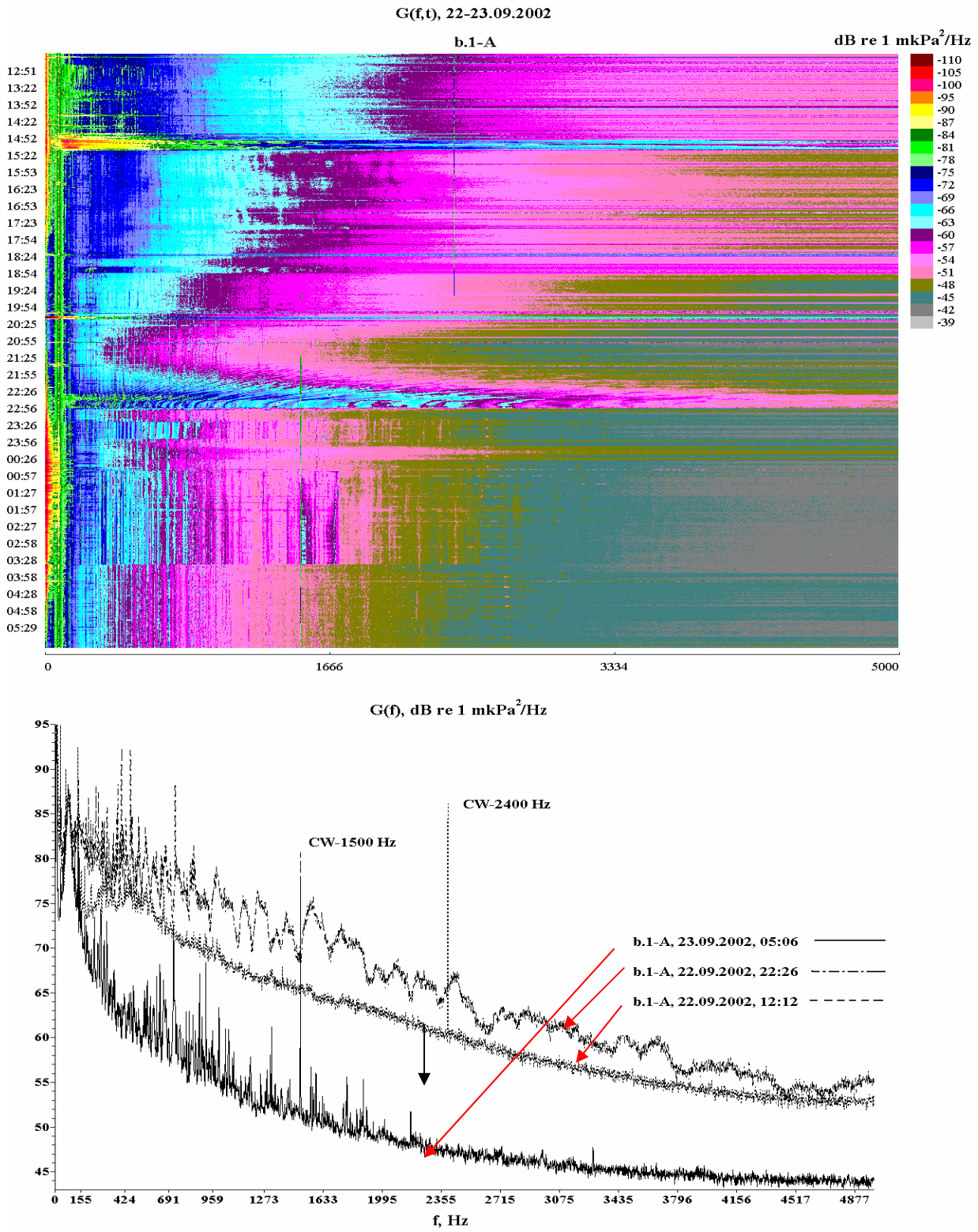

Рисунок 4.13 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* фоновых и антропогенных шумов, зарегистрированных в точке b.1 (с помощью аналогового радиогидроакустического буя) 22-23 сентября 2002 г.

Из сравнения спектров *G(f)* представленных на Рис. 4.13: радиогидроакустический буй b.1-A; 23.09.2002, 05:06 и Рис. 4.7: радиогидроакустический буй b.1-A; 21.09.2002, 21:08, видно, что во время шторма с дождем разница в уровнях широкополосных шумов на

частотах выше 1 кГц составляет 16-18 дБ.

Спектры *G(f)* представленные на Рис. 4.14 количественно характеризуют акустические шумы, синхронно измеренные в точках b.1 и b.2 с помощью цифровых радиогидроакустических буев. Эти измерения были проведены во время подхода *Триаса* к *Ирбису* (Рис. 4.14: 22:20), в период времени с низким уровнем антропогенных шумов (Рис. 4.14: 20:55), и в период, когда стационарное оборудование, генерировало шумы с выраженными тональными компонентами (Рис. 4.14: 02:06 и Рис. 4.9).

Утром 23 сентября погода была тихая и спокойная, при этом наблюдались следующие производственные операции:

03:15 - Штиль.
08:16 - *Триас* медленно двигается с севера на юг приблизительно в 60 м от *Ирбиса*. Скорость течения составляла 0,2 узла к северу от *Ирбиса*.
08:20 - *Триас* обошел *Ирбис* в 60 м за его кормой.
08:31 - *Триас* причалил к левому борту *Ирбиса*.
09:07 - *Триас* отошел от *Ирбиса* и медленно двигается на юго-восток курсом 168°.
11:07 - Расстояние между *Ирбисом* и *Триасом* составляет 11,6 морских миль.

На Рис. 4.15 - 4.17 показаны сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, зарегистрированных при тихой погоде утром 23 сентября с помощью цифрового радиогидроакустического буя в точке b.1. Начиная приблизительно с 08:00 *Триас* начал маневрировать вокруг *Ирбиса,* и в 08:31 пришвартовался к его левому борту. В 09:07 *Триас* отошел от *Ирбиса* и направился на юго-восток по указанному на Рис. 4.1 курсу, в 10:15 *Триас* находился в 11,4 км от *Ирбиса*, а в 10:35 в 15,5 км. В спектрах *G(f)* на Рис. 4.16 хорошо выражены два тональных сигнала с частотами приблизительно 410 и 735 Гц, генерируемые удаляющимся *Триасом*.

На Рис. 4.17 приведены сонограммы *G(f,t)* акустических шумов синхронно, зарегистрированных аналоговыми и цифровыми радиогидроакустическими буями в точках b.1, b.2 и b.3 во время маневров и отхода *Триаса*. На Рис. 4.18 приводятся спектры *G(f)* для разных моментов во время отхода *Триаса,* и они позволяют оценить потери при распространении генерируемого им звука в зависимости от расстояния.

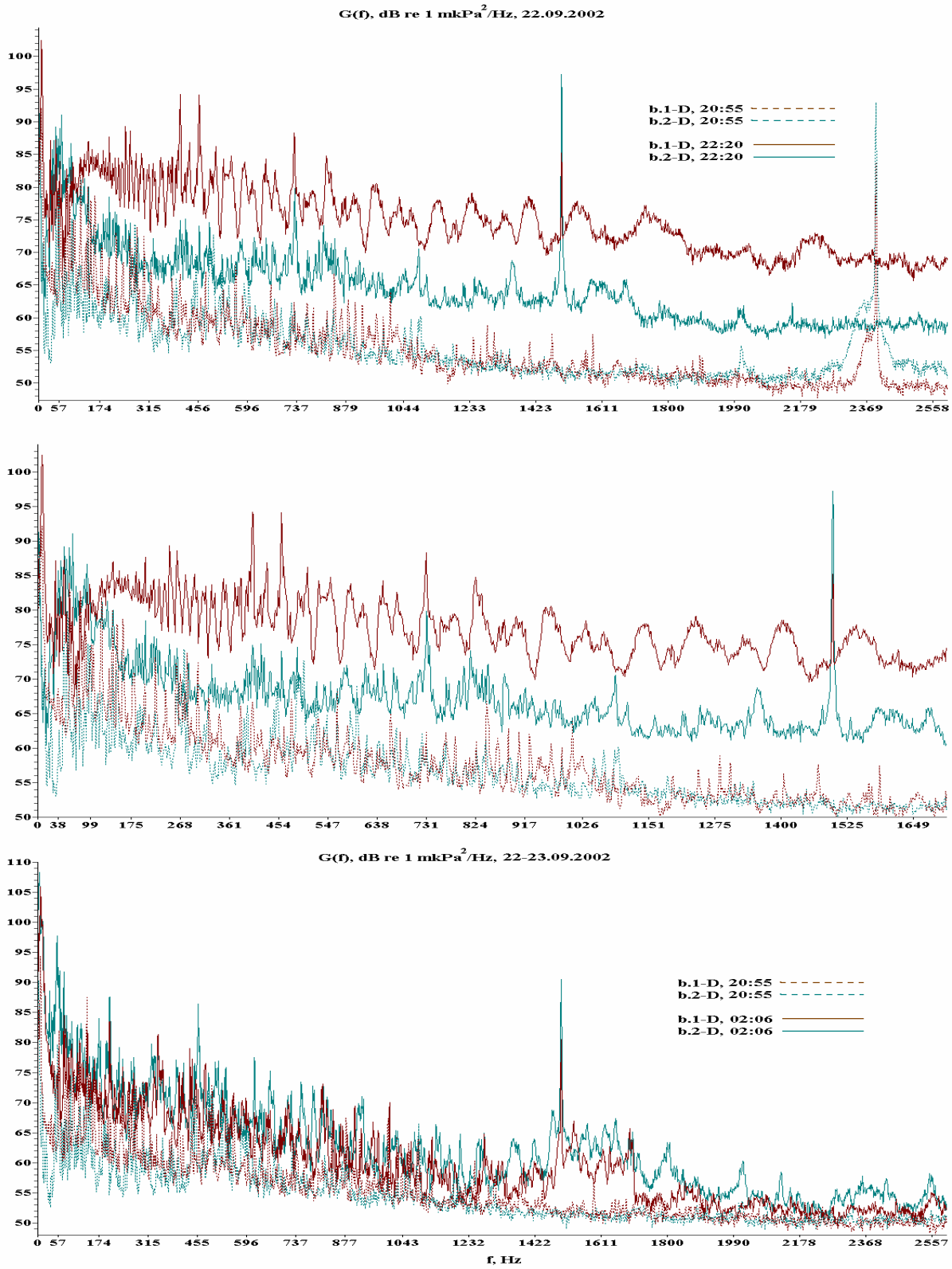

Рисунок 4.14 - Спектры G*(f)* фонового и антропогенного шума, зарегистрированного в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 22 сентября 2002 г.

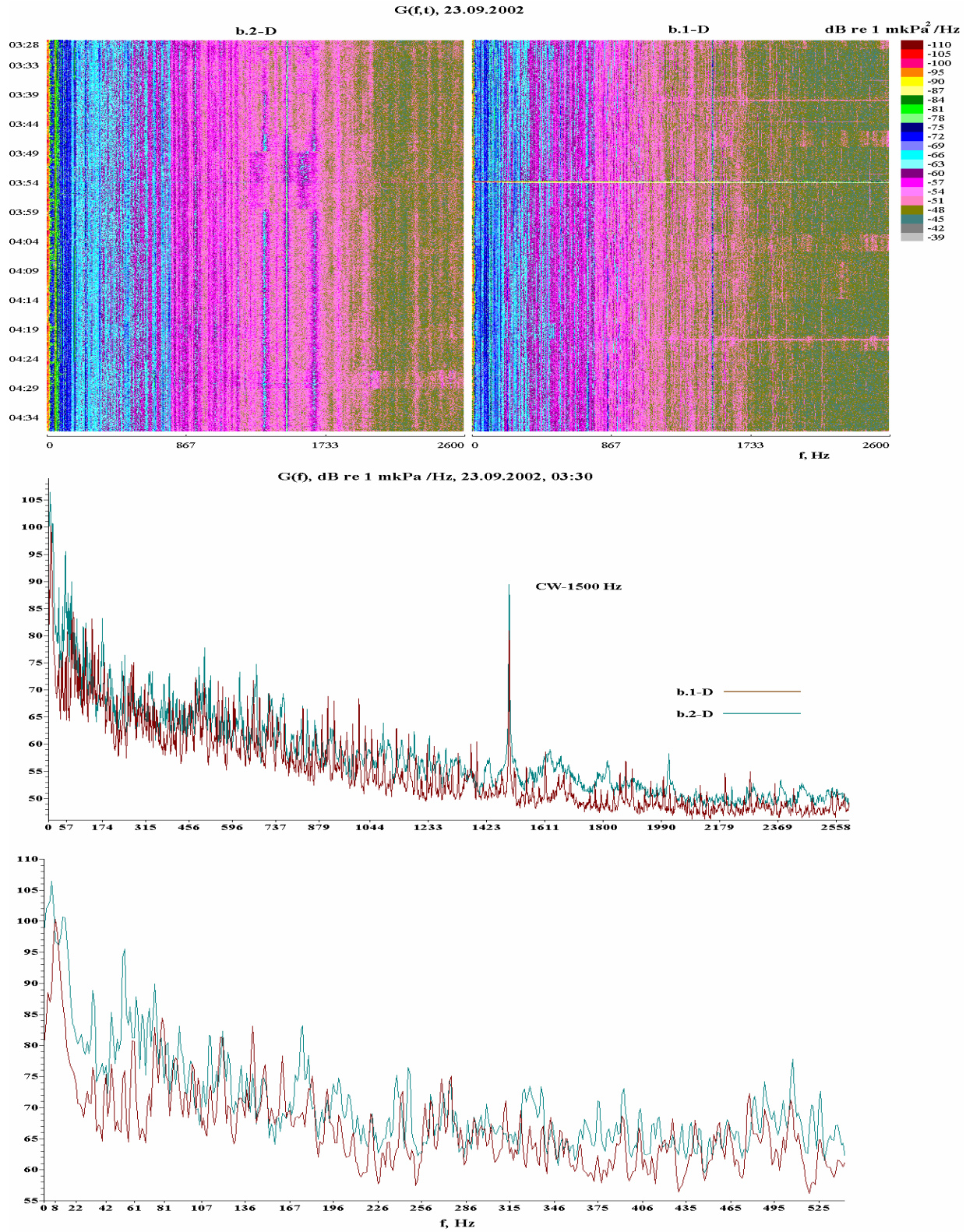

Рисунок 4.15 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1, и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

