

А.Д.Лисиченко

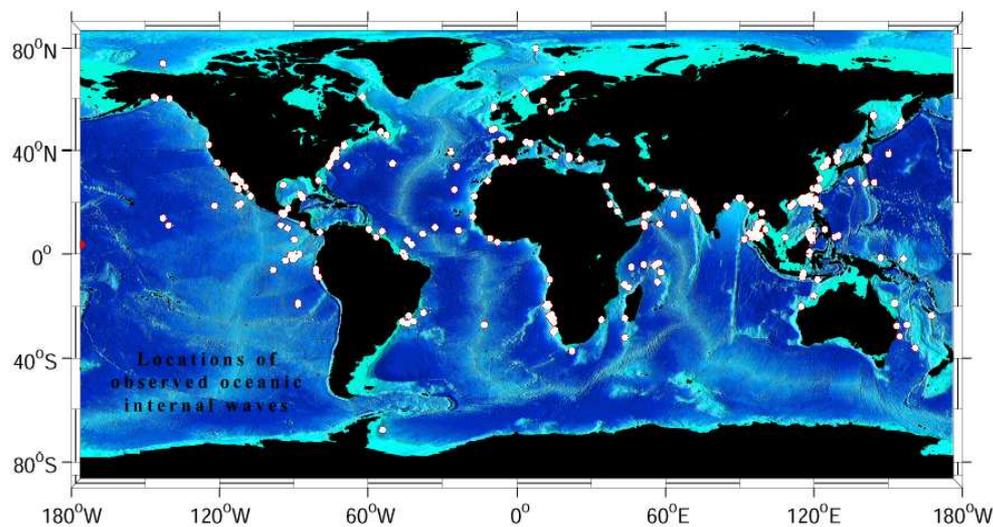
*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь***ИНТЕНСИВНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ**

На основании обобщения результатов наблюдений за интенсивными внутренними волнами в Мировом океане анализируются условия их возникновения и основные источники генерации. По данным натурных экспериментов в Черном море приведены характеристики экстремальных внутренних волн и обсуждаются условия и причины их возникновения. Обсуждается важная роль интенсивных внутренних волн в процессах перемешивания, динамике придонного слоя моря и экологическом состоянии вод прибрежной зоны Черного моря.

В последние десятилетия в исследовании внутренних волн в океане особое внимание уделяется интенсивным внутренним волнам (ИВВ). Под ИВВ обычно подразумеваются внутренние волны с высотой в десятки метров с признаками нелинейности, проявляющимися в вертикальной и горизонтальной асимметрии их формы, большими значениями параметров нелинейности (отношения орбитальной скорости к фазовой и амплитуд волн к глубине залегания пикноклина больше 0,1), часто наблюдаемые на поверхности воды в виде сулоиных или сликовых полос.

Интенсивные внутренние волны в океане. Считается, что этап исследований ИВВ в океане начался с обнаружения по данным спутниковых снимков на поверхности Андаманского моря специфических полос, протяженностью более 100 км, оказавшимися проявлением на поверхности ИВВ, по своим характеристикам близким к солитонам, описываемым уравнением Кортевега-де-Вриза (КдВ) [1, 2]. Появление этих результатов привлекло внимание многих океанологов и дало мощный толчок к исследованию ИВВ в океане [2].

В дальнейшем был накоплен большой объем данных наблюдений ИВВ в различных районах Мирового океана на основе спутниковых изображений и многочисленных натурных экспериментов [3 – 8]. Было установлено, что один из наиболее важных источников генерации ИВВ связан с приливами. Взаимодействие баротропных приливов с наклонным дном вблизи кромки шельфа приводит к генерации приливных внутренних волн, которые распространяются как в сторону открытого океана, так и к берегу. Это подтверждается как данными натурных наблюдений, так и результатами математического моделирования [9 – 14]. При распространении в направлении к берегу приливная внутренняя волна обычно приобретает вид внутреннего бора, сопровождаемого группой ИВВ, по своим характеристикам близким к солитонам. Это дало повод некоторым авторам называть такую систему волн «солиборами» [15, 16]. В направлении открытого океана фронты приливных внутренних волн могут распространяться на большие (свыше 500 миль) расстояния и формировать ИВВ в виде одиночных волн, которые обычно распадаются на группы в районах фронтальных зон [17, 18]. Анализ этих результатов явился основой для создания гипотезы «горячих точек» [19].



Р и с . 1 . Сведения о географическом положении районов обнаружения ИВВ в Мировом океане (по [3]).

