

ПРОСТРАНСТВЕННО- РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ АВТОНОМНЫЕ БУЙКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРОТКО- ПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН

В.А. Барабаш, М.В. Мартынов,
В.В. Питеряков

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Для исследования короткопериодных внутренних волн в широком диапазоне масштабов разработаны схемы и конструкции пространственно-распределенных автономных буйковых систем. Приведены результаты исследования пространственно-временного спектра КВВ на шельфе Черного моря

Диапазон короткопериодных внутренних волн (КВВ) с длинами от десятков метров до нескольких километров является одним из наиболее важных, внутри которого происходит взаимодействие внутренних волн с тонкой структурой и турбулентностью [1].

Пространственно-временные характеристики КВВ исследовались многими авторами в различных районах Мирового океана [1-5]. При этом использовались антенны измерителей разных конфигураций, в основном линейные. Пространственные антенны строились путем вывешивания измерителей вдоль и поперек исследовательского судна, а также вытравливания с дрейфующего судна буя с тросом, на котором устанавливались поперечные измерители относительно измерителей, установленных вдоль судна [2-4]. Кроме того пространственные антенны строились путем вывешивания измерителей с углов океанографических платформ [6-8].

Для измерения пространственно-временных характеристик волнового поля необходимо развернуть в пространстве систему синхронно работающих датчиков - антенну датчиков. Так как интересующий нас диапазон волн широк, то для его изучения ограниченным числом измерителей необходимо, прежде всего, решить задачу их рационального размещения. Вопросы размещения датчиков на полигоне рассмотрены в [6-8].

В [9, 10] предложен метод расчета оптимальных антенных решеток, обеспечивающих для заданного количества элементов решетки (датчиков) максимально допустимое разрешение оценок спектра по волновым числам. Задача решена для расстановки датчиков на линии и на плоскости.

Оптимальные антенные решетки неоднократно реализовались в МГИ НАНУ для наблюдений за КВВ с помощью пространственно-распределенных автономных буйковых систем, как в Черном море на малых глубинах, так и в океане на глубинах порядка четырех километров [11].

1. Использование многобуйковых систем

Для измерения пространственно-временных характеристик волнового поля необходимо, чтобы минимальное и максимальное расстояния между приборами были сравнимы с минимальной и максимальной длиной волны изучаемого поля, т.е. от десятков метров до километров. Время наблюдения КВВ должно охватывать не менее десяти периодов волны, т.е. несколько часов, а чтобы проследить развитие явления по времени, частоту повторения и зависимость от фоновых условий, время наблюдения должно быть увеличено до нескольких суток, в течение которого не должно измениться положение измерительной системы в пространстве.

Изучать КВВ в указанном диапазоне традиционным методом с судна, на котором подвешены приборы [1], невозможно, так как датчики должны быть размещены на расстояниях, больших размеров судна. Эта задача может быть разрешена с помощью пространственно-распределенных буйковых систем (ПРАБС), к которым предъявляются жесткие требования:

- точность установки большого количества измерительных приборов на одном горизонте;
- высокая стабильность положения во времени и пространстве;
- малые и большие расстояния между измерительными приборами.

Исходя из этих требований был проанализирован ряд известных пространственно-распределенных буйковых систем с целью возможности создать на базе имеющегося оборудования для автономных буйковых станций (АБС) работоспособную модель ПРАБС.

Установка расчетного количества приборов на одном горизонте возможна с помощью отдельных АБС, соответствующих числу измерительных приборов, и устанавливаемых в необходимых местах полигона. Эта схема создания ПРАБС имеет ряд существенных недостатков таких как:

- низкая стабильность положения во времени и пространстве измерительных приборов за счет горизонтальных смещений буев под действием изменяющегося течения, волнения, ветра;
- невозможность установки измерительных приборов на малых расстояниях друг от

друга, так как при установке АБС на малых расстояниях возможен их перехлест за счет горизонтальных перемещений поверхностных буйев, и при этом возможны потери измерительных приборов;

- невозможность точной установки серий АБС на расчетные места из-за сложности маневрирования для обеспечивающего судна и горизонтальных перемещений буйев выставленных ранее АБС

- большое количество оборудования АБС (буйков, якорей, тросов и т.д.).

Для изучения спектров внутренних волн в эксперименте GATE - 74 необходимо было расположить по горизонтали измерители течений и температуры с расстояниями между приборами от первых метров до нескольких сотен метров на 60-метровой глубине. Глубина океана в месте постановки составляла 4900 м. На Н-образной буйковой системе, на 500-метровой горизонтальной линии были расположены цепочкой девять измерительных приборов. Все приборы и тросы были уравновешены с помощью сферических плавучестей. Кроме того, на одном из вертикальных буйрепов были установлены 10 измерителей температуры [12].

Способ постановки такой буйковой системы был опробован лишь дважды при проведении эксперимента GATE - 74, причем первый раз был обрыв буйрепа, и постановка была прекращена, и только после замены судна на более специализированное постановка этой буйковой системы была произведена в течение двух суток.

Известна [13] буйковая система для измерения элементов гидрофизических полей, содержащая несколько буйев, последовательно соединенных тросом и снабженных измерительными линиями, при этом крайний буй закорен.

Недостатком этой системы является то, что она не может измерять параметры КВВ в заданном направлении, так как под действием течения она устанавливается по течению и не обеспечивает стабильности положения измерительных приборов во времени и пространстве.

Когда направление распространения КВВ ориентировочно известно может быть использована буйковая система, состоящая из двух закоренных поверхностных буйев, связанных между собой по горизонтали на заданной глубине линией (канатом), на котором с определенным шагом установлены измерительные приборы, поддерживаемые притопленными плавучестями.

Недостатками этой системы являются:

- недостаточная стабильность положения измерительных приборов системы в про-

странстве из-за сложности обеспечения натяжения горизонтальной линии связи при постановке буйковой системы, а также из-за воздействия обтекающего потока параллельно или перпендикулярно горизонтальной линии связи. Изменение течения приводит к изменению натяжения линии, и измерительные приборы, установленные на горизонтальной линии с притопленными плавучестями, будут колебаться по глубине;

- сложная методика постановки, требующая специального оборудования и повышенной маневренности обеспечивающего судна;

- сложное оборудование для буйковой системы, обеспечивающее контроль за натяжением буйрепов системы.

Используя схему такой буйковой системы в отделе турбулентности, были проведены работы по обеспечению:

- повышения точности измерения КВВ за счет увеличения стабилизации положения системы путем обеспечения фиксированного расстояния между приборами на горизонтальной линии, а также точной установки приборов на заданных горизонтах;

- упрощения и удешевления конструкции буйковой системы за счет использованных стальных канатов, оборудования стандартных АБС и специального оборудования;

- разработки новой методики постановки, обеспечивающей надежность при использовании судна малой маневренности и ограниченных грузоподъемных средств.