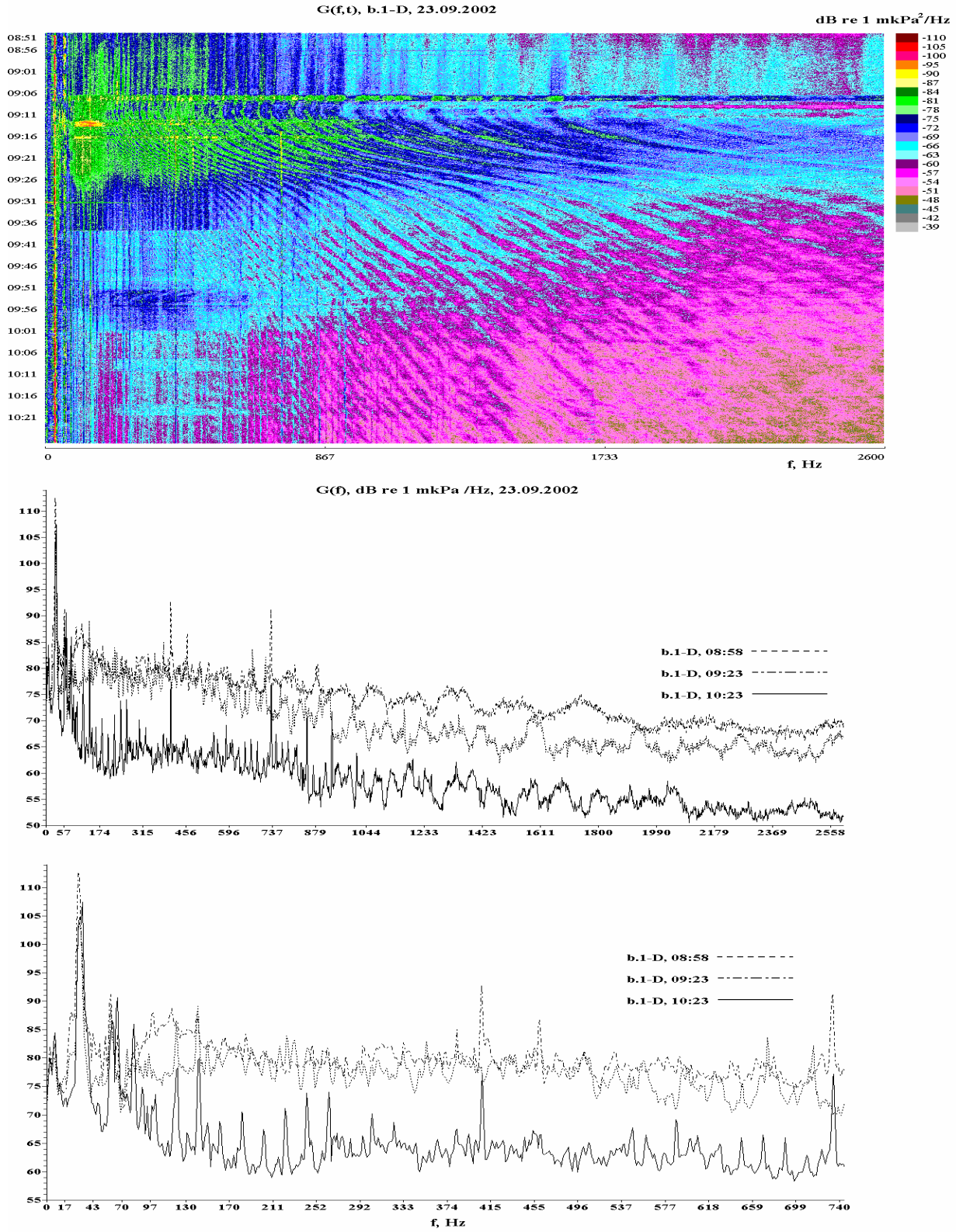

Рисунок 4.16 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точке b.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

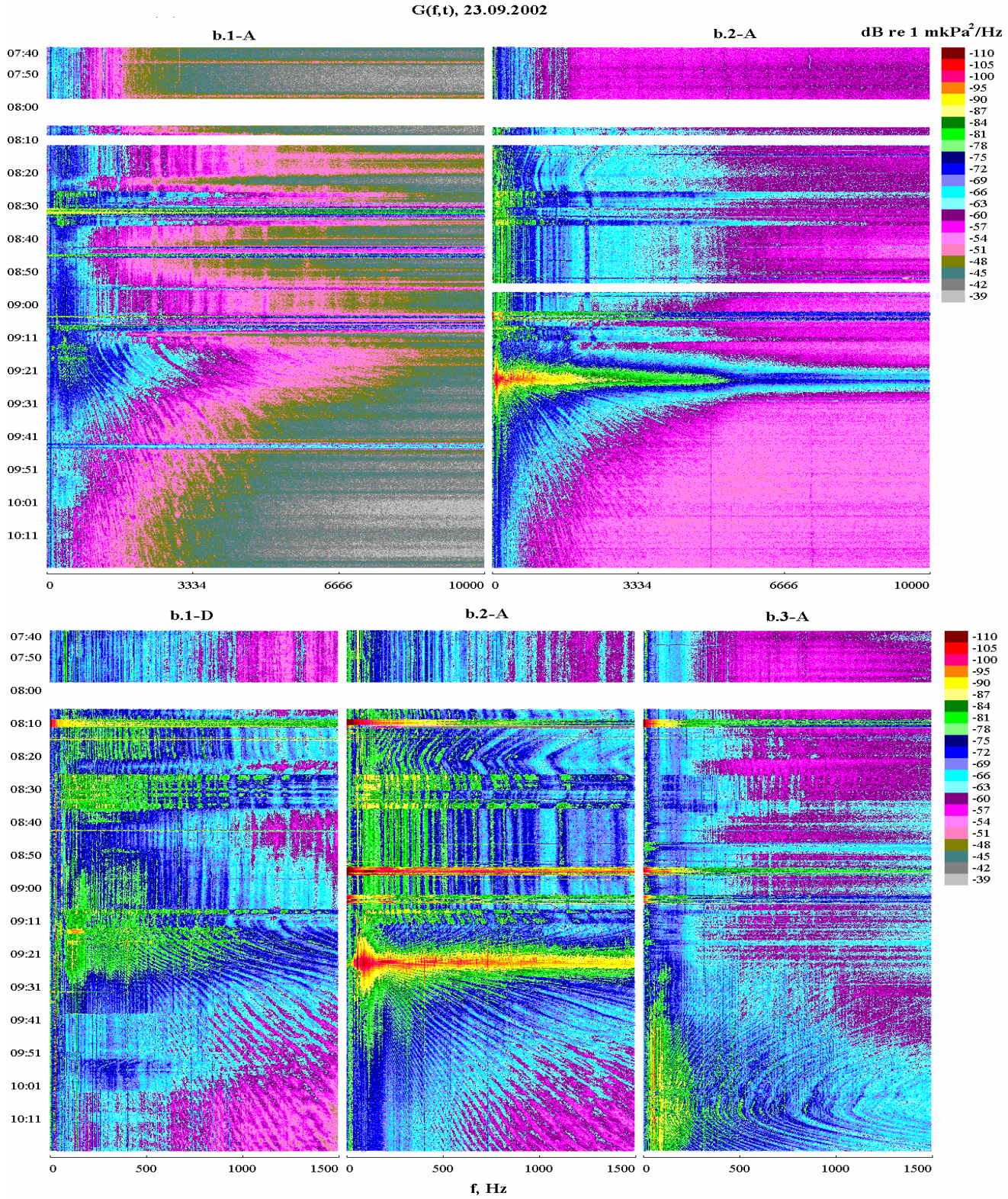

Рисунок 4.17 - Сонограммы *G(f,t)* антропогенных шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1, b2 и b.3 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

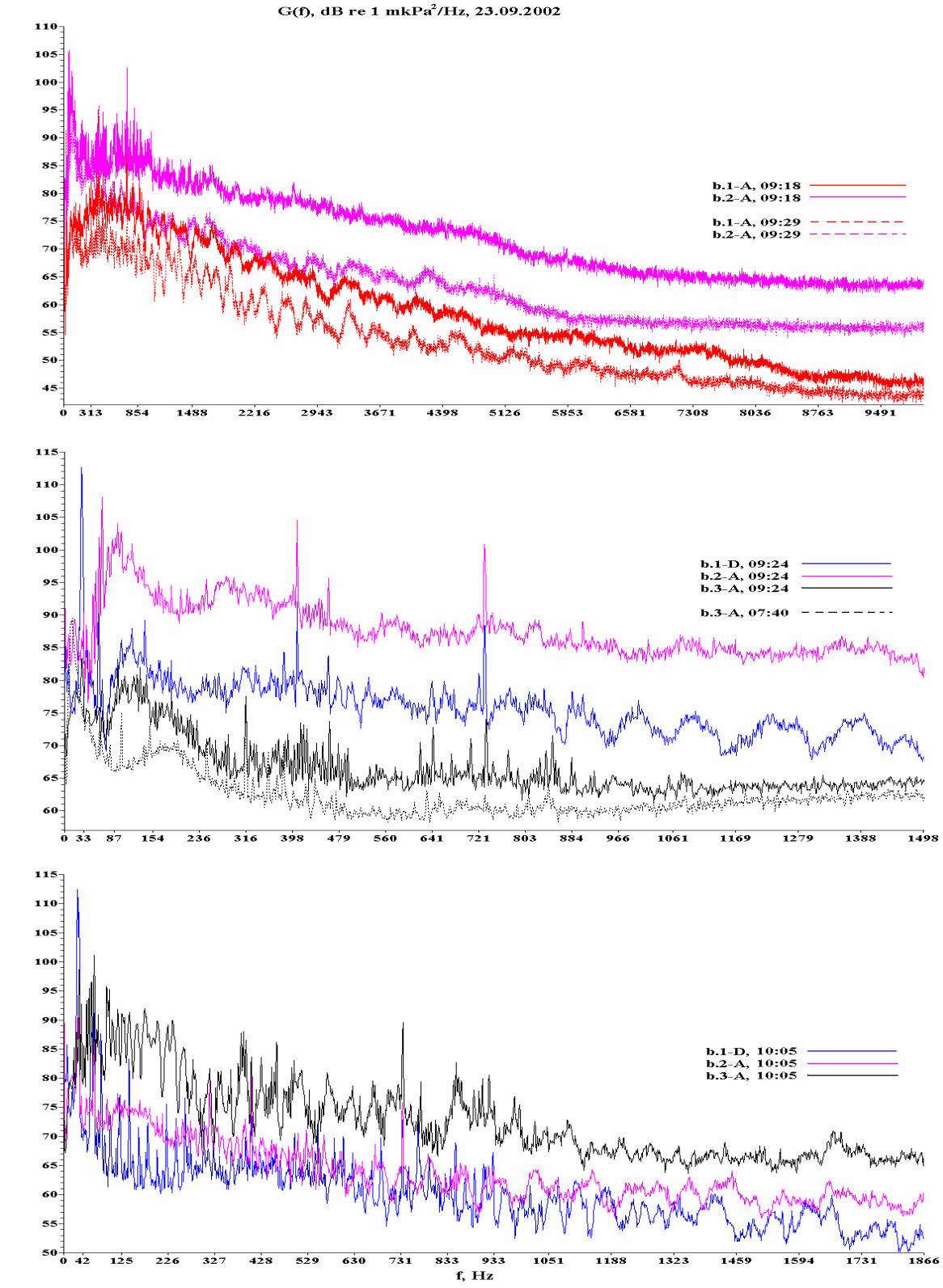

Рисунок 4.18 - Спектры G*(f)* фонового и антропогенного шума, зарегистрированного в точках b.1, b.2 и b.3 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

Во второй половине дня 23 сентября наблюдалась следующая производственная деятельность:

13:12 - С борта *Ирбиса* спущен небольшой катер[57], который направился в точку b.2 для подъема пары акустических буев.
13:26 - Машина *Ирбиса* работает на холостом ходу.
13:28 - *Ирбис* начал поднимать якорь.
13:40 - *Ирбис* направился к точке b.2 со скоростью 2,2 узла, за ним следовал Гардинг.
13:51 - *Ирбис* подошел к точке b.2 и подготовился к подъему на борт катера Гардинг.
14:05 - *Ирбис* начал движение от точки b.2 к точке b.1.
14:07 - *Ирбис* движется со скоростью 4,4 узла.
14:15 - *Ирбис* движется со скоростью 8,4 узла.
14:42 - Гардинг движется к точке b.1.
15:18 - *Ирбис* прошел точку b.2 и движется к точке b.3 со скоростью 10,1 узла.
15:35 - *Ирбис* движется к точке b.3 со скоростью 7,1 узла.
15:58 - Гардинг подошел к аналоговому бую в точке b.3.

На Рис. 4.19 приведены спектры *G(f)* иллюстрирующие акустические сигналы, генерируемые НЧ излучателем (12:25, 25 Гц) и уровень шумов в этом диапазоне после его выключения (13:26). Спектры G*(f)* для 13:26 соответствуют периоду времени, когда двигатель *Ирбиса* работал, но его винт не вращался. С 13:28 до 13:34 *Ирбис* поднимал якорь, и в 13:40 *Ирбис* прибыл в точку b.2 (Рис. 4.19: 13:40). На Рис. 4.20 приведены сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* акустических шумов, синхронно зарегистрированных в точках b.1 и b.3 во время проведения этих маневров. Спектры G*(f)* (Рис. 4.20: радиогидроакустические буи b.1-D и b.3-A; 13:31) имеют пики спектральной плотности на 60, 80, 120 и 140 Гц. В 13:49 Ирбис подошел к точке b.2 (Рис. 4.20: 13:49).