Предполагается, что сток приливной энергии в мелкомасштабную турбулентность в Мировом океане происходит не по всей его акватории, а в так называемых «горячих точках» – районах резких поднятий дна, банок, проливов, шельфовых и фронтальных зон [19 – 21]. Энергия баротропных приливов переходит здесь к бароклинным, которые, трансформируясь, генерируют ИВВ и турбулентность. По аналогии с поверхностными волнами такие районы называют районами «внутренних штормов». В качестве примера распределения «горячих точек» по акватории Мирового океана, воспользуемся картой районов обнаружения ИВВ на поверхности океана (рис.1) [3].

Даже при первом взгляде на эту карту, очевидно, что ИВВ обнаруживаются преимущественно в шельфовых зонах или вблизи них. В табл.1 приведены количественные оценки расположения районов обнаружения ИВВ.

Несмотря на некоторую субъективность в количественных оценках результатов, приведенных в табл.1, (которая может быть обусловлена неравномерным покрытием Мирового океана данными спутниковых изображений и натурными экспериментами), они дают, на наш взгляд, весьма полезную информацию об основных механизмах возникновения ИВВ и их распре-

Т а б л и ц а 1 . Сведения о районах обнаружения ИВВ.

океан с прилегающими морями	распределение наблюдений по океанам (% от общего)	количество наблюдений ИВВ (% от общего)		
		между тропиками	между 40° с.ш. и 40° ю.ш.	на шельфе
Тихий	30	53.3	82	82
Индийский	33	95	100	94
Атлантический	33,5	37	85	85
Сев.Ледовитый	3	0	0	80
Южный	0,5	0	0	0

делении по океану. Отметим, что районы обнаружения ИВВ почти в одинаковом количестве распределены по трем океанам: Тихому, Индийскому и Атлантическому. Другой важной особенностью является то, что, на акваторию Мирового океана, заключенную между 40° ю.ш. и 40° с.ш. приходится 89 % случаев обнаружения ИВВ, причем около 62 % случаев приходится на область, заключенную между северным и южным тропиками. И, наконец, на шельфовую зону приходится около 87 % зарегистрированных ИВВ.

Основной причиной такого распределения, по-видимому, является тот факт, что в тропической зоне Мирового океана термоклин и пикноклин существуют перманентно в течение всего года и для генерации приливных внутренних волн существуют все необходимые условия: наличие наклонного дна у кромки шельфа, устойчивая стратификация и сильные течения, изменяющиеся с приливным периодом. Изменчивость появления ИВВ в этих районах, по-видимому, связана с крупномасштабными вариациями глубины положения пикноклина, а также с фазой Луны. Можно также предположить, что при накоплении данных наблюдений, достаточных для описания сезонной изменчивости проявления ИВВ, их максимум в области Мирового океана между тропиками и 40° каждого полушария будет наблюдаться летом в каждом полушарии. Приведенные данные свидетельствуют о том, что предложенная гипотеза «горячих точек» в целом подтверждается.

Внутренние волны в Черном море. Черное море относится к бесприливным, т.к. амплитуды приливов здесь приблизительно на два порядка меньше амплитуд, характерных для открытого океана и морей с приливами. В связи с этим, из источников здесь исключен очень важный (возможно, преобладающий) источник генерации ИВВ, описанный выше. Исследования короткопериодных внутренних волн в Черном море начались со второй половины 60-х гг. прошлого столетия в северо-западной части моря [22]. Затем были выполнены измерения характеристик внутренних волн на восточном и Болгарском шельфах, шельфе Южного берега Крыма [23 – 25, 2]. Оказалось, что волны имеют перемежающийся вид, их максимальные высоты не превышают здесь 1 – 2 м, причем в глубоководном районе моря они меньше, чем в шельфовом, а спектры внутренних волн по уровню энергии монотонно спадающей части примерно на один порядок ниже уровней, описываемых моделью Гаррета-Манка [2, 26]. Интенсификация внутренних волн в Черном море может происходить при протекании активных динамических процессов, связанных с меандрированием Основного черноморского течения (ОЧТ), возникновении и релаксации прибрежного апвеллинга, вихрями различных масштабов и атмосферными процессами [25 – 27]. Т.е., как и в океане с приливами, струйные течения, взаимодействуя в Черном море с наклонным дном, могут образовывать бароклинные колебания, которые, в свою очередь, испытывая нелинейную трансформацию на шельфе, распадаются на цуги ИВВ [25].