После отработки опытной конструкции и методики постановки ПРАБС "Линия" в 1984 году конструкция ПРАБС представляла из себя буйковую систему, состоящую из двух закоренных буйев типа ГМ - 51, соединенных по горизонтали на заданной глубине стальным канатом, на котором с определенным шагом (в зависимости от количества измерительных приборов) установлены гирлянды измерительных приборов, поддерживаемые плавучестями (рис. 1).

Для обеспечения постоянного натяжения горизонтальной линии и обеспечения фиксированного расстояния между приборами в конструкцию ПРАБС введен добавочный подвесной груз. Так же с целью точной установки гирлянд приборов по глубине на расчетных горизонтах в конструкцию ПРАБС введены поверхностные распределенные плавучести и гирлянды плавучестей, собранные из алюминиевых кухтылей. Стальной канат горизонтальной линии также поддерживается в расчетных точках поверхностными плавучестями из кухтылей. На ПРАБС типа "Линия" получено авторское свидетельство [15].

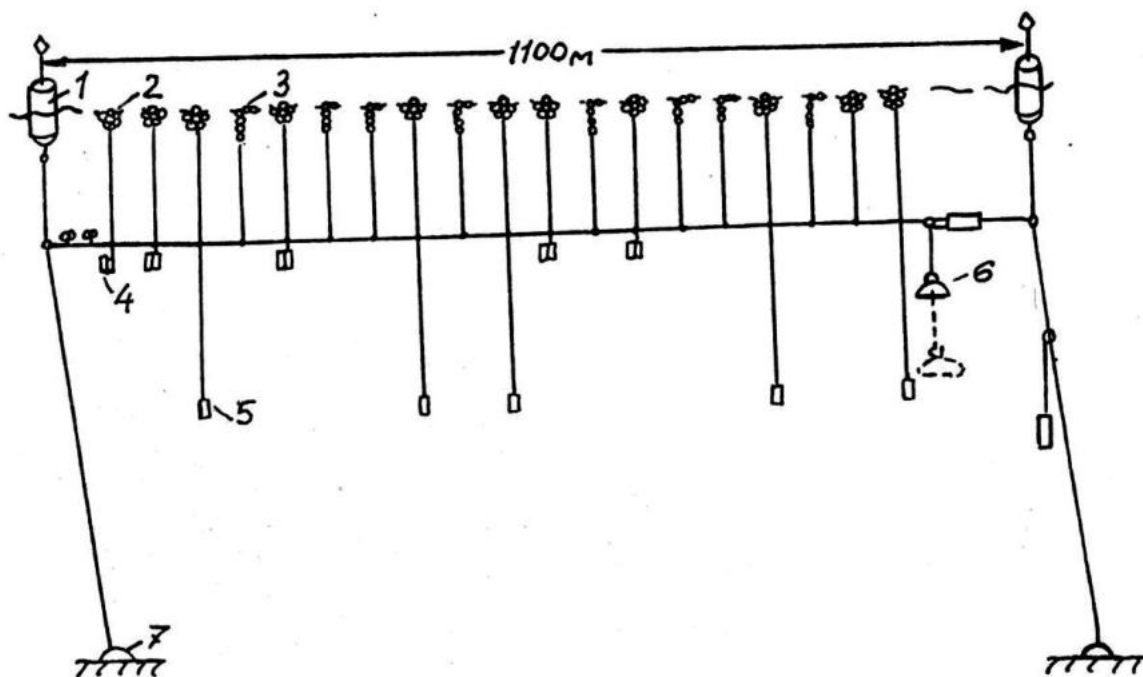


Рис. 1. ПРАБС Линия. 1 - буй, 2 - поддерживающая плавучесть из куктылей, 3 - компенсирующая плавучесть, 4 - ДКСТ, 5 - РИТМ, 6 - добавочный груз, 7 - якорь.

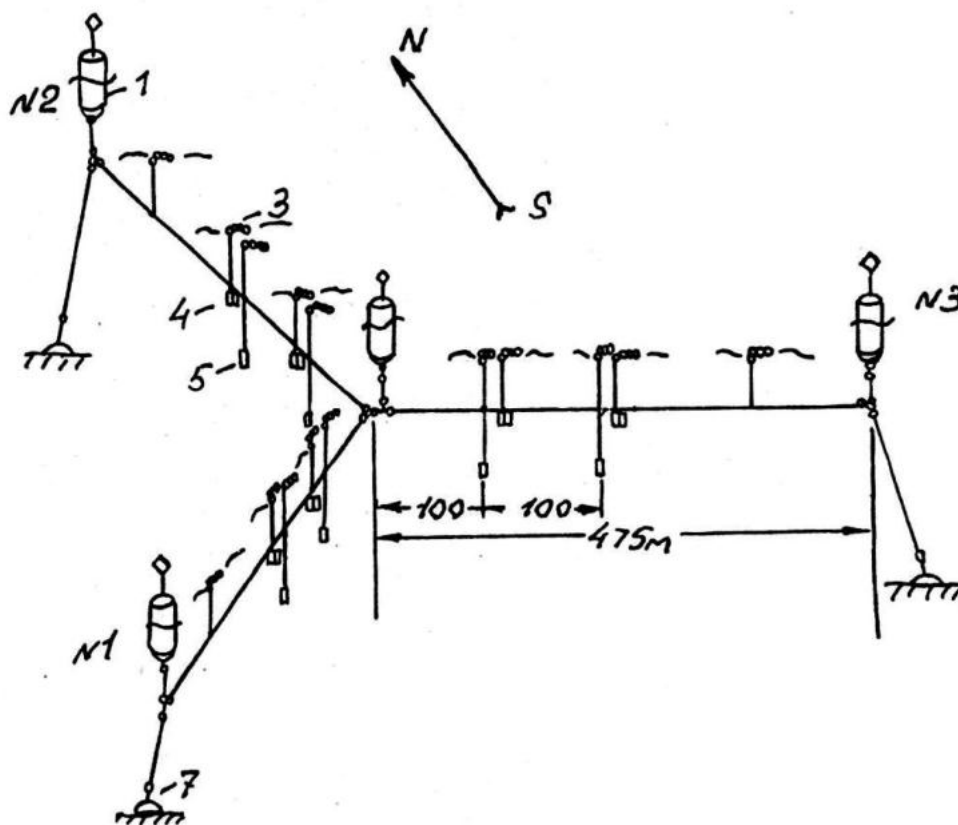


Рис.2. ПРАБС "Трехлучевая звезда". Обозначения те же, что и на рис.1.

