

**ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ADCP
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ
МОРСКОЙ СРЕДЫ**

А.Н.Серебряный

*Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева,
Институт космических исследований РАН*

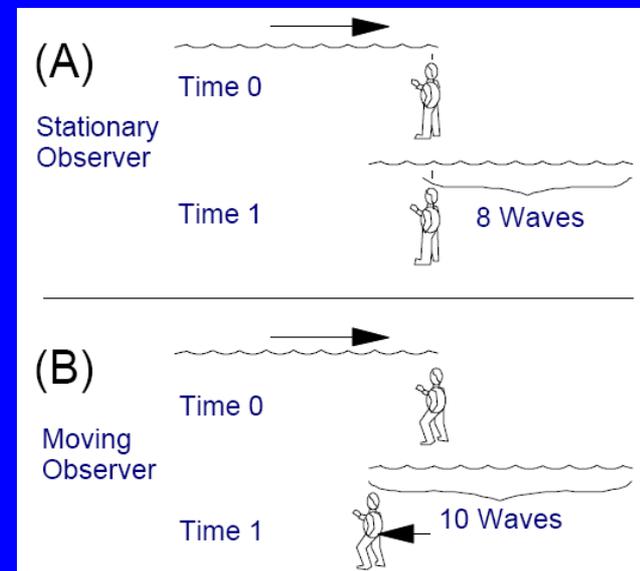
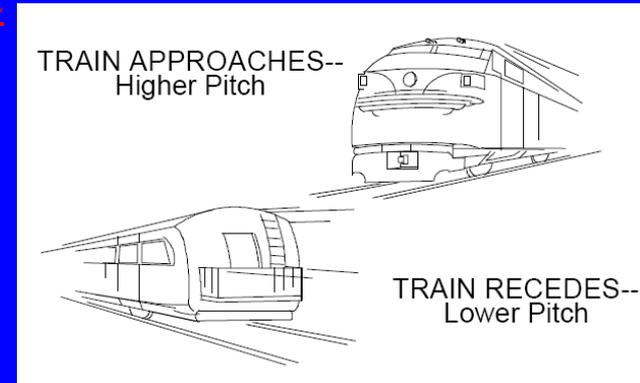
ADCP Whorkhorse «Rio Grande - 600 kHz»



During 4 summer seasons, beginning from 2003 TRD Instruments-Europe supported our expeditional work on shelves of Russian seas with free loan of ADCP "Workhouse Rio Grande 600 kHz".

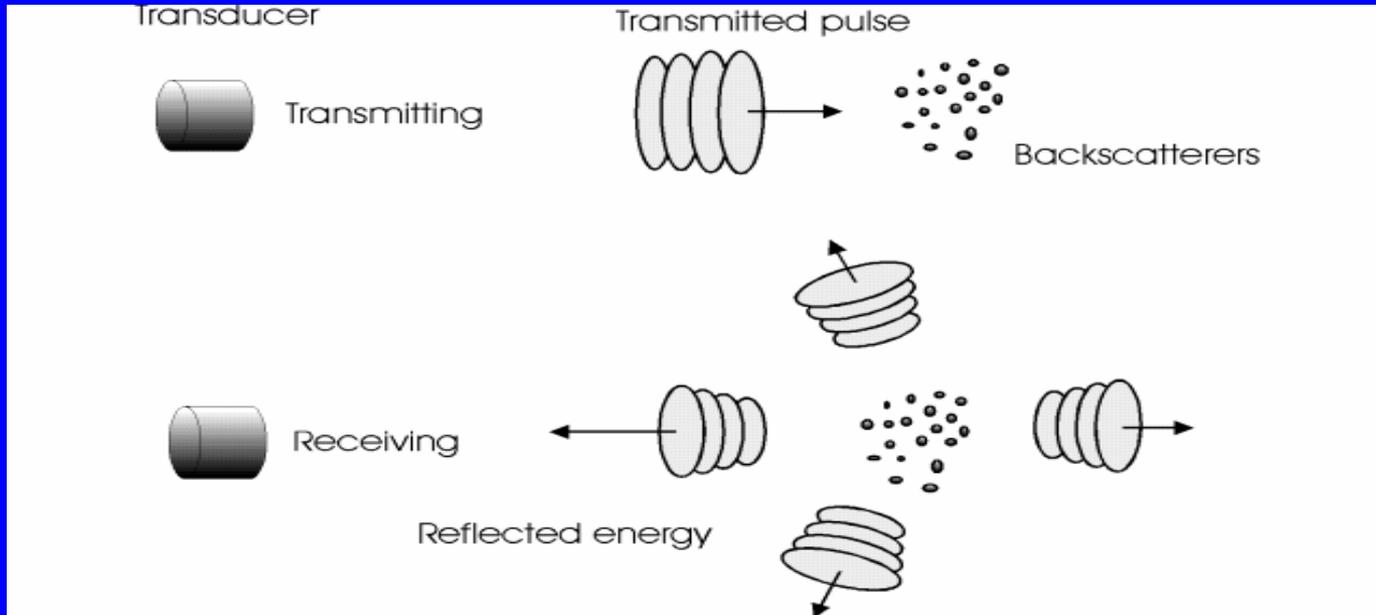
Principles of Operation: The Doppler Effect