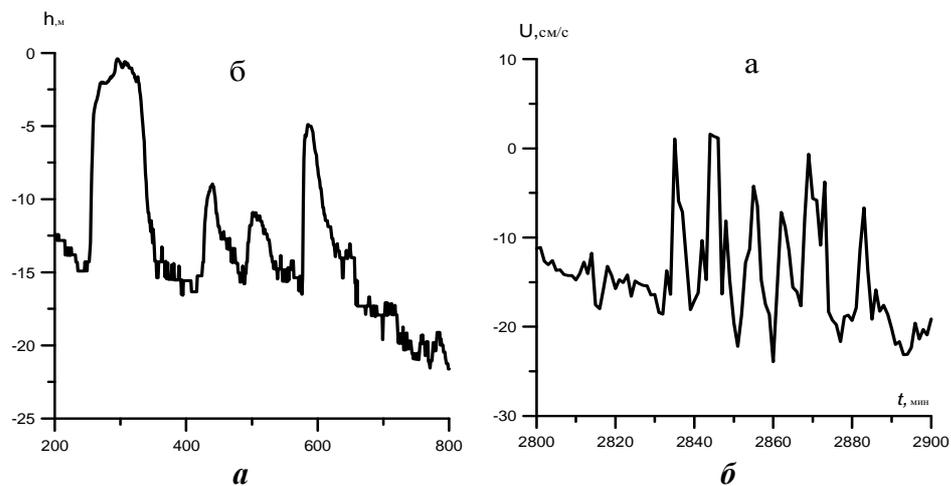
Интенсивные внутренние волны в Черном море. Впервые ИВВ с высотой около 10 м обнаружены по результатам длительных наблюдений, проведенных на океанографической платформе Морского гидрофизического института НАН Украины, расположенной в прибрежной зоне Южного берега Крыма (пос.Кацивели) [25, 28]. В [28] ИВВ обнаружены на фазе пе-

рехода апвеллинга в даунвеллинг, когда в поверхностном слое моря появляется пикноклин, который затем начинает опускаться по направлению ко дну моря. ИВВ имели вид одиночных «впадин», по форме близким к солитонам КдВ высотой до 5 – 7 м, а иногда даже до 10 – 12 м, с интервалом времени между гребнями в 15 – 20 мин; на поверхности моря они проявлялись в виде продолжительных узких сликовых полос, движущихся по направлению к берегу. В [25] отмечены ИВВ с высотой 15 м, которую можно рассматривать как рекордную для Черного моря. При этом колебания имели вид, характерный для солибора, т.е. амплитуды волн уменьшались от головной (максимальной) до последней волны в конце волнового следа. Кроме этого, на записях хорошо видна вертикальная и, что особенно важно, горизонтальная асимметрия волн. По результатам анализа гидрологической обстановки и математического моделирования делается вывод о том, что колебания ОЧТ могут происходить в направлении, поперечном береговой линии, перпендикулярно изобатам свала глубин и вызывать вертикальные колебания пикноклина над кромкой шельфа с периодом, близким к инерционному. Эти колебания, в свою очередь, генерируют прогрессивные внутренние волны, распространяющиеся как в сторону открытого океана, так и в сторону берега. Данное предположение позднее получило подтверждение в [29] при обнаружении цуга ИВВ на мористой периферии ОЧТ. В обоих случаях появление ИВВ в прибрежной зоне моря связано с протеканием активных динамических процессов.

Цель данной работы состоит в систематизации данных о ИВВ в Черном море на основе обзора литературных работ и результатов исследований последних лет.

В течение 2001 – 2004 гг. нами проводились долговременные эксперименты по исследованию ИВВ на океанографической платформе МГИ. Анализ ИВВ, зарегистрированных в прибрежной зоне, показал, что ИВВ встречаются практически каждый год, причем наиболее часто они наблюдаются с конца июля по середину сентября. В 2001 г. во время преобладания нагонной циркуляции в течение суток наблюдался случай появления внутреннего бора и двух цугов ИВВ [27]. Приведем наиболее яркие проявления ИВВ в прибрежной зоне моря.

