

УДК 551.466.8

© А.Н.Серебряный¹, В.А.Иванов², 2013

¹Акустический институт имени академика Н.Н.Андреева, Москва

²Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь
serebryany@hotmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ЧЕРНОМ МОРЕ С ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ МГИ

Представлен обзор экспериментальных исследований внутренних волн, проведенных с океанографической платформы МГИ НАНУ со дня ее ввода в эксплуатацию до настоящего времени.

Ключевые слова: внутренние волны, внутренние боры, фронты, сгонно-нагонные процессы, Черное море, платформа, шельф.

Стационарные платформы в море используются для проведения долговременных 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 на протяжении ряда лет в 1970-е годы 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 в 1980 г. Океанографической платформы МГИ обладали достаточным опытом «платформенных» измерений внутренних волн и понимали необходимость продолжения их с новой платформы в Черном море. Заметим также, что в 1979 г. нами были проведены долговременные измерения внутренних волн в Черном море с платформы, расположенной на шельфе 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 Каспийское, 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, выходящих на шельф внутренними приливами

существенно затрудняет их наблюдение, если не делает его невозможным вообще вследствие регулярности и большой интенсивности приливного механизма. По причине того что платформы, с которых проводились наши наблюдения, располагались в существенно различных местах (по типам шельфов, преобладающим течениям и другим особенностям), мы получили возможность 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 НА-НУ, наш обзор мы начнем с более детального рассмотрения двух последних результатов наблюдений 1981 г., а также рассмотрим все значительные результаты, полученные в дальнейшем.

В 1981 г. были проведены первые измерения пространственно-временных характеристик внутренних волн с платформы МГИ в Кацивели [6]. Измерения были долговременными (с июня по октябрь) – велась регистрация вертикальных смещений термоклина с помощью пространственной антенны из четырех распределенных датчиков температуры десятиметровой длины, расположенных по углам верхней палубы платформы. Для измерения применялись и другие приборы: 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 говорилось, были выявлены два процесса, ответственные за появление в прибрежной зоне интенсивных внутренних волн. В целом полученные в 1981 г. результаты имели фундаментальный характер, их актуальность сохраняется до настоящего времени.

Генерация нелинейных внутренних волн фронтами сгонно-нагонного происхождения. 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, 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 такой ситуации проиллюстрируем на примере действия наиболее продолжительного сгона с 6 по 12 июля 1981 г. 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 стала постепенно восстанавливаться стратификация. 12 июля в 14 ч температура в поверхностном слое повысилась, при этом изотермы 10–14°C за час заглубились на 10 м. Через 2 ч

сформировавшийся термоклин вновь резко опустился и на нем появились движущиеся к берегу интенсивные внутренние волны.

Размах колебаний термоклина достигал 5–6 м, периоды – 5–15 мин. В последующие дни преобладал С-В 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.