Сонограммы *G(f,t)* полученные с помощью радиогидроакустического буя b.1-D (Рис. 4.20) показывают, что в 11:43 уровень относительно низкочастотных антропогенных шумов с выраженными тональными компонентами резко уменьшился. По-видимому, это вызвано прекращением работы неизвестного оборудования, генерирующего этот шум. Спектры G*(f)* в момент времени 11:40 соответствуют синхронным измерениям в точках b.1 и b.3, и показывают, что уровень тонального шума (~32 Гц) в точке b.1 достигал 106 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, а в точке b.3 – 82 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. В точке b.1 хорошо выражены и более высокочастотные тональные сигналы[58], в то время как в точке b.3 уровень шума на этих на этих частотах не превышал 70 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

Механизмы, работающие на борту стоящего на якоре *Ирбиса,* создавали узкополосные шумы примерно на этих же частотах[59] и они синхронно измерялись в точках b.1 и b.3 (Рис. 4.20: 13:31). Узкополосный сигнал с частотой ~150 Гц, который четко регистрировался в точке b.1 (Рис. 4.20: радиогидроакустический буй b.1-D; 13:31), не наблюдался в точке b.3 (Рис. 4.20: радиогидроакустический буй b.3-A; 13:31), по-видимому, его источник находился рядом с берегом.

На Рис. 4.21 и 4.22 приведены графики соответствующие измерениям в точке b.1 во время движения *Ирбиса* возле точки b.2 по направлению к точке b.1. Сонограмма *G(f,t)* показывает, что *Ирбис* начал двигаться к точке b.1 приблизительно в 14:04. Перед этим он дрейфовал с работающим на холостых оборотах двигателем. В спектрах G*(f)* (Рис. 4.21: 13:56; Рис. 4.22: 13:58) видны два пика с частотами ~465 Гц и ~620 Гц. В это время двигатель работал на холостых оборотах и винт не вращался. При начале движения *Ирбиса* эти две тональных компоненты пропали, но появилась другая мощная тональная

[57] Гардинг.
[58] Эти тональные сигналы имели следующие уровни (в дБ отн. 1 мкПа^2/Гц): 46 Гц - 96 дБ; 60 Гц - 95 дБ; 122 Гц - 87 дБ и 140 Гц - 88 дБ.
[59] Эти тональные сигналы имели следующие уровни (в дБ отн. 1 мкПа^2/Гц): 60 Гц - 88 дБ - b.1, 79 дБ – b.3; 122 Гц - 87 дБ и 82 дБ; 140 Гц - 87 дБ и 82 дБ.

компонента с частотой ~28 Гц. Эта тональная компонента, вероятно, генерировалась вращением 4-лопастного винта со скоростью 7 оборотов в секунду [420 об./мин] (Рис. 4.21: 14:08 и 14:15). По мере увеличения скорости хода *Ирбиса* от 5 узлов (14:08) до 8,4 узла (14:15), произошло смещение частоты пика тонального шума, соответствующее изменению скорости вращения винта.

После подъема на борт радиогидроакустических буев в точке b.1, *Ирбис* направился к точке b.3. На Рис. 4.23 приведен график акустического шума, зарегистрированного аналоговым радиогидроакустическим буем в точке b.3 во время приближения *Ирбиса* к этой точке. Спектры *G(f)* показывают уровни акустического шума, зарегистрированного в точке b.3 при движении *Ирбиса* на дистанциях ~6,2 км (15:18) и ~3 км (15:38).

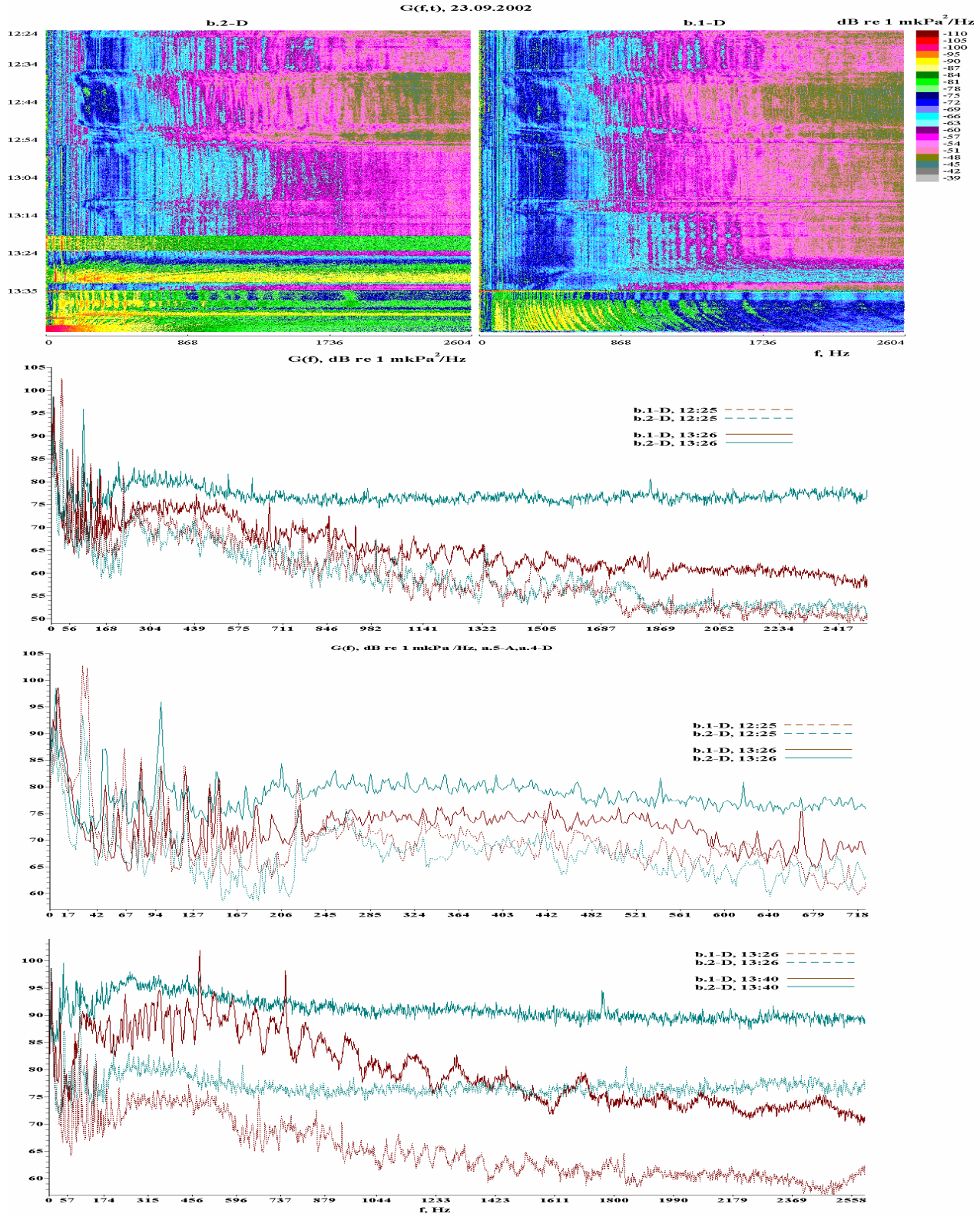

Рисунок 4.19 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.2 (с помощью цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

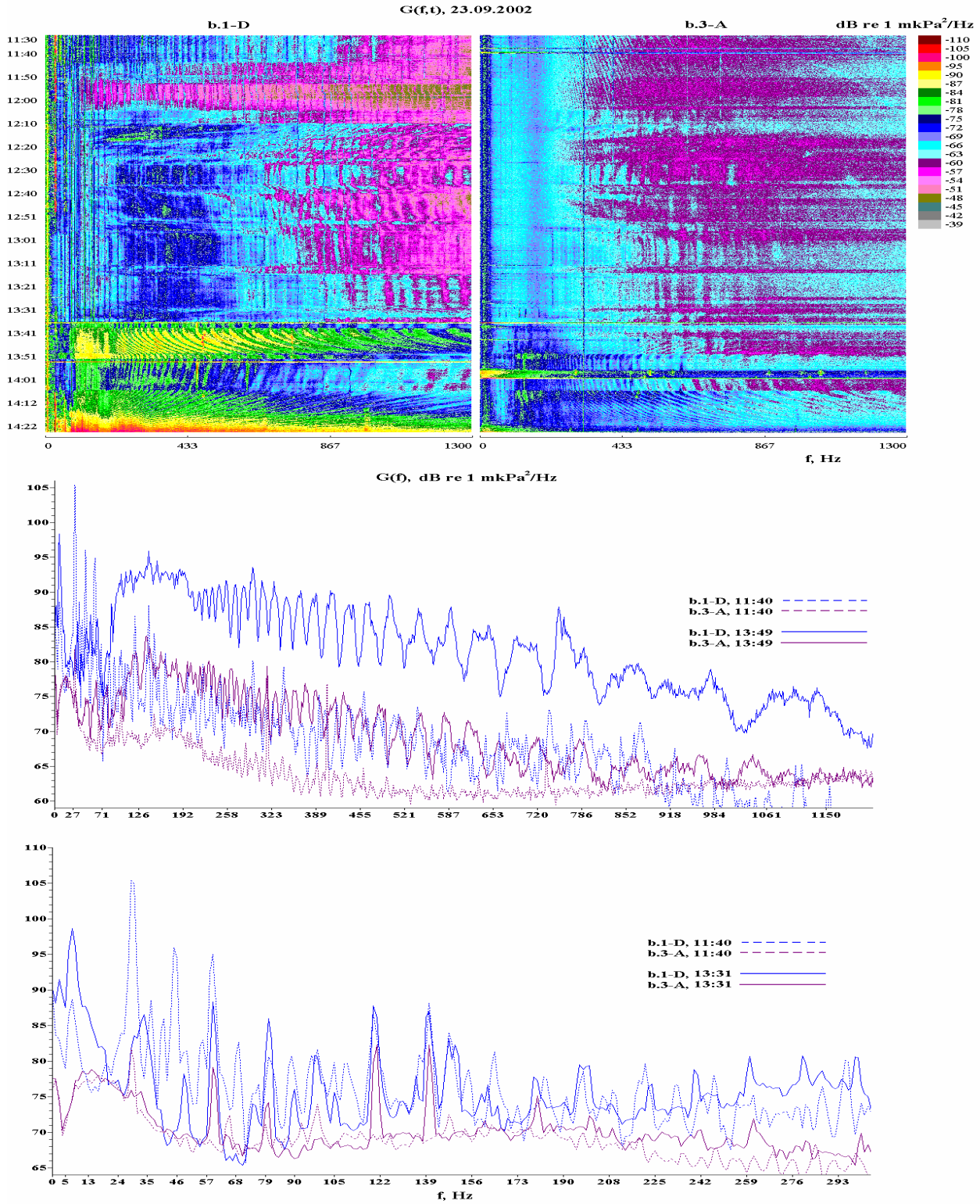

Рисунок 4.20 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенных шумов, зарегистрированных в точках b.1 и b.3 (с помощью аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев) 23 сентября 2002 г.

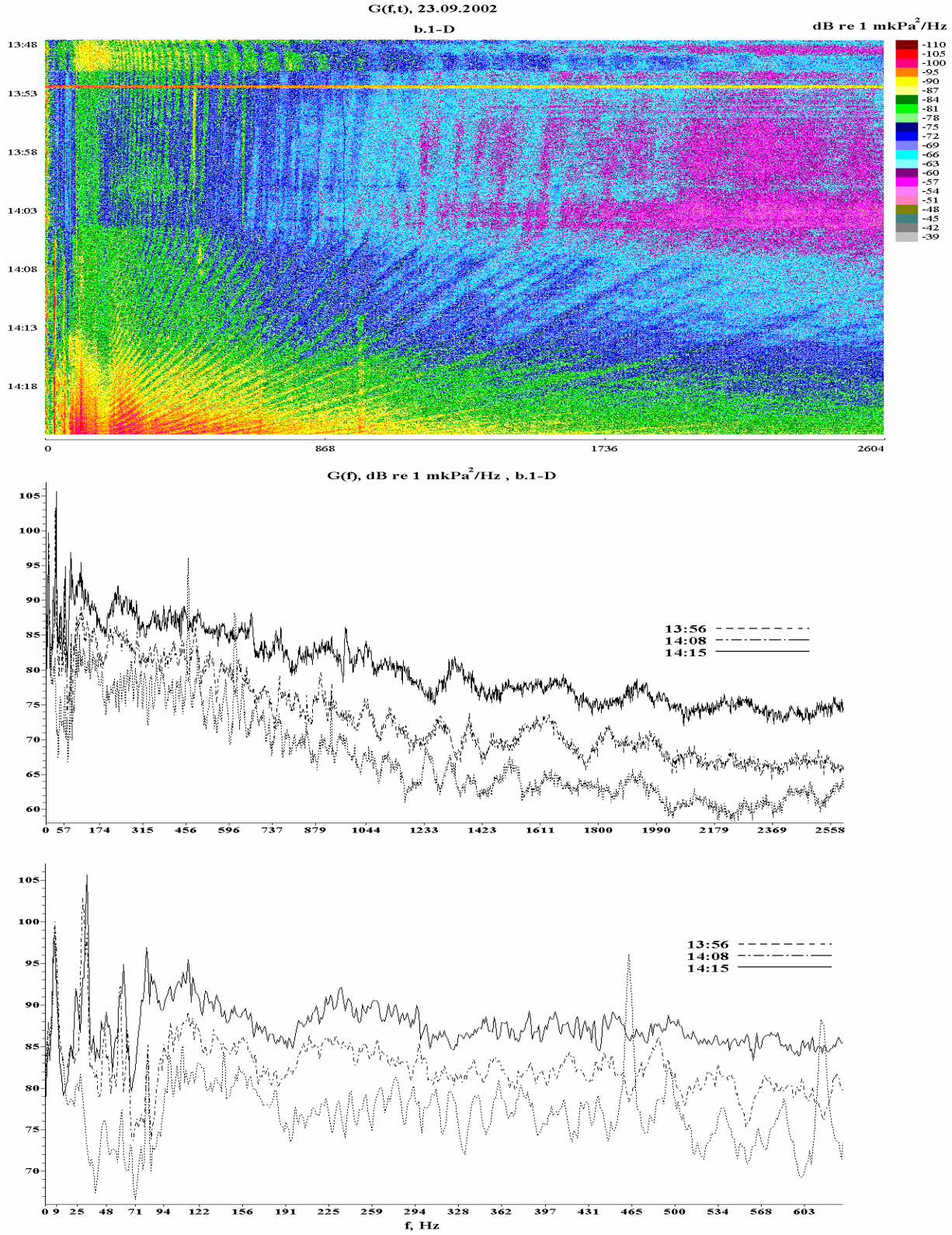

Рисунок 4.21 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного шума, зарегистрированного в точке b.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