Постановка и съем ПРАБС многократно были проведены в экспедиционных условиях при постановках на разных глубинах - 100 м на Черном море и 3000 - 4000 м - в Атлантическом океане научно-исследовательскими судами МГИ НАНУ и даже при неблагоприятных условиях (волнении до 4 баллов и скорости ветра до 12 м). На способ постановки ПРАБС также получено авторское свидетельство на изобретение [16].

Установка измерительных приборов на линейной антенне, обладая бесспорным преимуществом - высоким разрешением вдоль антенны, имеет ограниченную сферу применения: она позволяет получить только проекцию спектра поля на линию антенны и, следовательно, может быть применена только в том случае, если направление распространения волн известно, поэтому для более полного изучения КВВ необходимы приборы, расположенные в пространстве на одном или нескольких горизонтах.

Путем численных экспериментов было показано [10], что размещение приборов на трехлучевой звезде имеет преимущества над остальными способами размещения приборов в пространстве при изучении спектральных свойств однородного поля, позволяя изучать широкий волновой диапазон тем же количеством датчиков.

При разработке ПРАБС "Звезда" был рассмотрен ряд известных конструкций:

- буйковая система для измерения элементов гидрофизических полей, содержащая несколько буев, последовательно соединенных тросом, при этом крайний буй имеет якорь, при этом она снабжена дополнительными буйами, расположенными симметрично по обе стороны основного троса, присоединенными к нему в одной точке дополнительными тросами, причем дополнительные буйи снабжены вертикальными крыльями и закреплены на концах дополнительных тросов жестко, без возможности поворота вокруг вертикальной оси при этом плоскости вертикальных крыльев дополнительных буев направлены навстречу друг другу и под острым углом к основному тросу [14].

Данная конструкция не обеспечивает жесткой стабилизации положения измерительных приборов во времени и пространстве, так как под действием изменяющегося течения эта система устанавливается по течению, а угол между двумя дополнительными линиями, создаваемый отклонением буев с вертикальными крыльями, будет изменяться в зависимости от скорости течения. Поэтому достоверность полученной информации о распространении КВВ будет достаточно низкой.

Известна многобуйковая якорная станция "Си - Спайдер" [14], состоящая из поверхностного буя, соединенного с одним подводным буюм, стоящим на четырех якорях, и на якорных буйрепах установлены измерительные приборы.

Также известна буйковая станция ИВБКС [14] - станция для исследования внутренних волн, состоящая из подводного буя, установленного на трех якорных буйрепах с нулевой плавучестью, наклоненных под углом 54° к горизонту. На якорных буйрепах установлены измерительные приборы и поддерживающие их притопленные плавучести.

Установка таких станций [14] требует специального оборудования для самой станции и обеспечивающего судна, большой маневренности и имеющего специальное грузоподъемное оборудование. Кроме того на такой станции не выдерживается условие возможности установки большого числа измерительных приборов на одном горизонте.

Наиболее близкой по технической сущности и главное по достигаемому эффекту является многобуйковая океанографическая станция ТОТО-П [14], состоящая из трех заякоренных поверхностных буев, устанавливаемых в вершинах равностороннего треугольника и соединенных между собой по горизонтали на заданной глубине линиями связи, в центре этого треугольника, на этих линиях связи устанавливаются измерительные приборы и поддерживающие их плавучести, причем якорные буйрепы также поддерживаются вспомогательными поверхностными буйами.

Недостатками такой многобуйковой системы являлись:

- нестабильность положения самой буйковой системы (за счет слабого натяжения якорных буйрепов) и как результат этого нестабильность положения измерительных приборов во времени и пространстве;
- постановка такой системы требует обеспечения судами с повышенной маневренностью и специальными грузоподъемными механизмами, так как при воздействии волнения ветра, течения на поверхностные заякоренных буйи возникают большие нагрузки на якорные системы заякоренных буев.

Отдел турбулентности МГИ НАНУ, имея достаточный опыт установки ПРАБС "Линия", разработал и произвел установку ПРАБС "Звезда" (рис. 2) в Черноморских этапах 44, 47 рейсах НИС "Михаил Ломоносов", где при постановках использовалось вспомогательное судно: рабочий катер, буксир ИБ-34. При первой опытной установке ПРАБС "Звезда" по способу установки ПРАБС "Линия" были выставлены два заякоренных буя на расчетном расстоянии друг от друга и соединены горн-

горизонтальной линией, состоящей из двух линий ПРАБС "Линия". После установки линии, рабочий катер с НИС "Михаил Ломоносов" произвел соединение буйрепа с бумом центра горизонтальной линии с третьей горизонтальной линией, намотанной на лебедку ЛК-2 НИС "Михаил Ломоносов", дальнейшая установка приборов, плавучестей, заякоренного буйа производилась по способу установки ПРАБС "Линия". Такой способ установки ПРАБС работоспособен при благоприятных погодных условиях, волнении 1 - 2 балла, скорости ветра 3 - 5 м с⁻¹.

Отработанный в Черноморском этапе 47 рейса НИС "Михаил Ломоносов" способ постановки ПРАБС "Звезда" с помощью вспомогательного судна типа буксир позволил произвести постановку многобуйковой системы на глубине 100 м при неблагоприятных погодных условиях (волнении до 4 баллов, скорости ветра до 12 м с⁻¹). Установка многобуйковой системы производилась по способу установки ПРАБС "Линия", где вспомогательное судно обеспечивало отвод за якоря заякоренного буйа с первой горизонтальной линией в течении установки по способу ПРАБС "Линия" двух остальных элементов буйковой системы.

Данный способ был рекомендован для установки ПРАБС "Звезда" в океане на глубинах до трех километров двумя научно-исследовательскими судами МГИ НАНУ "Академик Вернадский" и "Михаил Ломоносов".

Конструкция ПРАБС "Звезда" была разработана на базе узлов и элементов ПРАБС "Линия", обеспечивающих повышение точности измерения КВВ за счет обеспечения фиксированных расстояний между приборами при достаточно жесткой стабилизации всей многобуйковой системы, достигаемой с помощью подвесных грузов, установленных на каждом буйрепе заякоренного буйа на расчетном расстоянии от дна.

2. Исследование пространственно-временных характеристик поля короткопериодных внутренних волн

В ходе проведения в 1985 году в 44 рейсе НИС "Михаил Ломоносов" комплексного эксперимента по изучению КВВ, условий их генерации, связи с фоновыми характеристиками и взаимодействия с тонкой структурой и микроструктурой, выставлялся ряд ПРАБС различной конфигурации.

