

А.Н.Серебряный*, В.А.Иванов**

**Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева, г.Москва*

***Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

ТРИДЦАТЬ ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ МОРСКОГО ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НАН УКРАИНЫ

Представлен обзор экспериментальных исследований внутренних волн, проведенных с океанографической платформы Морского гидрофизического института НАН Украины со дня ее ввода в эксплуатацию до настоящего времени.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *внутренние волны, нелинейные волны, солитоны, инерционные волны, течения, сгонно-нагонные процессы, фронты, шельф.*

Стационарные платформы в море используются для проведения долгосрочных океанографических наблюдений, в том числе измерений внутренних волн, достаточно давно. По-видимому, первой из них была океанографическая платформа Электронной лаборатории ВМС США, расположенная на тихоокеанском побережье у берегов Калифорнии. С этой платформы были проведены первые детальные экспериментальные исследования короткопериодных внутренних волн [1]. В СССР в 70-е гг. на протяжении ряда лет велись активные исследования внутренних волн со свайного основания, расположенного в шельфовой зоне Каспийского моря. К этому времени было предложено новое устройство для измерений внутренних волн – распределенный датчик температуры, зарекомендовавший себя в последующем как эффективное средство исследования пространственно-временных характеристик короткопериодных внутренних волн в океане и морях [2]. Измерения на платформе велись с помощью пространственных антенн распределенных датчиков температуры, которые позволяли с хорошей точностью определять основные параметры внутренних волн и вычислять их пространственные спектры [3, 4]. Измерения на каспийской платформе проводились группой сотрудников Акустического института под руководством К.В.Коняева. Мы принимали в этих работах непосредственное участие, поэтому к моменту ввода в строй океанографической платформы Морского гидрофизического института (МГИ) НАН Украины обладали достаточным опытом «платформенных» измерений внутренних волн и понимали необходимость продолжения их измерений с новой платформы в Черном море. Заметим также, что в 1979 г. нами были проведены долговременные измерения внутренних волн в Черном море с платформы на шельфе в северо-западной части моря [5].

Возможность проведения продолжительных наблюдений с платформ позволила нам не только достаточно детально изучить параметры и свойства короткопериодных внутренних волн, но и выявить ситуации, ведущие к появлению на шельфе интенсивных внутренних волн. Существенной особенностью исследований в замкнутых морях, таких как Черное и Каспий-

© А.Н.Серебряный, В.А.Иванов, 2010

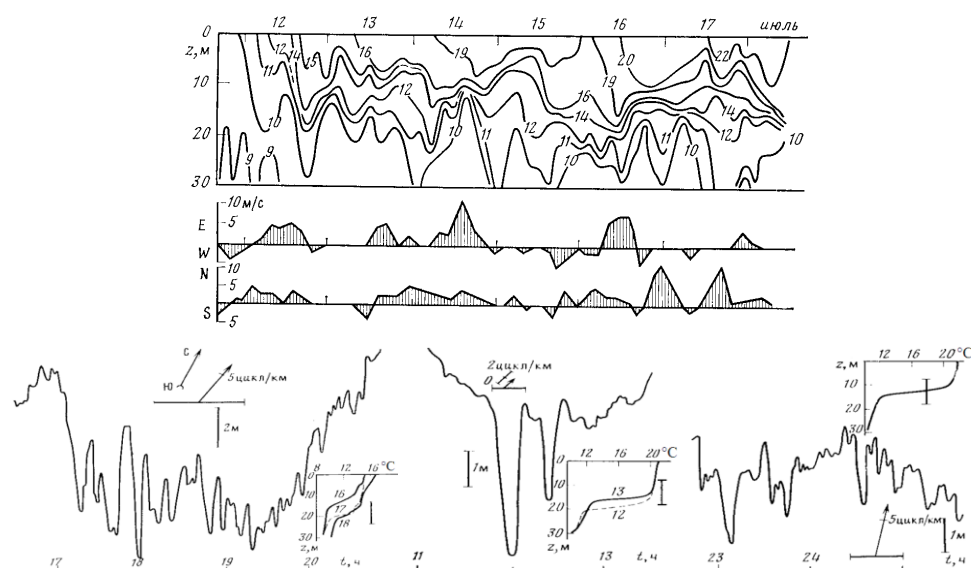
ское, является почти полное отсутствие здесь приливов, что дает возможность наблюдать различные неприливные механизмы генерации внутренних волн на шельфе. В условиях океанского шельфа данные механизмы безусловно также «работают», внося свой вклад во «внутриволновой континуум», но генерация интенсивных внутренних волн, выходящими на шельф внутренними приливами существенно затрудняет их наблюдение, если не делает его невозможным вообще, вследствие регулярности и большой интенсивности приливного механизма. Вследствие того, что платформы, с которых проводились наши наблюдения, располагались в существенно различных местах (по типам шельфов, преобладающим течениям и другим особенностям) это дало возможность нам выявить несколько разных механизмов генерации внутренних волн. Во время измерений со стационарной платформы в северо-западной части Черного моря наблюдалась генерация интенсивных внутренних волн движущейся над термоклином поверхностной интрузией распресненных вод [5]. По результатам измерений с океанографической платформы МГИ были выявлены новые процессы, ответственные за генерацию интенсивных внутренних волн на шельфе, а именно, выход в прибрежную зону квазиинерционных внутренних волн, а также подход в прибрежную зону локальных термохалинных фронтов сгонно-нагонного происхождения. Поскольку данная статья носит характер обзора достижений в экспериментальных исследованиях внутренних волн, полученных на океанографической платформе МГИ, мы начнем наш обзор с более детального рассмотрения двух последних результатов наблюдений 1981 г., а также рассмотрим все значительные результаты, полученные в последующее время.