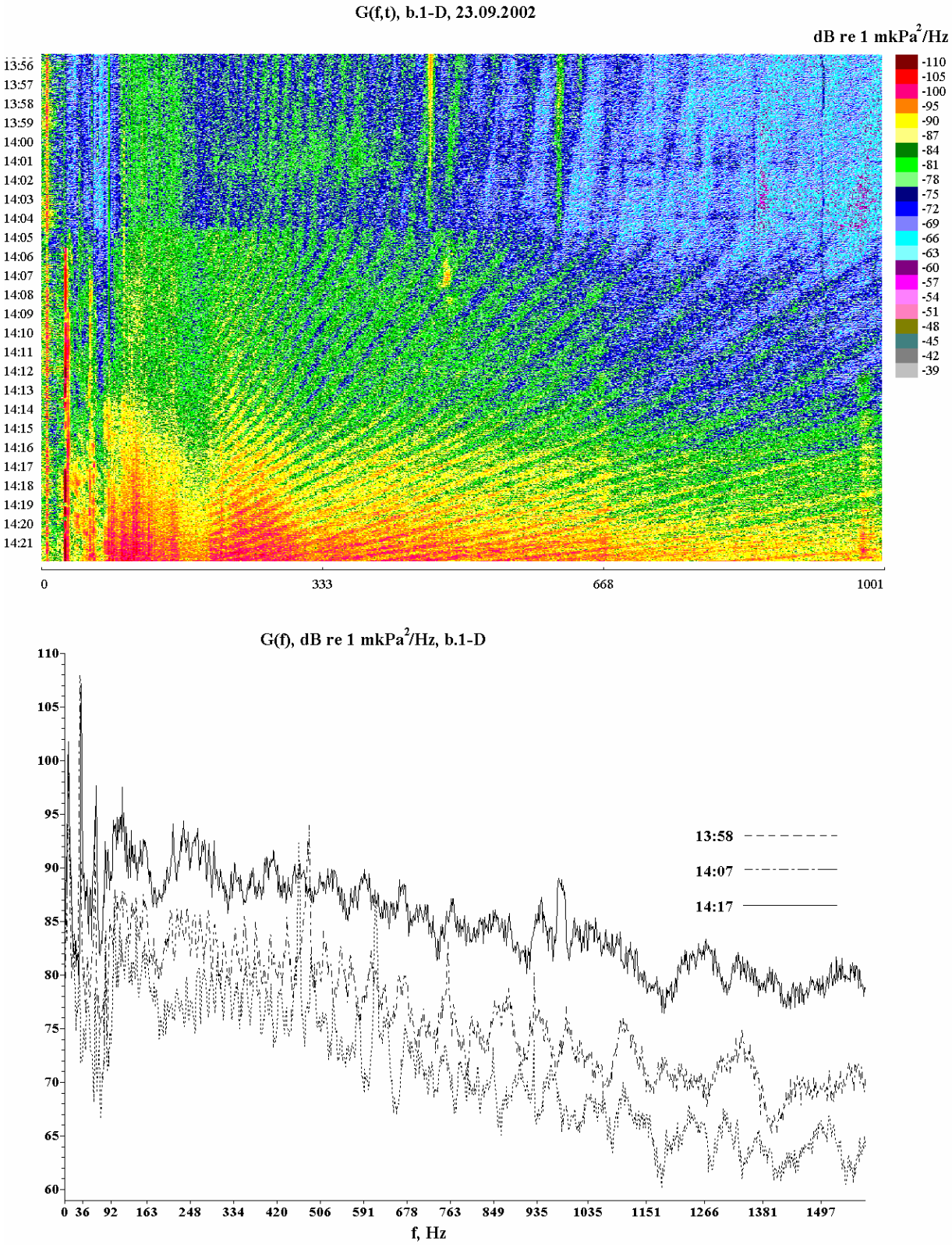

Рисунок 4.22 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного шума, зарегистрированного в точке b.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

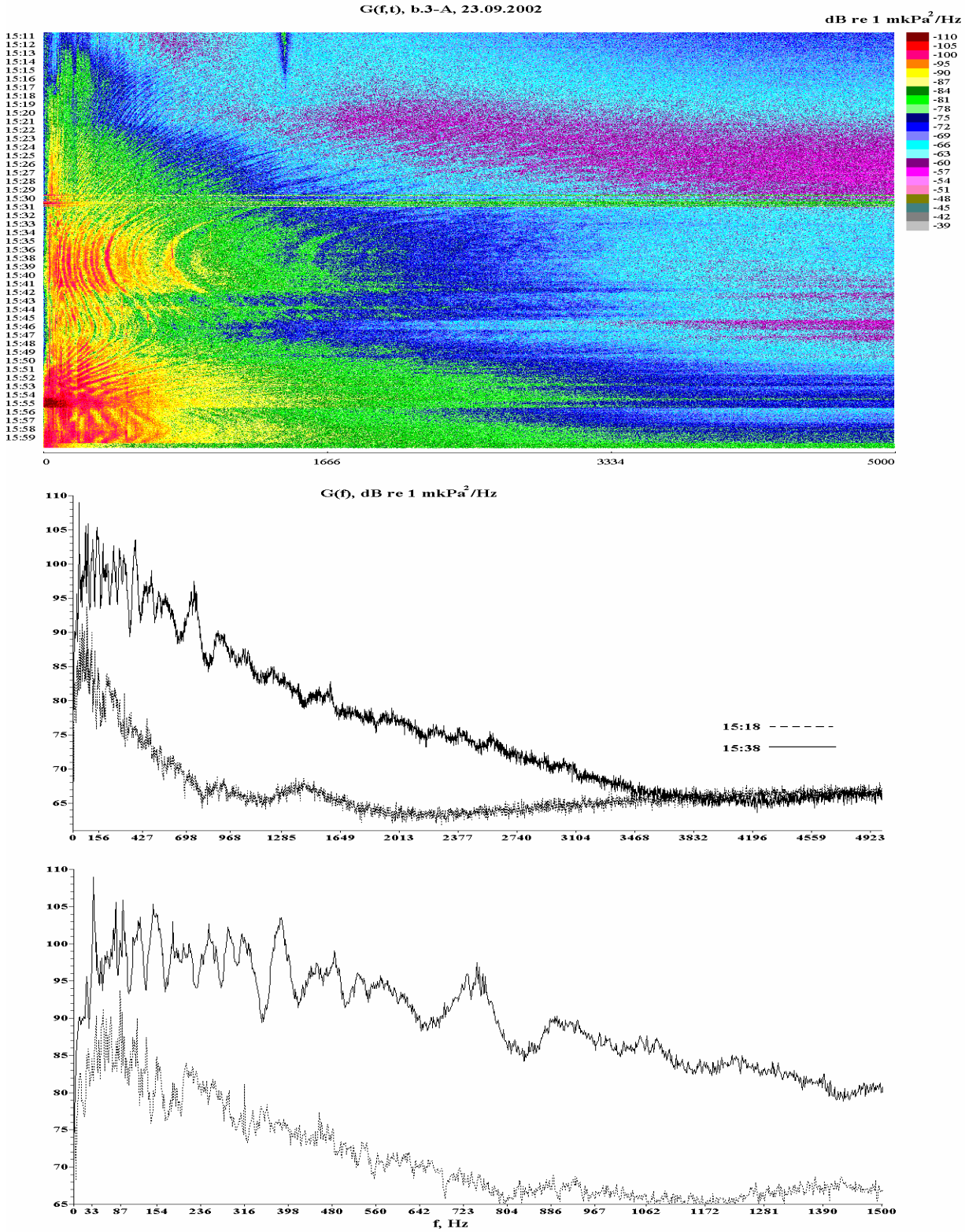

Рисунок 4.23 Сонограммы *G(f,t)* и спектры *G(f)* антропогенного шума, зарегистрированного в точке b.1 (с помощью цифрового радиогидроакустического буя) 23 сентября 2002 г.

5 Выводы

1. Новые цифровые радиогидроакустические буи обеспечили высококачественные измерения в частотном диапазоне 1-2600 Гц. Совместное применение цифрового и аналогового буя обеспечило измерение звука в диапазоне частот 1 Гц -10 кГц.
2. Результаты акустических исследований, проведенных на трассе от платформы Моликпак до устья залива Пильтун, показали следующее:
   a) Платформа Моликпак и нефтяной комплекс Витязь, генерируют тональные и узкополосные шумовые сигналы (некоторые из них имеют частоту меньше 30 Гц) со спектральными уровнями на ~15 дБ выше уровня широкополосного шума. Спектральные уровни тональных и узкополосных сигналов с частотой меньше 500 Гц, зарегистрированные в точке a.1 (10 м), составляли ~80-90 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.
   b) Зарегистрированные вблизи платформы Моликпак (точка a.5) уровни широкополосных шумов возрастали во время постановки самоподъемной буровой установки *Оха* к платформе Моликпак, эта операция проводилась с помощью двух буксиров и ледокола *Магадан*. В это время уровни шумов примерно на 15 дБ превышали средний уровень фона на частотах <1 кГц и на ~10 дБ на частотах >1 кГц. Максимальный зарегистрированный в точке a.5 уровень достигал 108 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц на частотах в диапазоне 100–500 Гц. В зоне питания серых китов (точка a.1) антропогенный шум повысился на ~6 дБ в диапазоне 100-500 Гц, и достиг уровня ~90 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. В диапазоне частот 500-3500 Гц уровень повысился на ~9 дБ до ~70 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, и на частотах 4-5 кГц – менее чем на 4 дБ[60].
   c) Максимальный уровень акустических шумов, создаваемых гидрографическим судном *Чара* на частотах мене 60 Гц, достигал ~115 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц в точке a.2 (приблизительно на расстоянии 1,5 км от судна), но в точке a.1 составлял менее 103 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц[61]. При движении, судно *Чара* создавало на частотах ниже 500 Гц уровни шумов, превышаюшие уровни соответствующие ее якорной стоянке более чем на 15 дБ, на частотах выше 3 кГц эта разница была <5 дБ в точке a.2, а в точке a.1 эта разница была <5 дБ на частотах выше 1 кГц.
   d) Измерения вблизи залива Пильтун показали, что на частотах ниже 1 кГц основными источниками акустического шума являются суда обеспечения. Буксир *Смит Сахалин* являлся основным источником акустического шума во время перегрузки нефти потому, что обеспечивал стабилизацию положения танкера *Приморье* во время отгрузки в него нефти с плавучего нефтехранилища *Оха.* Создаваемый буксиром *Смит Сахалин* шум в частотном диапазоне 100-500 Гц достигал уровней ~112 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц в точке a.5 (вблизи платформы Моликпак), и уровней ~75 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц в точке a.1 (в Пильтунском районе питания серых китов). В точке a.1 тональные и узкополосные шумы с частотами меньше 35 Гц достигали уровня ~95 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.
3. Результаты акустических исследований, проведенных в районе залива Чайво во время разгрузки оборудования с барж на берег показали:
   a) при разгрузке барж, генерировались узкополосные и сравнительно продолжительные непрерывные шумы с частотой ~30 Гц. Зарегистрированный в точке b.1 уровень этого шума достигал 106 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц[62], а в точке b.2 – 93 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Если эти операции не производились, то уровень шума на этой частоте составлял примерно 75 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.
   b) Синхронные измерения в точках b.1 и b.3 показали, что когда спектральный уровень узкополосного шума на частоте ~32 Гц в точке b.1 достигал величины

[60] Данные были зарегистрированы 14 сентября 2002 г.
[61] Судно Чара используется для снабжения Пильтунского маяка.
[62] Во время операций перегрузки

106 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, то в точке b.3 (соответствует примерно половине дистанции до южной зоны питания серых китов) он был равен ≈82 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Эти значения приблизительно на 30 дБ превышают уровень широкополосных шумов. В точке b.3 спектральный уровень высокочастотного шума составлял менее 70 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, в то время как в точке b.1 он составлял (относительно 1 мкПа^2/Гц) 96 дБ на 46 Гц; 95 дБ на 60 Гц; 87 дБ на 122 Гц и 88 дБ на 140 Гц. Для частот выше 1 кГц тональные компоненты имеют уровень приблизительно 80-85 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

c) Измерения акустического фона проводилась в разных гидрометеорологических условиях, в том числе во время сильного шторма, когда скорость ветра достигала 20 м/с с порывами до 25 м/с. Результаты этих измерений показывают, что спектральный уровень акустического шума в точках b.1 и b.2[63] (обе они находятся на сравнительном мелководье) были примерно равными и превышали уровень широкополосного акустического шума на ≈2 дБ в точке b.1, и более чем на 4 дБ в точке b.2. На частотах свыше 1,8 кГц спектральный уровень в точке b.2 был выше, чем в точке b.1, по-видимому, это связано с большей высотой поверхностных волн в точке b.2, генерируемых ветром северо-западного направления. Анализ акустических спектров на частотах ниже 5 кГц при бурном море и сильном дожде показывает, что во время шторма с дождем уровень шума в точках b.1 и b.2 был приблизительно одинаковым для частот выше 1 кГц. При волнении моря 4 балла широкополосные спектральные уровни на 12 дБ превышали уровень фонового шума, для шторма с дождем эти уровни превышали фоновые на ~16-18 дБ. Во время штили спектральный уровень широкополосного шума составлял 45 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, а во время шторма с дождем он возрастал до 64 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Спектральный уровень высокочастотного шума увеличивался во время шторма с дождем, на частотах выше 2,5 кГц более чем на 5 дБ, и достигал ~64 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, во время шторма без дождя этот уровень был равен ~56 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц.

4. Результаты акустических исследований, проведенных для шумов, генерируемых стоящими на якоре или маневрирующими судами (*Ирбис* и *Триас*) показывают следующее:
   a) Стоящее на якоре судно с работающей машиной и дизель-генераторами создает широкополосный шум со спектральными уровнями 80-90 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, и низкочастотные тональные сигналы со спектральными уровнями 90-98 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц. Во время работы машины на холостом ходу в диапазоне частот от 0,1 до 1 кГц могут наблюдаться тональные компоненты (например, 410 и 735 Гц) уровень которых на ~15 дБ превышает уровень широкополосного шума.
   b) При движении судна эти тональные компоненты в диапазоне 0,1-1 кГц исчезают, и появляется тональный сигнал с частотой ~28 Гц (обусловленный оборотами гребного винта и числом его лопастей), уровень этого сигнала превышает уровнь широкополосных шумов на ~10 дБ. При маневрировании судна зарегистрированные поблизости от него спектральные уровни широкополосных (>200 Гц) шумов составляли ~95 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц и они снижались до ~85 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц на 1 кГц. Низкочастотные и тональные компоненты могут достигать уровня ~106 дБ отн. 1 мкПа^2/Гц, что выше приблизительно на 10-20 дБ.
   c) Измеренный уровень спектральной плотности шума, генерируемого движущимся судном на частоте 10 кГц примерно на 30 дБ ниже, чем на частоте 1 кГц.

