

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ПИСАРЕВ Сергей Викторович

УДК 551.46

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ
В ВЫСОКОШИРОТНОМ БАСЕЙНЕ,
ПОКРЫТОМ ЛЬДОМ

11.00.08 — океанология

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 1991

Работа выполнена на кафедре океанологии географического факультета Московского Государственного Университета им. М. В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор географических наук,
профессор А. И. Дуванин.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Б. Г. Морозов (ИОАН).
кандидат физико-математических наук
С. П. Левиков (ГОИН).

Ведущая организация: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт.

Защита диссертации 19 апреля 1991 г.
в 15 часов на заседании Государственного Совета ИД24.02.01
в Государственном институте (111933), ГСП,
Москва, Г-34.

С диссертацией
научного океанографа
Авторы:
Ученый
кандидат наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. Необходимость исследования внутренних волн (ВВ) в высокоширотных бассейнах, покрытых льдом (ВВПЛ) диктуется несколькими причинами. Во-первых, имеются отдельные прямые экспериментальные свидетельства влияния ВВ на перемешивание вод, динамику льдов и распространение звука в Северном Ледовитом океане (СЛО) и водах Антарктики, что стимулирует интерес к ВВ этих регионов. Во-вторых, помимо регионального, имеется и более широкий интерес, связанный с уникальными свойствами поля ВВ в ВВПЛ. Из-за ограничения по инерционной частоте, здесь, выше 75° широты, не могут существовать свободные ВВ с периодами большинства основных составляющих баротропного прилива. А ледовый покров модифицирует процессы генерации и диссипации ВВ в верхнем слое океана. В-третьих, представления о реальном поле ВВ в ВВПЛ весьма несовершенны. Это объясняется, главным образом, сложностью проведения натуральных экспериментов, способных дать адекватную картину поля ВВ.

Большинство сведений о ВВ ВВПЛ сводится лишь к указанию на существование изменчивости различных характеристик океана, попадающих в соответствующий диапазон частот или волновых чисел. Частотные же спектры ВВ ВВПЛ, кроме представляемых в диссертации, на сегодня получены в девяти зарубежных и одном советском экспериментах общей продолжительностью около 140 суток. Пространственные характеристики оцениваются по четырем суточным реализациям. Причем результаты не всегда получены в качестве итога



целенаправленного исследования ВВ.

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами становится очевидной актуальность проблемы изучения пространственно-временных характеристик ВВ ВВПЛ и вместе с тем определяются цели представляемой работы.

Цели диссертационной работы.

1. Обоснование техники измерения частотных и пространственных характеристик ВВ ВВПЛ, которая бы оптимально отвечала специфике регистрации слабо выраженных колебаний океанографических характеристик с дрейфующего льда. Сюда входит рассмотрение особенностей спектрального анализа ВВ, включая вопросы применения цифровых фильтров.

2. Анализ и обобщение экспериментального материала по ВВ, собранного в различных районах ВВПЛ, сопоставление полученных частотных спектров с моделями Гарретта-Манка и Сабинина-Шулепова, определение параметров этих моделей для некоторых районов ВВПЛ.

3. Исследование пространственно-временных характеристик ВВ ВВПЛ и рассмотрение свойств этих волн в диапазонах - инерционном, приливном и короткопериодном.

Фактический материал. Для достижения поставленных целей использовались опубликованные материалы и итоги специально организованных наблюдений. Последние проводились автором по собственной методике в течении 1983-1989 г.г. в рамках Высокоширотных экспедиций. Всего в двух районах ВВПЛ было проведено пять натуральных экспериментов. При этом общая продолжительность наблюдений, позволяющих судить о временных характеристиках ВВ, около

50 суток, а о пространственно-временных - 30 суток.

Научная новизна работы определяется тем, что на большем статистическом материале подтверждены представления о низких, в сравнении с другими районами Мирового океана, уровнях частотных спектров ВВ в ВВПЛ. Для имеющихся моделей ВВ определены диапазоны величин параметров, которые свойственны ВВПЛ.

Впервые выявлено, что район бровки шельфа характеризуется наибольшими для ВВПЛ уровнями частотных спектров ВВ. Это объясняется присутствием здесь низкочастотных вертикальных колебаний. Их происхождение связано с трансформацией баротропных приливов в местах сравнительно резкого изменения рельефа дна. Проведены оценки свойств этих низкочастотных волн.