В 1981 г. были проведены первые измерения пространственно-временных характеристик внутренних волн с платформы МГИ в пгт.Кацивели [6]. Измерения были долговременными (с июня по октябрь), в это время велась регистрация вертикальных смещений термоклина с помощью пространственной антенны из четырех распределенных датчиков температуры десятиметровой длины, расположенных по углам верхней палубы платформы. Также проводились измерения другими приборами: гидрологический зонд (Исток-5), измерители течений МГИ 1302, метеокомплекс. В результате проведенных наблюдений были получены не только первые данные о параметрах внутренних волн у приглубого шельфа, преобладающей направленности движения цугов внутренних волн, частоте их появления и др., но, как уже упоминалось ранее, были выявлены два процесса, ответственные за появление в прибрежной зоне интенсивных внутренних волн. В целом полученные в 1981 г. результаты о внутренних волнах имели фундаментальный характер, их актуальность сохраняется до настоящего времени.

Генерация нелинейных внутренних волн фронтами сгонно-нагонного происхождебния. Случаи генерации нелинейных внутренних волн фронтами сгонно-нагонного происхождения многократно отмечались за весь период измерений с платформы в 1981 г. Динамика вод прибрежной зоны у платформы во многом определяется направлением и силой господствующих ветров, смена их направлений при условиях узкого приглубого шельфа вызывает быструю реакцию в виде подъема глубинных вод при

сгоне, либо опускание теплых поверхностных вод при нагоне [7]. В период исследований 1981 г. преобладали ветры северных и восточных румбов. Восточные ветры являются нагонными, а западные – сгонными. Продолжительные измерения внутренних волн позволили проследить за вертикальными движениями термоклина в самых различных гидрометеорологических ситуациях. Сопоставление с метеорологическими данными показало, что усиление интенсивности короткопериодных внутренних волн тесно связано с периодами сгонов и нагонов. Характер внутренних волн при сгонах и нагонах проиллюстрируем на примере действия наиболее продолжительного сгона с 6 по 12 июля 1981 г. (рис.1). В процессе сгона, вызванного сильным западным ветром, термоклин, первоначально находившийся в середине водной толщи, сначала сгладился, а затем вышел на поверхность. 11 июля западный ветер сначала ослабел, а затем сменился на восточный, после чего стало происходить постепенное восстановление стратификации. 12 июля в 14.00 температура в поверхностном слое стала повышаться, при этом изотермы 10 – 14 °С за час заглубились на 10 м. Через два часа сформировавшийся термоклин вновь резко опустился, и на нем появились движущиеся к берегу интенсивные внутренние волны (рис.1).

Размах колебаний термоклина достигал 5 – 6 м, периоды 5 – 15 мин. В последующие дни преобладал северо-восточный ветер, создававший дополнительный нагон теплых вод, подход которых сопровождался новыми резкими опусканиями термоклина и интенсивными внутренними волнами с характерной формой волн-углублений (обостренные подошвы и сглаженные гребни) также движущихся к берегу.



Р и с . 1. Генерация нелинейных внутренних волн подходящими в прибрежную зону фронтами сгонно-нагонного происхождения: разрез поля температуры по глубине и времени после сильного сгона, закончившегося 11 июля 1981 г. (вверху). Восстановлению стратификации способствовали непродолжительные нагонные ветры (составляющие которых показаны под разрезом); примеры цугов нелинейных внутренних волн, порожденных подходящими в прибрежную зону фронтами (внизу).

