

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ ПРИЛИВНЫХ ПЕРИОДОВ И ВОЛНЫ КЕЛЬВИНА В РАЙОНАХ ПОДВОДНЫХ ГОР ГАВАЙСКОГО И ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТОВ

Теоретические исследования [Голубев, 1979; Букатов, Черкесов, 1983; Фомин, Черкесов, 1987] показывают, что взаимодействие короткопериодных внутренних волн с одиночными поднятиями дна характеризуется образованием над вершинами гор локализованных возмущений амплитуды вертикальных смещений. При этом ее величина на границе раздела может на порядок превышать амплитуду набегающей волны на свободной поверхности. При набегаании на гору баротропных приливных волн полусуточного и суточного периодов амплитуда вертикальных смещений границы раздела над препятствием, по теоретическим оценкам должна в 1,5-3,0 раза превышать амплитуду набегающей волны. Трансформация бароклинных приливных волн в области одиночного поднятия характеризуется увеличением амплитуд в 2-3 раза по сравнению с их максимальными значениями за пределами гор.

Анализ натурной информации свидетельствует о реальности резкой интенсификации внутреннего волнения вблизи подводных гор по сравнению с фоновыми условиями, что необходимо учитывать при организации научно-поисковых исследований или промысловых операций в районах срединноокеанических хребтов и одиночных подводных гор [Дарницкий, 1985].

Для анализа использованы данные двадцати трех двух- и трехсуточных станций над вершинами девяти подводных гор Гавайского и Императорского хребтов, выполненных в различные сезоны 1972-1973 гг. с дискретностью наблюдений 2 ч. При этом определены изменчивость температуры, солености, растворенного кислорода, фосфатов и кремнекислоты над вершинами различных по размерам и морфологии подводных гор в верхнем (200-500 м) слое океана. Над горой Лира в 1982 г. выполнена десятисуточная станция.

Опыт работы промыслового флота в Гавайском районе в 70-е годы показал, что на подводных горах, имеющих индивидуальные морфологические особенности, максимальные и средние уловы в течение суток значительно различались вследствие неодинакового поведения косяков рыб (рис.1). Это обусловлено не только биологическими причинами, но и различной активностью волновых процессов, находящихся отражение во внутрисуточном ходе океанографических элементов. Представление о волновых процессах над вершинами

подводных гор дает информация о характере внутрисуточной изменчивости океанологических показателей, измеренных с малой временной дискретностью. Например, на различных по морфологии горах Императорского хребта в придонных горизонтах внутрисуточные колебания температуры могут изменяться от 0,6 до 1,9°. Концентрация кремнекислоты в этом районе изменялась от 17,5 до 370 мкг/л, фосфатов - от 14 до 50 мкг/л.