Впервые для ВВПЛ получены столь обширные материалы, позволяющие судить о свойствах короткопериодных ВВ (КВВ). Определены параметры модели, описывающей пики частотных спектров ВВ в короткопериодном диапазоне. Показано, что энергия КВВ в районах бровки шельфа ВВПЛ испытывает периодические, чаще полусуточные колебания, происхождение которых связано с низкочастотными волнами. Повышение энергии обусловлено приходом в место измерений групп сравнительно интенсивных КВВ первой-второй моды. Определены длины, периоды и амплитуды этих КВВ. Установлена анизотропия их распространения и выявлены предполагаемые области генерации.

Основная практическая ценность работы связана с подробным описанием статистических свойств и строения поля ВВ ВВПЛ, в том числе и в наиболее важных в смысле энергосодержания диапазонах, поскольку эти сведения необходимы для решения многих научных и практических задач, в частности, задач акустики океана. Полу-

ченные данные широко использовались при выполнении ряда научно-исследовательских работ, проводившихся Акустическим институтом. Они могут найти применение в исследованиях динамики верхнего слоя ВВПЛ и климата ВВ.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на семинарах Акустического института под руководством К. Д. Сабина (1983-1990 г.г.), 9 и 10 Всесоюзных конференций по информационной акустике (Москва, 1986 г. и 1990 г.), на 1 научно-технической конференции ученых Крыма (Севастополь, МГИ АН УССР, 1987 г.), на семинарах кафедры океанологии МГУ и отдела Крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана ИОАна (1990 г.). По теме диссертации опубликовано 5 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации - 124 страницы, 81 из которых заняты текстом, 13 - списком литературы, включающем 125 наименований, 2 - таблицей и 28 иллюстрациями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении дан обзор наблюдений ВВ в СЛЮ и водах Антарктики, обоснована актуальность темы, сформулированы цели исследования, его научная новизна и практическая значимость.

В первой главе описывается техника проведения измерений ВВ в ВВПЛ и способы обработки результатов регистрации. Для рассмотрения параметров океана, характеризующих ВВ, используется линеаризованная относительно среднего состояния система уравне-

ний свободных волновых движений, полученная в приближениях адиабатичности, изопикничности, Буссинеска, f -плоскости и учитывающая существование крупномасштабного течения. Из анализа уравнений следует, что при изучении ВВ необходимо измерять вертикальный профиль плотности, флуктуации плотности и (или) течения, обусловленные ВВ, вертикальный профиль среднего потока.

Далее излагается применявшийся алгоритм измерения профиля плотности с помощью АЦИТТа. Описывается специальный прием при зондированиях в слоях заметных температурных градиентов. Его применение позволило избежать ошибок в определении плотности при условиях соленостной плотностной стратификации ВВПЛ и согласования постоянных времени датчиков температуры и электропроводности АЦИТТа. При оценках точности определения плотности принимаются во внимание обычные приборные и расчетные погрешности, а также ошибки, вносимые уникальным соотношением компонент основного солевого состава вод ВВПЛ.

С помощью АЦИТТов проводились эпизодические измерения вертикального профиля среднего течения и постоянная регистрация скорости на отдельных горизонтах. Для правильной интерпретации полученных данных рассматриваются приборные погрешности АЦИТТа, а также специфические для ВВПЛ трудности измерения течений: малые скорости средних течений, сравнимый по скорости с течением и трудноконтролируемый дрейф льда, большие величины магнитного склонения.

Далее проводится сравнительный анализ традиционных способов определения параметров ВВ по флуктуациям течения и температуры. Привлекаются выводы такого сравнения, проведенного

К. Д. Сабининым (1978 г.) и оцениваются горизонтальные течения, которые вызывают ВВ различных амплитуд и периодов при глубинах и плотностной стратификации районов измерений. Делается вывод о невозможности использования течения в качестве индикатора ВВ.

Затем обосновывается возможность судить о флуктуациях плотности в соленостно стратифицированном океане по колебаниям температуры. В качестве измерителя выбирается распределенный датчик (РД) температуры. Оговариваются его размеры, система подвески, погрешности. Перечисляются факторы, затрудняющие измерения вертикальных колебаний в некоторых районах ВВПЛ - сравнительно узкий и малоградиентный термоклин, пространственно-временные колебания термоклина со значительными амплитудами, широкое распространение интрузий. Проводится анализ ошибок измерений ВВ, проведенных ранее в сходных условиях. Описывается прием, который позволил избежать проанализированных недостатков.