Генерация внутренних волн квазиинерционными внутренними волнами. Другой пример интенсификации поля внутренних волн на шельфе связан с генерацией нелинейных внутренних волн квазиинерционными внутренними волнами, зарегистрированными в прибрежной зоне Черного моря [6]. В конце августа 1981 г. погода над акваторией Черного моря определялась действием обширного циклона. Прохождение холодного атмосферного фронта сопровождалось значительным усилением ветра до 15 м/с с поворотом с юго-запада на северо-запад. Сильный северо-западный ветер в тыловой части циклона 29 августа вызвал кратковременный сгон: за 8 часов поверхностная температура понизилась с 22 до 14 °С. После прохождения циклона в течение 7 – 8 суток наблюдались вертикальные колебания термоклина с периодом, близким к локальному инерционному периоду – 17,2 ч (рис.2). Колебания термоклина достигали размаха 25 м при глубине места 30 м. Все это время термоклин был, как правило, резким с градиентом до 0,5 °С/м. Возрастание градиентов было привязано к моментам прижатия термоклина ко дну – подошвам длиннопериодных волн. Последующие поднятия термоклина сопровождалось его «растяжением» по вертикали. Течения в этот период были вдольбереговые западные – юго-западные: у дна незначительные, а на горизонтах 5 и 15 м около 0,30 – 0,40 м/с. Усиление западного течения происходило одновременно с прижатием термоклина ко дну. Средний вдольбереговой поток, направленный на запад, усиливался при совпадении с инерционным потоком и ослабевал в случае несовпадения. К моментам изменения интенсивности течения были приурочены появления на термоклине интенсивных короткопериодных внутренних волн. На рис.2. показан пример записи заднего и переднего склонов внутренней инерционной волны. Подход переднего склона сопровождался нелинейными внутренними волнами высотой до 6 м.

Возникновению колебаний термоклина в прибрежной зоне с инерционным периодом можно дать следующую трактовку. Колебания в поле ветра возбуждают инерционные колебания вектора скорости дрейфового течения. Вектор скорости течения в верхнем квазигомогенном слое совершает вращение по часовой стрелке, вызывая нагон, когда он направлен в сторону берега, и сгон при смене направлений течения на противоположное. Подход фронтов сгонно-нагонного происхождения в свою очередь генерирует интенсивные короткопериодные волны.

Измерения, проводимые в 90-е гг. Описанные выше ситуации, ведущие к генерации интенсивных внутренних волн, были подтверждены в проведенных позже независимых наблюдениях других авторов. Так в специальном исследовании, проведенном с платформы летом 1992 и 1993 гг., посвященном изучению развития апвеллинга в прибрежной зоне, отмечена так называемая конечная фаза процесса, которая наступает через несколько часов после того как, стихает сгонный западный ветер. Согласно авторам [8], в это время вдольбереговое восточное течение меняет направление на противоположное и со стороны Ялты подходят теплые воды, опуская слой температурного скачка (происходит даунвеллинг). Также в этот период появляются, непрерывно идущие одна за другой, интенсивные уединенные внутренние волны, которые имеют «направленный вниз гребень». Высоты этих волн достигают 5 – 7 м, а иногда 10 – 12 м. Орбитальные скорости волновых движений