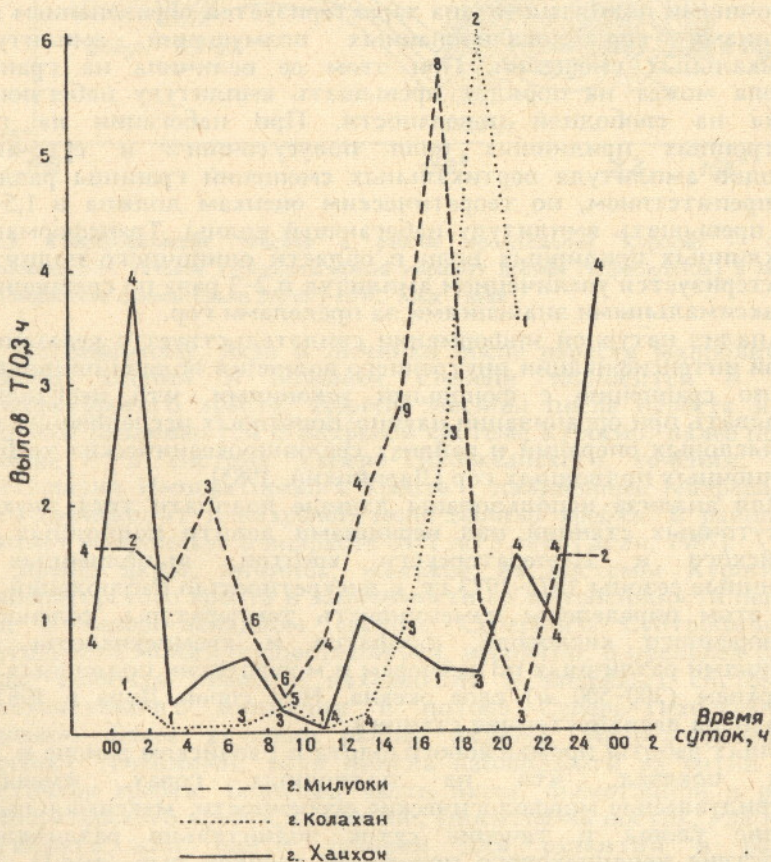


Рис.1. Распределение уловов на различных горах по времени суток в июне-сентябре 1973 г. (цифры на кривых обозначают число тралений)

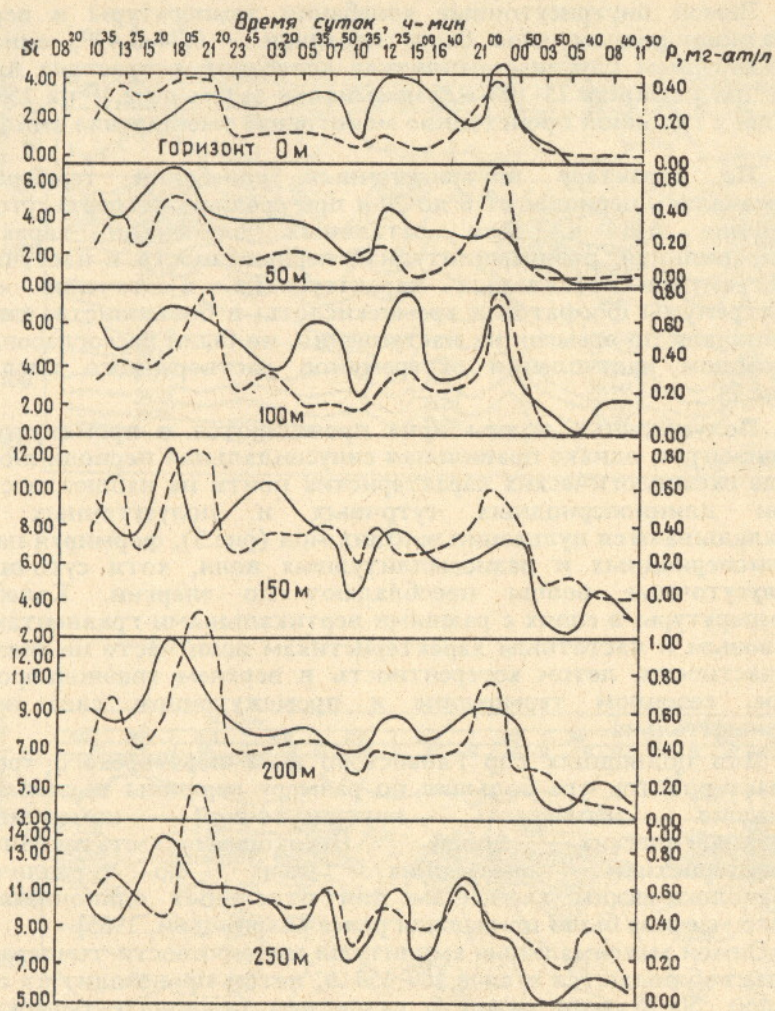
Зимой внутрисуточные колебания температуры в верхнем квазиоднородном слое были невелики - $0,34-0,49^{\circ}$, однако с увеличением глубины амплитуда колебаний возрастала до $2,6-3,4^{\circ}$ на глубинах $75-100 \text{ м}$, уменьшаясь затем до $2,1^{\circ}$ на 150 м , и далее с глубиной происходило монотонное уменьшение амплитуд.