Перечисляются еще ряд измерений, которые проводились при исследовании ВВ и обрабатывались традиционными способами. Это определение координат места по солнцу и счислению, определение сторон света астрономическим способом, измерение углов и расстояний на местности, измерения глубины, получение профиля температуры батитермографом, оценки характеристик льда при визуальных авианаблюдениях.

Далее со ссылками на работы Савченко В. Г., Смирнова В. Н., Зубкова Л. И. (1972-1986 г.г.) обосновывается выбор "твердой крышки" в качестве граничного условия на поверхности при вычислении собственных функций и дисперсионных зависимостей наших ВВ.

Оцениваются возможности "алиазинга" как нежелательного эффекта дискретизации записи РД. В терминах выработанных Коняевым И. В. (1981 г.) описывается вычисление частотных спектров методом быстрого преобразования Фурье и пространственных спектров методами максимального правдоподобия, максимальной энтропии, "традиционным". Перечисляются известные предосторожности, применяемые при получении "красных" спектров ВВ.

На следующем этапе выдвигаются требования к фильтрации ВВ - амплитудная передаточная функция цифрового фильтра должна быть гладкой, не превышать единицы в полосе пропускания и, по возможности, должна спадать как можно круче. Описывается отвечающий этим требованиям синусный вариант фильтра Баттеруорта 20-го порядка, который применялся для полосовой, низко- и высокочастотной фильтрации. Предлагается также прием, позволяющий оставлять в полосе пропускания фильтра до 98% ширины сигнала или, иными словами, полностью исключать из рассмотрения колебания с периодом, соответствующем самому краю частотного диапазона ВВ.

Во второй главе дается общая характеристика собственных экспериментов и обсуждаются уровни частотных спектров ВВ ВВПЛ. Описываются параметры дрейфа, характеристики ледового покрова, глубины, профили океанографических характеристик, продолжительность и вид записей ВВ во время натуральных измерений. Указывается, в том числе, что измерения проходили в окрестности бровки шельфа при глубинах 300-500 м. Во всех исходных записях вертикальных колебаний термоклина отмечаются полусуточные волны и периодическое появление ВВ с периодом около 1 ч. Иногда заметны

суточные, восьми- и шестичасовые волны.

Далее перечисляются известные постоянные отклонения реальных спектров ВВ от модели Гарретта-Манка (ГМ) в частотных диапазонах ВВ и областях Мирового океана. Делается заключение о важном значении модели ГМ, по меньшей мере, для сравнения разнородных измерений ВВ. Затем принимается идея (Wunsch С., 1975) о том, что отклонения от модели "не столь велики, сколь значительны" и что в изучении отличий уровня и формы реальных спектров от универсального ГМ лежит ключ к пониманию до сих пор неясных процессов генерации и диссипации ВВ. С этих позиций частотные спектры, полученные по собственным измерениям ВВ, сравниваются с модельным частотным "заякоренным" спектром ГМ 1979 г. в форме Десабье. Последний записывается следующим образом:

$$S(w, z) = \frac{2}{\pi} \gamma \frac{f}{N(z)} \frac{(w^2 - f^2)^{1/2}}{w^3}$$

где $\gamma = 320 \text{ м}^2 \cdot \text{ц/ч}$, если текущая (w), инерционная (f) частоты и частота плавучести ($N(z)$) выражены в ц/ч, а вертикальные смещения в м. Сравнение демонстрирует сходный наклон и низкий уровень наших спектров относительно ГМ. (Подобный вывод был впервые сделан на основании пяти американских измерений ВВ в Арктике, проведенных за период 1964-1985 г.г. (Levine M.D. и др., 1985)). Далее за характеристику уровня спектра принимается параметр γ модели ГМ в форме Десабье. Проводится сравнение модельного уровня, уровней спектров собственных и девяти зарубежных измерений ВВ в ВВПЛ, энергии ВВ в некоторых известных экспериментах - MILE, JASIN, MODE, IWEX и др. Все спектры ВВ ВВПЛ ниже модельного, параметр γ для других районов ближе к ГМ или выше его.