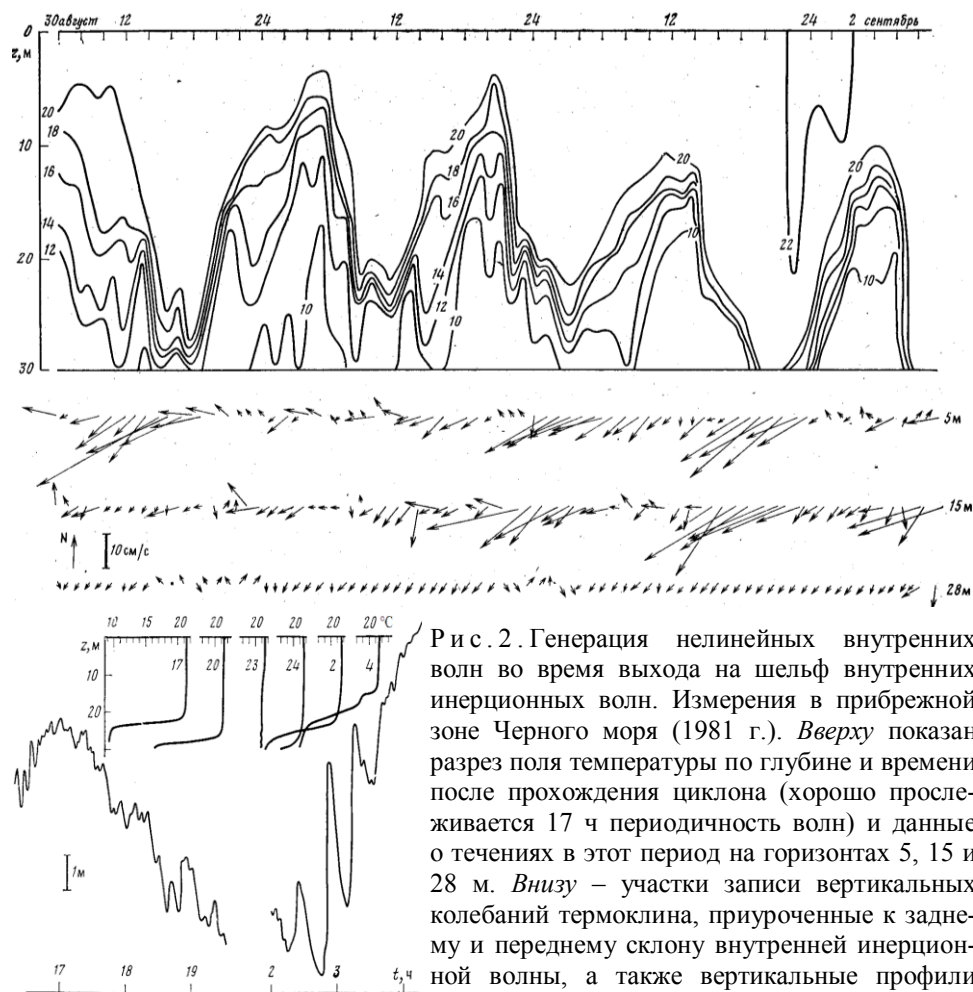


Рис. 2. Генерация нелинейных внутренних волн во время выхода на шельф внутренних инерционных волн. Измерения в прибрежной зоне Черного моря (1981 г.). Вверху показан разрез поля температуры по глубине и времени после прохождения циклона (хорошо прослеживается 17 ч периодичность волн) и данные о течениях в этот период на горизонтах 5, 15 и 28 м. Внизу – участки записи вертикальных колебаний термоклина, приуроченные к заднему и переднему склону внутренней инерционной волны, а также вертикальные профили температуры в характерные моменты времени.

высоки, ее вертикальные компоненты достигали величин в несколько см/с. Временные интервалы между прохождениями двух последовательных уединенных внутренних волн составляют 15 – 25 мин. Наблюдения за изменчивостью температурной структуры водной толщи в этом эксперименте проводились с помощью термогирлянды, содержащей 27 датчиков температуры (длина каждого термодатчика около 1 м, дискретность опроса датчиков составляла 40 с). На рис.3 показана трехчасовая запись термогирлянды во время прохода под платформой группы интенсивных уединенных внутренних волн. Головная волна в группе имеет наибольшую высоту: 7 м. Изо-

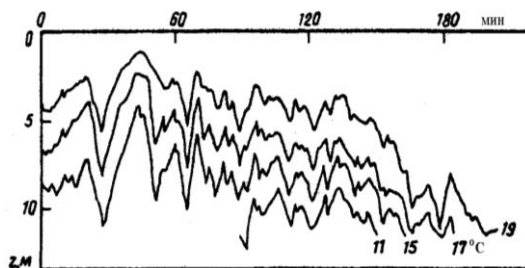
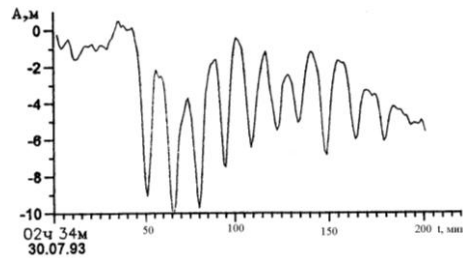


Рис. 3. Группа уединенных внутренних волн, зарегистрированная в период даунвеллинга после окончания длительного действия сгонного ветра. Измерения с платформы термогирлянды в 1992 г. [8].

термы от 11 до 19 °С при прохождении группы волн совершают синхронные колебания, что свидетельствует об их принадлежности к первой моде.