По характеру внутрисуточных колебаний температуры отмечались периоды от 6 до 20 ч при среднем четвертьсуточном периоде 6-8 ч. Для остальных элементов характерна неправильная, разноамплитудная периодичность в наступлении экстремумов отдельных характеристик в течение суток. Экстремумы фосфатов и кремнекислоты в большинстве случаев совпадали по времени их наступления, но были рассогласованы с периодом наступления экстремумов растворенного кислорода (рис.2).

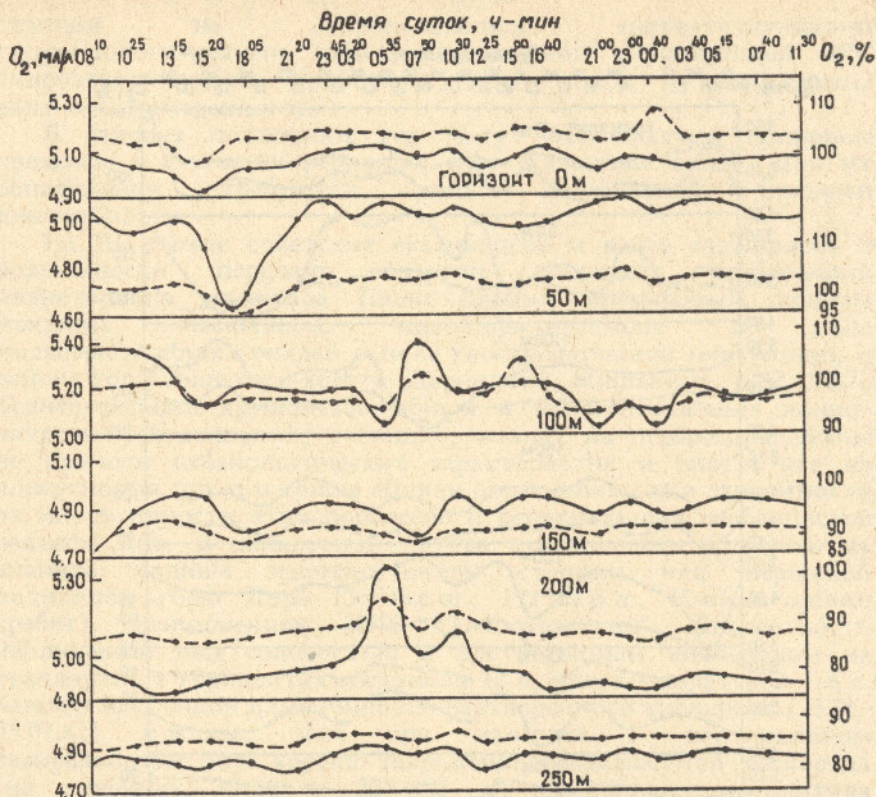
Полусуточные волны ярче проявляются в промежуточных горизонтах, однако правильная синусоидальная периодичность в ходе океанологических характеристик почти не наблюдается. На фон длиннопериодных суточных и полусуточных волн накладываются пульсации высших мод (рис.3), формируя пакеты разнопериодных и разноамплитудных волн, хотя суточные и полусуточные волны преобладают по энергии. Колебания температуры в слоях с разными вертикальными градиентами по фазовым и частотным характеристикам волн часто не связаны, в частности, летом когерентность в верхнем квазиоднородном слое, сезонном термоклине и промежуточном слое весьма незначительна.

Для подводных гор Гавайского и Императорского хребтов характерно то, что большие по размеру вершины вызывают и большие амплитуды внутрисуточной изменчивости океанологических полей. Некоторые статистические характеристики внутренних волн по различным океанологическим элементам для отдельных одиночных гор этого массива были приведены ранее [Дарницкий, 1985].

Зимой максимальные амплитуды изменчивости температуры воды наблюдаются в слое $100-150 \text{ м}$, летом происходит их сдвиг в слой $50-75 \text{ м}$ в связи с развитием сезонного термоклина. Амплитуда внутренних волн возрастает в среднем на порядок над различными горами и изменяется от 10 до 25 м против $1-2 \text{ м}$, характерных для открытого океана в данном регионе. По наблюдениям из подводных аппаратов и по гидроакустической информации в районах подводных гор косяки рыб реагируют на приливные движения вод, изменяя горизонты и свое расположение относительно рельефа дна [Кеменов, 1982; Заферман, 1986; Заферман, Кеменов, 1987].



