

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГОДОВЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО
ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ
ПЛАТФОРМЕ С ПОМОЩЬЮ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРОВ**

П.В. Гайский

Морской гидрофизический институт
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: gaysky@inbox.ru

В статье приводятся результаты непрерывных годовых измерений вертикального профиля температуры на экспериментальной океанографической платформе, полученные с помощью распределенных термопрофилемеров, построенных на базе проводников, уложенных по ортогональным функциям Уолша-Адамара.

Введение. В мировой практике для контроля теплозапаса, вертикального градиента температур и динамики теплообмена в поверхностных слоях водных сред широко применяются гирлянды цифровых датчиков температуры. Меньшее распространение в этом направлении из-за более сложной конструктивной и программно-алгоритмической организации получили распределенно-модулированные непрерывные датчики, хотя их использование в ряде случаев является более приоритетным. Имеется достаточно большой опыт [1–7] разработки и эксплуатации экспериментальных образцов распределенных датчиков, построенных на базе проводников, уложенных по ортогональным функциям. Получены большие объемы экспериментальных данных наблюдений в различных средах и пространственных диапазонах. С точки зрения проверки методики измерения и анализа региональной годовой изменчивости поля температуры представляют интерес автономные непрерывные годовые измерения, проведенные на океанографической платформе в п. Качивели (Южный

берег Крыма). Данный регион исследований характеризуется активными сезонными сгонно-нагонными процессами, динамикой теплообмена между водной и воздушной средой и в слое термоклина.

Результаты измерений и их анализ. Океанографическая платформа отстоит от берега на расстоянии порядка 600 м на глубине 24 – 27 м. Измеритель температуры представляет из себя распределенно-модулированный по ортогональным функциям Уолша-Адамара заякоренный непрерывный кабель-датчик длиной 24 м (рис. 1). Общее количество распределенных участков – 16. Длина каждого участка – 1,5 м. Глубина постановки 24 м. Период опроса измерителя – 6 с. Инерционность датчика из-за необходимости во внешней герметичной защитной оболочке, способной выдержать натяжение и механические нагрузки, составила около 1 минуты, что технически не позволило одновременно контролировать уровень поверхностного волнения [8]. Расположение измерителя было выбрано таким образом, чтобы захватить приповерхностный воздушный слой и границу раздела сред. Рассматриваемый в статье период измерений – с октября 2012 по октябрь 2013 гг.

Из анализа полученных данных можно выделить сезонные особенности изменчивости приповерхностного вертикального профиля температуры морской среды (рис. 2 – 11), которые сопоставимы с результатами прошлых многолетних наблюдений в данном регионе:

- формирование выраженного термоклина на глубине 1 – 10 м со второй половины мая по июнь (рис. 2, 3);

- сгонно-нагонные явления в период с июня по июль продолжительностью от 1 до 15 суток (рис. 4) с резким изменением поверхностных температур и глубины термоклина;

- прогрев верхнего слоя и смещение термоклина на глубину 15 – 25 м с июля по сентябрь (рис. 5 – 7);

- временное выхолаживание поверхностного слоя в сентябре – начале ок-

тября под действием осенних штормов и из-за понижения температуры воздуха (особенно в ночное время) (рис. 8, 9);

– установившийся практически равномерный профиль температуры от поверхности до дна, начиная с конца октября и до апреля (рис. 10 – 13), который плавно выхолаживается до марта месяца.

На рис. 14 приведены примеры графиков, отображающих внутренние короткопериодные волны наибольшей амплитуды (период порядка 12 минут, амплитуда – до 10 м). Основной диапазон периодов колебаний для внутренних волн естественного природного происхождения лежит в пределах от 10 до 45 минут. Любое изменение вертикального профиля сопровождается колебательными процессами амплитудой от десятков см до нескольких метров на границах раздела слоев воды с различной плотностью. Предшествующие измерения термопрофилимерами тонкой структуры с разрешением 10 см, длиной 3,2 м и инерционностью порядка 20 с не выявили более мелкомасштабной изменчивости, интересующих нас процессов теплообмена и переноса вещества.

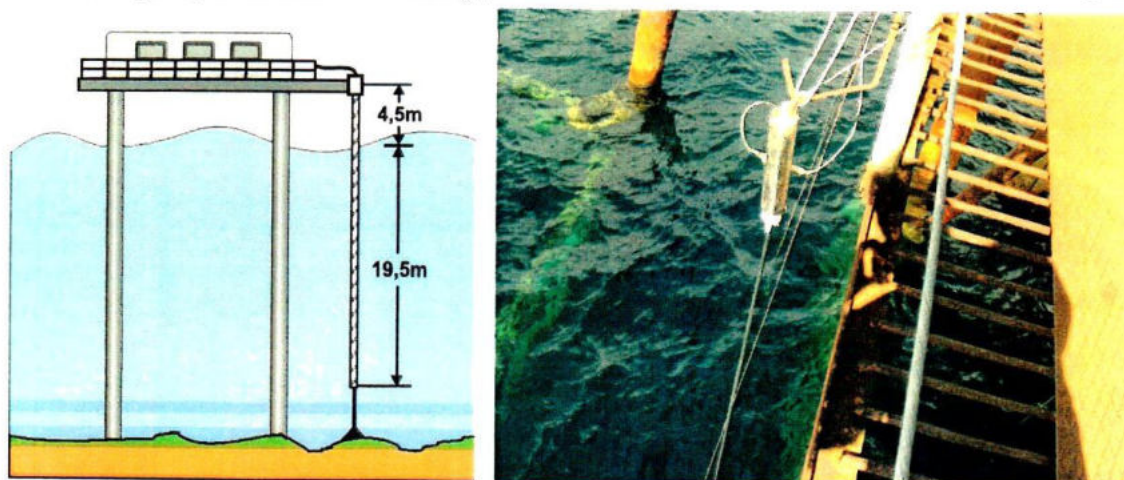
Пример низкочастотной части спектральной характеристики для данной внутренней волны (рис. 15) представлен на рис. 16. Приведенная к реальным значениям пространственной амплитуды

колебаний в метрах она дает слабое представление о характере изменчивости.