6 Планы на будущее

Акустические измерения, проведенные в районе платформы Моликпак в 2002 г., подтвердили ценность акустического мониторинга с использованием аналоговых и

[63] Обе записи были сделаны с использованием цифровых гидроакустических буев.

цифровых радиогидроакустических буев. Сигналы этих буев могут регистрироваться синхронно, что позволяет анализировать данные более эффективно. Однако проблемы с динамическим диапазоном и ограничениями в дальности приема радиотелеметрических сигналов от аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев продемонстрировали необходимость разработки нового автономного цифрового измерительного оборудования. Такие регистрирующие устройства позволят, проводить непрерывные автономные измерения в течение $\approx$14 дней.

ТОИ обладает необходимым опытом проектирования, разработки, изготовления и эксплуатации цифровых радиогидроакустических буев и регистрирующих систем [Bondar и др., 1993 г.]. В 2003 г. будет разработан новый автономный подводный акустический регистратор (АПАР). Этот регистратор будет иметь такой же динамический диапазон, как и цифровой радиогидроакустический буй, но без ограничений, накладываемых полосой пропускания радиотелеметрического канала, используемого в цировых радиогидроакустических буях...

Цифровой блок АПАР будет иметь 16-разрядный АЦП (96 дБ) и жесткий диск 60 Гбайт, гидрофоны будут откалиброваны в диапазоне от 1 Гц до 10 кГц. Блоки АПАР будут двухканальными, один канал будет иметь частоту дискретизации 20 кГц, другой 30 кГц, частота пропускания фильтра нижних частот будет перестраиваемой., Расширение динамического диапазона высокочастотного канала позволит проводить точные акустические измерения в диапазоне от 1 до 15 000 Гц. Блок АПАР сможет записывать оба канала синхронно или только один канал с частотой дискретизации 20 кГц. Режим записи будет зависеть от эксплуатационных ограничений (время записи зависит от емкости жесткого диска и электроемкости аккумуляторных баттарей). Для акустических измерений в диапазоне 0,07-80 Гц могут быть применены пьезоэлектрические акселерометры.

В программе исследований 2003 г. основное внимание будет уделено измерению фонового шума в точках мониторинга, находящихся между потенциальными источниками индустриальных щумов и местами концентрации серых китов. Кроме того, предполагается, что между точками размещения проектируемых объектов и районами максимальной концентрации серых китов будут проведены измерения потерь при распространении звука с разными частотами.

7 Благодарности

Авторы хотели бы выразить свою благодарность Тихоокеанскому океанологическому институту им. В.И. Ильичева ДВО Российской Академии наук за поддержку и помощь, оказанные при организации и проведении данных исследований.

Авторы также хотели бы выразить благодарность инженерам ТОИ, которые, хотя и не принимали участия в написании данного отчета, но внесли значительный вклад в выполнение программы исследований: Д.Г. Ковзелю, В.В. Лихачеву и Е.А. Масленникову.

Авторы хотят поблагодарить экипаж *Ирбиса* за гостеприимство и помощь в выполнении акустических измерений с помощью их судна.

Наконец, авторы хотели бы поблагодарить Чл. корр РАН Г.И. Долгих (ТОИ), Д-ра Ричарда Т. Хоука (ЭксонМобил Апстрим Рисерч Ко.), Д-ра Чарльза М. Малме (Эл-Джи-Эл) и Д-ра Х. Роджера Мелтона (ЭксонМобил Апстрим Рисерч Ко.) за рецензирование данного отчета.

Особую благодарность выражаем инвестиционным компаниям, их сотрудникам и консультантам, без участия которых данная работа не могла быть выполнена. Мы благодарим:
Эл-Джи-Эл Лтд. - Д-р С.Б. Язвенко и Д-р С.Р. Джонсона
Эксон Нефтегаз Лтд. - М.Р. Дженкерсона, С.Р. Мартин и Х.Р. Мелтона
Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. - С. Балыцока

8 Авторы

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева,
Дальневосточное отделение Российской Академии наук:
Н. с. С.В. Борисов
Н. с. А.В. Гриценко
М. н. с. М.В. Круглов
Н. с. Р.А. Коротченко
Д. ф.-м.н. А.Н. Рутенко

9 Библиография

1. Борисов С.В., Гриценко А.В., Дженкерсон М.Р., Рутенко А.Н. и Ходзевич А.В. (2002 г.) Оценка и мониторинг акустического распространения из района трехмерного сейсмического исследования Одопту, 5 августа - 9 сентября 2001 г.; Сахалин, Российская Федерация // Отчет Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН для Эксон Нефтегаз Лтд.
2. Борисов С.В., Гриценко А.В., Рутенко А.Н. и Ходжевич А.В (2003 г.) Результаты акустических исследований, проведенных на Пильтуно-Астохском лицензионном участке, 1-6 августа 2001 г. и 17-24 сентября 2001 г.; Сахалин, Российская Федерация // Отчет Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН для Эксон Нефтегаз Лтд. и Сахалин Энерджи Инвестмент Ко.
3. Соболевский Е.И. и др., (1999 г.) Отчет для Сахалин Энерджи Инвестмент Компани.

4. Соболевский Е.И. и др., (2000 г.) Отчет для Сахалин Энерджи Инвестмент Компани.
5. Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I. and Thomson D.H. (1995). Marine mammals and noise (Морские млекопитающие и шум). Academic Press Limited. 576 p.
6. Dahlheim M.E., Fisher H.D., and Schempp J.D. (1984). Sound production by the gray whale and ambient noise levels in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico (Воспроизведение звуков серыми китами и уровни фоновых шумов в лагуне Сан-Игнасио, п-ов Калифорния, Мексика) // The Gray Whale Edited by Jones M. L. and Swartz S.L. / Academic Press, INC.
7. Bondar` L.F., Gritsenko A.V., Zakharov V.A., Kovzel` D.G. and Rutenko A.N. Digital radiotelemetry system for the collection and results of its application in studies of sea reverberation characteristics (Цифровая радиотелеметрическая система сбора и обработки гидроакустических сигналов и результаты ее применения в исследованих характеристик морской реверберации) // Acoust. Phys., 1993, vol.39, no.2, pp.118-122.
8. Blokhin, S.A., N.V. Doroshenko, and I.A. Marchenko. 2003. The abundance, distribution, and movement patterns of gray whales (Eschrichtius robustus) in coastal waters off the northeast Sakhalin Island coast in 2002 determined from aerial surveys.. Report by TINRO Centre, Vladivostok, Russia, to Exxon Neftegas Limited and Sakhalin Energy Investment Company, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia.
9. Красная книга Российской Федерации (Животные). 2001. Аст и Астрел - Балашиха, Агинское, 862 с.
10. Hilton-Taylor, C. 2000. IUCN Red List of Threatened Species. IUCN/SSC, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
11. Язвенко, С., Т. Макдональд, С. Мейер, С. Блохин, С.Р. Джонсон, В. Владимиров, С. Лагерев, М. Маминов, Е. Разливалов, М. Ньюкамер, Р. Нилсен, и В.С. Хокс. 2002. Аэровизуальный мониторинг состояния морских млекопитающих в связи с проведением трехмерной сейсморазведки в пределах лицензионной площади Одопту в 2001 г., северо-восточный шельф острова Сахалин, Охотское море, Россия. Заключительный отчет, подготовленный компанией ЛГЛ Лимитед, Сидней, Британская Колумбия, для компании Эксон Нефтегаз Лимитед, Южно-Сахалинск, Россия. 153 стр. + Приложения.

Приложение А - Свидетельства калибровки

Свидетельства калибровки

1.	Свидетельство № 09-01-2002	Гидрофон № Г61 № 07	Тип Г61
2.	Свидетельство № 09-06-2002	Гидрофон № Г61Н № 10	Тип Г61Н
3.	Свидетельство № 10-06-2002	Гидрофон № Г61Н № 11	Тип Г61Н
4.	Свидетельство № 11-06-2002	Гидрофон № Г61Н № 12	Тип Г61Н
5.	Свидетельство № 12-06-2002	Гидрофон № Г61Н № 13	Тип Г61Н
6.	Свидетельство № 13-06-2002	Гидрофон № Г61Н № 14	Тип Г61Н
7.	Свидетельство № 06-01-2002	Гидрофон № ПР-1 № 10559М	Тип ПР-1
8.	Свидетельство № 02-01-2002	Гидрофон № ПР-2 № 28705	Тип ПР-2
9.	Свидетельство № 04-01-2002	Гидрофон № ПР-2 № 30876	Тип ПР-2
10.	Свидетельство № 03-01-2002	Гидрофон № ПР-2 № 34223	Тип ПР-2
11.	Свидетельство № 01-01-2002	Гидрофон № ПР-2 № 31746	Тип ПР-2
12.	Свидетельство № 05-01-2002	Гидрофон № ПР-2 № 30887	Тип ПР-2

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ
СВИДЕТЕЛЬСТВО № 09-01-2002
о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа Г61 заводской № 07, рассчитанный на диапазон частот 3,15 Гц ÷ 12500 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 3,15 Гц ÷ 12500 Гц .

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа Г61.

18 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 18 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

Государственное предприятие
“Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений”
ГП “ВНИИФТРИ”
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГМЦГИ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 09-06-2002

о первичной (периодической) поверке
рабочего гидрофона

Рабочий гидрофон типа Г61Н заводской № 10, рассчитанный на диапазон частот 1 ÷ 10000 Гц,

разработанный и изготовленный ГП “ВНИИФТРИ”,

принадлежащий ТОИ ДВО РАН,

на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 1 ÷ 10000 Гц, в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа Г61.

7 июня 2002 г.
Срок действия свидетельства до 7 июня 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ ГНМЦ ВНИИФТРИ ДЛЯ СВИДЕТЕЛЬСТВ Т ГОССТАНДАРТ РОССИИ МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЕЧНОГОРСКИЙ РАЙОН

С.Ф. Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа Г61Н заводской № 10

Результаты измерения чувствительности Г61Н № 10.

F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па
1	3,4	10	10,0	100	10,1	1000	10,3
1,25	4,2	12,5	10,0	125	10,1	1250	10,3
1,6	5,0	16	10,1	160	10,1	1600	10,4
2	5,9	20	10,1	200	10,1	2000	10,4
2,5	7,1	25	10,1	250	10,1	2500	9,9
3,15	8,0	31,5	10,1	315	10,1	3150	9,4
4	8,5	40	10,1	400	10,1	4000	9,8
5	9,1	50	10,1	500	10,1	5000	9,8
6,3	9,5	63	10,1	630	10,2	6300	8,0
8	9,8	80	10,1	800	10,2	8000	5,6
-	-	-	-	-	-	10000	5,7

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 2,0 °С.

ПРИМЕЧАНИЯ 1 Рабочий гидрофона следует применять только на частотах треть октавного ряда в диапазоне частот, указанном в свидетельстве о поверке.

2 При измерениях гидрофон ориентировался риской на источник звука.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф. Некрич

Государственное предприятие
“Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений”
ГП “ВНИИФТРИ”
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГМЦГИ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 10-06-2002

о первичной (периодической) поверке
рабочего гидрофона

Рабочий гидрофон типа Г61Н заводской № 11, рассчитанный на диапазон частот 1 ÷ 10000 Гц,

разработанный и изготовленный ГП “ВНИИФТРИ”,

принадлежащий ТОИ ДВО РАН,

на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 1 ÷ 10000 Гц, в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа Г61.

7 июня 2002 г.
Срок действия свидетельства до 7 июня 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ * ГНМЦ ВНИИФТРИ * ДЛЯ СВИДЕТЕЛЬСТВ * ГОССТАНДАРТ РОССИИ * МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЕЧНОГОРСКИЙ РАЙОН

С.Ф. Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа Г61Н заводской № 11

Результаты измерения чувствительности Г61Н № 11.

F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па
1	3,6	10	10,4	100	10,5	1000	10,6
1,25	3,9	12,5	10,5	125	10,5	1250	10,6
1,6	5,3	16	10,5	160	10,5	1600	10,5
2	6,2	20	10,5	200	10,5	2000	10,1
2,5	7,1	25	10,5	250	10,5	2500	10,0
3,15	7,9	31,5	10,5	315	10,5	3150	9,5
4	8,7	40	10,5	400	10,5	4000	11,3
5	9,6	50	10,5	500	10,6	5000	6,8
6,3	10,0	63	10,5	630	10,6	6300	5,6
8	10,3	80	10,5	800	10,6	8000	6,5
-	-	-	-	-	-	10000	5,6

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 2,0 °С.

ПРИМЕЧАНИЯ 1 Рабочий гидрофона следует применять только на частотах треть октавного ряда в диапазоне частот, указанном в свидетельстве о поверке.

2 При измерениях гидрофон ориентировался риской на источник звука.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф. Некрич

Государственное предприятие
“Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений”
ГП “ВНИИФТРИ”
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГМЦГИ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 11-06-2002

о первичной (периодической) поверке
рабочего гидрофона

Рабочий гидрофон типа Г61Н заводской № 12, рассчитанный на диапазон частот 1 ÷ 10000 Гц,

разработанный и изготовленный ГП “ВНИИФТРИ”,

принадлежащий ТОИ ДВО РАН,

на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 1 ÷ 10000 Гц, в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа Г61.

7 июня 2002 г.
Срок действия свидетельства до 7 июня 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ * ГНМЦ ВНИИФТРИ * ДЛЯ СВИДЕТЕЛЬСТВ * Т * ГОССТАНДАРТ РОССИИ * МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЕЧНОГОРСКИЙ РАЙОН

С.Ф. Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа Г61Н заводской № 12

Результаты измерения чувствительности Г61Н № 12.