A



— О₂, мг/л
 - - - О₂, %

Б

Рис.2. Изменение в течение суток количества биогенных элементов (24-27.11.72) (А) и растворенного кислорода (24-26.11.72) (Б) в районе горы Колахан (НПС "Академик Берг")

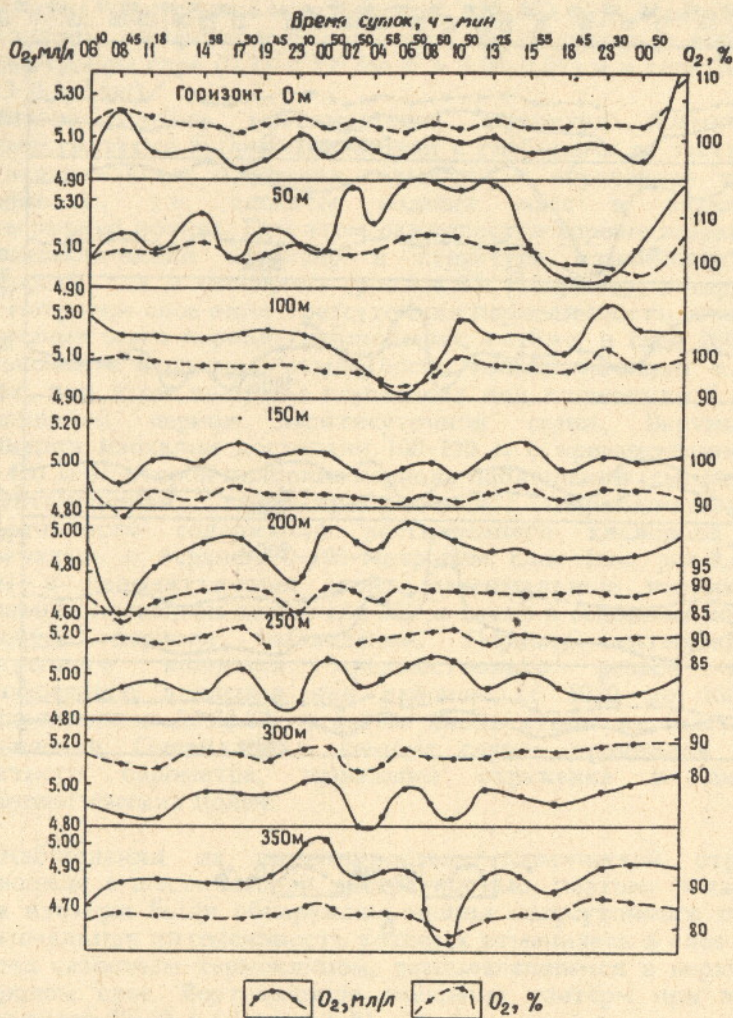


Рис.3. Изменение содержания растворенного кислорода в течение суток в районе горы Камму (10-11.11.72, НПС "Академик Берг")

Приводимая в данном случае информация может восприниматься лишь как ориентировочная относительно характера влияния волновых процессов над вершинами гор на этологию гидробионтов, поскольку суточные гидрологические

станции не сопровождались соответствующими гидробиологическими наблюдениями или регистрацией ЗРС гидроакустическими приборами. Кроме того, не все сезоны охвачены измерениями.

В районах подводных гор могут наблюдаться волновые процессы и больших периодов, чем указанные выше. Для их обнаружения требуются ряды наблюдений большей длительности.

