МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ НА ШЕЛЬФЕ С ПОМОЩЬЮ АДСР

Андрей Нинелович Серебряный

АО «Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева», Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Институт космических исследований РАН

Седьмая Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 24-29 февраля 2016 г

Уединенный слик на шельфе Черного моря, встреченный при выходе из Голубой бухты



Уединенный слик, встреченный около бухты Витязь, Японское море 17.09.2004



Положение сликовой полосы совпало с границей смены направления вдольберегового течения.

Интенсивность обратного рассеяния акустического сигнала (вверху) и в-з компонента течений на разрезе, ориентированном по нормали к берегу.





Shear instability

Alongshore current of 0.8 m/s during ebb. There is strong opposite current (0.3 m/s) beneath sharp thermocline. Kelvin–Helmholts instability generate train of 5 billows with heights up to 10-12 m.





ADCP Whorkhorse «Rio Grande - 600 kHz»



During 4 summer seasons (2003-2006) TRDInstruments-Europe supported our expedition work on shelves of Russian seas with free loan of ADCP "Workhouse Rio Grande 600 kHz".

What ADCPs measure

- Velocity Profile
- Flow Homogeneity (Error)
- Range to Bottom
- Vessel Speed Over Ground
- Echo Intensity (Signal Strength)

What ADCPs measure (after Paul Devine, TRDInstruments)



With director of RD Instruments-Europe Mr. Hector-Lysis Kiriakidis during Conference "ADCPs in action Europe", Nice, 2004.



Начиная с 2003 г с использованием ADCP "Rio Grande 600 kHz"мы провели <u>33</u> экспедиции на шельфах Черного и Японского морей :

15 экспедиций (Геленджик, Черное море)
9 экспедиций (Кацивели, Крым, Черное море)
4 экспедиции (Японское море, м. Шульца)
5 экспедиций (Сухум, Абхазия, Черное море)

Study areas in the Black Sea



Andreyev Acoustics Institute during several years performs complex acoustical and oceanological studies on a fixed experimental path in the Black Sea, near the Golubaya Bay, Gelendgik.

Study area in the Sea of Japan



Investigations of internal waves on shelves with using ADCP «Rio Grande 600 kHz» gave us possibility to see the processes in more detail



The ADCP "Rio Grande 600 kHz" was mounted on yacht belonging to Pacific Oceanological Institute, RAS.



We use for surveys with ADCP in the Black Sea yacht of small size



Платформа МГИ, июль 2014



АDCP в режиме долговременной регистрации с платформы

ADCP «WorkHorse RioGrande»





Спуск на воду вельбота, оснащенного АDCP



Подготовка к проведению пространственной съемки. Крепление ADCP к борту судна.



Эстакада ГИАНА (вид с Сухумского маяка)



Исследование течений на шельфе

Схема маневрирования яхты с ADCP во время съемки 7 октября 2015



Придонные скорости (5 м) 7 октября



7 октября Приповерхностные течения



Исследование субмезомасштабных вихрей на шельфе

Satellite SAR image of coastal anticyclonic eddy near Gelendgik, October, 5, 2006, North-East coast of the Black Sea (courtesy of Dr. O.Lavrova, Space Research Institute, RAS). Eddy of 25-km diameter is moving alongshore to the N-W with speed of 12 sm/s.



Variability of mean currents at 6-km cross-sections in coastal zone, induced by passing anticyclonic eddy. Observations were made every day from 5 to 11 October, 2006.



Variability of intensity of currents during passing of the eddy. появление струй интенсивного течения, выходящих из глубины к поверхности. Образуемые ими сдвиговые течения на морской поверхности образуют слики, что дает возможность наблюдать спиралевидный рисунок вихрей на спутниковых снимках. При подходе вихря струи приближаются к берегу, а течение в них усиливается, что видно из сопоставления записей на разрезах 8 и 9 октября.



Появление антициклонического вихря создает условия подхода в прибрежную зону холодных придонных вод, что ведет здесь к движению термоклина вверх. На картинах обратного рассеяния акустического сигнала термоклин виден в виде протяженной границы между водами голубого и зеленого цветов в районе глубин 20 м. Термоклин по всему шельфу приподнят из-за прохода вихря на 3 м (разрез справа)) по сравнению с моментом до появления вихря (разрез



Картины объемного обратного рассеяния акустического сигнала

5.10.2006 – до подхода вихря

10.10.2006 – при проходе вихря

Исследование течений в море у мест впадения крупных рек Район работ у впадения р. Гумиста (слева) и результаты съемки течений (справа)



Картины обратного рассеяния для разреза напротив Гумисты (вверху) и разреза удаленного от Гумисты «вниз по течению» (внизу).