F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па
1	4,0	10	10,6	100	10,8	1000	10,9
1,25	5,0	12,5	10,7	125	10,8	1250	10,9
1,6	6,3	16	10,8	160	10,8	1600	10,9
2	7,2	20	10,8	200	10,8	2000	11,0
2,5	8,1	25	10,8	250	10,8	2500	11,1
3,15	9,0	31,5	10,8	315	10,8	3150	10,7
4	9,5	40	10,8	400	10,8	4000	12,3
5	9,9	50	10,8	500	10,8	5000	7,2
6,3	10,1	63	10,8	630	10,8	6300	6,1
8	10,4	80	10,8	800	10,8	8000	7,2
-	-	-	-	-	-	10000	6,5

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 2,0 °С.

ПРИМЕЧАНИЯ 1 Рабочий гидрофона следует применять только на частотах треть октавного ряда в диапазоне частот, указанном в свидетельстве о поверке.

2 При измерениях гидрофон ориентировался риской на источник звука.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф. Некрич

Государственное предприятие
“Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений”
ГП “ВНИИФТРИ”
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГМЦГИ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 12-06-2002

о первичной (периодической) поверке
рабочего гидрофона

Рабочий гидрофон типа Г61Н заводской № 13, рассчитанный на диапазон частот 1 ÷ 10000 Гц,

разработанный и изготовленный ГП “ВНИИФТРИ”,

принадлежащий ТОИ ДВО РАН,

на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 1 ÷ 10000 Гц, в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа Г61.

7 июня 2002 г.
Срок действия свидетельства до 7 июня 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ * ГНМЦ ВНИИФТРИ * ДЛЯ СВИДЕТЕЛЬСТВ Т * ГОССТАНДАРТ РОССИИ * МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЕЧНОГОРСКИЙ РАЙОН

С.Ф. Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа Г61Н заводской № 13

Результаты измерения чувствительности Г61Н № 13.

F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па
1	3,5	10	10,2	100	10,6	1000	10,7
1,25	3,7	12,5	10,4	125	10,6	1250	10,7
1,6	4,6	16	10,5	160	10,6	1600	10,7
2	5,3	20	10,6	200	10,6	2000	10,8
2,5	6,4	25	10,6	250	10,6	2500	10,7
3,15	7,1	31,5	10,6	315	10,6	3150	10,7
4	8,2	40	10,6	400	10,6	4000	9,6
5	8,8	50	10,6	500	10,6	5000	5,3
6,3	9,4	63	10,6	630	10,6	6300	6,8
8	9,7	80	10,6	800	10,6	8000	7,3
-	-	-	-	-	-	10000	5,5

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 2,0 °С.

ПРИМЕЧАНИЯ 1 Рабочий гидрофона следует применять только на частотах треть октавного ряда в диапазоне частот, указанном в свидетельстве о поверке.

2 При измерениях гидрофон ориентировался риской на источник звука.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф. Некрич

Государственное предприятие
“Всероссийский научно-исследовательский институт
физико-технических и радиотехнических измерений”
ГП “ВНИИФТРИ”
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ГМЦГИ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 13-06-2002

о первичной (периодической) поверке
рабочего гидрофона

Рабочий гидрофон типа Г61Н заводской № 14, рассчитанный на диапазон частот 1 ÷ 10000 Гц,

разработанный и изготовленный ГП “ВНИИФТРИ”,

принадлежащий ТОИ ДВО РАН,

на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 1 ÷ 10000 Гц, в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа Г61.

7 июня 2002 г.
Срок действия свидетельства до 7 июня 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ * ГНМЦ ВНИИФТРИ * ДЛЯ СВИДЕТЕЛЬСТВ Т * ГОССТАНДАРТ РОССИИ * МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЕЧНОГОРСКИЙ РАЙОН

С.Ф. Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа Г61Н заводской № 14

Результаты измерения чувствительности Г61Н № 14.

F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па	F, Гц	M,мВ/Па
1	3,6	10	10,4	100	10,5	1000	10,7
1,25	3,9	12,5	10,5	125	10,5	1250	10,6
1,6	5,3	16	10,5	160	10,5	1600	10,6
2	6,2	20	10,5	200	10,5	2000	10,6
2,5	7,1	25	10,5	250	10,5	2500	10,6
3,15	7,9	31,5	10,5	315	10,5	3150	10,3
4	8,7	40	10,5	400	10,5	4000	9,6
5	9,6	50	10,5	500	10,6	5000	7,5
6,3	10,0	63	10,5	630	10,6	6300	7,5
8	10,3	80	10,5	800	10,6	8000	7,7
-	-	-	-	-	-	10000	5,6

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 2,0 °С.

ПРИМЕЧАНИЯ 1 Рабочий гидрофона следует применять только на частотах треть октавного ряда в диапазоне частот, указанном в свидетельстве о поверке.

2 При измерениях гидрофон ориентировался риской на источник звука.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф. Некрич

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 06-**01-2002**

о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа ПР-1 заводской №10559М, рассчитанный на диапазон частот 5 Гц ÷ 5000 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 5 Гц ÷ 630 Гц в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа ПР-1.

16 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 16 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

С.Ф.Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа ПР-1 заводской №10559М

Результаты измерения чувствительности М гидрофона типа ПР-1 заводской № 10559М приведены в таблице.

Таблица

Частота, Гц	М, мкВ/Па	Частота, Гц	М, мкВ/Па
630	320	50	287
500	315	40	287
400	309	31,5	286
31,5	305	25	286
250	302	20	286
200	300	16	285
160	295	12,5	285
125	292	10	284
100	290	8	284
80	287	6,3	283
63	287	5	282

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности Р=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Избыточное статическое давление 0,2 МПа.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 1,0 °С.

Электрическая емкость гидрофона 32000 пФ $tg\ \delta < 0{,}011$.

ПРИМЕЧАНИЕ Погрешность градуировки гарантируется только на частотах и давлениях, указанных в свидетельстве о поверке.

Измерения проводил

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф. Некрич

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 02-**01-2002**

о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа ПР-2 заводской №28705, рассчитанный на диапазон частот 5 Гц ÷ 5000 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 5 Гц ÷ 630 Гц в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа ПР-2.

16 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 16 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

С.Ф.Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа ПР-2 заводской № 28705

Результаты измерения чувствительности М гидрофона типа ПР-2 заводской №28705 приведены в таблице.

Таблица

Частота, Гц	М, мкВ/Па	Частота, Гц	М, мкВ/Па
630	145	50	151
500	149	40	151
400	153	31,5	151
315	154	25	151
250	152	20	151
200	152	16	151
160	151	12,5	151
125	151	10	150
100	151	8	150
80	151	6,3	149
63	151	5	148

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Избыточное статическое давление 0,2 МПа.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 1,0 °С.

Электрическая емкость гидрофона 14300 пФ $\mathrm{tg}\,\delta < 0{,}012$.

ПРИМЕЧАНИЕ Погрешность градуировки гарантируется только на частотах и давлениях, указанных в свидетельстве о поверке.

Измерения проводил

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 04-**01-2002**

о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа ПР-2 заводской № 30876, рассчитанный на диапазон частот 5 Гц ÷ 5000 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 5 Гц ÷ 630 Гц в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа ПР2.

16 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 16 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

С.Ф.Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа ПР-2 заводской № 30876

Результаты измерения чувствительности М гидрофона типа ПР-2 заводской № 30876 приведены в таблице.

Таблица

Частота, Гц	М, мкВ/Па	Частота, Гц	М, мкВ/Па
630	145	50	150
500	148	40	150
400	149	31,5	150
31,5	150	25	150
250	151	20	150
200	151	16	150
160	150	12,5	150
125	150	10	149
100	150	8	148
80	150	6,3	147
63	150	5	146

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности Р=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Избыточное статическое давление 0,2 МПа.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 1,0 °С.

Электрическая емкость гидрофона 12500 пФ $\mathrm{tg}\,\delta < 0{,}022$.

ПРИМЕЧАНИЕ Погрешность градуировки гарантируется только на частотах и давлениях, указанных в свидетельстве о поверке.

Измерения проводил

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 03-**01-2002**

о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа ПР-2 заводской № 34223, рассчитанный на диапазон частот 5 Гц ÷ 5000 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 5 Гц ÷ 630 Гц в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа ПР-2.

16 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 16 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90

С.Ф.Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа ПР-2 заводской № 34223

Результаты измерения чувствительности М гидрофона типа ПР-2 заводской № 34223 приведены в таблице.

Таблица

Частота, Гц	М, мкВ/Па	Частота, Гц	М, мкВ/Па
630	155	50	166
500	158	40	166
400	162	31,5	166
31,5	164	25	166
250	165	20	166
200	165	16	166
160	166	12,5	166
125	166	10	165
100	166	8	165
80	166	6,3	164
63	166	5	164

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности P=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Избыточное статическое давление 0,2 МПа.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 1,0 °С.

Электрическая емкость гидрофона 14000 пФ $\mathrm{tg}\,\delta < 0{,}022$.

ПРИМЕЧАНИЕ Погрешность градуировки гарантируется только на частотах и давлениях, указанных в свидетельстве о поверке.

Измерения проводил

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 01-**01-2002**

о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа ПР-2 заводской № 31746, рассчитанный на диапазон частот 5 Гц ÷ 5000 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 5 Гц ÷ 5000 Гц в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа ПР-2.

16 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 16 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа ПР-2 заводской № 31746

Результаты измерения чувствительности М гидрофона типа ПР-2 заводской № 31746 приведены в таблице.

Таблица

Частота, Гц	М, мкВ/Па	Частота, Гц	М, мкВ/Па
630	146	50	152
500	148	40	152
400	152	31,5	152
31,5	154	25	152
250	154	20	151
200	153	16	150
160	152	12,5	149
125	152	10	148
100	152	8	145
80	152,5	6,3	141
63	152	5	138

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности Р=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Избыточное статическое давление 0,2 МПа.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 1,0 °С.

Электрическая емкость гидрофона 14100 пФ $\mathrm{tg}\,\delta < 0{,}022$.

ПРИМЕЧАНИЕ Погрешность градуировки гарантируется только на частотах и давлениях, указанных в свидетельстве о поверке.

Измерения проводил

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

141570, Московская обл.,
п/о Менделеево, ГП ВНИИФТРИ

ГМЦГИ

Государственный метрологический центр
гидроакустических измерений
ГМЦГИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 05-**01-2002**

о первичной поверке
рабочего гидрофона

Рабочий измерительный гидрофон типа ПР-2 заводской № 30887, рассчитанный на диапазон частот 5 Гц ÷ 5000 Гц, принадлежащий ТОИ ДВО РАН г. Владивосток, на основании результатов государственной первичной поверки, признан годным и допущен к применению в качестве рабочего измерительного гидрофона, предназначенного для измерения звукового давления в водной среде в диапазоне частот 5 Гц ÷ 630 Гц в соответствии с государственной поверочной схемой по МИ 2098-90.

Приложение: Инструкция по эксплуатации. Гидрофоны типа ПР-2.

16 января 2002 г.
Срок действия свидетельства до 16 января 2003 г.

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

Результаты первичной поверки
гидрофона типа ПР-2 заводской № 30887

Результаты измерения чувствительности М гидрофона типа ПР-2 заводской № 30887 приведены в таблице.

Таблица

Частота, Гц	М, мкВ/Па	Частота, Гц	М, мкВ/Па
630	140	50	145
500	142	40	145
400	144	31,5	145
31,5	145	25	145
250	145	20	145
200	145	16	145
160	145	12,5	145
125	145	10	145
100	145	8	144
80	145	6,3	144
63	145	5	143

Доверительная относительная погрешность поверки при доверительной вероятности Р=0,95 не превышает 1,5 дБ.

Избыточное статическое давление 0,2 МПа.

Температура воды при измерениях находилась в пределах 15 ± 1,0 °С.

Электрическая емкость гидрофона 14300 пФ $\mathrm{tg}\,\delta < 0{,}022$.

ПРИМЕЧАНИЕ Погрешность градуировки гарантируется только на частотах и давлениях, указанных в свидетельстве о поверке.

Измерения проводил

Ученый хранитель
УВТ 71-А-90 С.Ф.Некрич

Приложение B - Результаты взаимной калибровки

12 сентября 2002 г. на судне *Ирбис* была проведена взаимная калибровка всех аналоговых и цифровых радиогидроакустических буев, использовавшихся при проведении программы исследований 2002 г. (Таблица B.1). Все буи, кроме 12-битового цифрового радиогидроакустического буя, калибровались посредством сравнения шумов, создаваемых судами *Ирбис* и *Триас*, а также тональных сигналов, генерируемых высокочастотным звуковым излучателем. Декодер для 12-битового цифрового радиогидроакустического буя находился на Пильтунском маяке, в связи с этим взаимная калибровка данного буя была выполнена позднее в точке a.1 посредством калибровки по аналоговому бую ARB-188.030 (Рис. B.6).