- Speed of sound = frequency \times wavelength: $C = f \cdot \lambda$
- The *Doppler effect* is a change in the observed sound pitch that results from relative motion. The *Doppler Shift* is the difference between the frequency you hear when standing still and what you hear when you move:
 $F_d = F_s (V/C)$.
The *Doppler effect* measures only relative, radial motion.
- ADCP uses the Doppler effect by transmitting at a fixed frequency and listening to echoes returning from scatterers in the water



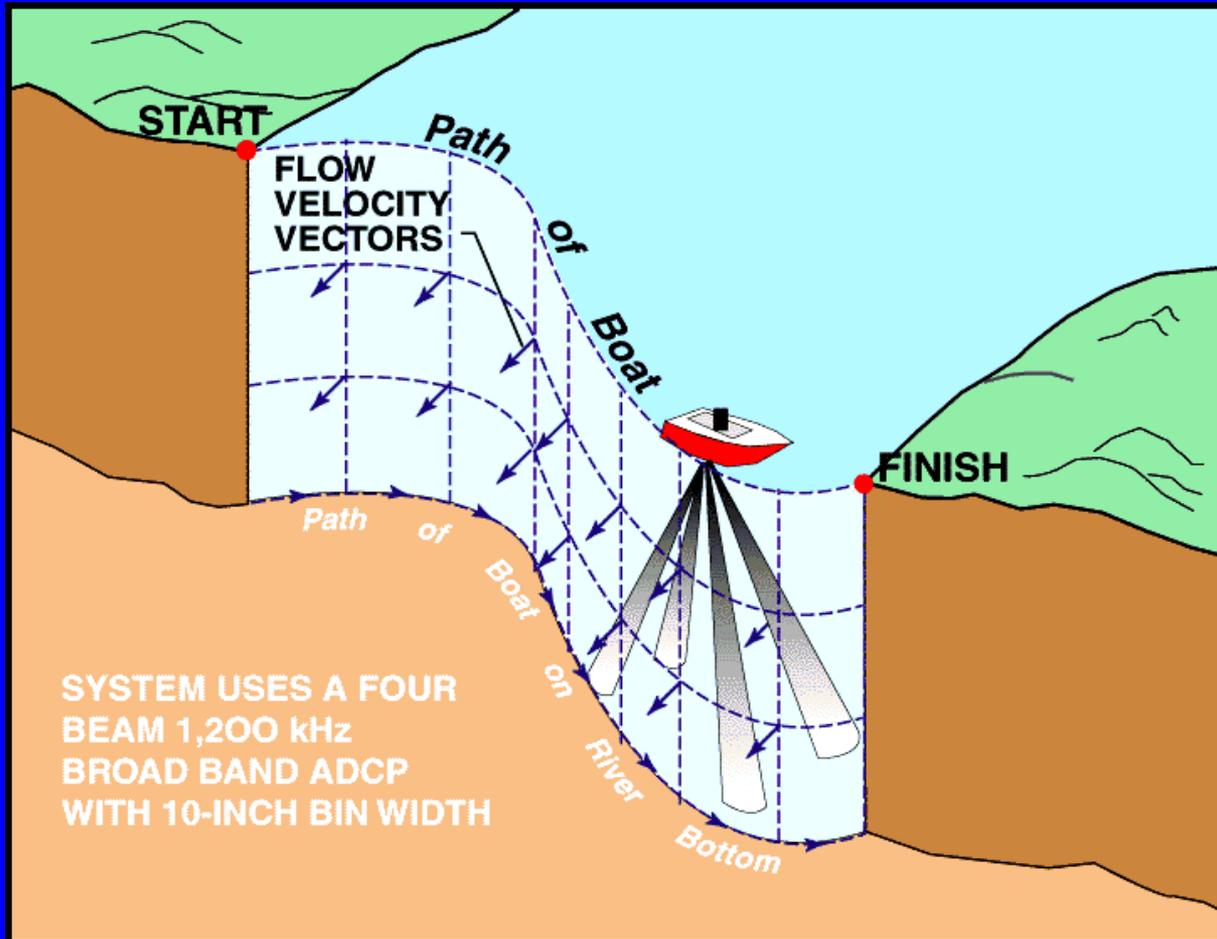
(based on RDI technical tips: <http://www.rdinstruments.com/tips/tips.html>)