Гидрологический фронт у побережья вблизи впадения в море р. Кодор



Сулой в прибрежных водах при впадении реки Кодор



Измерения в море у р. Кодор, октябрь 2015 г.



Картины эхолокационных контрастов на разрезе поперек шельфа напротив места впадения Кодора (вверху) и на разрезе в стороне, куда не распространяются речные воды (внизу)




Подспутниковые измерения

Подспутниковые измерения



Фрагмент спутникового снимка высокого разрешения RADARSAT-2 от 11.10.2011 с данными о течениях, измеренными ADCP на разрезах в момент пролета спутника над акваторией.

Вид пакетов внутренних волн на спутниковом радиолокационном изображении (фрагмент снимкаTerraSAR-X от 16.09.2012) и характеристики внутренних волн, зарегистрированные с помощью АDCP при подспутниковых измерениях (Серебряный, Лаврова, 2015).



Измерение концентрации взвешенного вещества и распределения планктона в морской толще

Измерение распределения планктона в морской

толще





Распределение сигнала обратного рассеяния в водной толще на поперечном разрезе у Голубой Бухты (вверху). Измерения ADCP "Rio Grande 600 kHz". Вертикальная линия указывает Местоположение взятия проб фитопланктона. Структура фитопланктонного сообщества по биомассе на станции (глубина 30 м) на горизонте 20 м (внизу).

- Для использования ADCP с целью измерения концентрации планктона нам необходимо провести калибровку прибора путем сопоставления измеренной по горизонтам биомассы фитопланктона с соответствующими данными о рассеянии акустического сигнала.
- После проведения линейного регрессионного анализа данных, измеренных на станции, который позволяет вычислить необходимые константы, и, применяя результаты работы (Deines K.L. //Proceedings IEEE 6th Working Conference on Current Measurements, 1999, p. 249-253), получаем уравнение для пересчета данных "Rio Grande 600 kHz" в концентрацию биомассы фитопланктона в следующем виде:
- $\log_{10}(C) = -593.29 + \log_{10}(R2) + 2.15 \cdot R + 10.795 \cdot E$
- где С концентрация фитопланктона в (мг/м3), R расстояние от излучателя до частицы, Е сила эхо-сигнала.
- Используя полученное уравнение, мы можем в любой точке разреза, проведенного с использованием ADCP, иметь вертикальное распределение биомассы фитопланктона с шагом по глубине 0.5 м.

Вертикальные профили распределения биомассы фитопланктона на калибровочной станции (1) и на удалении от нее в мористой части разреза (2).



Экологический мониторинг

Коэффициент объемного обратного рассеяния, измеренный ADCP "Rio Grande 600 kHz" на сечении напротив Голубой бухты (а) и над трубой сточных вод





Исследования внутренних волн и связанных с ними эффектов

Record of echo intensity made by "Rio Grande 600 kHz" from anckored yacht on shelf in the Sea of Japan. Internal wave parameters: period - 13 minutes, horizontal component in orbital currents – up to 0.5 m/s, vertical component – up to 0.1 m/s. There is 15-m amplitude internal wave In the right corner.



Horizontal component (north) of current (top) and vertical component (up) of current (down) during passing of train of intense internal waves on shelf of the Sea of Japan, 20 September 2004.





Slicks in the entrance of Vityaz Bay, the Sea of Japan.