На рис.2 приведен фрагмент записи цуга ИВВ с высотой волн около 15 м (отметим, что значение высоты волн близко к экстремальному [25]) и меридиональная составляющая скорости течений у дна моря. Отметим, что колебания орбитальной скорости у дна имеют запаздывание относительно вертикальных колебаний температуры, что может объясняться тем, что распределенный датчик температуры находился в слое 13 – 25,5 м, а измерители течений – у дна (25 и 27 м.). Особенность цуга ИВВ являются очень крутые передние фронты и пологие задние, т.е. наличие сильно выраженной горизонтальной асимметрии, что по данным [2] является признаком сильно нелинейных волн. Мы не имеем профиля плотности в момент регистрации этого цуга, но по оценкам пространственных спектров и дисперсионным кривым, рассчитанным ранее, волны таких частот (3 – 4 цикл/ч) имеют здесь фазовые скорости $C\phi = 20 - 30$ см/с. Амплитуда орбитальных скоростей в цуге $C\omega \approx 10$ см/с, при этом параметры нелинейности оказываются



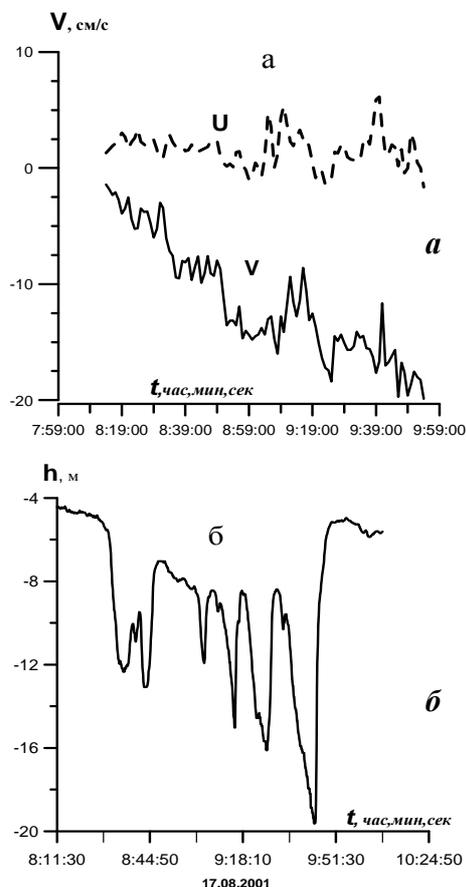
Р и с . 2 . Пример цуга ИВВ (а) и меридиональной составляющей скорости течений у дна моря (б).

$a/h = 0,2 - 0,25$; $Co/C\phi = 0,3 - 0,5$ (a – амплитуда волны, h – глубина максимальной частоты Вьясяля-Брента), что также свидетельствует о явной принадлежности зарегистрированных колебаний к сильно нелинейным ИВВ. Отметим также, что этот цуг ИВВ не полностью соответствует виду классического солибора, когда каждая последующая волна по высоте меньше предыдущей, хотя головная волна в группе имеет максимальную высоту. Другая группа ИВВ, зарегистрированная в этот же день приблизительно пятью часами раньше (рис.3), имеет вид впадины на термоклине, или волн с отрицательной полярностью. Интересно, что здесь максимальную высоту имеет последняя волна в группе.

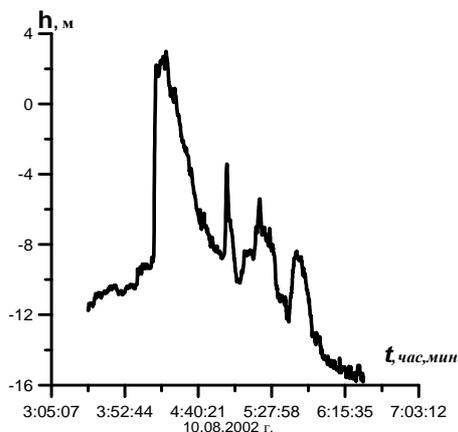
Анализ колебаний скорости течений за это же время показывает, что амплитуды орбитальных скоростей около 3 – 5 см/с. На графике меридиональной компоненты (рис.2, б) отчетливо заметен тренд, т.е. за время регистрации цуга эта компонента изменяется от – 2 до – 20 см/с, т.е. резко увеличивается компонента вектора течения, направленная в сторону моря, которая для преобладающего направления волн в этом районе направлена навстречу. Этим может объясняться наличие у волн крутых передних и пологих задних фронтов, а также не характерная для солибора форма волн.

Анализ записей, полученных в течение многолетних экспериментов, свидетельствует о том, что ИВВ регулярно появляются в прибрежной зоне моря, но в отличие от океана не имеют четко выраженной периодичности и могут быть связаны как с инерционными колебаниями, так и с другими интенсивными динамическими процессами в прибрежной зоне, создающими значительные колебания скорости течений и вертикальные сдвиги.