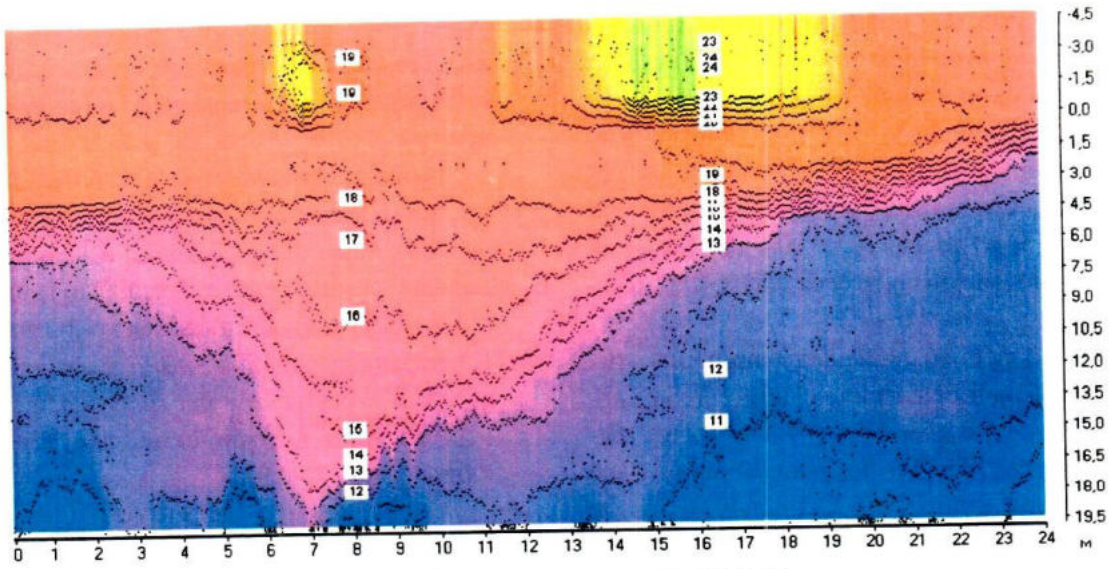
Можно сказать, что колебательные процессы не имеют строгого систематического характера. Постоянно меняется период и амплитуда, а отдельные гармоники могут проявляться только 2-3 раза. Спектральная оценка может быть справедлива в основном для мелкомасштабных явлений в граничном слое термоклина (рис. 17 – 19).

Очевидно, что для систематических наблюдений (в том числе и гидрометеорологических) параллельно с контролем вертикального профиля воды, захватывающем слой скачка, должен осуществляться контроль температуры воздуха на границе раздела. Причем не в отдельной точке, а распределенно-непрерывно, как это производится термопрофилимерами. Это позволит более достоверно контролировать процессы теплообмена и взаимодействия между средами, включая солнечную активность, поверхностное волнение и скорость ветра.

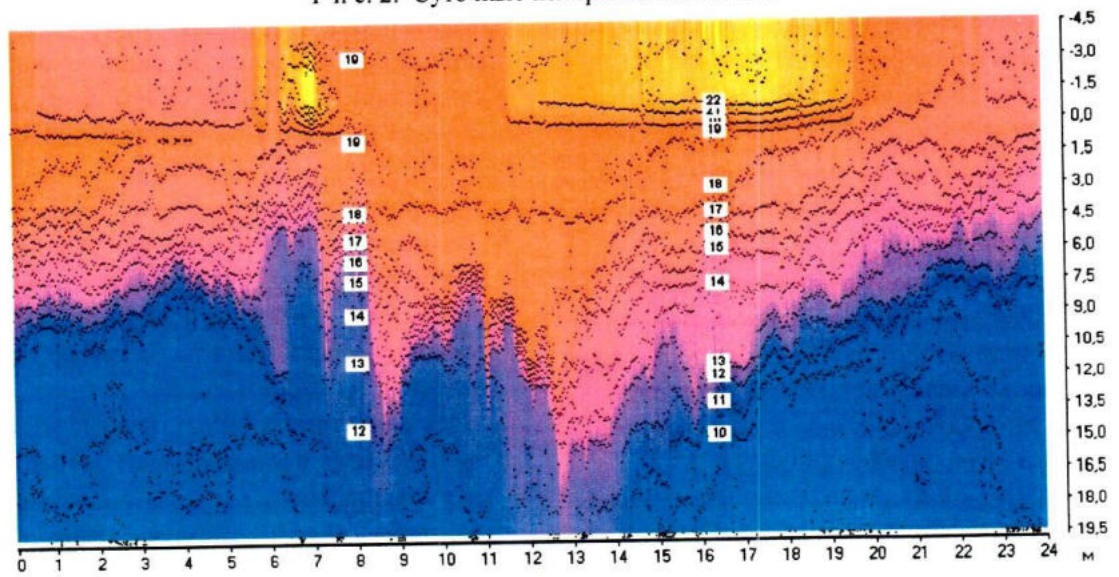
В качестве сезонных и межгодовых оценок могут использоваться осредненные по профилям в воде и воздухе температуры (рис. 20). Данные летнего периода будут характеризовать внутригодовой процесс накопления энергии, а зимнего – глобальный теплозапас моря.



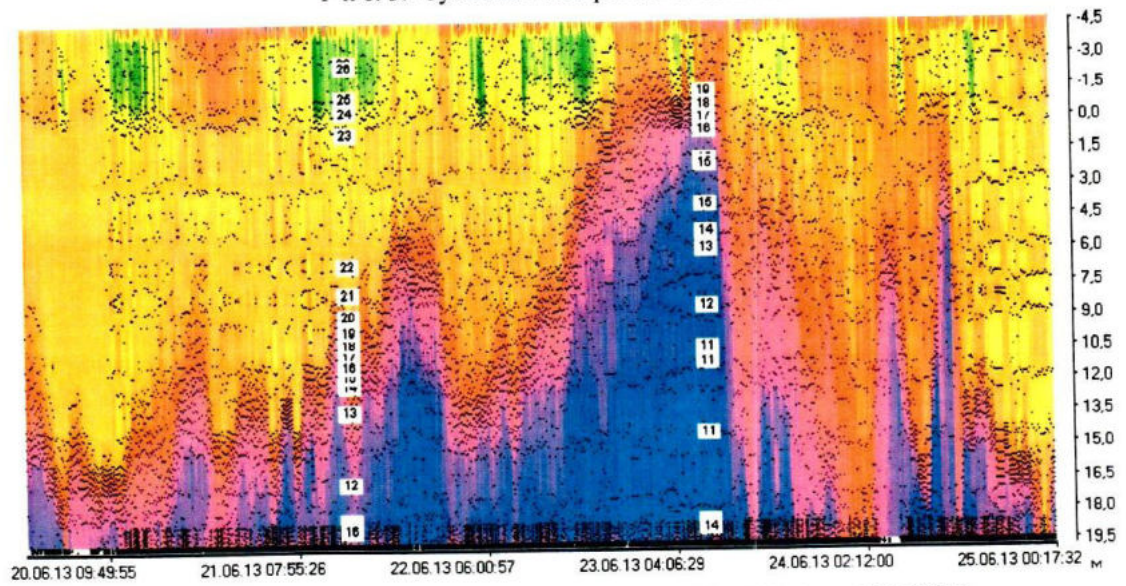
Р и с. 1. Схема постановки измерителя на океанографической платформе