Ниже приведены результаты обработки измерений, выполненных на ПРАБС-3 (трехлучевая звезда), стоявшей на шельфе вблизи Крымского побережья с 22 по 27 августа 1985 года (рис. 2).

При планировании этого эксперимента ставилась задача исследовать временную изменчивость поля КВВ в диапазоне длин волн от 150-200 м и с периодами 10-30 минут. Предполагалось применить аппарат спектрального анализа, который позволяет, имея сравнительно небольшое количество жестко закрепленных датчиков, проследить эволюцию во времени квазистационарного однородного поля.

2.1 Расстановка приборов по вертикали

Для проведения эксперимента мы располагали шестью векторно-осредняющими измерителями скорости течения ДКСТ, измеряющими горизонтальные составляющие скорости, и шестью автономными измерителями распределенной температуры "РИТМ", позволяющими измерять вертикальные смещения слоев воды, вызванные прохождением внутренних волн. Состав аппаратуры, которую планировалось разместить на ПРАБС, не мог быть использован для выяснения модового состава КВВ. Поэтому аппаратура располагалась так, чтобы регистрировать наилучшим образом первую моду. Связка "ДКСТ-РИТМ" рассматривалась как один прибор. Расстояние между приборами по горизонтали в связке минимально возможное технически. Измерительный элемент ДКСТ размещался в верхнем однородном слое, где пульсации горизонтальных скоростей в КВВ максимальны.

17-метровый измерительный элемент "РИТМ" был установлен в слое 11-27 метров с тем, чтобы захватить слой максимальных градиентов температуры. Фиксация приборов на горизонте достигалась с помощью поверхностных плавучестей, прикреплявшихся тросом к каждому прибору. Таким образом, связкой приборов "ДКСТ-РИТМ" планировалось измерять все три составляющие пульсации скорости в КВВ.

2.2 Расстановка приборов в горизонтальной плоскости

Минимальное расстояние между приборами определяется волновым числом Найквиста и равно приблизительно половине минимальной длины волны порядка 100 м. Различные схемы расстановок датчиков на плоскости подробно обсуждаются в [10]. Приборы были поставлены по схеме "Трехлучевая звезда". В этом случае стабилизация приборов в горизонтальной плоскости достигалась путем фиксации их на стальных тросах, натянутых между заякоренными буйами, соединенными в центре (рис. 2).

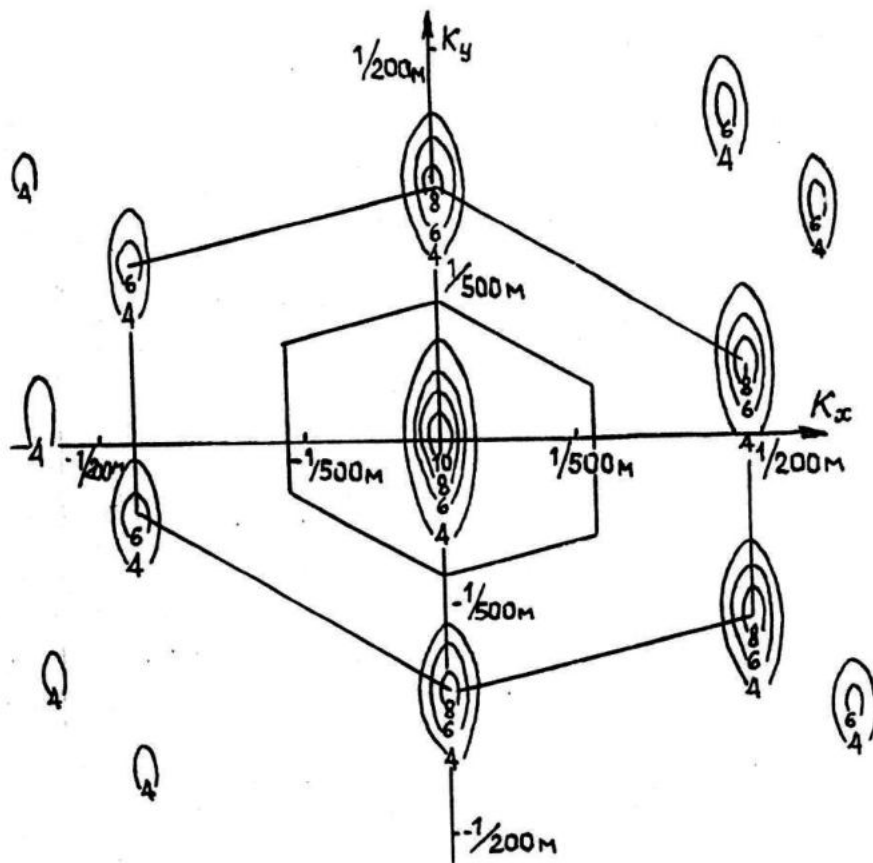


Рис. 3. Пространственно-волновое окно антенны измерителей ДКСТ.