На III съезде советских океанологов и ранее сообщалось о возможности передачи энергии волновых возмущений планетарного масштаба (волн Россби) шельфовым волнам меньших масштабов, идентифицируемым в виде мелкомасштабных вихрей в поле геострофической циркуляции в районе гор Гавайского хребта [Дарницкий, Мишанина, 1982, 1987]. Трансформация крупномасштабных и мезомасштабных волновихревых образований, очевидно, влияет на перераспределение во времени океанологических характеристик и биоты как на поверхности, так и в толще вблизи подводных гор в зависимости от интенсивности этих процессов и региональных особенностей рельефа дна. В конкретном случае исследование основано на анализе данных десятисуточной станции над вершиной подводной горы Лира ($36^{\circ}48'$ с.ш., $171^{\circ}22'$ в.д., Императорский хребет), выполненной НПС "Тихоокеанский". Дискретность наблюдений над соленостью и растворенным кислородом на стандартных горизонтах составила 12 ч, над температурой - 6 ч. Анализ временной изменчивости растворенного кислорода (23.06-03.07.82) показал, что при наличии в вертикальном распределении двух хорошо выраженных максимумов кислорода (на глубинах 30-50 и 200-300 м) наибольшая амплитуда изменчивости (0,75-1,32 мл/л при среднеквадратическом отклонении $\sigma = 0,18-0,28$) наблюдалась в верхнем 50-100-метровом слое. Второй максимум амплитуды (0,56-0,60 мл/л, $\sigma = 0,13-0,18$) отмечался в слое 300-400 м. На горизонте 200 м наблюдался третий максимум амплитуды изменчивости (0,65 мл/л, $\sigma = 0,12$). Несовпадение максимумов амплитуды изменчивости кислорода по вертикали со слоями их климатических экстремумов на вертикальных профилях объясняется вертикальными сдвигами водных масс с их экстремальными значениями вдоль склонов подводной горы под воздействием волновых процессов - топографических волн Россби и захваченных волн Кельвина [Ефимов и др., 1985].

Вертикальная халинная структура в районе горы Лира характеризуется двумя экстремумами, связанными с повышенной соленостью на поверхности ($34,6-34,9^{\circ}/\text{оо}$) в первом случае и во втором - с наличием опресненного слоя вод пониженной солености, характерного для субарктической

структуры (34,02-34,13⁰/оо) на глубинах 400-700 м (ядро минимума приурочено к глубинам 450-650 м). Максимальные амплитуды изменчивости солености наблюдались в верхнем 0-100-метровом слое (0,23-0,29⁰/оо, $\sigma = 0,06-0,07$) и в слое 200-300 м (0,19-0,23⁰/оо).

Диапазон глубин максимальных амплитуд изменчивости солености также был рассогласован с глубинами ее экстремумов на вертикальных профилях солености и обусловлен теми же причинами, т.е. сдвигом водных масс в захваченных топографией волнах. При этом оказывается хорошо выраженным квазициклический характер в структуре изменчивости как солености, так и кислорода (рис.4,А,Б). Например, в верхнем 0-100-метровом слое одно-трехсуточная периодичность отмечалась в течение всего периода наблюдений; глубже, в слое 200-400 м, интенсивное волнение отмечалось, только начиная с пятых суток, при этом выбросы глубинных вод произошли 3 раза за оставшийся период десятисуточной серии. Вертикальные смещения изохалин достигали 100-110 м в промежуточном слое 100-400 м во второй половине периода наблюдений (см. рис.4,А).

Интенсивная одно-трехсуточная периодичность в изменчивости содержания растворенного кислорода также отмечалась в верхнем 0-100-метровом слое (см. рис.4,Б), при этом в промежуточных слоях максимальные вертикальные смещения изоксиген достигали 300 м также в основном во второй половине периода наблюдений. Периоду интенсификации внутреннего волнения предшествовало резкое падение атмосферного давления над районом (с 1020 до 1005 ммб), наблюдавшееся 26.06.82, и затем вновь столь же быстрое его повышение. Очевидно, в данном случае проявился эффект обратного барометра, нашедший отражение в динамике океанологических полей.