Проведенные в июле – августе 1993 г. длительные измерения внутренних волн [9] установленной на платформе антенной из трех градиентно-распределенных датчиков температуры (распределенные датчики, дополненные на верхнем и нижнем конце точечными датчиками температуры), а также комплексом приборов для регистрации фоновых условий (зонд МГИ 4113, измерители течений МГИ 1308 на трех горизонтах и др.) также подтвердили репутацию «периода после сгона», как время появления в прибрежной зоне моря интенсивных внутренних волн. В этих экспериментах были зарегистрированы цуги интенсивных короткопериодных внутренних волн высотой около 10 м, причем была выявлена периодичность их появления, близкая к 17 ч, т.е. локальному инерционному периоду. Авторами было высказано предположение, что причиной генерации этих аномально высоких внутренних волн было поперекбереговое меандрирование струи ОЧТ с инерционной частотой, вызванное предшествовавшим сильным сгоном. На рис.4 приведен пример записи цуга

интенсивных короткопериодных внутренних волн от 30 июля 1993 г. [9]. Показаны вертикальные смещения термоклина в толще воды между горизонтами 6 и 26 м, полученные после нормировки записи распределенного датчика температуры на вертикальный температурный градиент. Согласно данным [9], цуг был приурочен к подходу переднего фронта квазиинерционной внутренней волны, в связи с чем, с его появлением среднее положение термоклина смещалось вверх из придонного положения. Это значит, что представленный на рис.4 цуг был подобен в основных чертах цугу на рис.2 и также состоял из волн с обостренными гребнями и выположенными подошвами, т.е. волн-возвышений, которые обычно наблюдаются на придонном термоклине.



Р и с . 4 . Цуг интенсивных внутренних волн, зарегистрированный при подходе переднего фронта квазиинерционной внутренней волны. Измерения с платформы градиентно-распределенным датчиком температуры в 1993 г. [9].

Поверхностные проявления внутренних волн. Первые наблюдения связи сликовых полос у платформы с внутренними волнами. Все без исключения случаи наблюдения вышеописанных интенсивных внутренних волн сопровождалось поверхностными проявлениями в виде чередующихся на морской поверхности полос выглаженной воды (сликов) и ряби. Однако первая работа, показавшая на связь сликовых полос, проходящих через платформу МГИ с внутренними волнами [10] была сделана на материале не таких интенсивных волн. При проведении измерений на платформе в 1981 г. мы неоднократно наблюдали в дневное время при тихой погоде на поверхности моря протяженные, как правило, параллельные берегу полосы гладкой воды, разделенные рябью. Обычно следовало 2 – 3 хорошо различимых полосы шириной 10 – 20 м на расстоянии 30 – 60 м друг от друга.

При прохождении под платформой зон ряби и выглаженной воды распределенные датчики температуры регистрировали вертикальные колебания термоклина. На рис.5 приведен пример записи колебаний термоклина в момент прохождений сликовых полос. Удалось сопоставить визуальные наблюдения прохождения сликовых полос под платформой с записью колебаний термоклина. Было выявлено, что прохождению слика соответствует уход термоклина вниз, т.е. передний фронт внутренней волны-углубления. Эта особенность указывает на «пленочный механизм» образования сликовых полос внутренними волнами. Для сравнения можем упомянуть, что этой фазе внутренней волны в случаях волн больших

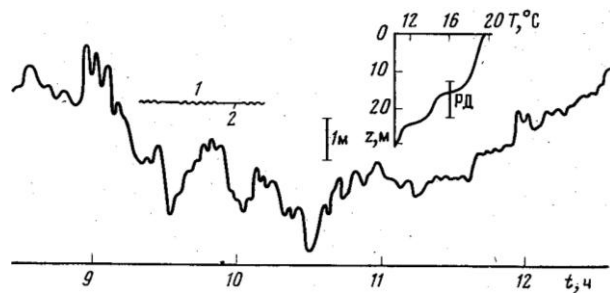


Рис. 5. Пример записи колебаний термоклина при прохождении внутренних волн, сопровождающихся сликовыми полосами на поверхности моря 27 июня 1981 г. Выделены участки записи, где сликовые полосы были выражены наиболее сильно: рябь (1), слик (2).

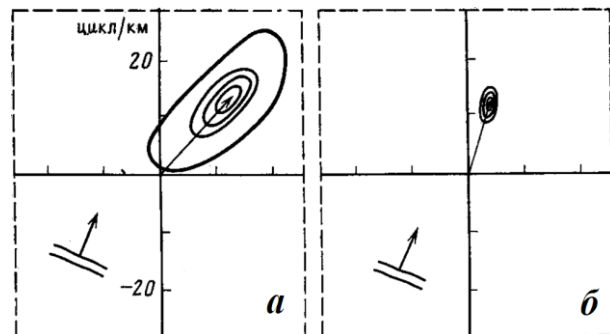


Рис. 6. Пространственные спектры внутренних волн, сопровождавшихся сликовыми полосами на поверхности моря (27 (а) и 28 (б) июня). Временная частота анализа спектров 4,17 мГц. В левых нижних углах показано направление движения сликов.