Internal waves in the entrance of Vityaz Bay



Envisat – ASAR image of the area, Sept. 23, 2004, 01 h 36 min GMT(12 h 36 min LT)





Train of 10-m internal waves observed near continental slope in the Sea of Japan. The waves are traveling



Internal waves on cross section on shelf of the Sea of Japan (measurements on 23.09. 2004)



Slick on the sea surface generated by internal wave on 23.09.2004



Position of slick and ripp band for cases of internal wave elevation and depression









TABLE 1. Parameters of the internal waves

No. of wave	Velocity, m/s	Initial height,m	Final height,m
3	0.23	4.5	4.5
4	0.24	5.0	4.0
5	0.25	4.5	5
6	0.25	4.5	6.5
7	0.26	4.0	6.0

The waves approaching the shallow-water zone decrease their velocity from 0.26 to 0.23 m/s. The horizontal size of the waves is within 90—180 m. The amplitudes of the majority of the waves tend to increase in approaching the shallow-water region, this observation agreeing with the theoretical predictions

Nonlinear effects in observed internal waves

The horizontal asymmetry of internal waves.



Measurements made by two line temperature sensors separated by a 25-m distance perpendicular to the shoreline in the coastal zone in September, 1982 (Serebryany 1985) (left picture). Record made by towing the ADCP in the close area (September, 2004) (right picture)

Солитоно-подобные внутренние волны. Случай придонного термоклина





Іинтенсивные внутренние волны в глубоководной части шельфа имеют форму волн углублений (слева), а в мелководной части – форму волн возвышений (справа)



Прибрежный фронт, возникший вследствие шторма в Черном море . В послештормовой период движущийся в прибрежной зоне фронт сопровождается цугом короткпериодных внутренних волн.



Generation of internal waves by moving surface intrusions



T, °C

S, ‰

Train of internal waves, registered at a moment of passing of intrusion front (line temperature record)

Results of numeric modeling (Pao and Serebryany, 2002)

Внутренние боры

Internal bore in the form of step of bottom cold water is appearing in the coastal zone of the Black Sea as a strong flow current in the bottom layer (up to 60 sm/s). Record of 14.4 hours is shown.



Запись ADCP (сигнал обратного рассеяния) во время подхода внутреннего бора (10-11 июля 2011), и изменение температурной структуры моря (внизу)





Internal bore observed on 21.08. 2005 (velocity amplitude is shown). Strong subsurface current (up to 80 sm/s). Record of 13.5 hours. Резкое изменение направления течения (с восточного на западное).



Обнаружение новых механизмов генерации внутренних волн на шельфе Генерация внутренних волн из-за столкновения течений



Distribution of velocity magnitude (top), temperature (middle), average backscatter signal (bottom) on cross-shelf section (length of the tack is 23 km).





0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22



Наблюдение сдвиговой неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в прибрежной 30не
Observation of K-H instability in coastal water of the Sea of Japan (17.09.2004) using ADCP.



Other important effects connected with internal waves

Effect of internal waves on subsurface layer of air bubbles in the sea (Modulation of thickness of the subsurface bubble layer by passing internal waves)





An explanation of the effect due to orbital currents induced by passing internal waves



The observed effect can be explained in terms of two mechanisms: the overturning of the surface waves that generate the undersurface bubbles in the field of convergence of the flows and the downward carrying of the bubbles by the orbital flows in the internal waves.

Interthermocline lens of warm and salt waters



Strong interaction of internal waves with the bottom. Solitonlike internal waves propagating above underwater bank and generating "dune-solitons" on the bottom relief. Heights of these underwater dunes are as much as 6 m.



Регистрация ADCP аномальных явлений в море

- 1. Встреча с уединенной поверхностной волной большой амплитуды (freak wave). На фоне зыби высотой около 1 м отмечено появление волны высотой более 4 м.
- 2. Измерение <u>аномально сильного подповерхностного</u> <u>течения (до 1 м/с)</u>, сопровождающего <u>шквалистый</u> <u>ветер</u> на море.
- Регистрация <u>внутренних</u> солитоноподобных <u>волн</u> <u>рекордных амплитуд</u> в Черном море за несколько часов до подхода <u>холодного атмосферного фронта.</u>

Картина эхолокационного контраста по данным ADCP "Rio Grande 600 kHz" (вверху) и данные вертикальной компоненты течений (внизу) при прохождении на разрезе через пакет 15метровых нелинейных внутренних волн на галсе от берега. Измерения у м. Толстый, октябрь 2015 г.





Заключение

- ADCP "Rio Grande 600 kHz" проявил себя как мощный и удобный инструмент акустической океанологии.
- С его применением удалось собрать значительный материал, который позволил нам продвинуться дальше в понимании процессов на морском шельфе.
- Возможности ADCP еще не исчерпаны до конца.

Спасибо за внимание