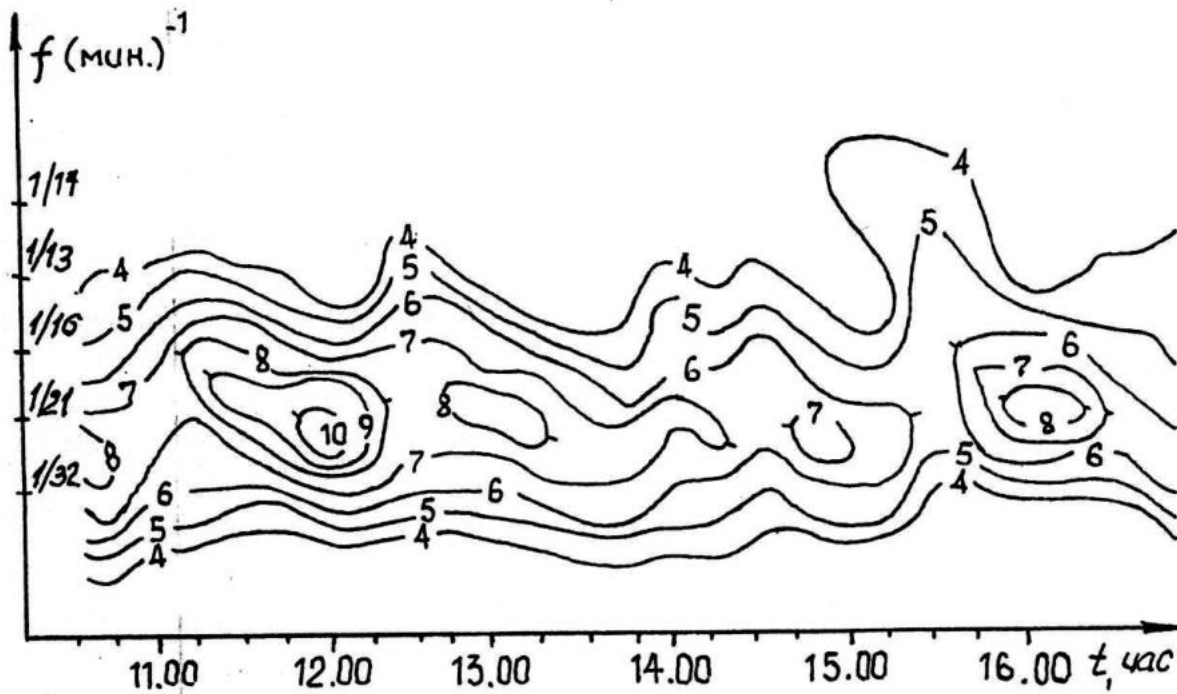


Рис. 4. Текущий частотный спектр.

2.3. Анализ результатов измерений пульсаций горизонтальных скоростей

Как выяснилось при обработке результатов наблюдений, крайний прибор ДКСТ-007 на северном луче антенны (рис.2) не сработал. Отказ прибора не привел к катастрофическим последствиям. Мы считаем, что данные с остальных приборов могут быть использованы для пространственно-временного спектрального анализа. На рис.3 представлено пространственное окно антенны, соответствующее реальному расположению и числу приборов. Уровень боковых лепестков возрос, но нигде не превышает уровня 0.4 главного лепестка. Уменьшилось также разрешение антенны в направлении с юга на север.

На рис.3 выделена площадка анализа (область анализа). Граница области анализа эквивалентна частоте Найквиста для частотных спектров. Если бы приборы были установлены точно в узлах гексагональной сетки, то область анализа была бы правильным шестиугольником со стороной $2\pi/\sqrt{3}\cdot a$, где a - минимальное расстояние между приборами. Область анализа выбирается так, чтобы вместе со своими сдвинутыми повторениями полностью покрывать плоскость пространственно-волновых чисел без перекрытий. В нашем случае допущено небольшое отклонение от гексагонального размещения приборов. Область анализа мы приближаем шестиугольником, координаты вершин которого определяются как точки, лежащие на середине отрезков, соединяющих главный лепесток со своими ближайшими периодическими повторениями.

Перед проведением спектрального анализа ряды измерений были подвергнуты фильтрации полосовым Сов-фильтром.

Высокочастотная фильтрация, частота среза $(40 \text{ мин})^{-1}$, продиктованы обычными соображениями - устранение среднего и остационирование ряда. Сглаживание данных - частота среза фильтра $(10 \text{ мин})^{-1}$ проводилось для ослабления "вредного" воздействия пакетов КВВ с периодами около 5 мин.

В данном эксперименте нас интересовала прежде всего временная изменчивость поля КВВ. Поэтому все спектры строились для скользких временных интервалов. Длина интервала скольжения выбиралась возможно меньшей. С одной стороны, длина интервала должна быть малой для выяснения тонких процессов временной перестройки поля КВВ, с другой стороны, его длина лимитируется достоверностью получаемых оценок. В наших расчетах длина интервала скольжения выбрана равной одному часу. Спектры строились по часовым интервалам через каждые 15 мин.

Как показали расчеты, более частое построение спектров неоправданно.

Временная изменчивость частотных оценок спектров пульсаций кинетической энергии проиллюстрирована на рис.4. Цифры у изолиний - значения оценки текущего частотного спектра, нормированной на максимальное значение и умноженной на десять. Из рисунка видно, что наиболее энергонесущая частота в выделенном частотном диапазоне - $(21 \text{ мин})^{-1}$. Оценка спектра кинетической энергии пульсационных составляющих получена как сумма спектров широтной и меридианальной составляющих.

Кросс-спектры рассчитывались через ковариационные функции. Длина ковариационных функций бралась равной 32 мин. Применено окно Тьюки. Каждая оценка авто-спектра обеспечена пятью степенями свободы.

Оценку пространственно-временного спектра кинетической энергии получили как преобразование Фурье суммы кросс-спектров широтной и меридианальной составляющих. Оценка велась по методу Барбера [10].

Примеры полученных оценок приведены на рис.5. Оценки спектра рассчитывались для трех частот $(32 \text{ мин})^{-1}$, $(21 \text{ мин})^{-1}$ и $(16 \text{ мин})^{-1}$. Эти частоты выбирались в соответствии с текущим частотным спектром (рис.4) так, чтобы полнее отразить временную изменчивость наиболее мощных квазисинусоидальных составляющих поля. Оценки приведены для времени 12.00 и 13.15. Время отнесено к середине часового интервала, на котором рассчитывался спектр. На рисунках выделены полученные выше площадки анализа. Ось OK_y направлена на север, ось OK_x - на восток. Максимум в двенадцатичасовом пространственно-временном спектре соответствует максимальной энергии за время от 11.00 до 16.00, что видно из скользящего частотного спектра. Длина волн, определенных на рис.5 равна 812 м и 296 м для первого и второго максимума соответственно. Скорость распространения волны определяется как длина волны, деленная на период. При этом необходимо учитывать эффект Доплера, обусловленный средним потоком. Наблюдаемая частота ω_n связана с частотой волны ω соотношением:

$$\omega_n = \omega - k_x \bar{u} - k_y \bar{v},$$

где $\begin{bmatrix} k_x \\ k_y \end{bmatrix}$ - волновой вектор, \bar{u}, \bar{v} - сред-

ние скорости потока. С учетом эффекта Доплера период внутренней волны в 12.00, обуславливающий главный максимум, равен 22 мин, и скорость распространения $0,62 \text{ м сек}^{-1}$. Направление распространения - на северо-восток - совпадает с направлением