Acoustic Backscatter



- **Backscatter is Reflected Energy at Each Range**
- **Backscatter Increases With Increasing Sediment Concentration**
- **Backscatter Profile \sim constant with cst water properties**

What ADCPs measure (after Paul Devine, TRDIstruments)

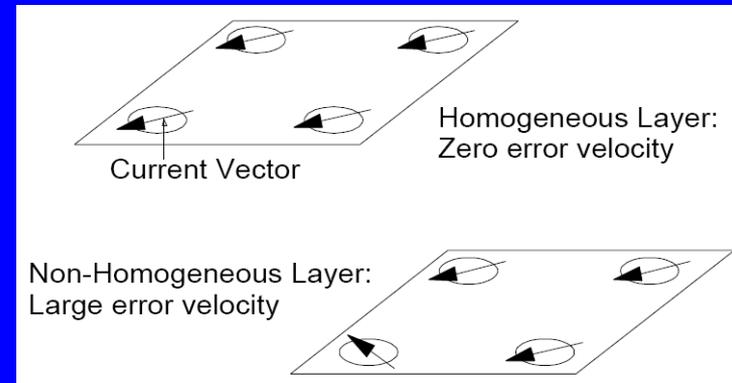
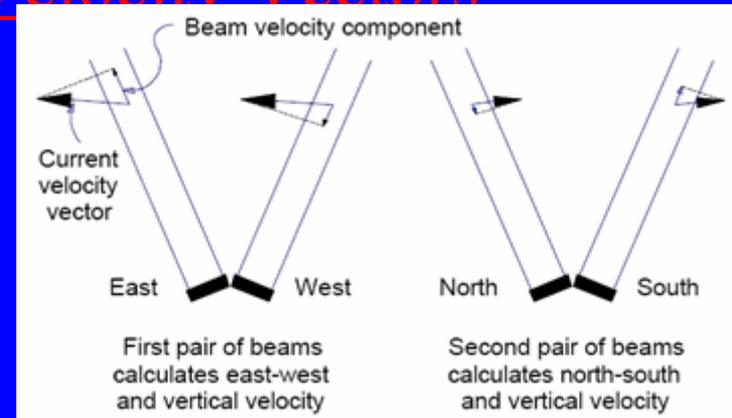