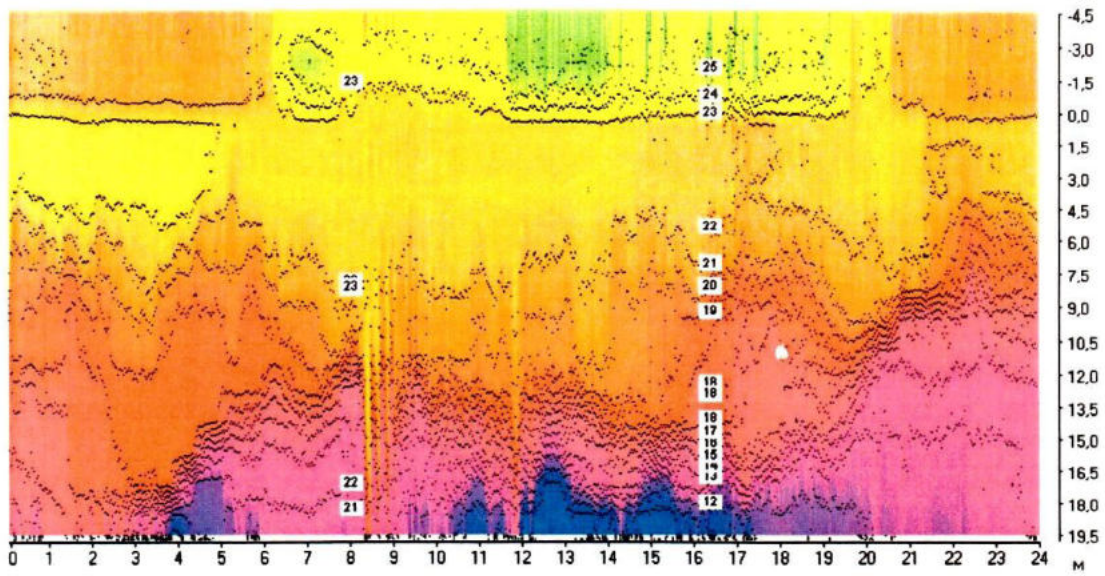
Р и с. 2. Суточные измерения 20/05/2013



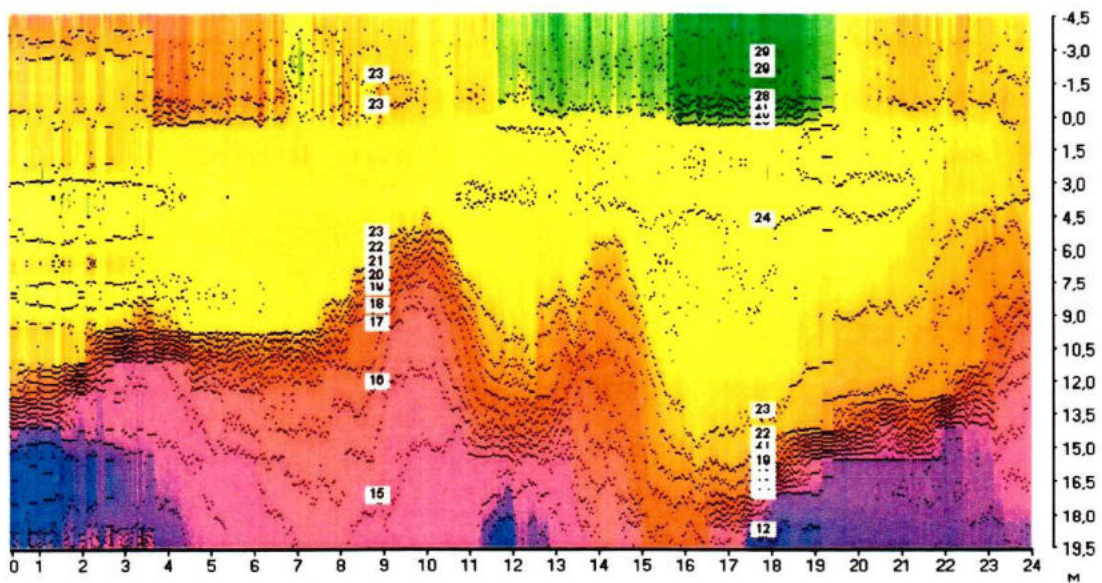
Р и с. 3. Суточные измерения 07/06/2013



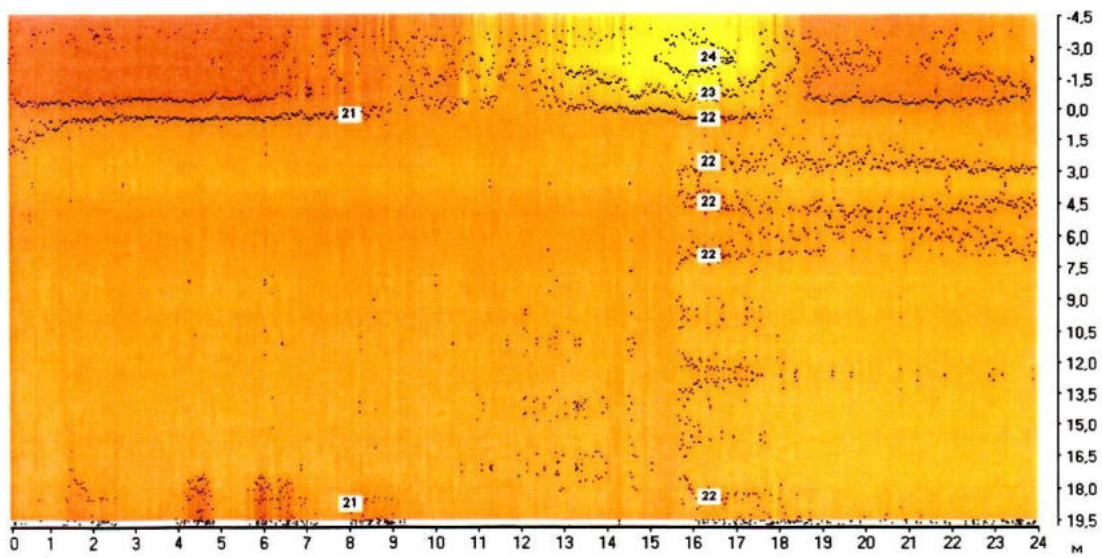
Р и с. 4. Сгонно-нагонные явления в период с 20/06/2013 по 25/06/2013