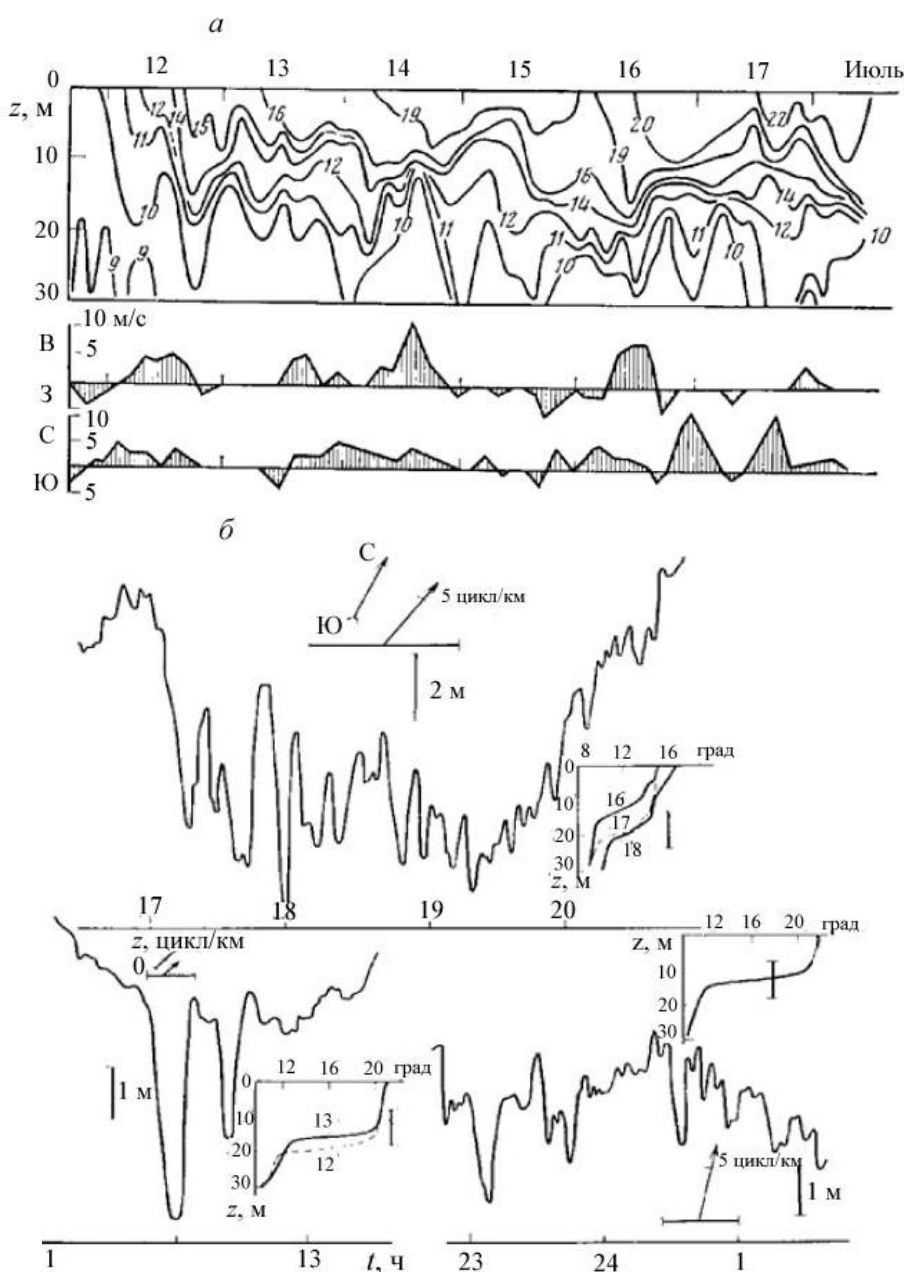


Рис.1. Генерация нелинейных внутренних волн, подходящих в прибрежную зону фронтами сгонно-нагонного происхождения.

a – разрез поля температуры по глубине и времени после сильного сгона, закончившегося 11 июля 1981 г. Восстановлению стратификации способствовали непродолжительные нагонные ветры (их составляющие показаны под разрезом); *б* – примеры цугов нелинейных внутренних волн, порожденных подходящими в прибрежную зону фронтами.