What ADCPs measure

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

Principles of Operation: Three-dimensional Current Velocity Vectors

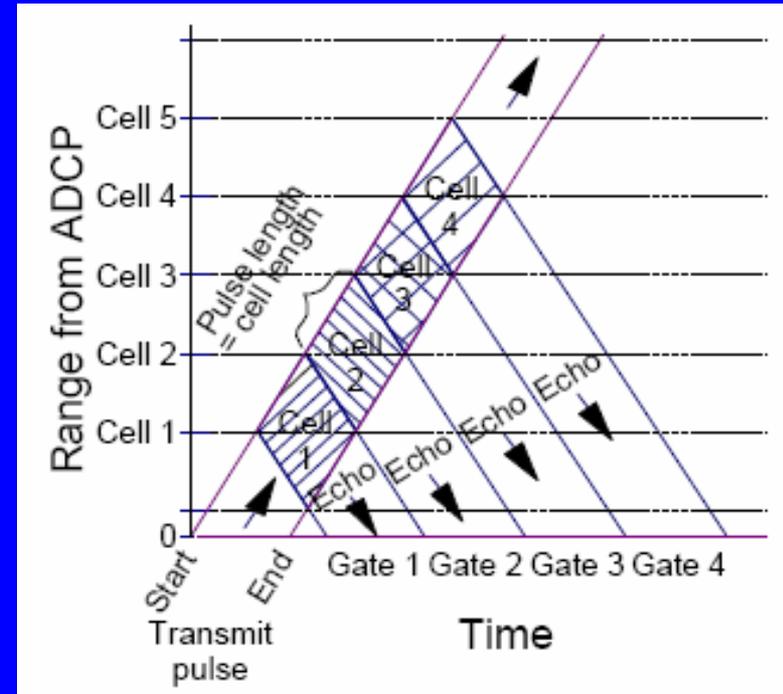
- Multiple Beams
- Current Homogeneity in a Horizontal Layer
- Calculation of Velocity with the Four ADCP Beams
- Error velocity: Why it is Useful
- The Janus Configuration



(based on RDI technical tips: <http://www.rdinstruments.com/tips/tips.html>)

Principles of Operation: Velocity Profile

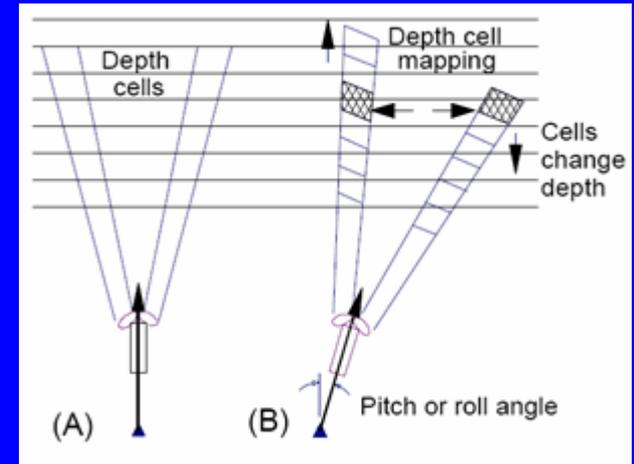
- Depth Cells and Range Gating
 - Echoes from far ranges take longer to return to the ADCP than do echoes from close ranges. Profiles are produced by range-gating the echo signal
 - The velocity is averaged over the depth of the entire depth cell
- The Weight Function for a Depth Cell
 - The echo from the farthest part of a cell contributes signal only from the leading edge of the transmit pulse. The echo from the closest part of a cell contributes echo only from the trailing edge
 - As a result the velocity in each depth cell is a weighted average. Also, each depth cell overlaps adjacent depth cell. This overlap causes a correlation between adjacent depth cells of about 15% if transmit pulse is equal to depth cell size



(based on RDI technical tips: <http://www.rdinstruments.com/tips/tips.html>)