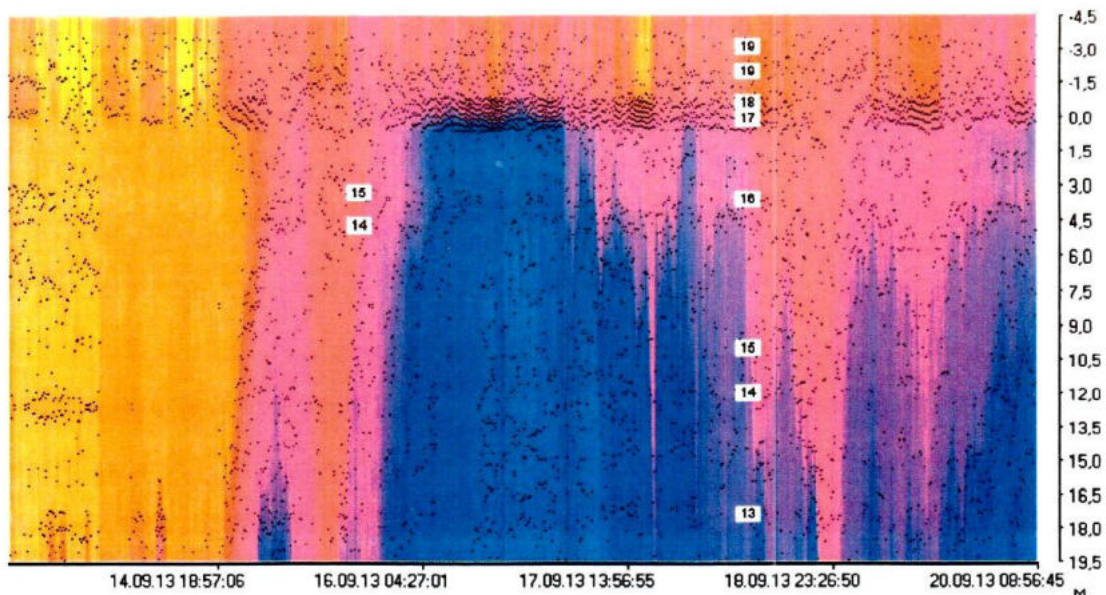
Р и с. 5. Суточные измерения 23/07/2013



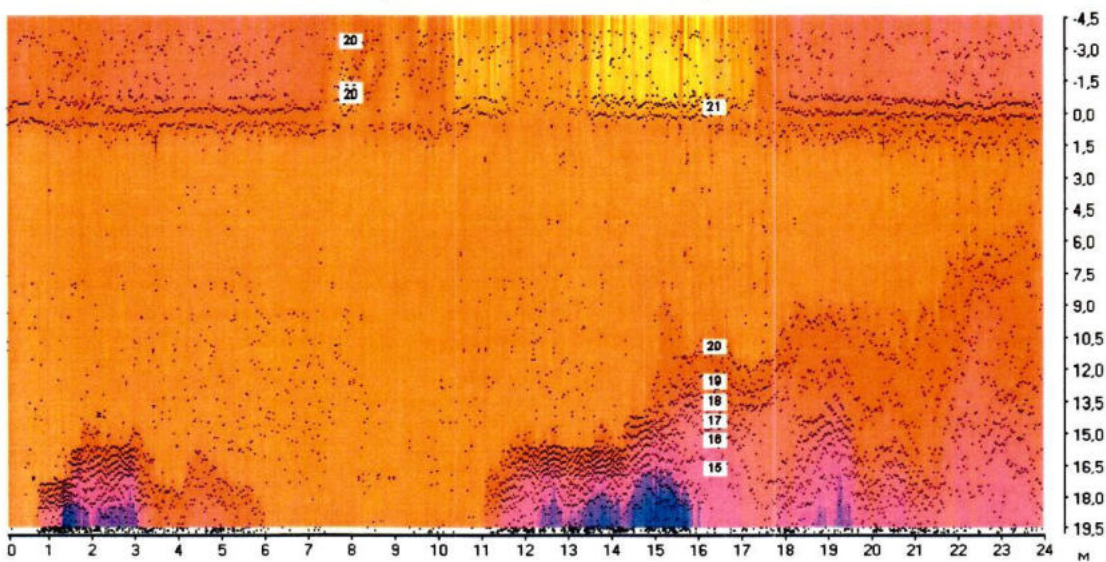
Р и с. 6. Суточные измерения 04/08/2013



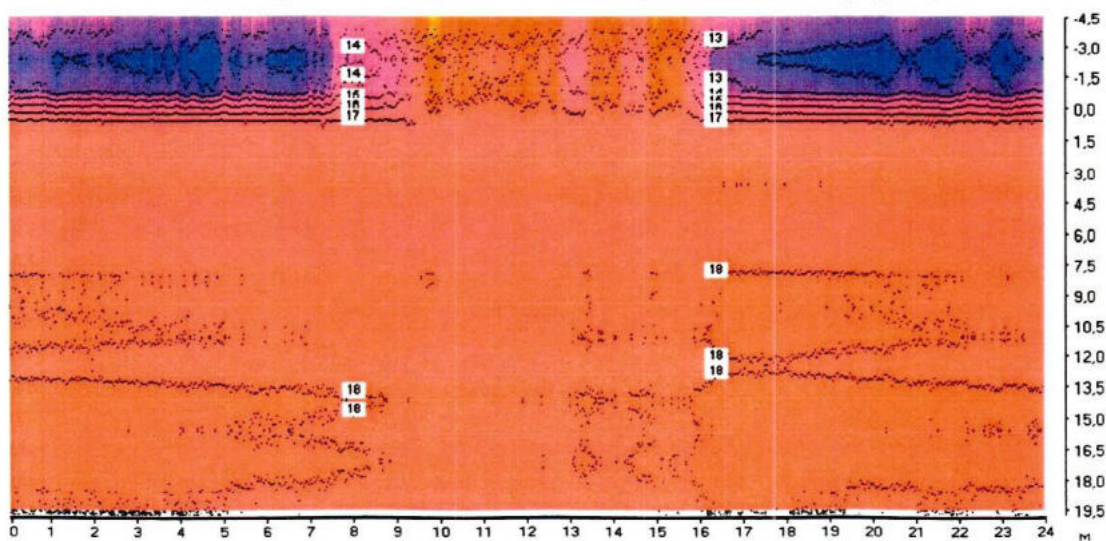
Р и с. 7. Суточные измерения 12/09/2013



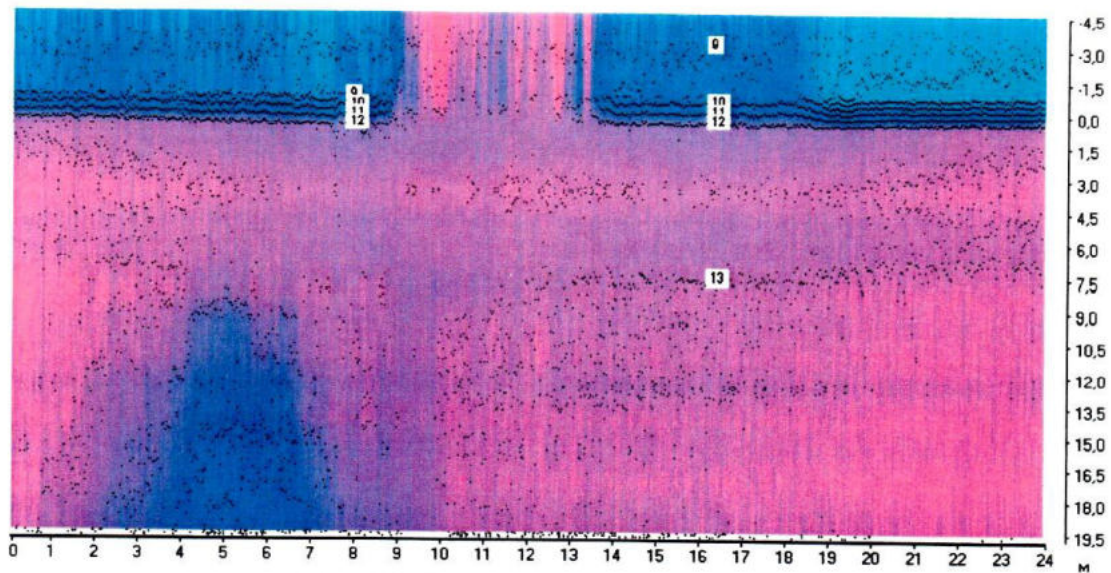