Для наглядности приведем примеры ИВВ, зарегистрированных в различные годы. На рис.4 приведена запись колебаний термоклина в придонном слое моря в августе 2002 г. Эта запись имеет вид солибора; высота волн в группе 12 – 12,5 м последовательно уменьшается от головной, имеющей максимальную. Также хорошо заметна горизонтальная асимметрия волн в группе. ИВВ, распространяющиеся в шельфовой и прибрежной зоне, могут



Р и с . 3. Проекция скорости течения на параллель U и меридиан V (а) и вертикальные смещения термоклина (б).



Р и с . 4. Пример солибора внутренних волн в прибрежной зоне Черного моря.

иметь вид одиночных, по характеристикам близким к солитонам КдВ. Форма солитона (возвышение или впадина) определяется близостью расположения пикноклина ко дну, или к поверхности моря. Пример одиночной внутренней волны, зарегистрированной летом 2003 г., приведен на рис.5.

Фазовая скорость этой волны оказалась около 30 см/с, направление распространения – северо-восток.

На основании данных документированных наблюдений, представленных в публикациях, и наших измерений составлена табл.2, в которой сведены данные о зарегистрированных в Черном море ИВВ с максимальными высотами.

Приведенные в табл.2 результаты свидетельствуют о том, что ИВВ в период с середины июля по сентябрь проявляются в прибрежной зоне Черного моря практически каждый год.

Как показано выше, основными факторами возникновения ИВВ являются: наличие устойчивой стратификации, резких горизонтальных и вертикальных неоднородностей рельефа дна (подводных хребтов и гор, банок, проливов, островов и шельфовых зон), фронтальных зон и связанных с ними изменений положения глубины пикноклина, а также существенных колебаний скорости течений в перпендикулярном изобатам направлении, что в океане обеспечивается приливными течениями.

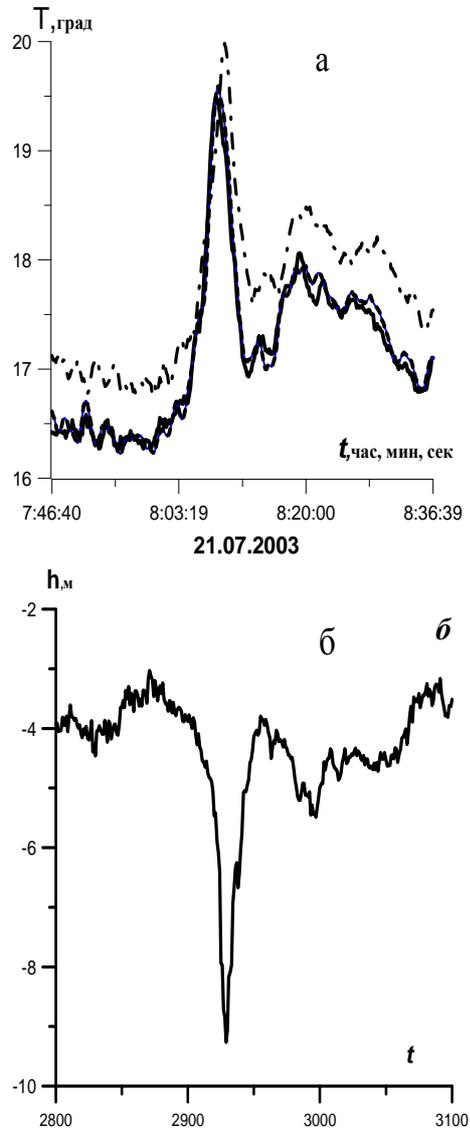
Глубоководная часть Черного моря представляет котловину, которая имеет очень ровную поверхность без резких изменений рельефа дна. В этой части не обнаруживаются фронты с резкими горизонтальными градиентами гидрологических характеристик. Наиболее существенные изменения рельефа дна и активные динамические процессы приходятся на шельфовую зону моря.

Проанализируем основные условия генерации и распространения ИВВ в шельфовой зоне моря. На рис.6 показана схема шельфовой зоны на примере Южного берега Крыма. Вид на разрез шельфовой зоны – с востока на запад, т.е. по направлению ОЧТ. В результате геострофического приспособления пикноклин в районе стрежня ОЧТ заглубляется в сторону берега. Здесь же показано положение пикноклина и циркуляция при сгоне и нагоне.