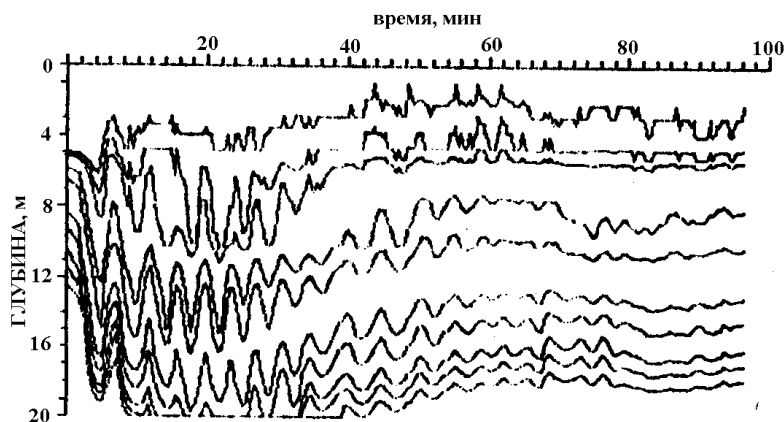
амплитуд на поверхности океана обычно сопутствует полоса сулоя (усиленного поверхностного волнения), что указывает на «кинематический механизм» образования сликов. Вызвавшие слики внутренние волны имели относительно небольшие высоты (от 0,8 до 2 м). На рис.6 приведены примеры пространственных спектров внутренних волн, сопровождающихся сликами. Пространственный спектральный анализ дает направление движения внутренних волн, которое можно сопоставить с направлением движения сликов. Отмечено совпадение направленности движения сликов и внутренних волн.

Сликовые полосы 10 июля 1991 г. По-видимому, наиболее впечатляющий эффект, произведенный внутренними волнами вблизи платформы МГИ в виде их поверхностных проявлений, имел место 10 июля 1991 г. Тогда в дневное время (после полдня) поверхность моря оказалась покрыта хорошо различимой системой сликовых прямолинейных полос, подходящих к платформе широким фронтом с мористой стороны. Эта картина была хорошо видна с берега из пгт.Кацивели. Система сликовых полос с длинными фронтами двигалась от горизонта под углом к берегу в течение 1,5 ч [11]. Удалось зарегистрировать параметры внутренних волн, производших

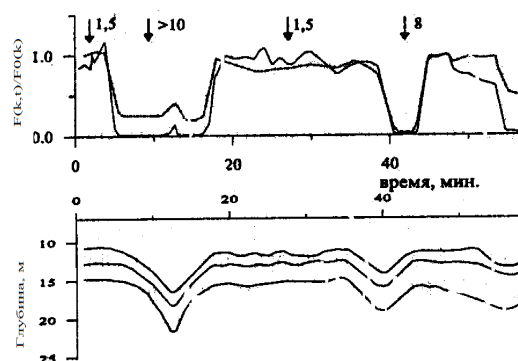
столь впечатляющую картину, с помощью гирлянды из шести температурных резистивных датчиков, установленной на платформе. Регистрация данных велась на горизонтах 1, 5, 10, 15, 20 и 25 м с дискретностью 24 с. Полученные термогирляндой данные позволяют восстановить картину происшедшего явления и понять, что подход сликовых полос сопровождался проходом резкого фронта теплой воды. За 2 мин температура поднялась: на горизонте 20 м – с 8 до 11 °С, на горизонте 10 м – с 10,5 до 22,6 °С, на горизонте 5 м – с 16 до 25 °С. Прохождение теплого фронта совпало с прохождением цуга интенсивных внутренних волн. В цуге было 11 волн. Периоды волн около 5 мин. Максимальные температурные колебания под действием внутренних волн были на горизонте 15 м. Авторами с помощью линейной интерполяции были рассчитаны глубины залегания изопикн во время прохождения цуга (рис.7). Откуда мы видим, что цуг волн состоял из волнуглублений (по крайней мере, это относится к нескольким головным волнам). Первая и вторая головные волны имели высоты 8 и 6 м. При прохождении цуга все слои столба жидкости от поверхности до дна совершали синхронные колебания, что свидетельствует о присутствии первой моды колебаний.

Относительно причин возникновения этого цуга интенсивных волн авторы сообщают, что перед его появлением в предыдущие три дня было отмечено усиление колебаний температуры с инерционным периодом, а также усиление среднесуточной скорости ОЧТ на траверзе пгт.Кацивели и повышение атмосферного давления.