Р и с. 8. Сентябрьское выхолаживание поверхностного слоя



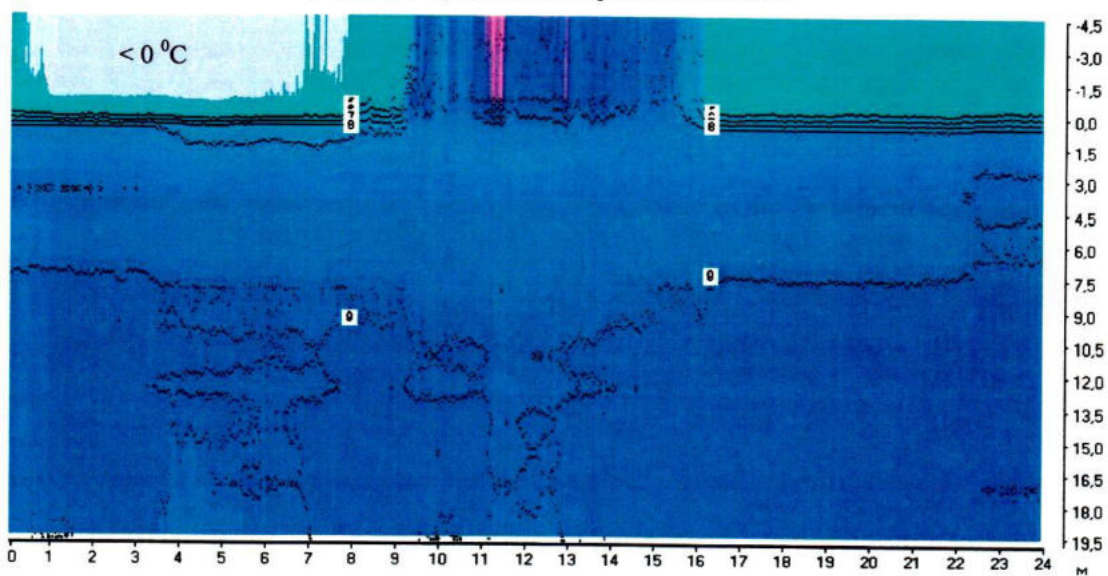
Р и с. 9. Суточные измерения 12/10/2012 (восстановление профиля)



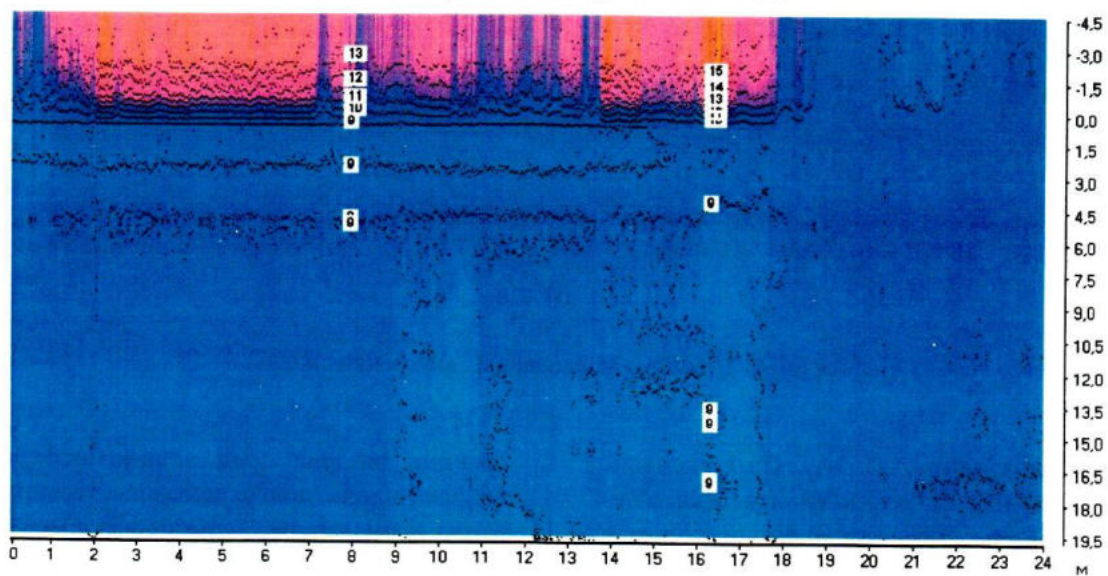
Р и с. 10. Суточные измерения 08/11/2012