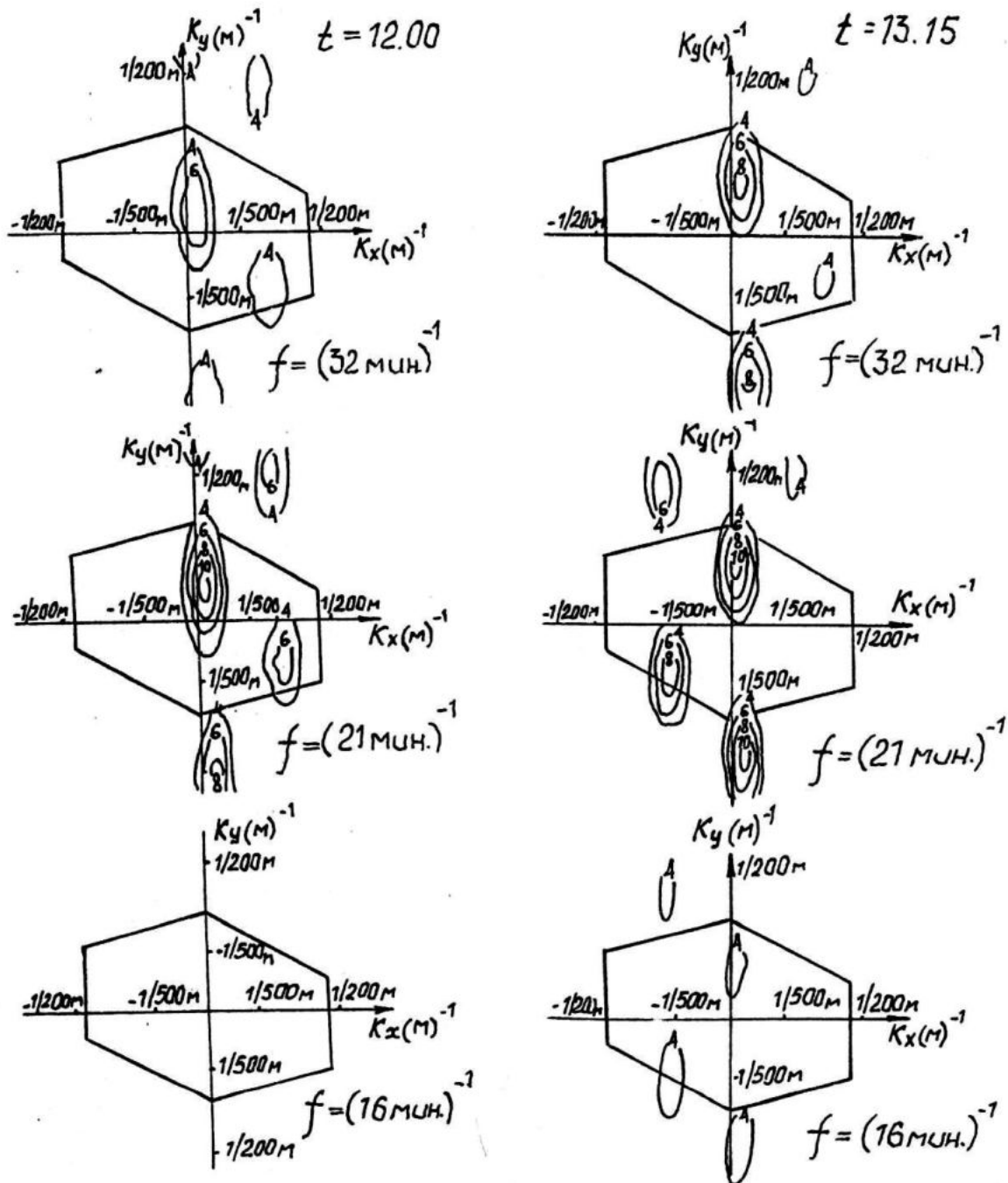


Рис. 5. Сечения по частотам пространственно-временного спектра для 12.00 и 13.15.

вектора, соединяющего начало координат с максимумом спектра. Для интервала времени с 11.00 до 16.00 через каждые 15 минут были рассчитаны пространственно-временные спектры.

На рис.6 приведены координаты максимумов, наблюдавшихся в спектрах. Цифры возле кружочков обозначают время наблюдения и относительную энергию в максимуме. Абсолютный максимум, наблюдавшийся в 12.00, принят за единицу.

Как видно на рис.6 за время с 11.00 до 16.00 можно четко выделить три квазигармонических составляющих поля (волны), различающихся по направлению распространения

На рис.7 для этих волн представлено изменение модуля волнового вектора в зависимости от частоты. Крестик - наблюдавшиеся значения, сплошная линия - линия регрессии, прерывистая линия - теоретическая дисперсионная кривая.

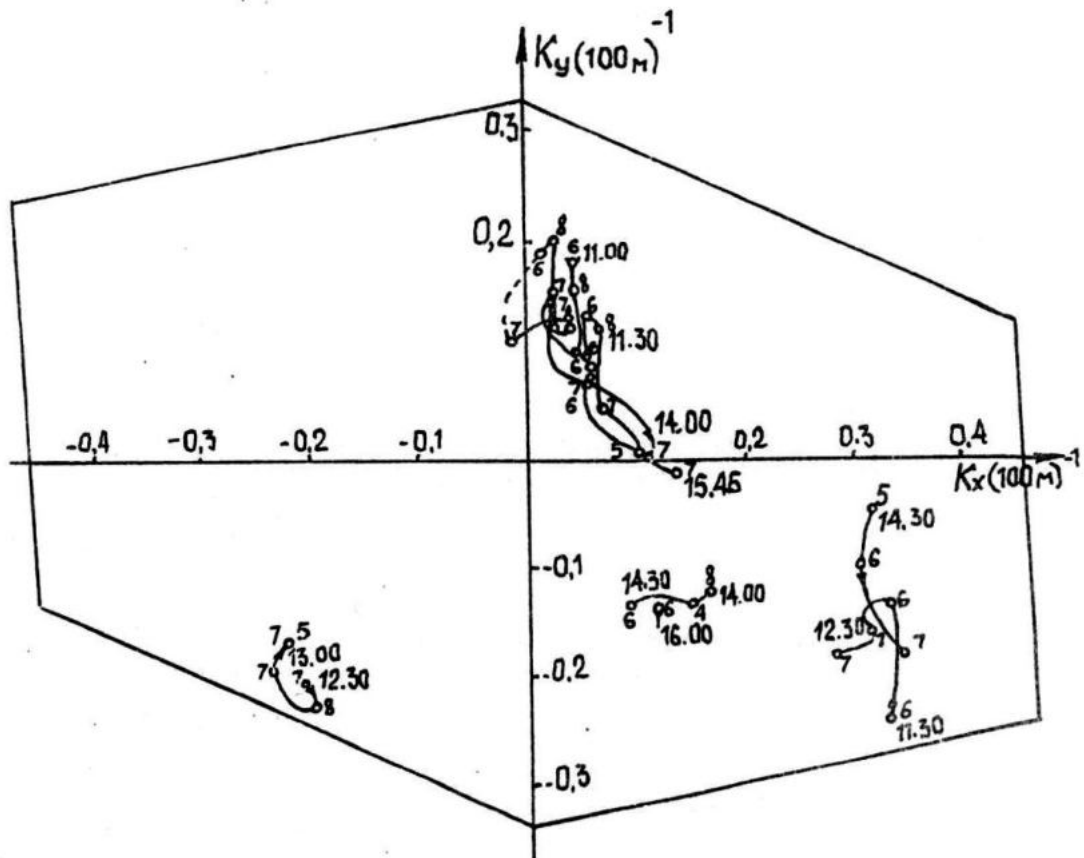


Рис.6. Положения максимумов пространственно-временного спектра.