Результаты наиболее полных исследований по выявлению связи внутренних волн со сликовыми полосами на поверхности моря у платформы были проведены в экспериментах, отраженных в публикациях [12, 13]. Преимущество вышеупомянутых экспериментов было в возможности одновременных измерений характеристик внутренних волн, поверхностных волн и параметров пленок поверхностно-активных веществ (ПАВ). Измерения внутренних волн велись с помощью антенны распределенных датчиков температуры, а также *CTD* зонда. Гравитационно-капиллярные волны (ГКВ) регистрировались оптическими анализаторами спектра волн сантиметрового и дециметрового диапазонов, а также скаттерометрами *X*- и *Ka*-диапазонов;



Р и с . 7 . Колебания изопикн при прохождении цуга интенсивных внутренних волн через платформу 10 июля 1991 г. [11].



Р и с . 8 . Синхронные записи текущего спектра ветровых ГKB (*вверху*) и колебаний изотерм 14,4, 12 и 11,2 °C (*сверху вниз*). Стрелками показаны моменты измерения и полученные значения давления пленок.

проводились измерения коэффициента поверхностного натяжения морской воды методом растекающихся капель [12].

На рис.8 представлен пример синхронных записей смещений изотерм, вызванных проходящим под платформой цугом из трех интенсивных внутренних волн, и текущего спектра волнения на фиксированных длинах волн ГKB в диапазоне 6,5 – 23 см, а также результаты измерения давления пленки. Зарегистрированные внутренние волны – волны типа углублений, упорядочены по амплитуде, с высотой головной волны 7 м, разнесены друг от друга по времени почти на 25 мин. Все перечисленные черты свидетельствуют о нелинейной природе этих волн. Измерения показали, что в моменты прохождения уединенных внутренних волн резко увеличивается концентрация ПАВ, а в моменты между волнами – она уменьшается, причем наибольшая концентрация ПАВ обнаружена при прохождении головной внутренней волны (превышает 10 мН/м). На рис.8 проявляется также типичный характер изменчивости поверхностного волнения в сликах: интенсивность ряби сантиметрового диапазона уменьшается в сликах на порядок, в то время как подавление волн дециметрового диапазона (с волнами более 25 – 30 см) оказывается незначительным.

Измерения внутренних волн после 2000 г. В 2001 г. исследования внутренних волн на платформе были возобновлены силами отдела гидрофизики шельфа МГИ при участии небольшой группы сотрудников Акустического института. Ежегодно с 2001 по 2005 гг. экспедиции организовывал и возглавлял А.Д.Лисиченок. Экспедиционные работы на этом этапе отличались от предыдущих использованием новых современных приборов. В работах на платформе стали использоваться CTD-минизонды, велись измерения не только температуры и солености в водной толще, но и растворенного кислорода и других параметров. Также в последнее время нами помимо измерений распределенными датчиками температуры стали проводиться измерения гирляндами миниатюрных автономных датчиков температуры. С 2003 г. на платформе проводились измерения течений акустическим доплеровским профилометром течений (ADCP) марки “Rio Grande 600 kHz”. ADCP может быть использован в двух основных режимах. Он может работать длительное время закрепленным на платформе и регистрировать течения в водной толще от поверхности до дна и таким образом измерять временную изменчивость течения. Второй режим работы ADCP – работа им с малого судна или моторного катера. В этом режиме возможно получать пространственные разрезы с характеристикой течений на них. Акустический профилометр помимо данных о течениях дает информацию об обратном рассеянии акустического сигнала в водной толще и, как правило, хоро-

шо отражает положение слоя скачка температуры. В случае присутствия на термоклине внутренних волн *ADCP* позволяет с достаточной точностью регистрировать их параметры.

В августе 2001 г. были проведены измерения во время сильного нагона с целью получить детальную информацию о поле внутренних волн в этот период [14]. Измерения велись распределенными датчиками температуры, гирляндой измерителей течений, а также при помощи многократных *CTD*-зондирований. Было выявлено, что генерация внутренних волн в период нагона происходит в период ослабления нагонного ветра, в то время, когда придонное течение изменяет свое направление (в основном направленное от берега) на противоположное. В этот период мы наблюдали значительное усиление сдвигового течения в придонном слое, и появление внутреннего бора на резком придонном термоклине. Внутренний бор сопровождался интенсивными короткопериодными внутренними волнами, движущимися к берегу. Наблюдались признаки обрушения внутренних волн в виде короткоживущих плотностных инверсий толщиной до 40 см.

В исследованиях, проведенных в августе 2002 г., была выявлена роль внутренних боров, как явлений, обеспечивающих поступление в придонные слои прибрежной зоны Черного моря вод с высоким содержанием растворенного кислорода [15].