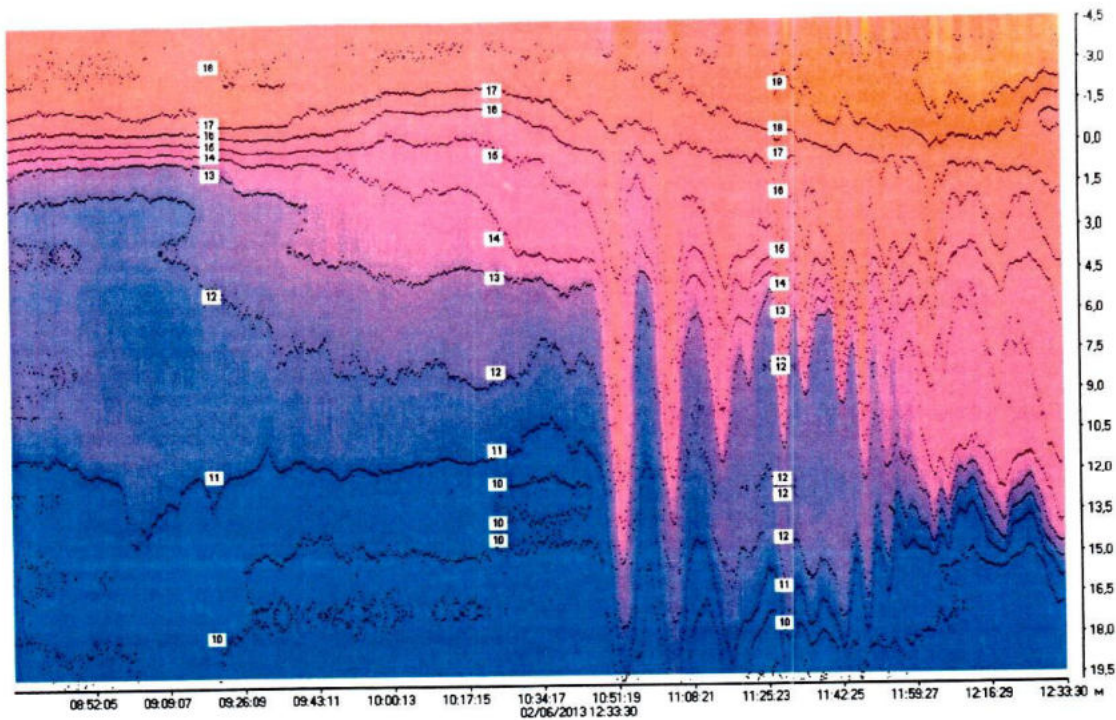
Р и с. 11. Суточные измерения 07/12/2012



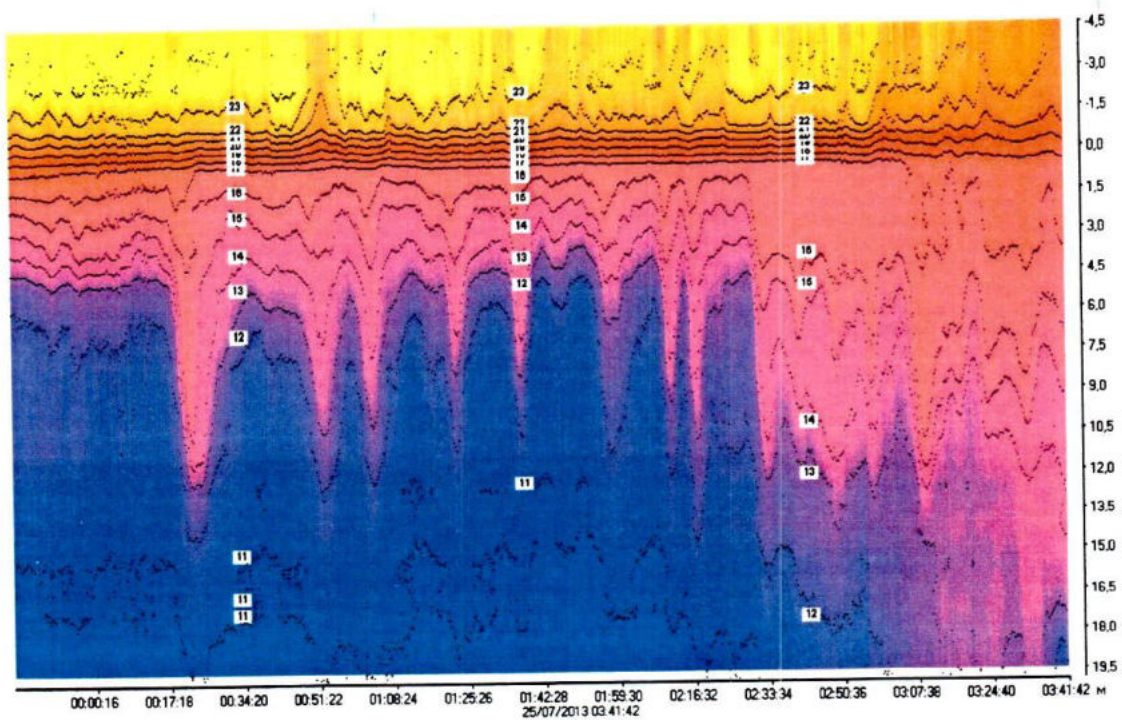
Р и с. 12. Суточные измерения 08/01/2013



Р и с. 13. Суточные измерения 05/04/2013



a)



б)

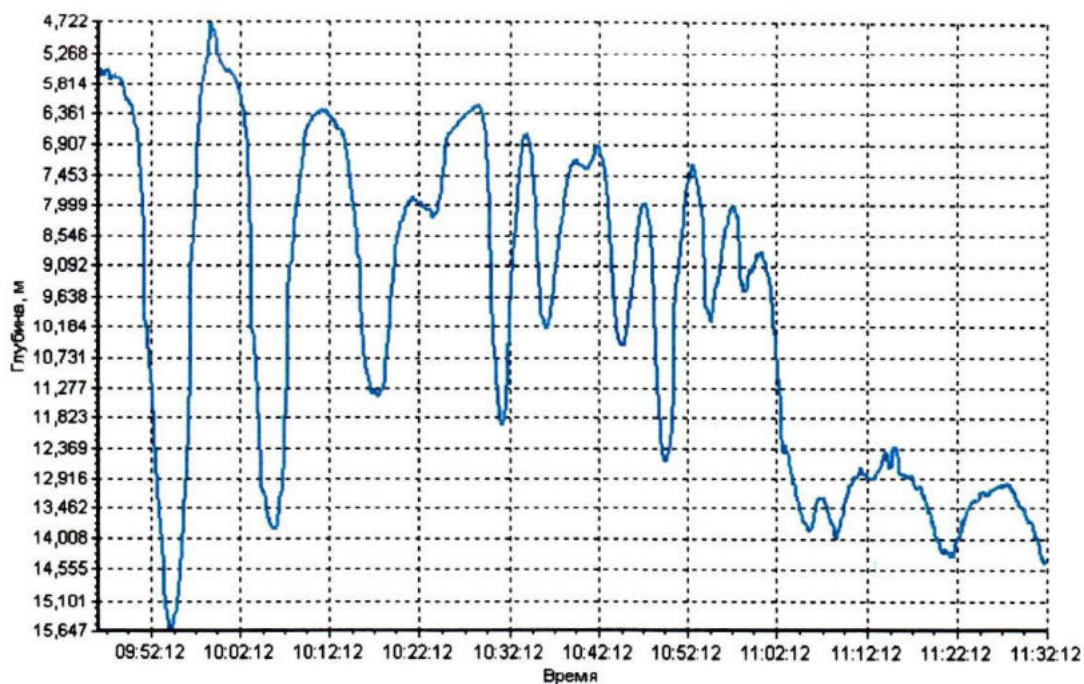
Р и с. 14. Примеры наблюдаемых внутренних волн