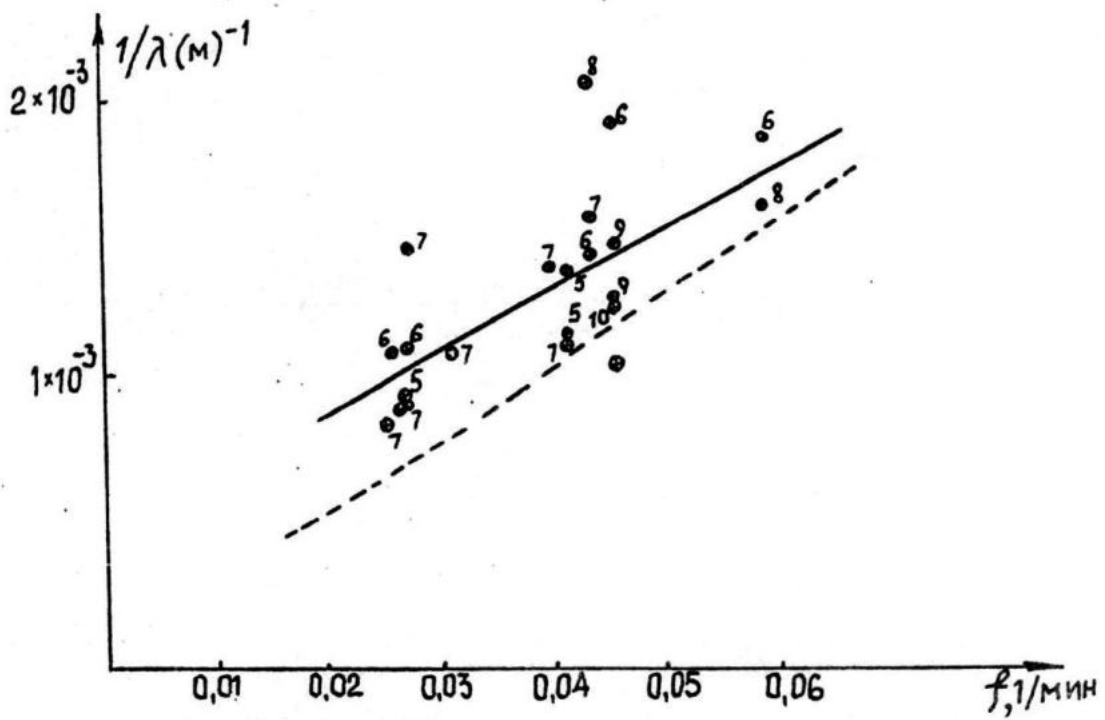


Рис.7. Экспериментальная - - - - и теоретическая - - - - дисперсионные кривые.

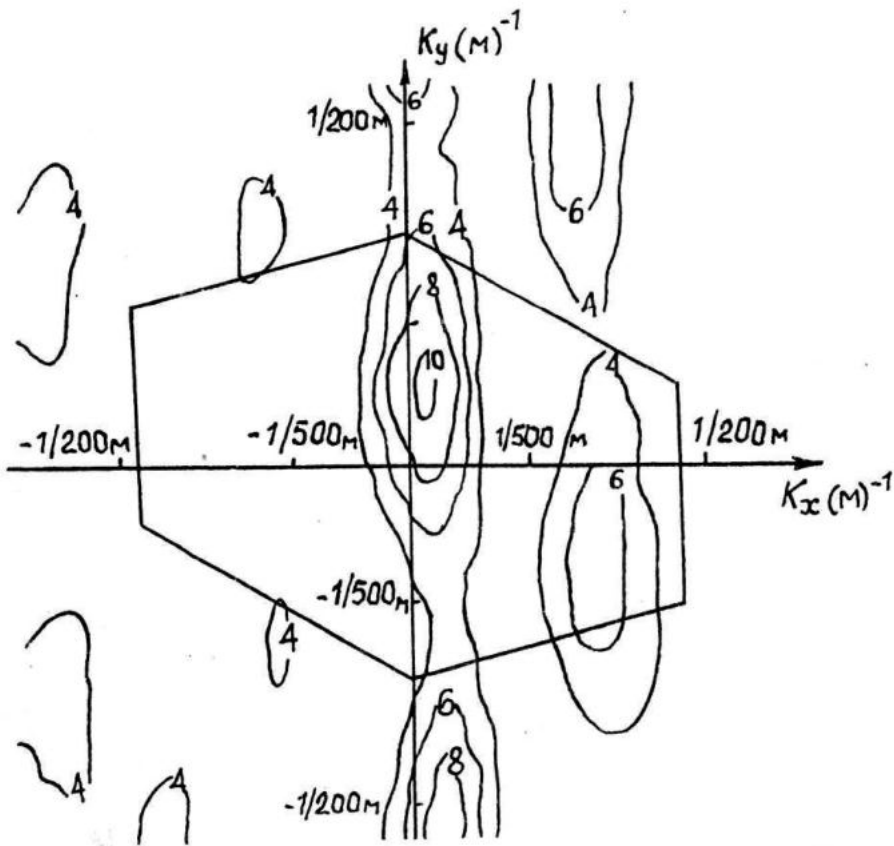


Рис. 8. Сечение оценки спектра по методу Бартлета по частоте $(21 \text{ мин})^{-1}$.
Время измерения 12 00.