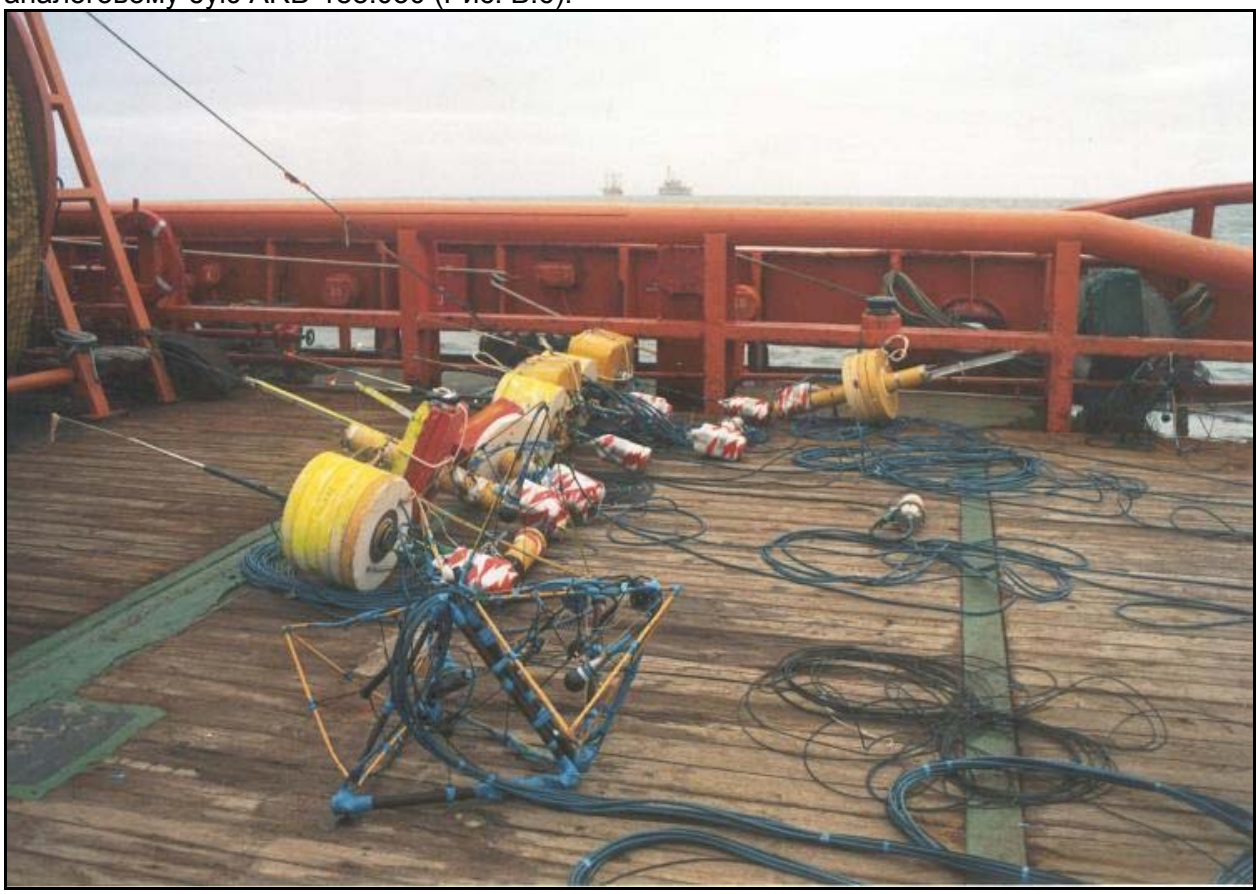

Рисунок B.1 - Взаимная калибровка аналоговых и цифровых буев на судне *Ирбис*

Взаимная калибровка на месте проведения исследований проводилась посредством группировки всех гидрофонов в структуру, получившую название “еж”, (Рис. B.1), которая устанавливалась на морском дне (глубина 25 м) с задней части судна *Ирбис*. На *Ирбисе* регистрировались сигналы от этих гидрофонов / радиогидроакустических буев. Целью являлась одновременная запись одного и того же сигнала всеми радиогидроакустическими буями. Это давало возможность проверить относительную калибровку радиогидроакустических буев.

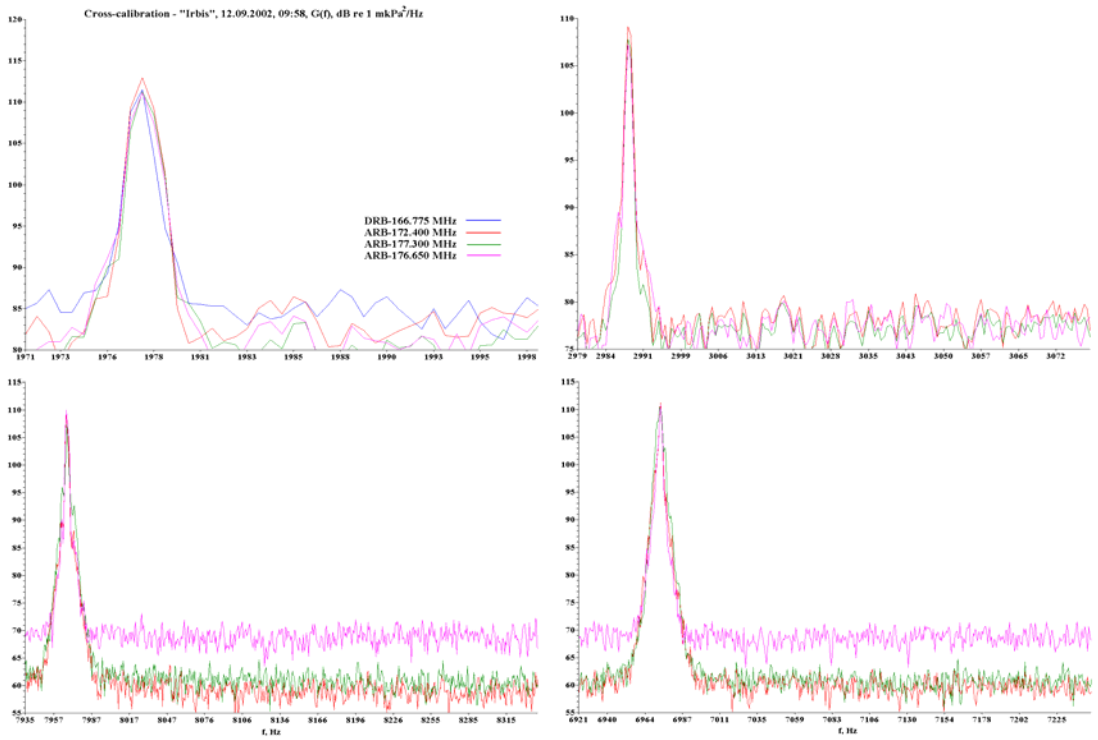

Рисунок B.2 - Анализ взаимной калибровки (ВЧ излучатель)

Радиогидроакустический буй	Частота, МГц	Усиление (Ku)	Чувстви-тельность мкВ/Па	Место установки	Дата (2002 г.)
DRB-12	166,720	25 5	10900	a.1	12-14/09 15-22/09
DRB-16	166,125	60/30 12/6 **60/30**	10700	a.4 a.4 **b.2**	13-15/09 16-19/09 21-23/09
DRB-16	166,775	50/25 10/5 **50/25**	10300	a.5 a.2 **b.1**	13-15/09 15-19/09 21-23/09
ARB	188,030	4000	145	a.1 a.0	12-19/09 19-23/09
ARB	172,400	1000 **2000**	166	a.5 **b.1**	13-19/09 21-23/09
ARB	176,650	1400	152	a.4 **b.2**	13-19/09 21-23/09
ARB	177.300	2000	151	a.2 **b.3**	12-19/09 21-23/09

Таблица B.1 - Подробная информация обо всех буях, использовавшихся при выполнении программы исследований акустического поля в 2002 г.

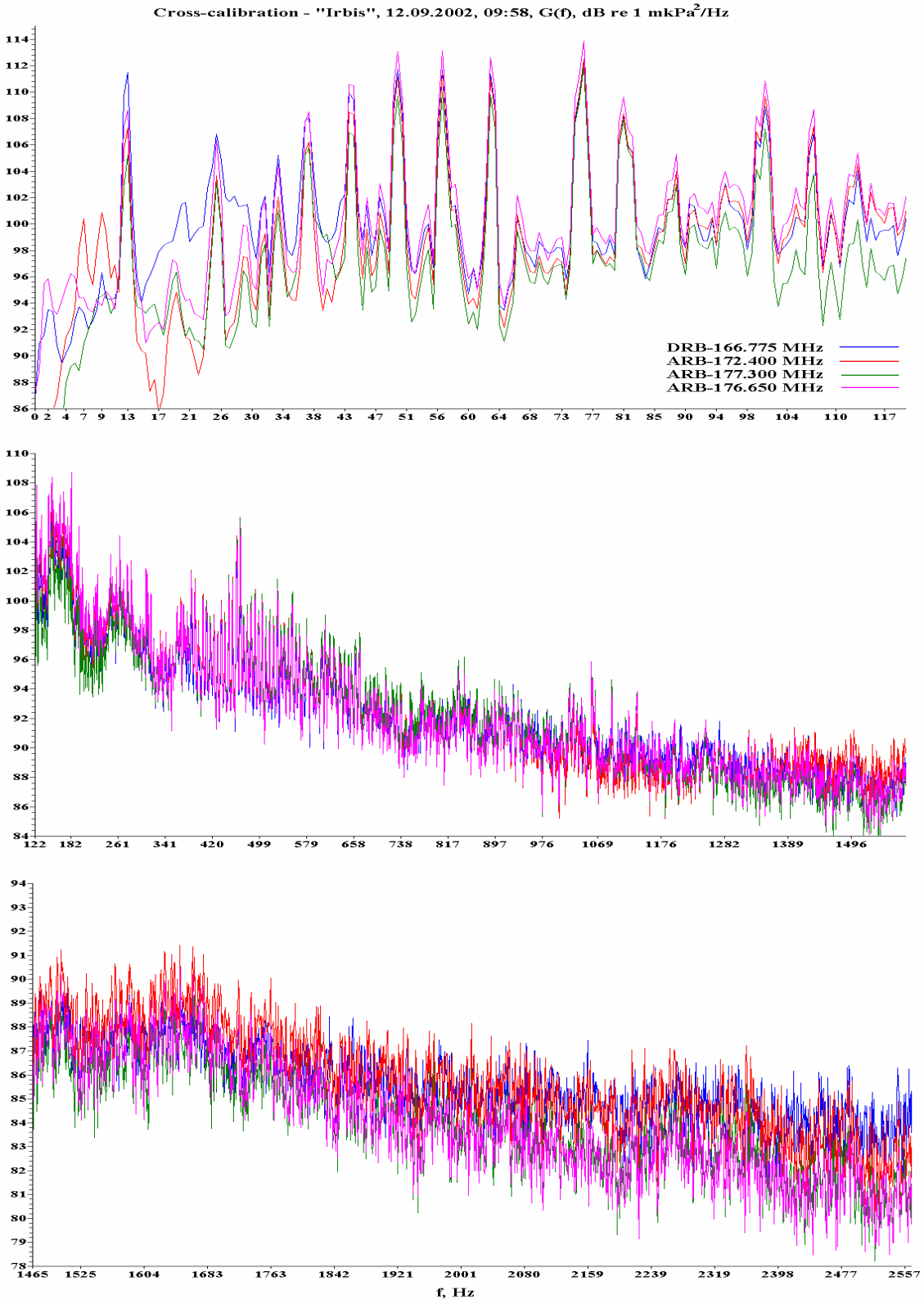

Рисунок B.3 - Анализ взаимной калибровки (шум)

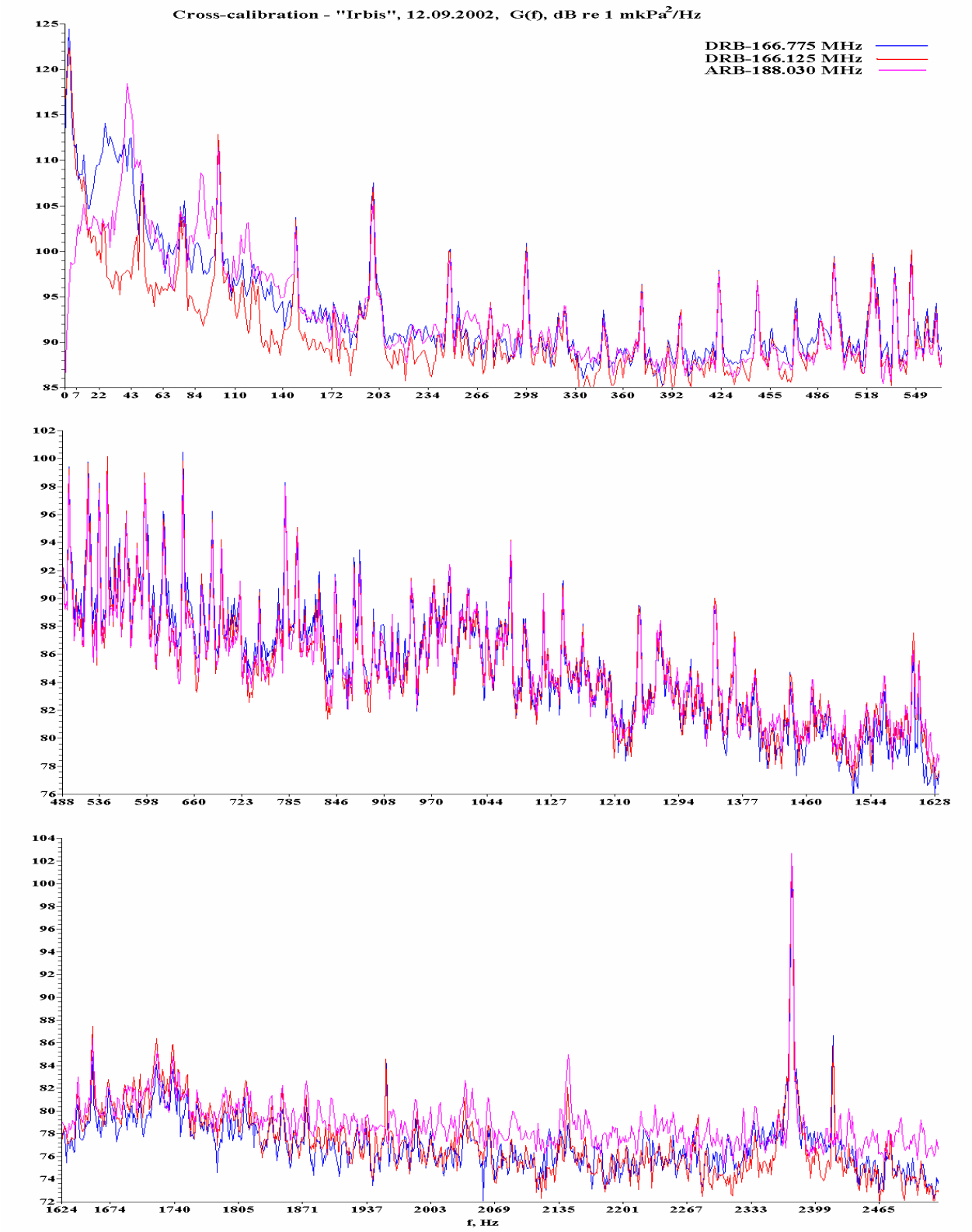

Рисунок B.4 - Анализ взаимной калибровки (шум)