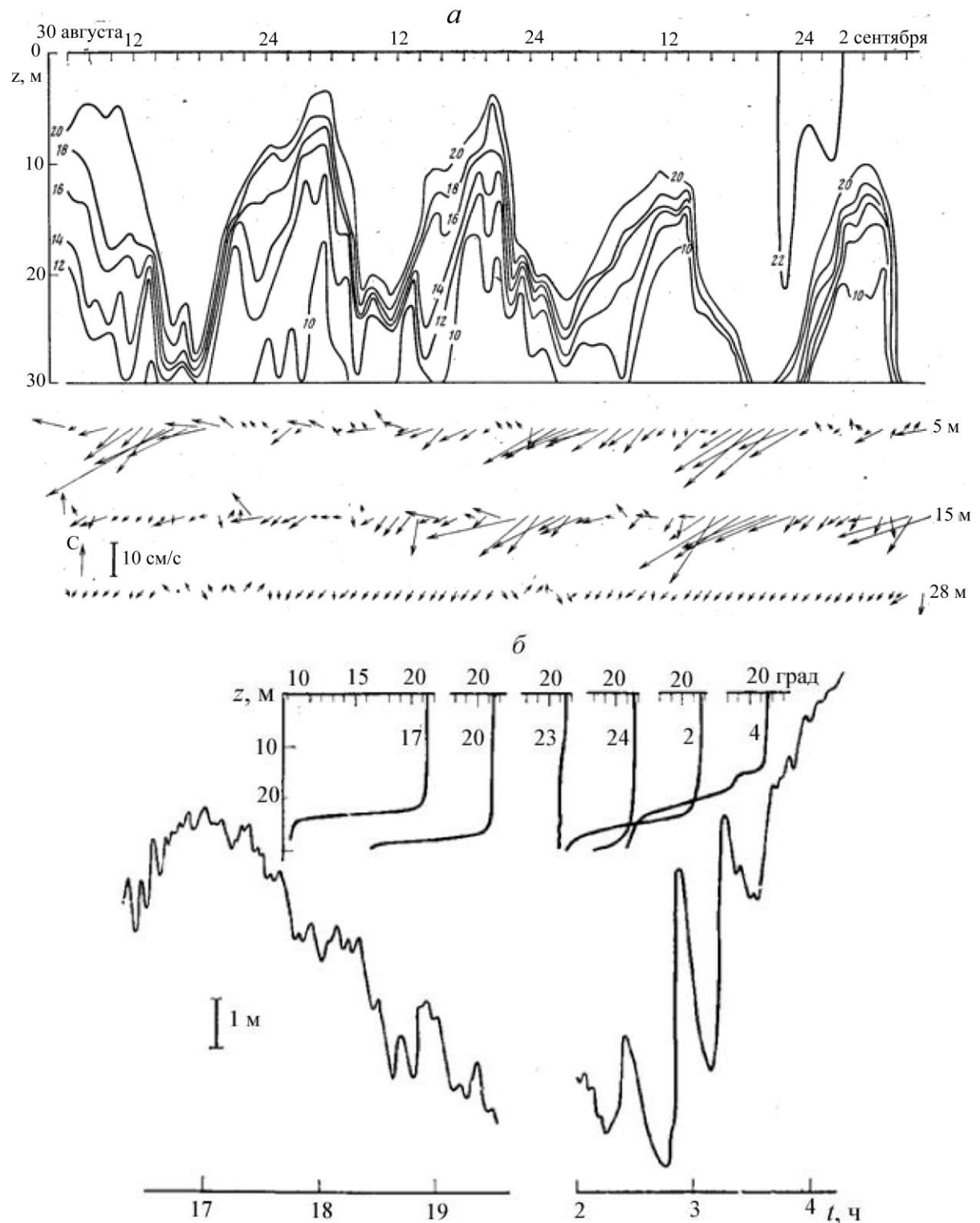


Рис.2. Генерация нелинейных внутренних волн во время выхода на шельф внутренних инерционных волн. Измерения в прибрежной зоне Черного моря (1981 г.).

a – разрез поля температуры по глубине и времени после прохождения циклона (хорошо прослеживается 17-часовая периодичность волн) и данные о течениях в этот период на горизонтах 5, 15 и 28 м; b – участки записи вертикальных колебаний термоклина, приуроченные к заднему и переднему склонам внутренней инерционной волны, а также вертикальные профили температуры в характерные моменты времени.

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 ЮЗ на СЗ. Сильный СЗ ветер в тыловой части циклона 29 августа вызвал кратковременный сгон – за 8 ч поверхностная температура понизилась с 22 до 14°C. 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°C/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 – З–ЮЗ: у дна незначительные, а на горизонтах 5 и 15 м около 0.30–0.40 м/с. Западное течение усиливалось одновременно с прижатием термоклина ко дну. Средний вдольбереговой поток, направленный на запад, увеличивался 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 квазиоднородном 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, проводившиеся в 90-е годы. Описанные выше ситуации, ведущие к генерации интенсивных внутренних волн, были подтверждены результатами проведенных позже независимых наблюдений 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). В этот период появляются также непрерывно идущие одна за другой интенсивные уединенные внутренние волны, которые имеют «направленный вниз гребень». Высота этих волн достигает 5–7, иногда 10–12 м. Орбитальная скорость волновых движений высока, ее вертикальные компоненты достигают несколько сантиметров в секунду. Временные интервалы между прохождением 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 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. Изотермы от 11 до 19°C при прохождении группы волн совершают синхронные колебания, что свидетельствует о принадлежности внутренних волн к первой моде.

Проведенные в июле–августе 1993 г. длительные измерения внутренних волн [9] с помощью установленной на платформе антенны из трех градиентно-распределенных датчиков температуры (распределенные датчики, дополненные на верхнем и нижнем концах 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. Авторы высказали 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 квази-инерционной внутренней волны, в связи с чем, среднее положение термоклина смещалось вверх из придонного положения. Это значит, что представленный на рис.4 цуг был подобен в основных чертах цугу, изображенному на рис.2 и также состоял из волн с обостренными гребнями и выположенными подошвами, т.е. волн-возвышений, которые обычно наблюдаются на придонном термоклине.