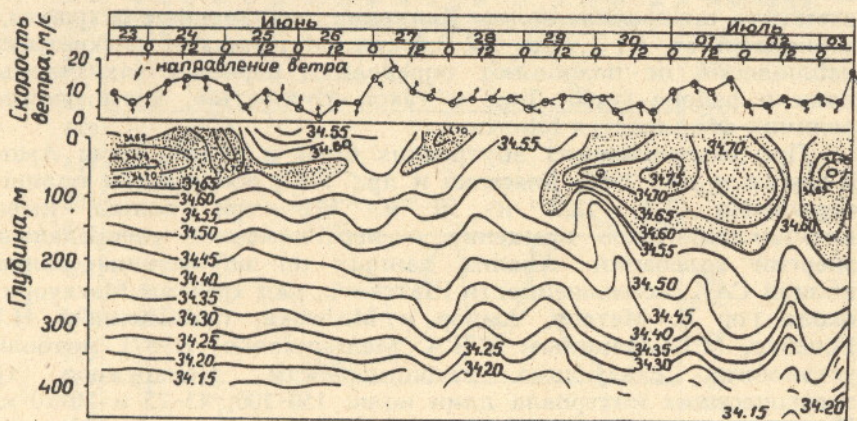
Наблюдения за изменчивостью термической структуры проводили с шестичасовой дискретностью, поэтому в характере хода изотерм были обнаружены волны полусуточного периода, максимальная интенсивность которых отмечалась в слое 200-400 м, под сезонным термоклином, располагавшимся в верхнем 50-метровом слое. Вертикальное смещение изотерм при этом не превышало 30-50 м (см. рис.4,В).

Характер изменчивости океанологических характеристик свидетельствует о том, что происходит перераспределение волновой энергии между отдельными типами волновых движений, в том числе приливными волнами различных периодов, что затрудняет идентификацию волновых движений различных мод в "чистом" виде.

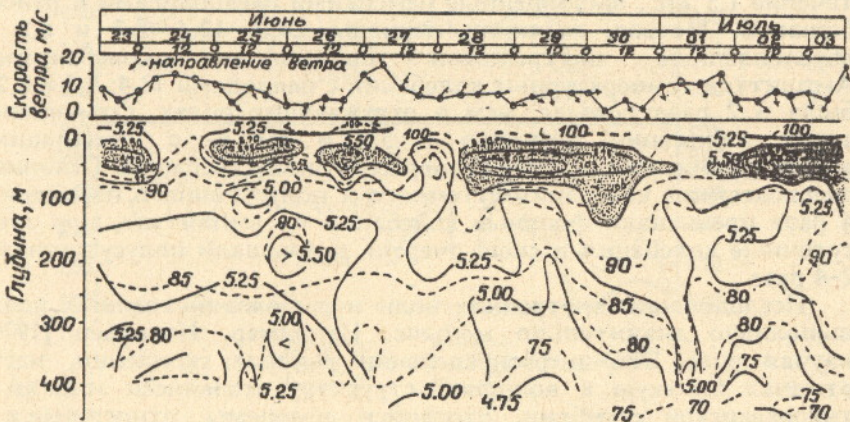
Непрерывные в течение девяти месяцев регистрации температуры и течений у Бермудских островов позволили отметить внутренние волны Кельвина, захваченные островом, с периодами от 1,1-1,9 до 2,2-3,8 сут. Методика и дискретность наблюдений не позволяют определить периоды захваченных волн в районе горы Лира с такой точностью, хотя порядок величин оказывается близким.