Затем исследуется модификация спектра ГМ, предложенная Сабининым и Шулеповым (СШ (1979 г.)), которая полагает широтное изменение энергии ВВ в единичном столбе жидкости и тем самым объясняет увеличение энергии ВВ у экватора. По этой же причине можно ожидать и уменьшение у полюсов. Спектр СШ записывается:

$$S(w, z) = \frac{C}{N(z)} \frac{(w^2 - f^2)^{1/2}}{w^3}$$

где $C = \gamma f(30^\circ) = 8,5 \text{ м}^2/\text{ч}^2$, $f(30^\circ)$ - инерционная частота широты 30° , на которой отмечается наилучшее согласие модели ГМ с наблюдениями. За уровень спектров ВВ принимается γf и проводится сравнение результатов тех же измерений. Несмотря на большую универсальность модели СШ энергия ВВ ВВПЛ ниже и в этом случае.

После анализа во многом противоречивых результатов немногочисленных теоретических и экспериментальных работ, свидетельствующих об уровнях спектров, делается заключение о невозможности однозначно разделить роль дрейфующего льда и критической широты на пониженную энергию ВВ ВВПЛ. Появление же в наших измерениях самых "высоких" из "низких" спектров ВВПЛ определяется существованием в окрестности бровки шельфа значительных колебаний термоклина с периодом около 12 ч.

По результатам собственных измерений 1986, 1988, 1989 г.г. выделяется область, в которой из года в год наблюдались максимальные энергии колебаний термоклина в диапазоне ВВ. Уровни спектров 88-89 г.г. здесь одинаковы, а в 1986 г. - в 3-5 раз больше. Последнее обстоятельство может быть связано с меньшей сплоченностью льдов в 1986 г.

В третьей главе рассматриваются свойства короткопериодных ВВ (КВВ). Дается краткий обзор представлений о КВВ, в том числе

и у бровки шельфа. Демонстрируется скудость сведений о КВВ ВВПЛ (Богородский В.В. и др., 1977 ; Sandven St, Johannessen O, 1987). Вычисляются дисперсионные кривые первых пяти мод ВВ для крайних и средних профилей плотности и значений глубин при наших измерениях, для нулевой широты и широты экспериментов. Делается заключение о том, что ВВ с периодами менее 4 ч в нашем случае следует относить к КВВ, с периодом более 6 ч - к низко-частотным ВВ (НВВ).

После высокочастотной фильтрации исходных реализаций с периодом среза 4 ч вычисляются и анализируются текущие спектры. В некоторые моменты вид этих спектров, как и сама исходная запись, свидетельствует о цуговом характере КВВ. В качестве суммарной энергии (СЭ) КВВ в полосе 0.5-3 ч для каждого спектра, образующих собственно текущий спектр, подсчитывалась сумма логарифмов оценок спектральной плотности на соответствующих периодах. Исследуется периодичность колебаний СЭ и зависимость между амплитудами НВВ и СЭ.

Далее в рамках модели СШ описывается наблюдаемый нами пик КВВ на частотных спектрах ВВ. Определяются значения соответствующих параметров модели.

Затем по данным 1988, 89 г.г., когда измерения проводились тремя РД, обсуждаются пространственно-временные характеристики КВВ. После анализа уравнения Тейлора-Гольдштейна и результатов измерений течений, делается заключение о незначительном влиянии среднего потока на дисперсионные зависимости и собственные функции наших КВВ. После повторного анализа результатов указанных в начале главы расчетов дисперсионных кривых и погрешностей

определения плотности делается вывод о том, что, во-первых, при наших измерениях частоту плавучести можно считать постоянной от поверхности до дна для ВВ с периодами 0.6-12.2 ч, во-вторых, в нашем случае невозможно по длине волны разделить две соседние моды.

По оговоренному критерию определяются все волновые вектора групп относительно интенсивных КВВ, поддающиеся разрешению с помощью примененных антенн РД и методов пространственного анализа. Проводится сравнение хода колебаний термоклина, низкочастотной составляющей этих колебаний, СЭ КВВ, направлений, мод и волновых чисел КВВ. Анализируются диаграммы направлений КВВ за различные периоды измерений и рельеф дна. Обосновывается невозможность прямого применения существующих моделей генерации КВВ у бровки шельфа в нашем случае. При попытке обнаружения свойств солитонов у выявленных КВВ выясняется, что к подавляющему большинству волн применимо известное условие линеаризации. Рассмотрение ограничений, накладываемых этим условием на амплитуду решений в нормальных модах при $N = \text{const}$ и условии "твердой крышки", приводит к критерию $|\varphi|/H < 1/n$, где $n=1,2,3...$ - номер моды, $|\varphi|$ - максимальная амплитуда данной моды, H - глубина места.