Поверхностные проявления внутренних волн. Первые наблюдения связи сликовых полос у платформы с внутренними волнами. Все без исключения случаи наблюдения вышеописанных интенсивных внутренних волн сопровождались поверхностными проявлениями в виде чередующихся на морской поверхности полос выглаженной воды (сликов) и ряби. Однако первая работа, указавшая 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. в дневное время при тихой погоде мы неоднократно наблюдали 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 прохождения 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 «плечный механизм» образования сликовых полос внутренними волнами. Для сравнения вспомним, что этой фазе внутренней волны в случаях волн больших амплитуд на поверхности океана обычно сопутствует полоса сулоя (усиленное поверхностное волнение), что указывает на «кинематический механизм» образования сликов. Вызвавшие слики внутренние волны имели относительно небольшую высоту (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 этих движений.

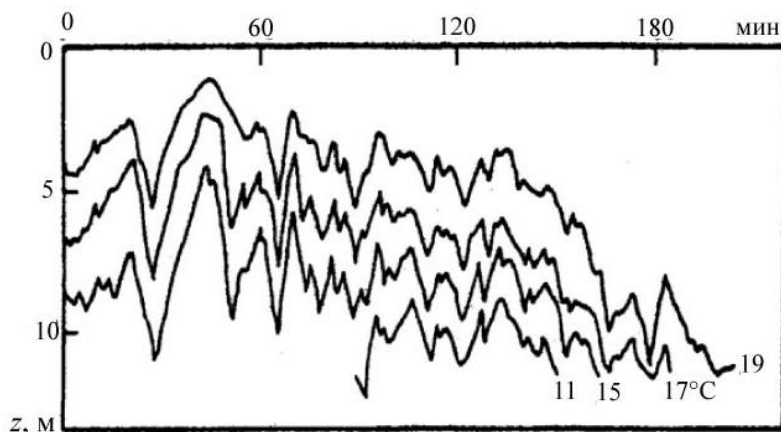


Рис.3. Группа уединенных внутренних волн, зарегистрированная в период даунвеллинга после окончания длительного действия сгонного ветра.

Измерения проводились с платформы термогирляндой в 1992 г. [8].

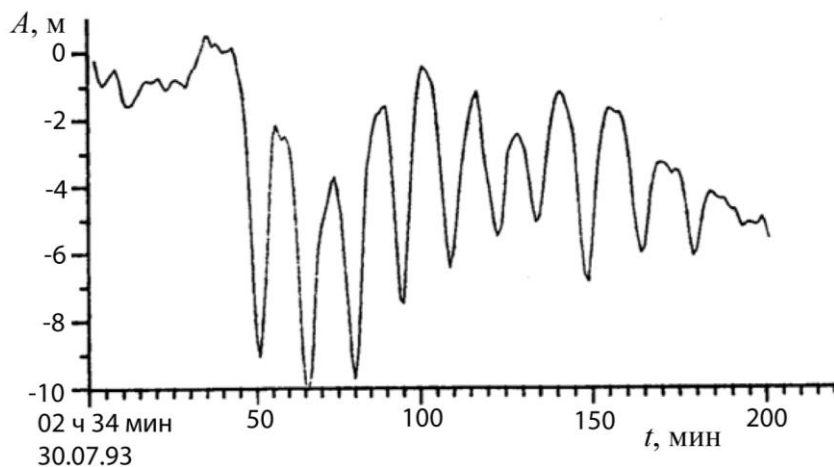


Рис.4. Цуг интенсивных внутренних волн, зарегистрированный при подходе переднего фронта квазиинерционной внутренней волны.

Измерения проводились с платформы градиентно-распределенным датчиком температуры в 1993 г. [9].

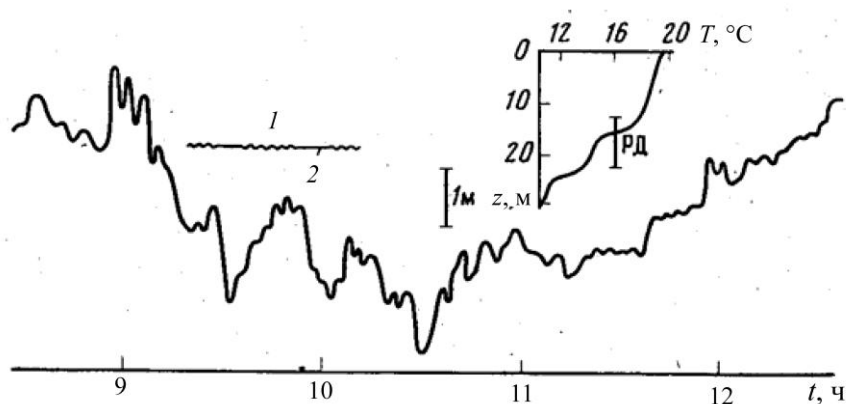


Рис.5. Пример записи колебаний термоклина при прохождении внутренних волн, сопровождавшихся сликовыми полосами на поверхности моря 27.06.1981 г.