Наиболее полные на сегодняшний день исследования внутренних боров были проведены в августе 2005 г. [16]. В результате этих измерений было показано, что распространение боров в прибрежной зоне моря тесно связано с мощными струйными течениями, появляющимися с периодичностью, близкой к инерционной. Было зарегистрировано два типа боров, кардинально отличающихся положением максимума течения – в первом случае – у поверхности моря, во втором – у дна.

Перед тем как закончить, заметим, что, несмотря на различие рассмотренных в обзоре характерных ситуаций, ведущих к интенсификации поля внутренних волн, их объединяет одна общая черта – все они инициированы интенсивным метеорологическим воздействием. После окончания действия сильного ветра, который выполняет роль своеобразной пружины, на сцену выступают вышеописанные процессы, при которых и происходит генерация интенсивных внутренних волн.

Заключение. Итак, нами был сделан обзор работ об исследовании внутренних волн с платформы МГИ, проведенных за три десятилетия ее существования. За этот срок разными исследователями собран обширный материал, который позволил разобраться в основных чертах и особенностях поля внутренних волн на приглубом шельфе. Однако внутренние волны как и другие процессы на шельфе еще до конца не познаны, поэтому океанографическая платформа МГИ востребована сегодня и безусловно будет востребована завтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ла-Фонд Е.К.* Внутренние волны.– Л.: Гидрометеиздат, 1965.– С.373-388.
2. *Коняев К.В., Сабинин К.Д.* Новые данные о внутренних волнах в море полученные с помощью распределенных датчиков температуры // Докл. АН СССР.– 1973.– 209, № 1.– С.86-89.

3. *Иванов В.А., Коняев К.В.* Бор на термоклине // Изв. АН СССР. ФАО.– 1976.– 12.– С.416-423.
4. *Иванов В.А., Коняев К.В., Серебряный А.Н.* Группы интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне моря // Изв. АН СССР. ФАО.– 1981.– 17.– С.1302-1309.
5. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Внутренние волны на мелководном шельфе бесприливного моря // Изв. АН СССР. ФАО.– 1983.– 19.– С.661-665.
6. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Короткопериодные внутренние волны в прибрежной зоне бесприливного моря // Изв. АН СССР. ФАО.– 1985.– 21.– С.648-656.
7. *Шулейкин В.В.* Физика моря.– М.: Наука, 1968.– 1083 с.
8. *Христофоров Г.Н., Запезалов А.С.* Развитие летнего апвеллинга вблизи Южного берега Крыма // Метеорология и гидрология.– 1997.– 7.– С.64-71.
9. *Власенко В.И., Иванов В.А., Лисиченок А.Д., Красин И.Г.* Генерация интенсивных короткопериодных внутренних волн во фронтальной зоне прибрежного апвеллинга // Морской гидрофизический журнал.– 1997.– 3.– С.3-16.
10. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Проявление на поверхности внутренних волн малых амплитуд // Изв. АН СССР. ФАО.– 1985.– 21.– С.795-799.
11. *Бабий М.В., Куклин А.К.* Регистрация короткопериодных внутренних волн с платформы в прибрежной зоне Черного моря // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь, 1998.– С.116-117.
12. *Ермаков С.А.* Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн.– Н. Новгород: ИПФ РАН, 2010.– 164 с.
13. *Василиненко Н.И., Ермаков С.А., Иванов А.В., Панченко А.Р., Салашин С.Г., Трошкская Ю.И.* Проявление внутренних волн на морской поверхности в присутствии поверхностно-активной пленки // Докл. АН СССР.– 1989.– 307.– С.1235-1238.
14. *Иванов В.А., Лисиченок А.Д., Серебряный А.Н.* Нагоны и нелинейные внутренние волны в шельфовой зоне Черного моря // Акустика океана. Докл. 9-ой школы-семинара акад. Л.М.Бреховских.– М.: ГЕОС– 2002.– С.447-451.
15. *Зима В.В., Иванов В.А., Кондратьев С.И., Кузнецов А.С., Лисиченок А.Д., Серебряный А.Н., Чепыженко А.И.* Наблюдательный полигон за гидрологическими, гидрохимическими и гидрооптическими характеристиками вод в прибрежной зоне южного берега Крыма в 2001-2002 гг. // Сборник по ЕвроГУС.– Севастополь, 2002.
16. *Иванов В.А., Лисиченок А.Д., Серебряный А.Н., Тарасов Л.Л.* Внутренние боры в прибрежной зоне Черного моря // Акустика океана. Докл. 11-ой школы-семинара акад. Л.М.Бреховских.– М.: ГЕОС, 2006.– С.330-335.

Материал поступил в редакцию 26.10.2010 г.