В начале летнего сезона (июнь – середина июля) термоклин на этой схеме расположен близко к поверхности. В случае расположения источника генерации у кромки шельфа [25], ИВВ с большими амплитудами должны испытывать нелинейную трансформацию в непосредственной близости от источника. В этот период в апвеллинг в прибрежной зоне имеет максимальную повторяемость. Т.к. фронтальная зона прибрежного апвеллинга удалена от берега на расстояние, равное приблизительно внутреннему радиусу деформации Россби, область диссипации энергии ИВВ должна быть локализована в районе, расположенном между кромкой шельфа и фронтальной зоной прибрежного апвеллинга. Отметим также, что при преобладании апвеллинга поперечная к берегу компонента течения направлена в сторону кромки шельфа, т.е. навстречу направлению распространения волн, а сами короткопериодные волны при пикноклине, близком к поверхности, имеют небольшие фазовые скорости. Это может привести к блокировке ИВВ. Отметим также, что приповерхностный пикноклин в этот период часто разрушается от воздействия поверхностных волн.

В силу перечисленных факторов ИВВ в этот период не имеют больших амплитуд, но по своим характеристикам могут быть сильно нелинейными, играть важную роль в динамике поверхностного слоя, особенно в штилевую погоду (в этот период они хорошо проявляются на поверхности в шельфовой зоне Черного моря в виде сликовых полос).

В период с середины июля по середину августа в прибрежной зоне моря пикноклин обычно занимает промежуточное положение между поверхностью

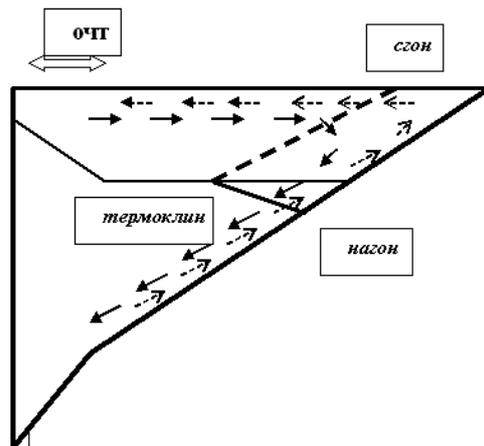


Р и с . 5 . Колебания температуры (а) и вертикальные смещения термоклина (б) во время прохождения одиночной волны.

Т а б л и ц а 2. Характеристики ИВВ в Черном море.

район наблюдений	дата	высота, м	публикация	примечание
океанографическая платформа МГИ (пос.Кацивели)	12.07.1981 г.	3 – 6	[2]	
	15.07.1981 г.	1,5 – 2,5		
	16.07.1981 г.	4		
	16.07.1981 г.	2		
шельф Крыма 30 миль от Евпатории	11.08.1985 г.	2 – 2,5	[30]	
шельф Болгарии	12.05.1984 г.	4 – 5	[24]	генерация ветром
шельф Крыма около Ялты	июль 1992 г.	4 – 4,5	[31]	генерация ветром
океанографическая платформа МГИ (пос.Кацивели)	9.07.1992 г.	10 – 12	[26]	
	29.07.1993 г.	16 – 17		
	30.07.1993 г.	7 – 9		
	31.07.1993 г.	7 – 9		
мористая периферия ОЧТ	июль 1992 г.	3 – 4	[29]	
океанографическая платформа МГИ (пос.Кацивели)	17.08.2001 г.	14 – 15	[27]	
	17.08.2001 г.	14 – 15		
	10.08.2002 г.	11 – 12		
	21.07.2003 г.	5 – 6		
	13.09.2004 г.	5,6 – 6		

и дном с максимумом частоты Вьясяля-Брента на глубине 15 – 20 м. В это время регистрируются ИВВ, причем обычно они появляются в моменты смены апвеллинга на даунвеллинг или наличия инерционных колебаний.



Р и с . 6. Схема динамических процессов, происходящих в шельфовой зоне моря. Положение пикноклина и циркуляция показаны стрелками при сгоне (—>) и нагоне (—>).

С середины августа по середину сентября толщина верхнего квазиоднородного слоя увеличивается до 30 – 40 м. В районе ОП часто наблюдается изотермия от поверхности до дна. Однако при смене ветра и воздействии других динамических процессов происходит заток холодных придонных вод, сопровождающийся появлением пикноклина у дна, а также внутренними борами и цугами ИВВ [27]. В это время в придонном слое моря часто происходит смена направления и скорости течений, возникают значительные вертикальные сдвиги скорости течений, вызванные как динамикой низкочастотных колебаний, так и воздействием орбитальных скоростей ИВВ.