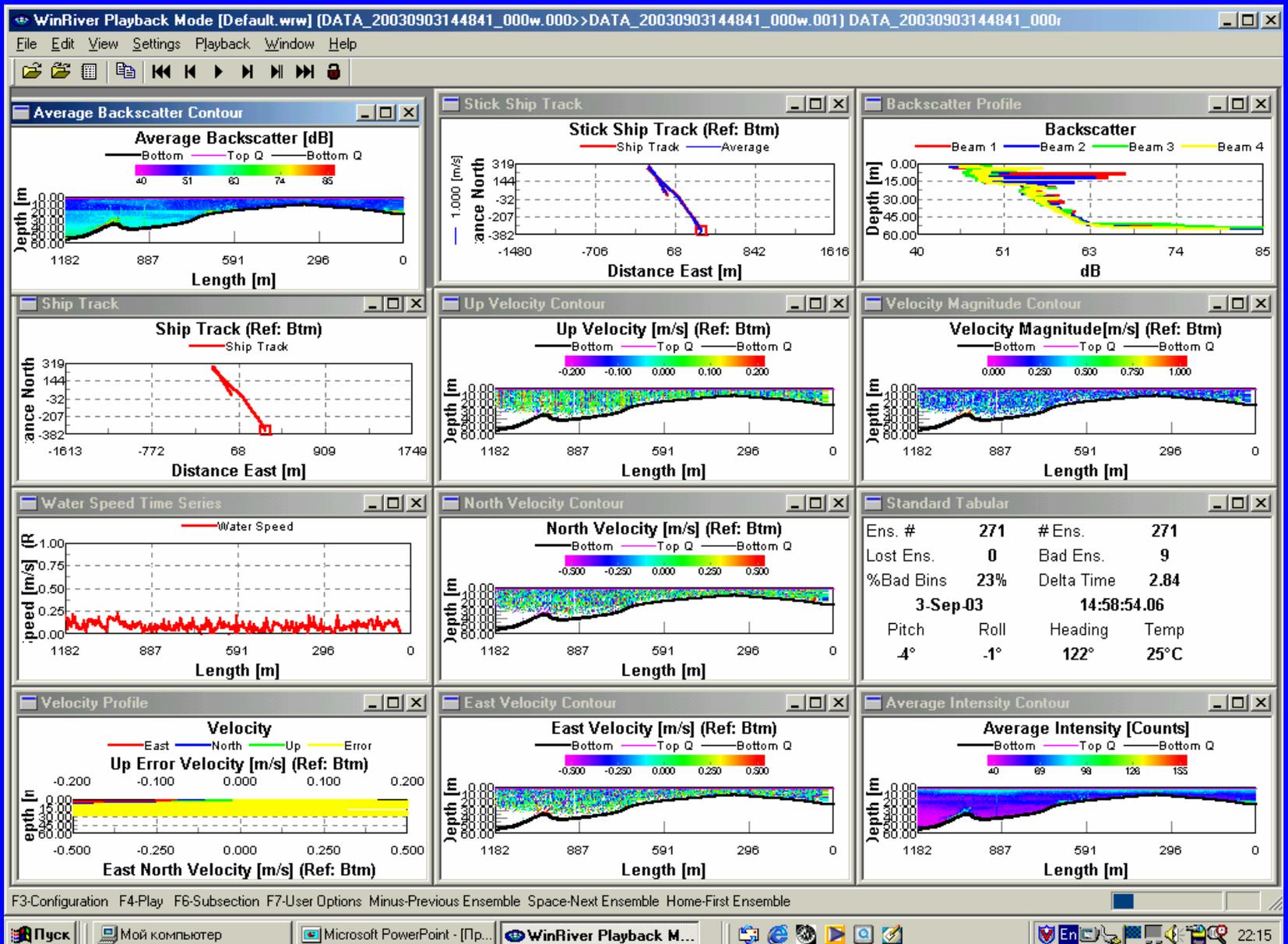
Principles of Operation: ADCP Pitch, Roll and Heading

- Conversion from ADCP- to Earth Reference (trigonometry & depth cell mapping)
- Measuring ADCP Rotation and Translation
 - Rotation (heading): flux-gate and gyrocompass
 - Rotation (pitch and roll): inclinometers & vertical gyro
 - Translation: bottom-tracking, GPS, reference ("no-motion") layer



(based on RDI technical tips: <http://www.rdinstruments.com/tips/tips.html>)