В результате считается установленным, что энергия короткопериодного диапазона ВВ в районах бровки шельфа ВВПЛ испытывает периодические, чаще полусуточные колебания. Эти колебания связаны с приходом в место измерений групп из двух-шести относительно интенсивных КВВ. Амплитуды этих волн 2-4 м, длины 300-800 м, периоды около 1 ч, они относятся к первой-второй моде. Эти КВВ за период наблюдений 3-11 сут. анизотропны по нап-

равлению распространения. Их временная перемежаемость 35%. Наблюдения позволяют говорить о существовании нескольких областей генерации КВВ, которые связаны с формами рельефа дна типа банок или с островными поднятиями. Эти области имеют глубины менее 200 м. Периодичность генерации КВВ определяется периодическими течениями, связанными с низкочастотными колебаниями термоклина. На расстояниях 20-40 км от предполагаемых мест генерации относительно интенсивные КВВ линейны.

В четвертой главе рассматриваются низкочастотные колебания термоклина. Отмечается, что полусуточные ВВ в наших районах могут вызываться инерционными или приливными движениями, разделить которые непосредственно по результатам измерений невозможно. С оговорками, касающимися точности вычислений, определяются волновые вектора НВВ с периодами 6 и 12 ч. Указывается на зависимость амплитуд НВВ от уклона дна.

Далее экспериментальные свойства полусуточных ВВ сравниваются с существующими представлениями об инерционных ВВ у бровки шельфа. Отмечается, в том числе, существенная пространственно-временная перемежаемость поля инерционных движений. И, главным образом, по этой причине представляется маловероятным, что наблюдаемая нами однообразная из года в год изменчивость амплитуд НВВ во втором районе измерений связана с инерционными ВВ.

Затем проводится сравнение свойств наших НВВ и приливных ВВ. Прежде всего детально рассматриваются ограничения, которые налагаются снизу на частоту ω свободных ВВ. Ведь известно, что нижний предел, строго говоря, отличается от $f - 2\Omega \sin \psi$ (Ω - угловая скорость вращения Земли, ψ - широта). Первая причина отличий

- воздействие градиентов бароклинного потока на НВВ, вторая - "не сильная" стратификация. По результатам соответствующих исследований (Moore S., 1975; Hughes B., 1964г) проводятся оценки возможного изменения величины f из которых следует, что периоды наших полусуточных ВВ нельзя однозначно отнести к областям за или до критической частоты.

После этого происходит обращение к возможному случаю, когда частота приливной волны $\omega_n > f$. Делается краткий обзор свойств приливных ВВ у бровки шельфа и для сравнения с нашими волнами привлекается линейная модель генерации бароклинных приливов (Bains P., 1982). По критериям модели выясняется тип нашей стратификации и степень крутизны рельефа дна. После анализа допускается решение модели, показывающее генерацию, с последующей быстрой диссипацией, приливных ВВ в тех областях наших измерений, где уклон дна превышает 6 м на 1 км.

Дальше рассматривается случай $\omega_n < f$. Последовательно оцениваются и отвергаются для нашего случая следующие объяснения присутствия приливных ВВ за критической широтой:

1. "нехарактерные" ВВ, т.е. случай $N < \omega < f$ (Краусс, 1968)
2. захват баротропных волн Кельвина у бровки шельфа и их переход в бароклинные при условии $N \partial N / \partial x > f$ (Wunsch C., 1975; Huthance J., 1981).
3. прямая генерация ВВ приливообразующими силами в районе критических широт (Дефант, Хаурвитц, Краусс - ссылки в Wunsch C., 1975).

Последнее объяснение основано на быстром росте длины ВВ при $\omega \rightarrow f$. Но такое увеличение происходит лишь в приближении

f -плоскости (оно же "среднеширотное приближение β -плоскости" и "традиционное приближение для силы Кариолиса".) Демонстрируется, что при $w \rightarrow f$ требуется переход к β -плоскости, который ограничивает рост длины волны до величины порядка $L = (gh_n)^{1/2} / f$. (Wunsch C., 1975; Hendershott M., 1981). (здесь $h_n = NH / g \rho^2 \rho^2$ эквивалентная глубина, N -частота плавучести, H -глубина места, g -ускорение свободного падения, $n=1, 2, \dots$ -номер моды). Установленные из экспериментов длины наших полусуточных волн 2-6 км соответствуют первым модам при рассмотрении ВВ на β -плоскости. В конце концов считается возможным процесс, предложенный Хендершоттом (Hendershott M., 1981), по которому ВВ возбуждаются баротропными приливами у неоднородностей рельефа дна выше критической широты, при этом энергия не распространяется и соответствующая внутренняя мода экспоненциально затухает от места генерации.