Влиянию ИВВ на перемешивание вод и транспорт наносов посвящен ряд работ. В [32, 33] показана важная роль солиборов в динамике вод шельфовой зоны моря. В [32] получено, что прохождение солибора может приводить к стократному увеличению диффузии и перемешивания через термоклин. В [33] обсуждается роль ИВВ в создании сдвигов скорости и неустойчивости в придонном слое моря, а также их важная роль в процессах транспорта наносов.

В настоящее время имеются немногочисленные работы, посвященные роли ИВВ в динамике придонного слоя, перераспределении осадков и взвешенных веществ, тепла и химических субстанций, таких как нитриты и нитриты, различных загрязняющих веществ. Мало изучено влияние ИВВ на распределение кислорода и фитопланктона. В полной мере это относится к акватории Черного моря. В связи с этим результаты данной работы являются, на наш взгляд, важным этапом в развитии исследований в рамках этого направления.

В заключении сформулируем основные выводы работы.

Анализ данных наблюдений за ИВВ свидетельствует об их постоянном обнаружении в районах резких поднятий дна, шельфовых и проливных зон; основным источником их генерации при этом являются бароклинные приливы. Значительные высоты волн, вертикальные скорости и их нелинейность свидетельствуют о важной роли ИВВ в процессах перемешивания и об их влиянии на динамику вод.

В бесприливном Черном море утверждение о бедном спектральном составе поля внутренних волн и их небольших амплитудах основывалось на данных недостаточно долговременных наблюдений. Продолжительные наблюдения показывают, что в период с середины июля по середину сентября в прибрежной зоне моря эпизодически формируются условия для генерации ИВВ с признаками сильной нелинейности, проявляющейся в значительных значениях (более 0,1) отношений орбитальных скоростей к фазовым, существенной вертикальной и горизонтальной асимметрии ИВВ и частом их проявлении в форме солиборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Osborne A.R., Burch T.L.* Internal solitons in the Andaman Sea // *Science*.– 1980.– 208.– P.451-460.
2. *Серебряный А.Н.* Нелинейные внутренние волны на шельфе // Диссерт. на соиск. уч. ст. д. физ.-мат. н.– М.: Акустический институт, 2000.– 263 с.
3. *Jakson C.R., Apel J.R.* On Atlas of internal solitary-like waves and their properties // *Global Ocean Associates*, 2002.
4. *Власенко В.И., Иванов В.А., Красин И.Г., Лисиченко А.Д.* Исследование интенсивных внутренних волн в шельфовой зоне Марокко // *Морской гидрофизический журнал*.– 1995.– 4.– С.44-62.
5. *Кузнецов А.С., Парамонов А.Н., Степаняц Ю.А.* Исследование уединенных внутренних волн в тропической зоне Западной Атлантики // *Изв. АН СССР. ФАО*.– 1984.– 20, 6.– С.840-846.
6. *DaSilva J.C., Ermakov S.A., Robinson I.S., Jeans D.R.G., Kijashko S.V.* Role of surface films in ERS SAR signatures of internal waves on the shelf. 1. Short-period internal waves // *J. Geophys. Res.*– 1998.– 103, C4.– P.8009-8031.