Выделены участки записи, где сликовые полосы были выражены наиболее сильно: 1 – рябь, 2 – слик.

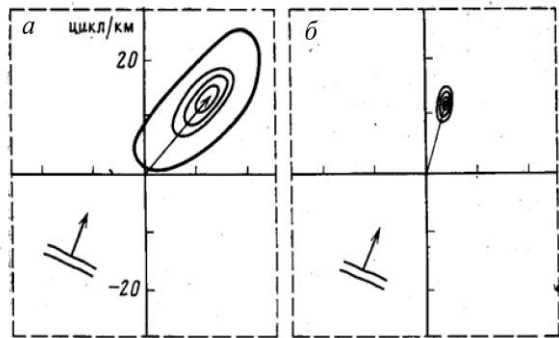


Рис.6. Пространственные спектры внутренних волн, сопровождавшихся сликовыми полосами на поверхности моря.

$a - 27.06$; $b - 28.06$. Временная частота анализа спектров 4.17 мГц. В левом нижнем углу – направление движения сликов.

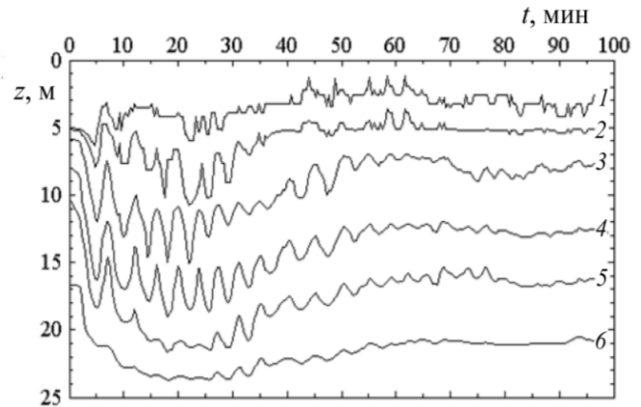


Рис.7. Колебания изопикн при проходе цуга интенсивных внутренних волн через платформу 10 июля 1991 г. [11].

Цифры на рисунке – изопикны со следующими значениями, кг/м^3 : 1 – 1009.63 ; 2 – 1009.7 ; 3 – 1010.0 ; 4 – 1011.0 ; 5 – 1012.0 ; 6 – 1013.0 .

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 полудня) 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 п. 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, произведших столь впечатляющую картину, с помощью гирлянды из 6 температурных резистивных датчиков, установленной на платформе. Регистрация данных велась на горизонтах $1, 5, 10, 15, 20, 25$ м с дискретностью 24 с. Полученные 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°C , на горизонте 10 м – с 10.5 до 22.6°C , на горизонте 5 м – с 16 до 25°C . Прохождение теплого фронта совпало с прохождением цуга интенсивных внутренних волн. В цуге было 11 волн, с периодом около 5 мин. Максимальные температурные колебания под действием внутренних волн отмечались на горизонте 15 м. Авторами с помощью линейной интерполяции (приняв, что соленость морской воды составляет 17‰) была рассчитана глубина залегания изопикн во время прохождения цуга (рис.7). Отсюда видно, что цуг волн состоял из волн-углублений (по крайней мере, это относится к нескольким головным волнам). Первая и вторая головные волны имели высоту 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.

Что касается причин возникновения этого цуга интенсивных волн, то авторы сообщают, что перед его появлением в предыдущие 3 дня было отмечено усиление колебаний температуры с инерционным периодом среднесуточной скорости ОЧТ на траверзе п.Кацивели и повышение атмосферного давления.

Результаты наиболее полных исследований по выявлению связи внутренних волн со сликовыми полосами на поверхности моря у платформы были приведены в экспериментах, отраженных в публикациях [12, 13]. Преимущество последних 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 STD-зонда. Гравитационно-капиллярные волны (ГКВ) регистрировались оптическими анализаторами спектра волн сантиметрового и дециметрового диапазонов, а также скаттерометрами X- и Ka-диапазонов; измерялся коэффициент поверхностного натяжения морской воды методом растекающихся капель [12].

На рис.8 представлены синхронные записи смещений изотерм, вызванных проходящим под платформой цугом из четырех интенсивных внутренних волн, и текущего спектра волнения на фиксированных длинах волн ГКВ 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 перечисленное свидетельствует 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 обнаружена при прохождении головной внутренней волны (превышает 10 мН/м). На рис.8 видно также проявление типичного характера 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.