Заключение. В результате экспериментальных работ получены практически непрерывные во времени годовые ряды измерений вертикального пространственного профиля температуры на

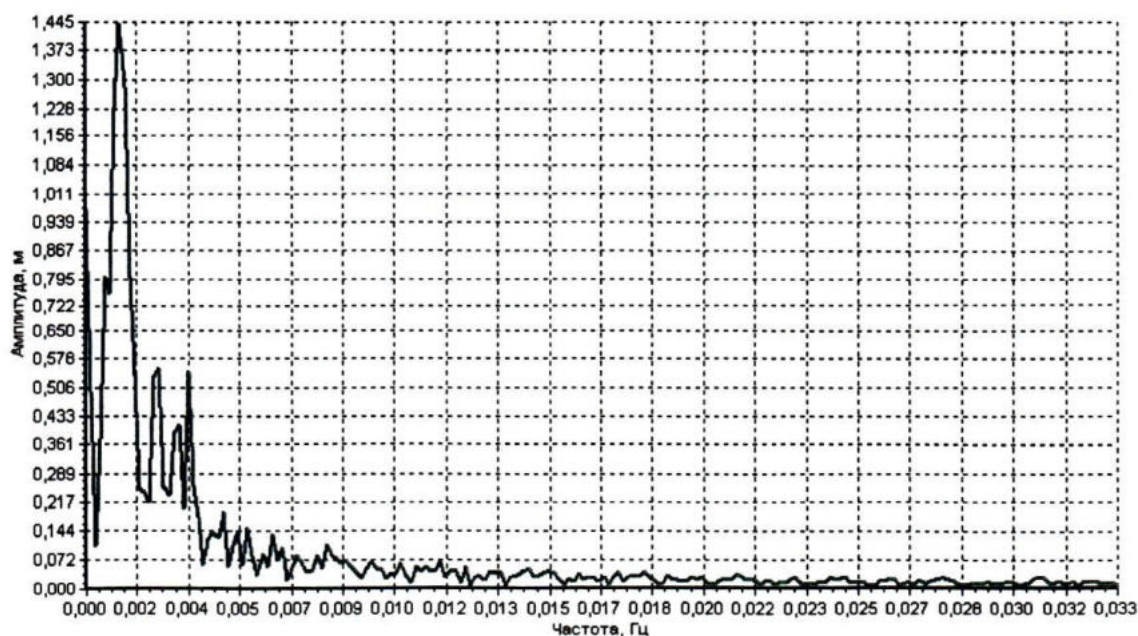
границе раздела сред вода-атмосфера. Осуществлено долговременное тестирование измерителя (термопрофилемера), бортовой аппаратуры и специализированного программного обеспечения в

автономном режиме работы. Дальнейшее совершенствование измерительной системы с точки зрения уменьшения инерционности, внедрение новых разработанных технических и алгоритмиче-

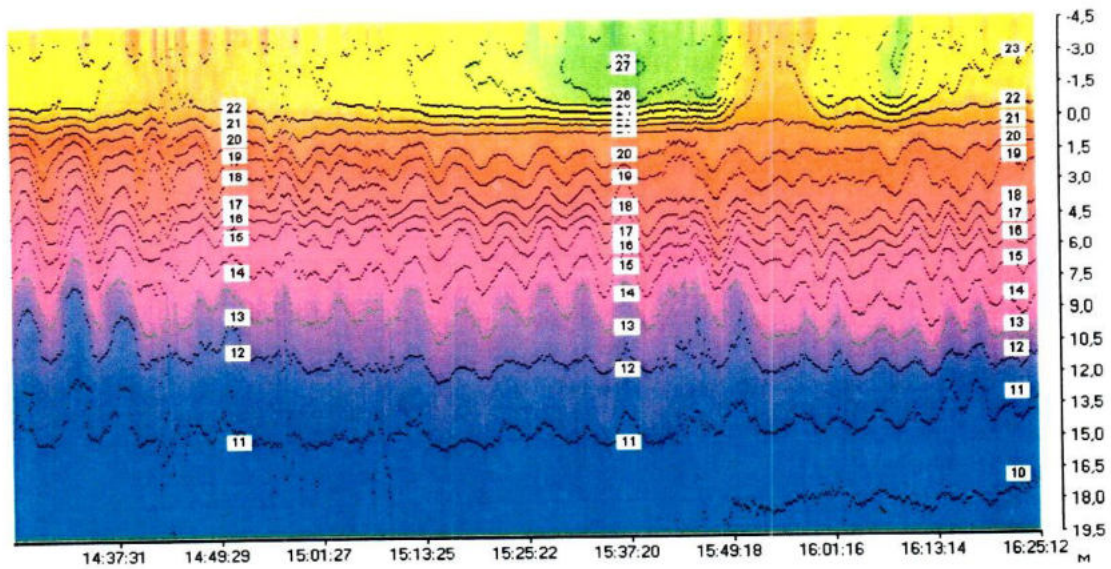
ски-программных средств позволит использовать распределенные термопрофиломеры для одновременного контроля поверхностного волнения, скорости и направления течений.



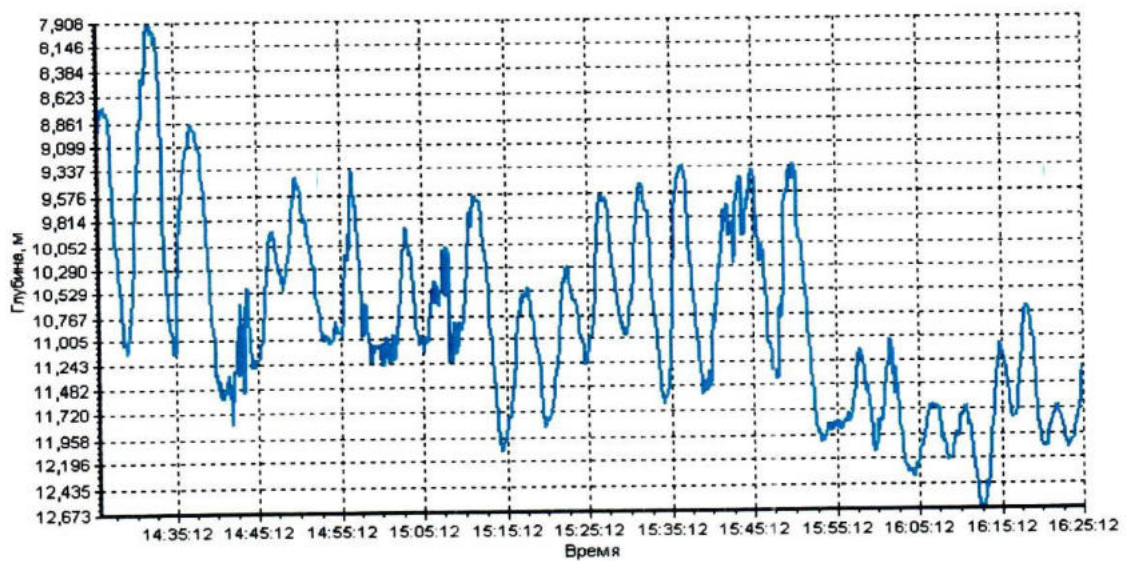
Р и с. 15. Пример динамики изменчивости внутренней волны