7. *Ostrovsky L.A., Stepanyants Yu.A.* Do internal solitons exist in the ocean? // *Rev. Geophysics.*– 1989.– 27.– P.393-310.
8. *Chapman R.D., Golenko N.N., Paka V.T., Sabinin K., Vlasenko V.I.* Dynamics of baroclinic tides on the US shelf // *Izv. Russ. Acad. Sci. Atm. Ocean Phys.*– 1997.– 33.– P.702-714.
9. *Baines P.G.* On internal tide generation models // *Deep Sea Res.*– 1982.– Part A, 29.– P.307-338.
10. *WHOI / IOS / ONR Internal Solitary Wave Workshop: Contributed Papers / Eds. Duda T.F., Farmer D.M.*– Woods Hole Oceanogr. Inst., 1999.
11. *Alpers W., La Violette P.E.* Tide-generated nonlinear internal wave-packets in the Strait of Gibraltar observed by the synthetic aperture radar aboard the ERS-1 satellite // *Proc. of 1st ERS-1 Symp.*– Eur. Space Agency Spec. Public., 1993.– P.753-758.
12. *Gerkema T., Zimmerman J.T.* Generation of nonlinear internal tides and solitary waves // *J. Phys. Oceanogr.*– 1995.– 25.– P.1081-1094.
13. *Власенко В.И.* Нелинейная модель генерации бароклинных приливов над протяженными неоднородностями рельефа дна // *Морской гидрофизический журнал.*– 1991.– 6.– С.9-17.
14. *Stanton T.P., Ostrovsky L.A.* Observations of highly nonlinear internal solitons over the continental shelf // *Geophys. Res. Lett.*– 1998.– 25.– P.2695-2698.
15. *Lamb K.G., Yan L.* The evolution of internal wave undular bores: Comparison of a fully nonlinear numerical model with weakly nonlinear theory // *J. Phys. Oceanogr.*– 1996.– 26.– P.2712-2734.
16. *Lee C., Beardsley R.C.* The generation of long nonlinear internal waves in a weakly stratified shear flow // *J. Geophys. Res.*– 1974.– 79.– P.453-462.
17. *Dushav B.D., Cornuelle B.D., Worcester P.F., et al.* Barotropic and baroclinic tides in the central North Pacific Ocean determined from long-range reciprocal acoustic transmissions // *J. Phys. Oceanogr.*– 1995.– 25.– P.631-647.
18. *Горячкин Ю.Н., Гродский С.Г., Иванов В.А. и др.* Многосуточные наблюдения за эволюцией пакета внутренних волн // *Изв. АН СССР. ФАО.*– 1991.– 27, № 3.– С.309-315.
19. *Sabinin K.D., Da Silva J., Scott J., Serebryany A.N.* Hot spots in the internal wave field of the world ocean // *Proc. of Intern. Conf. «OCEANOBS».* 18-22 Oct. 1999.– Saint Raphael, France, 1999.
20. *Munk, W., Wunsch C.* Abyssal recipes II: Energetics of tidal and wind mixing // *Deep Sea Res.*– 1998.– 45.– P.1977-2010.
21. *Сабинин К.Д., Серебряный А.Н., Назаров А.А.* Интенсивные внутренние волны в Мировом океане // *Океанология.*– 2004.– 44, № 6.– С.805-810.
22. *Тареев Б.А.* Динамика бароклинных возмущений в океане.– М.: МГУ, 1974.– 189 с.
23. *Бышев В.И. и др.* Исследования флуктуаций температуры в диапазоне частот внутренних гравитационных волн // *Изв. АН СССР. ФАО.*– 1971.– 7, № 1.– С.41-49.
24. *Иванов В.А., Лисиченок А.Д., Немировский М.С.* Возбуждение короткопериодных внутренних волн пульсациями ветра // *Изв. АН СССР. ФАО.*– 1987.– 23, № 2.– С.179-185.
25. *Власенко В.И., Иванов В.А., Красин И.Г., Лисиченок А.Д.* Генерация интенсивных короткопериодных внутренних волн во фронтальной зоне прибрежного апвеллинга // *Морской гидрофизический журнал.*– 1997.– 3.– С.3-16.

26. *Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др.* Изменчивость гидрофизический полей Черного моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1984.– 240 с.
27. *Иванов В.А., Лисиченок А.Д., Серебряный А.Н.* Нагоны и нелинейные внутренние волны в шельфовой зоне Черного моря // Доклады IX научной школы-семинара Л.М.Бреховских «Акустика океана».– М.: ГЕОС, 2002.– С.447-451.
28. *Христофоров Г.Н., Запезалов А.С.* Развитие летнего апвеллинга вблизи Южного берега Крыма // Метеорология и гидрология.– 2002.– 7.– С.55-67.
29. *Иванов В.А., Лисиченок А.Д.* Внутренние волны в шельфовой зоне и у кромки шельфа в Черном море // Морской гидрофизический журнал.– 2002.– 6.– С.67-73.
30. *Филонов А.Е.* Пространственно-временная изменчивость внутренних волн в океане // Диссерт. на соиск. уч. ст. д. геогр. н.– Одесса: Одесский гидромет. институт, 1992.– 491 с.
31. *Иванов В.А., Лисиченок А.Д.* К механизму генерации короткопериодных внутренних волн пульсациями ветра // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное исследование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002.– С.191-196.
32. *Mak Kinnan J.A., Gregg M.C.* Mixing on the late-summer new England shelf-solibores, shear and stratification. Preprint.– AGU, 1999.– 4.– 19 p.
33. *Vogucki D., Dikky T., Redekopp L.G.* Sediment resuspension and mixing by resonantly generated solitary waves // J. Phys. Oceanogr.– 1997.– 7.– P.1181-1196.

Материал поступил в редакцию 17.03.2005 г.