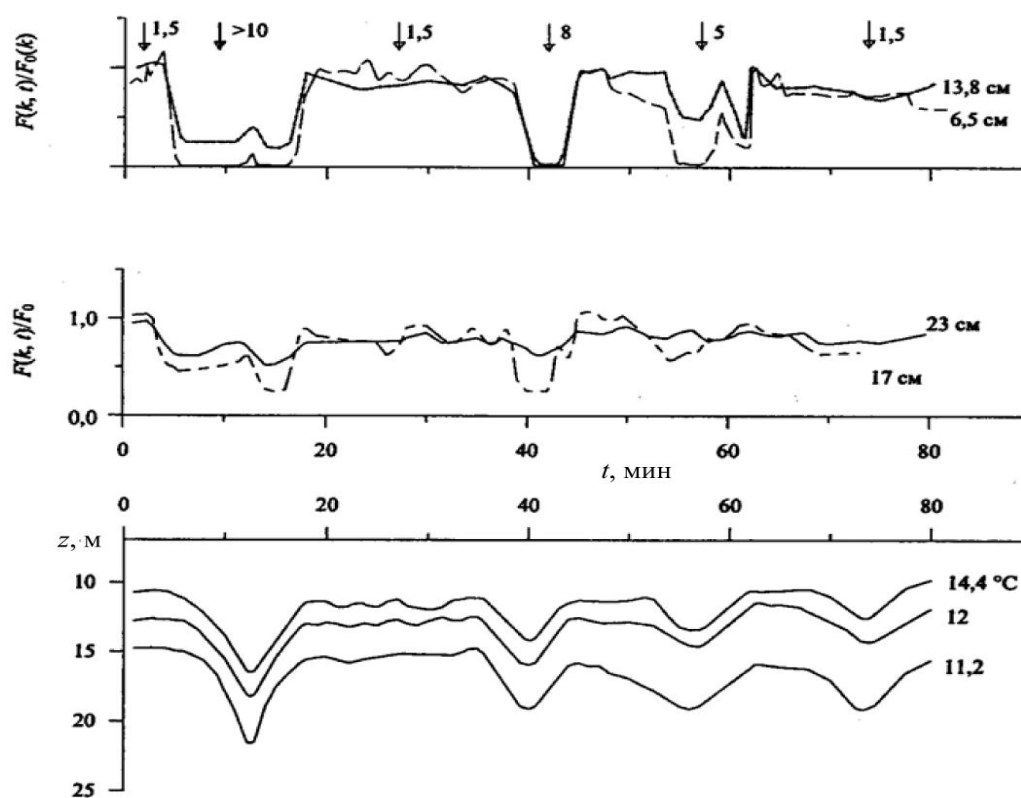


Рис.8. Синхронные записи текущего спектра ветровых ГКВ (вверху) на фиксированных длинах волн в диапазоне 6.5–23 см и колебаний изотерм 14.4, 12 и 11.2°C (сверху вниз) [13].

Стрелки – моменты измерения и полученные значения давления пленок.

Измерения внутренних волн после 2000 г. В 2001 г. исследования внутренних волн на платформе были возобновлены силами отдела гидрофизики шельфа МГИ НАНУ при участии группы сотрудников Акустического института. Ежегодно с 2001 по 2005 г. экспедиции организовывал и возглавлял А.Д.Лисиченко. Экспедиционные работы на этом этапе отличались от предыдущих использованием новых современных приборов. В работах на платформе стали применяться CTD-минизонды, измерялись не только температура и соленость в водной толще, но и растворенный кислород, а также другие параметры. Помимо измерений распределенными датчиками температуры стали проводиться измерения гирляндами миниатюрных автономных датчиков. С 2003 г. на платформе измерялись течения с помощью акустического доплеровского профилометра течений (ADCP) марки «Rio Grande 600 kHz». ADCP может быть использован в двух основных режимах: 1) работать длительное время закрепленным на платформе, регистрировать течения в водной толще от поверхности до дна и таким образом измерять временную изменчивость течения; 2) работать с малого судна или моторного катера. Во втором режиме можно 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, хорошо отражает положение слоя скачка температуры. В случае присутствия на термоклине внутренних волн ADCP позволяет с достаточной точностью регистрировать их параметры.