Затем приводятся сведения о ВВ с периодами 6-8 ч.. из наших измерений и из немногочисленных других работ. Вслед за Бейнсом (Beins P., 1985) высказывается лишь предположение о том, что эти волны являются результатом нелинейного взаимодействия при распространении приливной волны в районы уменьшения глубин, а образование частот таких ВВ интерпретируется как $1/6 \text{ ч} = 2 \times 1/12 \text{ ч}$, $1/8 \text{ ч} = 1/24 \text{ ч} + 1/12 \text{ ч}$.

В заключении перечислены основные итоги проделанной работы.

1. На основании анализа и обобщения имеющегося опыта организации наблюдений ВВ обоснована методика их измерений с дрейфующего льда. По выработанной методике, за период 1983-1989 г.г., в рамках пяти высокоширотных экспедиций проведены измерения ВВ в двух районах ВВПЛ.

2. На основе обработки собственных измерений и с привлечением всех других имеющихся сведений о ВВ в ВВПЛ установлено, что энергия ВВ в таких районах, при прочих равных условиях, всегда меньше, чем в других районах Мирового океана. Показано, что описание фоновой части частотных спектров возможно в рамках моделей Гарретта-Манна и Сабина-Шулепова при специальном выборе безразмерных параметров.

3. Впервые выявлено, что районам бровки шельфа ВВПЛ свойственны самые высокие для таких бассейнов уровни частотных спектров ВВ. Повышенный уровень обусловлен присутствием выделяющихся из общего фона низкочастотных бароклинических волн. Среди этих волн всегда присутствуют колебания с полусуточным периодом. Иногда выделяются суточные, восьмичасовые и шестичасовые волны. Длины таких волн - несколько км. Амплитуда прямо зависит от крутизны рельефа дна и может достигать 10-20 м. При удалении от крутых склонов на расстояние в несколько длин волны, амплитуда заметно уменьшается.

4. Проведено сравнение свойств низкочастотных волн с существующими представлениями об инерционных волнах и о приливных ВВ вблизи критических широт. Сделан вывод о том, что наблюдаемые низкочастотные колебания возникают при взаимодействии неправильного полусуточного баротропного прилива с неоднородностями рельефа дна.

5. В окрестности бровки шельфа ВВПЛ впервые отмечены низкочастотные, чаще полусуточные, колебания энергии короткопериодного диапазона ВВ. Установлено, что повышение энергии связано с приходом в место измерений групп из двух-шести относительно

интенсивных короткопериодных волн первой-второй моды. Амплитуда таких волн 2-4 м, длины 300-800 м, периоды около 1 ч. Они анизотропны по направлению распространения, а их временная перемежаемость 35%.

7. Показано, что анизотропия в распространении групп связана с наличием в районе измерений нескольких областей генерации короткопериодных внутренних волн. Периодические течения, связанные с низкочастотными колебаниями в местах генерации, определяют периодичность появления групп. Определено, что короткопериодные волны в группах линейны уже в 20-40 км от мест генерации.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Гаврилов А. Н., Писарев С. В., Упорин А. Ю. Внутренние волны и флуктуации звука в арктическом море. // 11 Всесоюзн. Акустич. Конф. Сб. докл. М.: АКИН, 1991. (в печати).
2. Писарев С. В. Внутренние волны в море, покрытом льдом. // 9 Всесоюзн. конф. по информ. акустике. Сб. докл. М.: АКИН, 1987. с. 18-22.
3. Писарев С. В. Экспериментальные частотные спектры внутренних волн в высокоширотном бассейне, покрытом льдом. // Океанология. 1988. т. 28. №5. с. 742-747.
4. Писарев С. В. Параметры модельного частотного спектра внутренних волн для высокоширотных акваторий. // 10 Всесоюзн. конф. по информ. акустике. Тез. докл. М.: АКИН, 1990. с. 11.
5. Писарев С. В. Некоторые результаты измерения простран-

венно-временных характеристик внутренних волн в высокоширотном бассейне, покрытом льдом. // Океанология. 1991. т. 31. №1. с. 62-67.

Писарев

Подп. в печ. 14.01.91 г. Тираж 100 экз. Заказ № 436

Централизованная типография ГА "Совзотройматериалов"