При исследованиях внутренних волн в районе горы Ампер [Голубев и др., 1986; Власенко и др., 1987] обнаружены волны с периодами 7,3; 12,2 и 50 ч. Все три волны имели антициклоническое вращение и неравномерное распределение энергии колебаний. Анализ данных по внутренним волнам вблизи САХ, возвышенности Шатского, над хребтом Маккуори и около гор Б. Метеор, Ампер и Милуоки, проведенный Н.Н. Голенко, М.Б. Ильиным и В.А. Мельниковым [1987], позволил установить следующие закономерности. Обнаружено три энергонесущих интервала длин волн: 150-100; 45-25 и 20-10 км. Первому интервалу соответствуют волны длиной 120 км и высотой 50 м, характерные для склонов срединноокеанических хребтов; второму - предположительно стоячие внутренние волны с длиной порядка характерного масштаба рельефа дна. Третий интервал (20-10 км) характерен для одиночных подводных гор и выражается скачкообразным колебанием изотерм, достигающим 100 м. Полусуточная частота этих колебаний связывается с трансформацией длинных полусуточных волн. Наблюдения в течение 1,5 мес., выполненные немецкими океанологами в районе банки Б. Метеор, выявили периоды 24,0; 12,4; 8,3 и 6,2 ч, обусловленные внутренними приливными колебаниями. Амплитуда температурных колебаний с периодами 12,4; 8,3 и 6,2 ч была в 2 раза больше, чем в окружающих водах. Отмечались также наложения периодов в 5,0 и 4,1 ч, с меньшими амплитудами, чем основные энергонесущие колебания. Основные энергонесущие колебания суточного и полусуточного периодов в 4 раза превышали фоновые колебания по амплитуде, при этом суточные колебания в свою очередь превышали полусуточные в 2-4 раза.

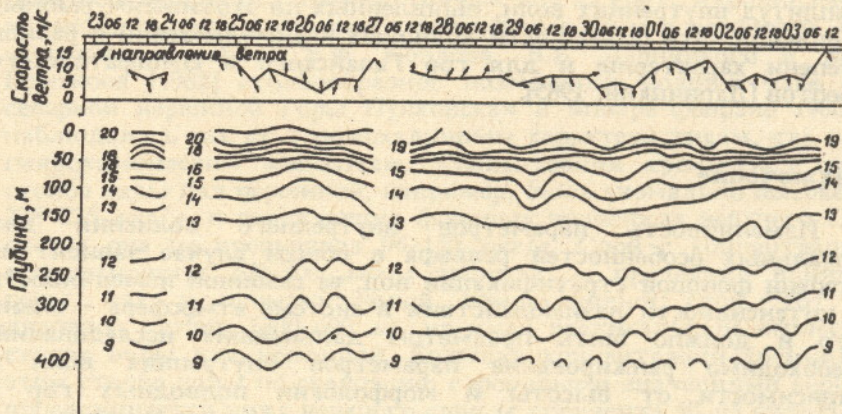
Исследований внутренних волн в рыбохозяйственных целях выполнено значительно меньше. Например, Николаев [1979], изучая роль ЗРС в распределении рыбных скоплений, часто отмечал близкую к волновой структуру эхозаписей минтая и тихоокеанской скумбрии. Эхозаписи лемонемы, относящейся к глубоководным объектам промысла, также имеют волнообразную форму. Подобные типы вертикального распределения рыб трудно объяснить чем-либо другим, кроме влияния внутренних волн. Аналогичные эхозаписи были типичны для кабан-рыбы на возвышенностях Гавайского



A



B



В

Рис.4. Временные изменения солёности и ветра (А), содержания растворенного кислорода, насыщения и ветра (Б), а также температуры и ветра (В) на десятисуточной станции в районе горы Лиры (НПС "Тихоокеанский").

хребта. Волновая структура экзозаписей указанных рыб нарушалась в периоды утренних и вечерних миграций гидробионтов, за исключением миктофид, у которых она сохранялась даже во время вечернего подъема.

Для большинства рыб, находящихся в пелагиали, отмечена волнистость экзозаписей лишь по верхней кромке их скоплений. У скумбрии и лемонемы она хорошо прослеживается и по нижнему контуру экзозаписей, что может быть свидетельством узкой локализации слоя этих рыб. По наблюдениям А.С. Николаева [1979], амплитуда, длительность и длина внутренних волн, "качающих" скопления рыб, составляли соответственно 23-73 м; 0,6-45 мин; 160-1480 м; скорость распространения внутренних волн - 0,3-0,7 и 4,0-6,3 м/с. Как и в районе Гавайского и

Императорского хребтов, замечена сезонная неоднозначность амплитуд внутренних волн, выявленных по эхозаписям рыбных скоплений. Эти особенности волновых взаимодействий в разной степени характерны и для гор Гавайского и Императорского хребтов [Дарницкий, 1985].