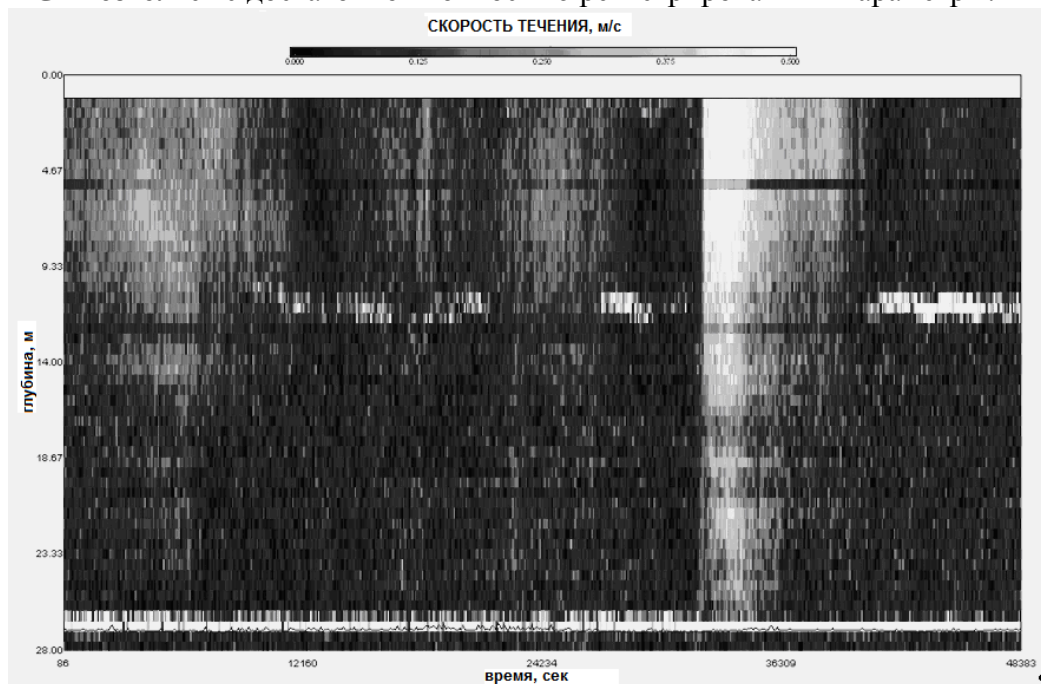


Рис.9. Запись внутреннего бора, сделанная с помощью закрепленного на платформе ADCP «Rio Grande 600 kHz» (величина скорости течений по всей толще моря, развернутая по времени наблюдения).

Используется шкала серого цвета (показана на рисунке). Внутренний бор от 21 августа 2005 г. с максимумом скорости (до 0.8 м/с) в приповерхностной части водного столба.

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 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 исследования внутренних боров были проведены в августе 2005 г. [16]. В результате измерений было показано, что распространение боров в прибрежной зоне моря тесно связано с мощными струйными течениями, появляющимися с периодичностью, близкой к инерционной. Было зарегистрировано 2 типа боров, кардинально отличающихся положением максимума течения: в первом случае – у поверхности моря, во втором – у дна (рис.9, 10).