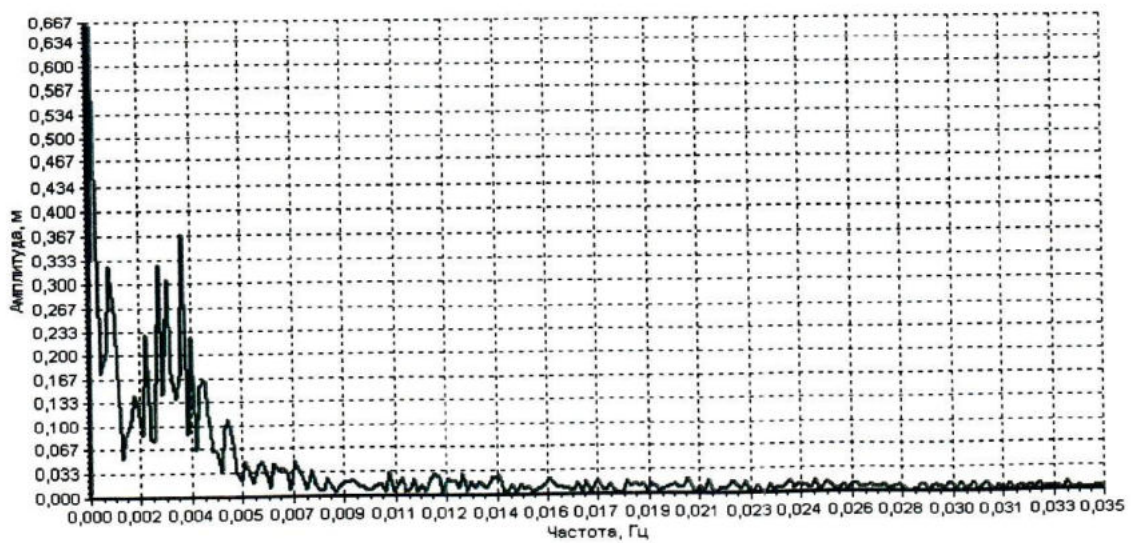
Р и с. 16. Низкочастотная часть спектральной характеристики внутренней волны с привязкой к физическим значениям амплитуды в метрах



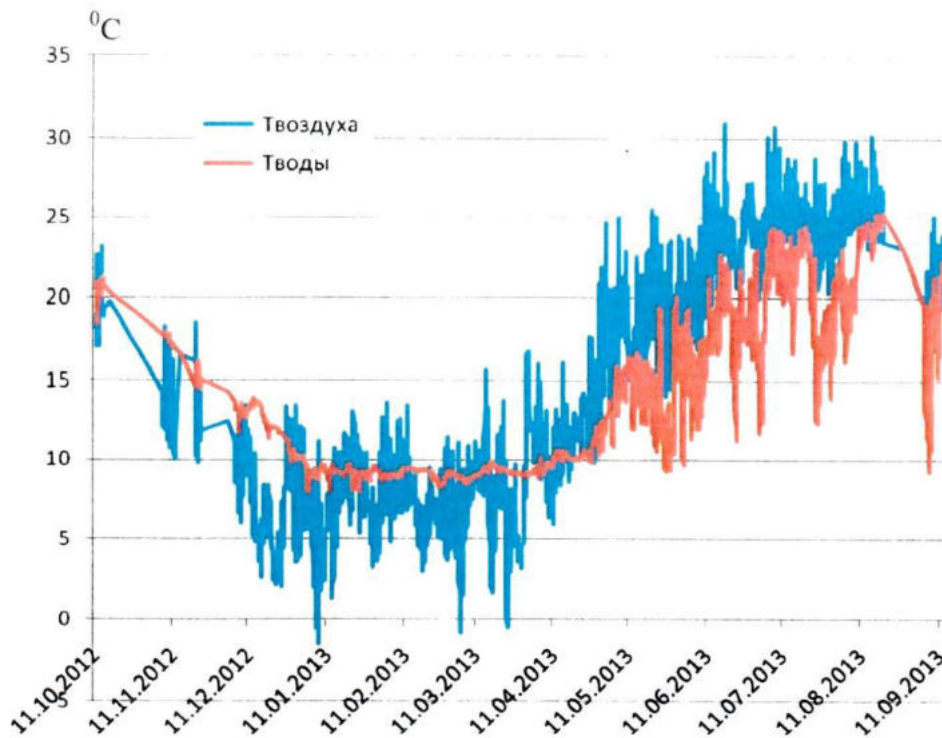
Р и с. 17. Внутренняя волна близкая к систематической в данном интервале времени



Р и с. 18. Динамика изменчивости систематической внутренней волны



Р и с. 19. Низкочастотная часть спектральной характеристики систематической внутренней волны



Р и с. 20. Графики изменчивости осредненных профилей температуры в воде и воздухе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гайский В.А., Гайский П.В.* Распределенные термопрофилемеры и их возможности в океанографических исследованиях // *Морской гидрофизический журнал.* – 1996. – № 6. – С. 46 – 76.
2. *Гайский В.А., Гайский П.В.* Анализ способов измерения профиля скорости потока термопрофилемерами // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2001. – С. 7 – 22.
3. *Гайский П.В.* Первичная обработка данных распределенных термопрофилемеров // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2001. – С. 112 – 117.
4. *Гайский П.В., Логвинчук А.Н.* Термопрофилемер для ледовых исследований в Антарктиде // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2005. – С. 41 – 46.
5. *Гайский П.В.* Автоматизированные системы с распределенными термопрофилемерами // *Вестник СевНТУ,* Автоматизация процессов и управления, Сб. науч. трудов, СевНТУ, Севастополь. – 2009. – № 95. – С. 24 – 28.
6. *Гайский В.А., Гайский П.В.* Распределенно-модулированные антенные системы для измерения динамических профилей физических полей // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2013. – Вып. 19. – С. 27 – 35.
7. *Гайский П.В.* Пространственный измеритель температуры (ПИТ-2) для грунта // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2013. – Вып. 19. – С. 36 – 39.
8. *Гайский В.А., Гайский П.В.* Технологии измерения уровня моря // *Морской гидрофизический журнал.* – 2010. – № 4. – С. 58 – 73.
9. *Гайский В.А., Гайский П.В.* Модель “электронной мерной рейки” на базе распределенного термопрофилемера // *Системы контроля окружающей среды.* – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2011. – Вып. 16. – С. 9 – 15.