Заключение

Изменчивость параметров внутреннего волнения для локальных особенностей рельефа в общем случае зависит от степени фоновой стратификации вод, ее сезонной изменчивости и интенсивности взаимодействия в системе атмосфера - океан, что и должно быть предметом дальнейших исследований. Необходимо ранжирование параметров внутренних волн в зависимости от высоты и морфологии подводных гор в различных физико-географических районах океанов и морей.

Список использованной литературы

Букатов А. Е., Черкесов Л. В. Волны в неоднородном море. - Киев: Наукова думка, 1983. - 223 с.

Власенко В. И., Голубев Ю. Н., Фомин В. В., Черкесов Л. В. Генерация внутренних волн в районах неоднородностей рельефа дна // III съезд советских океанологов. Ветровые, внутренние, приливные волны; волны цунами: Тезисы докладов. - Л., 1987. - С.49-51.

Голенко Н. Н., Ильин М. Б., Мельников В. А. Влияние рельефа дна на полусуточные внутренние волны // III съезд советских океанологов. Ветровые, внутренние, приливные волны; волны цунами: Тезисы докладов. - Л., 1987. - С.66-67.

Голубев Ю. Н. О генерации внутренних волн приливных периодов одиночными возвышениями дна // Поверхностные и внутренние волны. - Севастополь, 1979. - С.163-172.

Голубев Ю. Н., Груздь А. В., Черкесов Л. В. О параметрах низкочастотных внутренних волн над горой Ампер по данным буксируемого комплекса // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. - М., 1986 / Рукоп. депон. в ВИНТИ 22.07.86, N 5401-В/.

Дарницкий В. Б. Некоторые причины изменчивости био- и рыбопродуктивности в мезопелагиали (вблизи подводных гор) // Изучение и рациональное использование биоресурсов открытого океана / Рыбы мезопелагиали. - М.: ВНИРО, 1985. - С.102-123.

Дарницкий В. Б., Мишанина Е. И. К вопросу о топографических волнах Россби в районе Гавайского подводного хребта // Труды ДВНИИ. - 1982. - Вып.96. - С.26-33.

Дарницкий В. Б., Мишанина Е. И. О генерации волн Россби в районах подводных гор и возвышенностей. // III съезд советских океанологов. Течения, синоптические и мезомасштабные вихри: Тезисы докладов. - Л., 1987. - С.66-67.

Ефимов В. В., Куликов Е. А., Рабинович А. Б., Файн И. В. Волны в пограничных областях океана. - Л.: Гидрометеониздат, 1985. - 280 с.

Заферман М. Л. О поведении тупорылого макруруса по данным подводных наблюдений // Подводные рыбохозяйственные исследования. - Мурманск, 1986. - С.5-14.

Заферман М. Л., Кеменов В. Е. Динамика вод и поведение рыб // III съезд советских океанологов. Биология океана; Тезисы докладов. Ч. II. - Л., 1987. - С.16-17.

Кеменов В. Е. Прогнозирование горизонтальных миграций макруруса на банках Срединно-Атлантического хребта как основа системного ведения промысла // II Всесоюзный съезд океанологов: Тезисы докладов. - Вып.5, Ч.2. - Севастополь, 1982. - С.65-66.

Николаев А. С. Влияние внутренних волн на вертикальное распределение рыбных скоплений // Рыбное хозяйство. - 1979. - N 6. - С.102-123.

В.Б. Дарницкий (ТИНРО)

ВИХРИ ТЭЙЛОРА В РАЙОНЕ ГОРЫ ПУЛКОВСКАЯ, ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВБЛИЗИ ГОР ЭЛТАНИН, БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ

Физическая природа и идентификация вихрей Тэйлора рассматривались в литературе и ранее [Дарницкий, 1979, 1980; Козлов и др., 1982]. Период существования топографических вихрей Тэйлора может быть различным [Козлов и др., 1983; Зырянова, 1985].

Предпринимались попытки определения циркуляции топографических вихрей и длительности их существования в районах некоторых подводных гор ЮЗТО [Дарницкий, 1978, 1979;