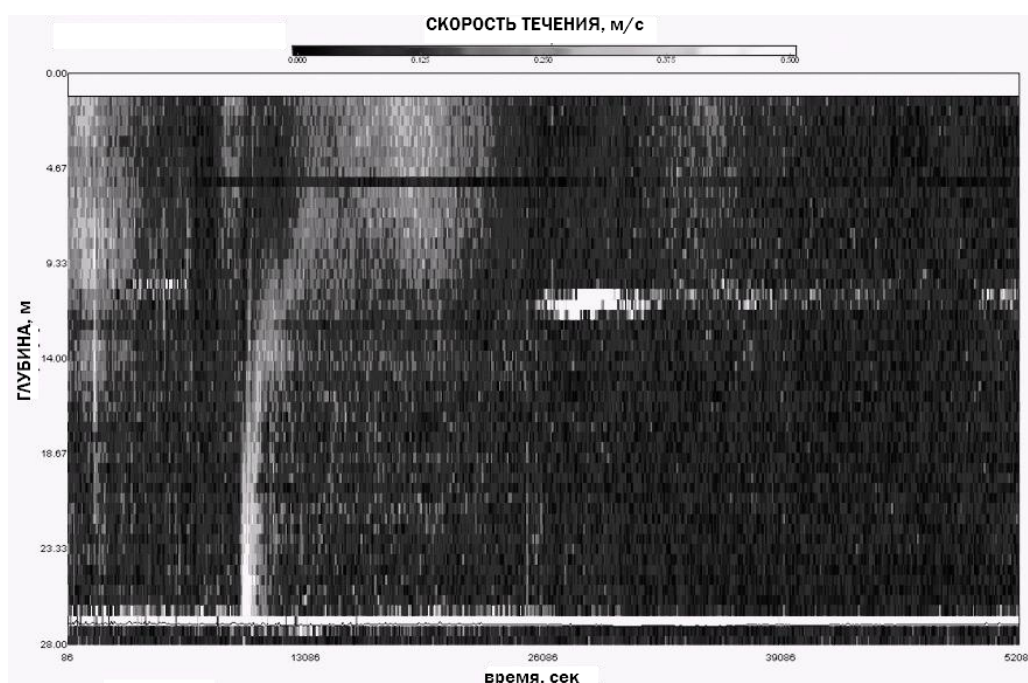


Рис.10. Запись закрепленного на платформе ADCP «Rio Grande 600 kHz».

Внутренний бор от 22 августа 2005 г. в виде ступеньки холодной придонной воды, движущейся со скоростью 0.6 м/с.

Итак, нами был сделан обзор работ по исследованию внутренних волн с платформы МГИ НАНУ, проведенных за все время ее существования. Благодаря введению в строй в 1980 г. платформы район вблизи п.Кацивели оказался наиболее изученным районом всего Черного моря с точки зрения изучения поля внутренних волн. За 30-летний срок разными исследователями собран обширный материал, который позволил разобраться в основных чертах и особенностях поля внутренних волн на приглубом шельфе бесприливного моря, которое, как было показано в [17, 18], в среднем ниже по интенсивности поля внутренних волн шельфа приливного моря. Несмотря на различие приведенных в обзоре характерных ситуаций, ведущих к интенсификации поля внутренних волн, их объединяет одна общая

черта – инициирование 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. С появлением акустических доплеровских профилометров течений появилась возможность более детально изучать с платформы характеристики квазиинерционных внутренних волн, которые, как показывают последние исследования, вносят существенный вклад в динамику вод шельфа и прибрежной зоны, как бы заменяя отсутствующие в замкнутом море приливы. В ближайшей перспективе можно ожидать новые данные и факты, дополняющие существующие представления о поле внутренних волн в шельфовой зоне бесприливного моря.

Литература

1. *Ла-Фонд Е.К.* Внутренние волны // Море. 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. Т.209, № 1. С.86–89.
3. *Иванов В.А., Коняев К.В.* Бор на термоклине // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1976. Т.12, № 12. С.416–423.
4. *Иванов В.А., Коняев К.В., Серебряный А.Н.* Группы интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне моря // Там же. 1981. Т.17, № 12. С.1302–1309.
5. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Внутренние волны на мелководном шельфе бесприливного моря // Там же. 1983. Т.19, № 6. С.661–665.
6. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Короткопериодные внутренние волны в прибрежной зоне бесприливного моря // Там же. 1985. Т.21, № 6. С.648–656.
7. *Шулейкин В.В.* Физика моря. М.: Наука, 1968. 1083 с.
8. *Христофоров Г.Н., Запелов А.С.* Развитие летнего апвеллинга вблизи Южного берега Крыма // Метеорология и гидрология. 1997. № 7. С.64–71.
9. *Власенко В.И., Иванов В.А., Лисиченко 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. Физика атмосферы и океана. 1985. Т.21, № 7. С.795–799.
11. *Бабий М.В., Кулин 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 В.А., Панченко А.Р., Салашин С.Г., Троицкая Ю.И.* Проявление внутренних волн на морской поверхности в присутствии поверхностно-активной пленки // Докл. АН СССР. 1989. Т.307, № 4. С.1235–1238.
14. *Иванов В.А., Лисиченко А.Д., Серебряный А.Н.* Нагоны и нелинейные внутренние волны в шельфовой зоне Черного моря // Акустика океана. Докл. 9-й 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., Лисиченко 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. // Сб. по ЕвроГУС. Севастополь, 2002. С.49–59.
16. *Иванов В.А., Лисиченко А.Д., Серебряный А.Н., Тарасов Л.Л.* Внутренние боры в прибрежной зоне Черного моря // Акустика океана. Докл. 11-й школы-семинара акад. Л.М.Бреховских. М.: ГЕОС, 2006. С.330–335.
17. *Иванов В.А., Серебряный А.Н.* Частотные спектры короткопериодных внутренних волн в бесприливном море // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1982. Т.18, № 6. С.683–685.
18. *Серебряный А.Н.* Внутренние волны в прибрежной зоне приливного моря // Океанология. 1985. Т.25, № 5. С.744–751.

Статья поступила в редакцию 28.11.2012 г.