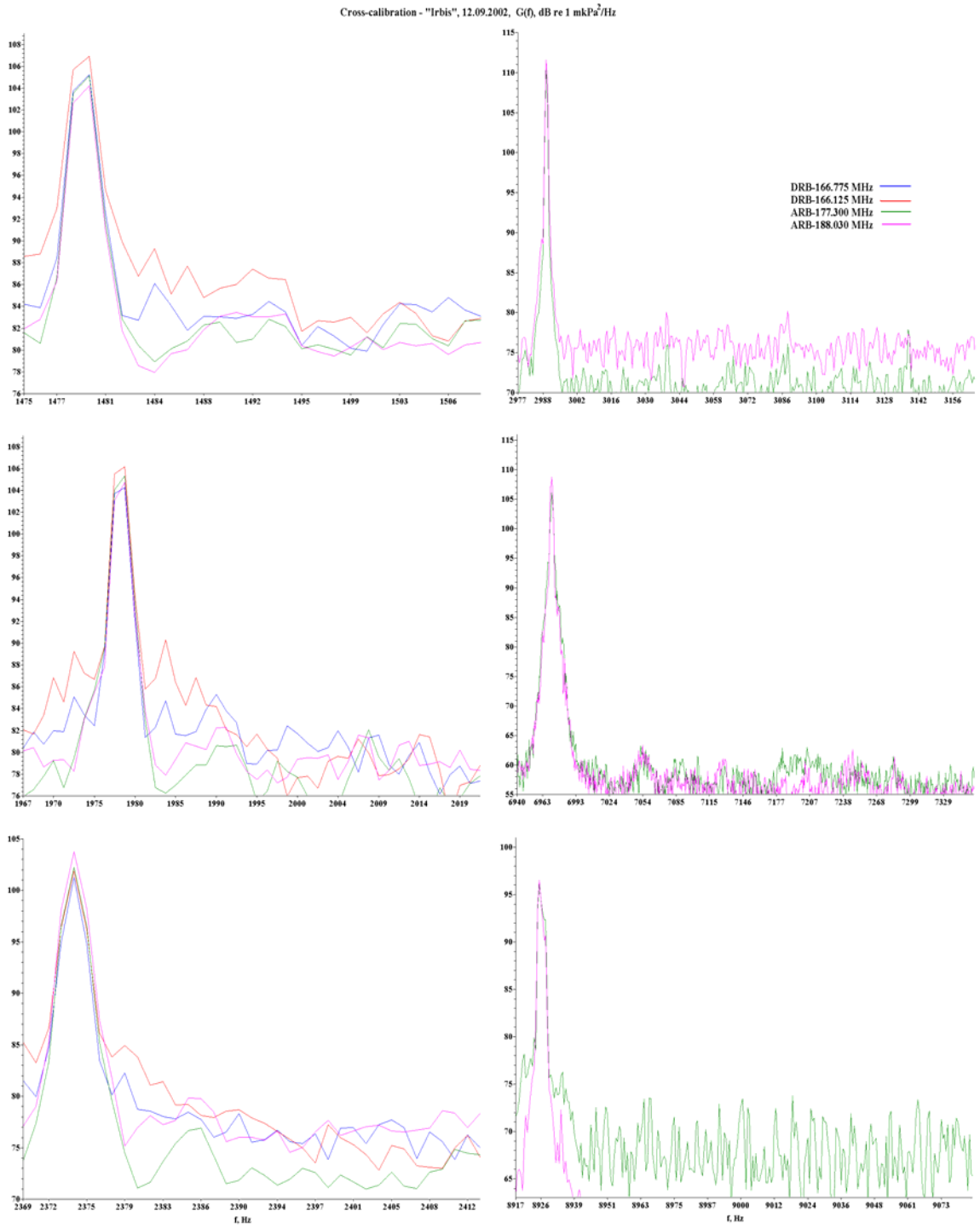

Рисунок B.5 - Анализ взаимной калибровки (ВЧ излучатель)

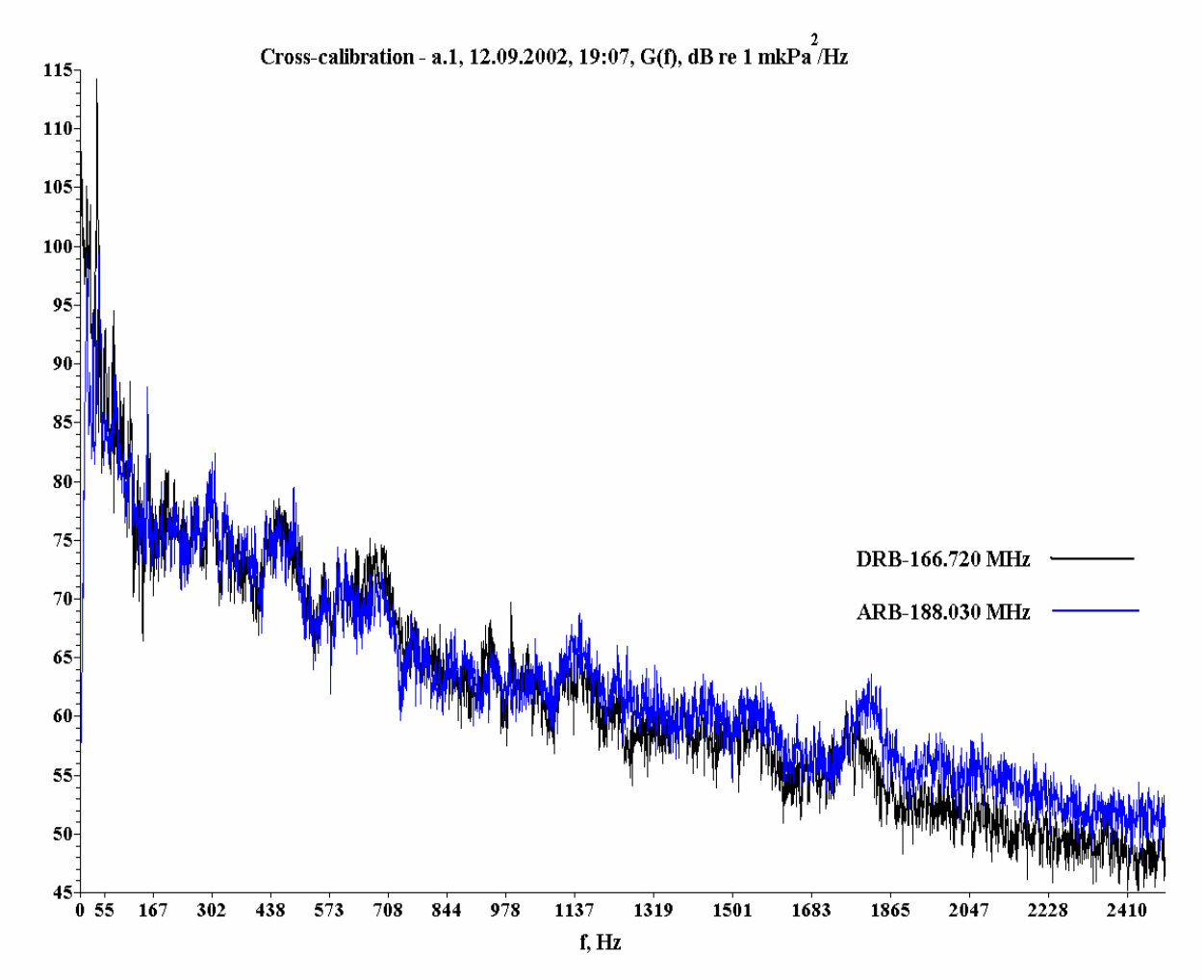

Рисунок B.6 - Анализ взаимной калибровки

На Рис. B.2 - B.6 приведены спектры, иллюстрирующие результаты анализа взаимной калибровки. В Таблице B.2 приведены результаты статистического анализа данных взаимной калибровки. Как можно видеть, максимальная абсолютная погрешность среднего значения для любого цифрового радиогидроакустического буя составляла 0,62 дБ, а для любого аналогового радиогидроакустического буя – 1,7 дБ[64]. Эти значения укладываются в ожидаемые пределы относительной погрешности для оборудования и, таким образом, была подтверждена абсолютная калибровка данных[65].

Тип	МГц	$G_{f,buoy\#}(f_1;f_2)$	$\overline{G}\ (f_1;f_2)$	$\Delta G_{f,buoy\#}(f_1;f_2)$	Примечания
f_1 =35 Гц; $f_2 = 135$ Гц					
DRB-16	166,775	8300	8290	10 (0,12%)	12.09.2002 - 09:58 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Триас*
ARB	172,400	8300		10 (0,12%)	
ARB	176,650	8410		120 (0,14%)	
ARB	177,300	8150		140 (0,17%)	
f_1 =300 Гц; $f_2 = 1200$ Гц					
DRB-16	166,775	69090	69003	87 (0,13%)	12.09.2002 - 09:58 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Триас*
ARB	172,400	68930		73 (0,11%)	
ARB	176,650	68990		13 (0,02%)	
ARB	177,300	69000		3 (0,00004%)	
f_1 =140 Гц; $f_2 = 1800$ Гц					
DRB-16	166,775	126620	126385	235 (0,18%)	12.09.2002 - 09:58 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Триас*
ARB	172,400	126800		415 (0,33%)	
ARB	176,650	126440		55 (0,04%)	
ARB	177,300	125680		705 (0,56%)	
f_1 =1200 Гц; $f_2 = 2200$ Гц					

[64] Более высокие погрешности калибровки наблюдались при сравнении измерений, проведенных со слабыми сигналыми.

[65] Цифровые гидроакустические буи калибровались в диапазоне 1 Гц - 2,6 кГц, а аналоговые гидроакустические буи в диапазоне 200 Гц - 10 кГц. Абсолютная калибровка не использовалась для данных, зарегистрированных аналоговыми гидроакустическими буями на частотах ниже 200 Гц.

Тип	МГц	$G_{f,buoy\#}(f_1;f_2)$	$\overline{G}\ (f_1;f_2)$	$\Delta G_{f,buoy\#}(f_1;f_2)$	Примечания
DRB-16	166,775	70800	70925	125 (0,18%)	12.09.2002 - 09:58 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Триас*
ARB	172,400	71500		575 (0,81%)	
ARB	176,650	71200		275 (0,34%)	
ARB	177,300	70200		725 (1,02%)	
f_1 =3000 Гц; $f_2 = 9800$ Гц					
ARB	172,400	239500	239933	433 (0,18%)	12.09.2002 - 09:58 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Триас*
ARB	176,650	241000		633 (0,26%)	
ARB	177,300	239300		1067 (0,44%)	
f_1 =3000 Гц; $f_2 = 9800$ Гц					
ARB	172,400	399000	399333	333 (0,08%)	12.09.2002 - 10:06 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Белый шум и ВЧ излучатель
ARB	176,650	406000		6667 (1,7%)	
ARB	177,300	393000		6333 (1,6%)	
f_1 =2 Гц; $f_2 = 1000$ Гц					
DRB-16	166,775	77930	78145	215 (0,28%)	12.09.2002 - 10:42 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Ирбис* и
DRB-16	166,125	77850		295 (0,38%)	
ARB	177,300	78400		255 (0,33%)	
ARB	188,030	78400		255 (0,33%)	
f_1 =10 Гц; $f_2 = 2500$ Гц					
DRB-16	166,775	163400	164075	675 (0,41%)	12.09.2002 - 10:42 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Ирбис*
DRB-16	166,125	165100		1025 (0,62%)	
ARB	177,300	163000		1075 (0,66%)	
ARB	188,030	164800		725 (0,44%)	
f_1 =254 Гц; $f_2 = 1054$ Гц					
DRB-16	166,775	57200	57250	50 (0,09%)	12.09.2002 - 10:42 Зарегистрировано на судне *Ирбис* Шум от судна *Ирбис*
DRB-16	166,125	57300		50 (0,09%)	
ARB	177,300	58050	57950	100 (0,17%)	
ARB	188,030	57850		100 (0,17%)	

Таблица B.2 - Статистический анализ погрешностей взаимной калибровки

Где:

$$G_{f,buoy\#}(f_1;f_2) = 10\log\left(\int_{f_1}^{f_2} G(f)df\right)$$

$$\overline{G}\ (f_1;f_2) = \frac{\sum_i^n G_{f_i,buoy\#}(f_1;f_2)}{n}$$

$$\Delta G_{f,buoy\#}(f_1;f_2) = \left|G_f - \overline{G}\right|$$

Приложение C - Методики нормировки и анализа акустических данных

Нормировка и корректировка данных выполнялись с использованием следующих алгоритмов[1]:

1. Нормировка необработанных данных:

$$A = \frac{V}{K_g \cdot K_U} \qquad \text{[мкПа]}$$

Где:
A амплитуда отсчета [мкПа]
V выходное напряжение АЦП
K_U сквозной коэффициент усиления
K_g чувствительность гидрофона [мВ/мкПа].

2. Вычисление оценок спектральных плотностей энергии и мощности:

Для оцифрованного временного ряда давления:

$$p(i\Delta t) \quad , \quad i = 0, M\text{-}1 \qquad \text{[мкПа]}$$

Где:
M число отсчетов
T длительность временного ряда (секунды)
Δt частота дискретизации (секунды)

A. Вычисление спектральной плотности энергии в пределах интервала анализа *T*:

$$E(k\Delta f) = 2\Delta t^2 \left| P_{FFT}(k\Delta f) \right|^2 \qquad \text{[(мкПа/Гц)}^2\text{]}$$ или [мкПа^2·с/Гц][1]

Где:
$\Delta f = \frac{1}{M\Delta t}$ шаг частоты (Гц)

Алгоритм БПФ необходимо проверить на соответствие теореме Парсеваля:

$$\sum_{i=0}^{M-1} p^2(i\Delta t)\Delta t = \sum_{k=0}^{M/2} E(k\Delta f)\Delta f$$

Для удовлетворения требования теоремы Парсеваля должна использоваться компенсация на Δf, в противном случае не будет обеспечено правильное суммирование значений энергии. Таким образом, если БПФ выполняется для отличающегося от 1 секунды временного интервала, будет выполняться компенсация на длительность этого интервала[1].

B. Вычисление спектральной плотности мощности (энергия нормализована для интервала в 1 секунду):

$$G(k\Delta f) = \frac{1}{T} E(k\Delta f)$$ [мкПа^{2}с/(с Гц)] или [мкПа^2/Гц]

C. Преобразование спектра для логарифмической шкалы:

$$E_{dB}(k\Delta f) = 10Log2 + 20Log(\Delta t \left| P_{FFT}(k\Delta f) \right|)$$ [дБ отн. 1 мкПа с/Гц]

$$G_{dB}(k\Delta f) = E_{dB}(k\Delta f) - 10LogT$$ [дБ отн. 1 мкПа^2/(Гц]