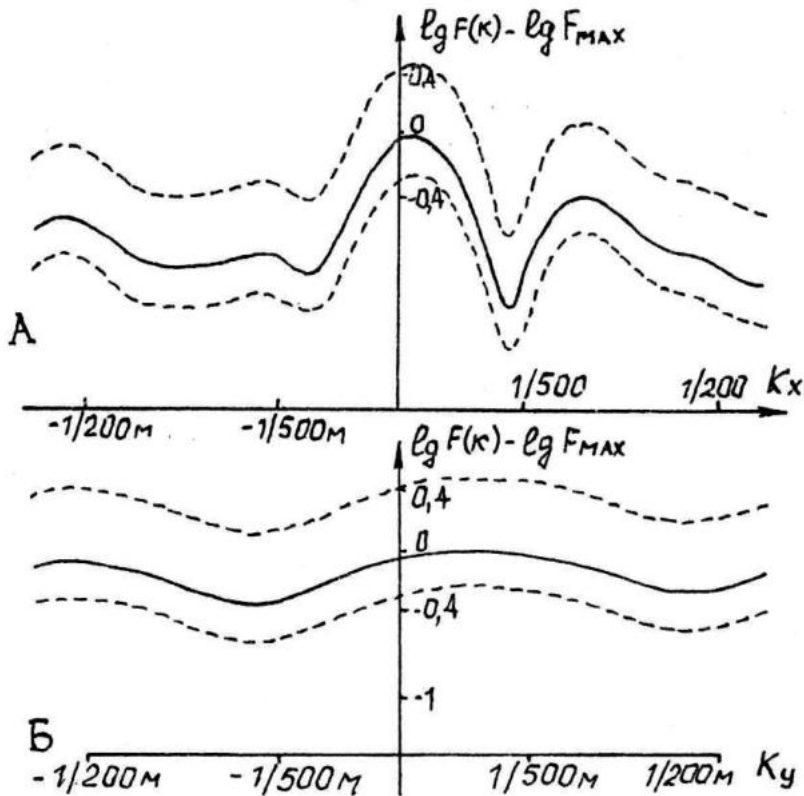


Рис. 9. Разрезы оценки пространственно-временного спектра. Время измерений 12.00. Частота $(21 \text{ мин})^{-1}$. А - разрез оценки пространственно-временного спектра плоскостью, проходящей через максимум спектра параллельно оси OK_x , и его 80% доверительные границы
Б - разрез плоскостью, проходящей через минимум спектра параллельно оси OK_y .

$$\frac{1}{x} = a + bf,$$

где $a = 4,607 \cdot 10^{-4}$; $b = 0,022$.

Частота выражается в мин^{-1} , волновое число - в м^{-1} .

Коэффициент корреляции между модулем волнового вектора и частотой равен 0,64. Волны, идущие в юго-восточном направлении, имеют меньшую мощность и отличаются значительно большей нестабильностью параметров.

Волны юго-западного направления наблюдались в течение короткого времени, имели высокий уровень по мощности и стабильные параметры - короткий период порядка 16 мин и небольшую скорость распространения около 0,4 м/сек.

На рис.8 изображено сечение пространственно-временного спектра для 12.00 по частоте $(21 \text{ мин})^{-1}$. Через максимальное значение спектра для выбранной частоты сделаны разрезы плоскостями, параллельными координатным осям. На рис.9,а изображен разрез пространственного спектра и его 80 % доверительные границы плоскостью, параллельной оси Ox_z . На рисунке четко выделяется максимум. На рис.9,б сечение спектра сделано параллельно оси Ox_y . Максимум выражен слабее и его доверительные границы слишком широки, чтобы с 80 % достоверностью выделять волну. Размывание максимума и его доверительных границ в направлении с севера на юг обусловлено прежде всего выходом из строя датчика на северном луче антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brekhovskikh L.M., Konjaev K.V., Sabinin K.D. and Serikov A.N. Short-Period Internal Waves in the Sea // J.Geophys. Res.-1975.-vol. 80, № 6. - p. 856-864.
2. Булгаков Н.П., Иванов В.А., Лисиченко А.Д. Короткопериодные внутренние гравитационные волны в районе с большими горизонтальными градиентами плотности. // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1985. Т. 21, с. с. 1308-1314.
3. Иванов В.А., Лисиченко А.Д. Внутренние волны в горизонтально-неоднородном океане. // Севастополь, МГИ АН УССР, 1989, с. 33.
4. Горячкин Ю.Н. Иванов В.А., Лисиченко А.Д. Короткопериодные внутренние вол-

ны во фронтальных зонах безприливных морей (на примере Черного и Эгейского морей). // Морской гидрофизический журнал, 1989, № 6, с.с. 41-47.

5. Иванов В.А., Лисиченко А.Д. Влияние течения с вертикальным сдвигом скорости на характеристики короткопериодных внутренних волн. // Изв. АН, ФАО, 1997, т. 33, № 1, с.с.152-158.

6. Конзев К.В. Спектральный анализ случайных океанологических полей. // Л., Гидрометеониздат, 1981, с. 207.

7. Монсеев Г.А., Тимченко И.Е. Планирование сети для измерения составляющих физических полей океанов. // Морские гидрофизические исследования. Севастополь, Изд. МГИ АН УССР, 1971, № 1,

- 8.Ефимов В.В. Динамика волновых процессов в пограничных слоях атмосферы океана. // Киев, Наукова думка, 1981, с. 255.

9. Барабаш В.А., Мартынов М.В., Питеряков В.В., Шапов В.С. Исследование короткопериодных внутренних волн. // Тезисы доклада, III съезд советских океанологов, 14-19 декабря 1987 г. Секция: Физика и химия океана. Ветровые, внутренние волны, волны цунами. Л., Гидрометеониздат, 1987, с.с. 21-23.

- 10.Мартынов М.В. Оптимальные антенные решетки с кратными сдвигами для оценки пространственного спектра. // МГИ АН УССР, Севастополь, 1988, с. 17. (Депонировано в ВИНТИ, № 5008-888).

11. Пантелеев Н.А., Щербачев А.Н., Щербачева Е.Н. Наблюдение гидродинамической неустойчивости в океане. // Изв. АН СССР, ФАО, 1986, т. 25, № 6, с.с. 616-625.

12. G.Siedler, E. Gerlach. Verankerte Messsysteme für die Tiefsee. // InterOcean - 76, 3 Int. Kongr. und Ausstelle Meerestechn. und Meeresforsch. Düsseldorf, 1976, Bd. 2. s.s. 925 - 940.

13. Лисиченко А.Д., Петрухнов А.Ф., Сабинин К.Д., Сериков А.С. Буйковая система для измерения пространственно-временных элементов гидрофизических полей // Авторское свидетельство № 1170702.

14. Берто Г.О. Океанографические бун. - Л.: Судостроение, 1979, с. 214.

15. Барабаш В.А., Мартынов М.В., Пантелеев Н.А., Питеряков В.В. Буйковая система для гидрофизических измерений // Авторское свидетельство № 1336426 по заявке № 4026886 от 02. 01. 86 г.

16. Барабаш В.А., Пантелеев Н.А., Питеряков В.В. Способ постановки автономной океанографической буйковой системы. Авторское свидетельство № 1372800 по заявке № 4081804 от 07.04. 86 г.