Possibilities of ADCP



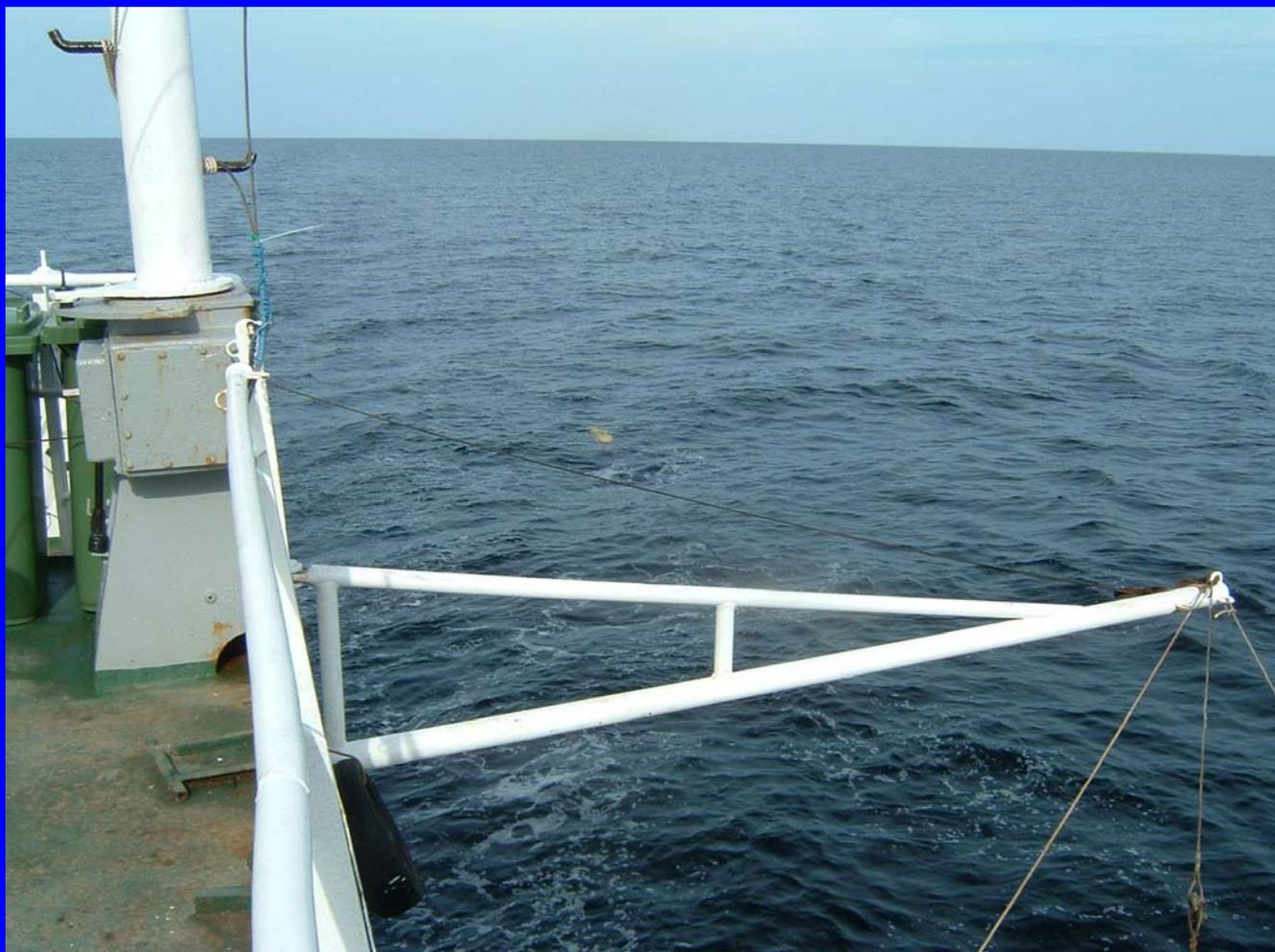
НИС «Профессор Штокман», 71-й рейс
(Август, 2005); 80-й рейс (Август, 2006).

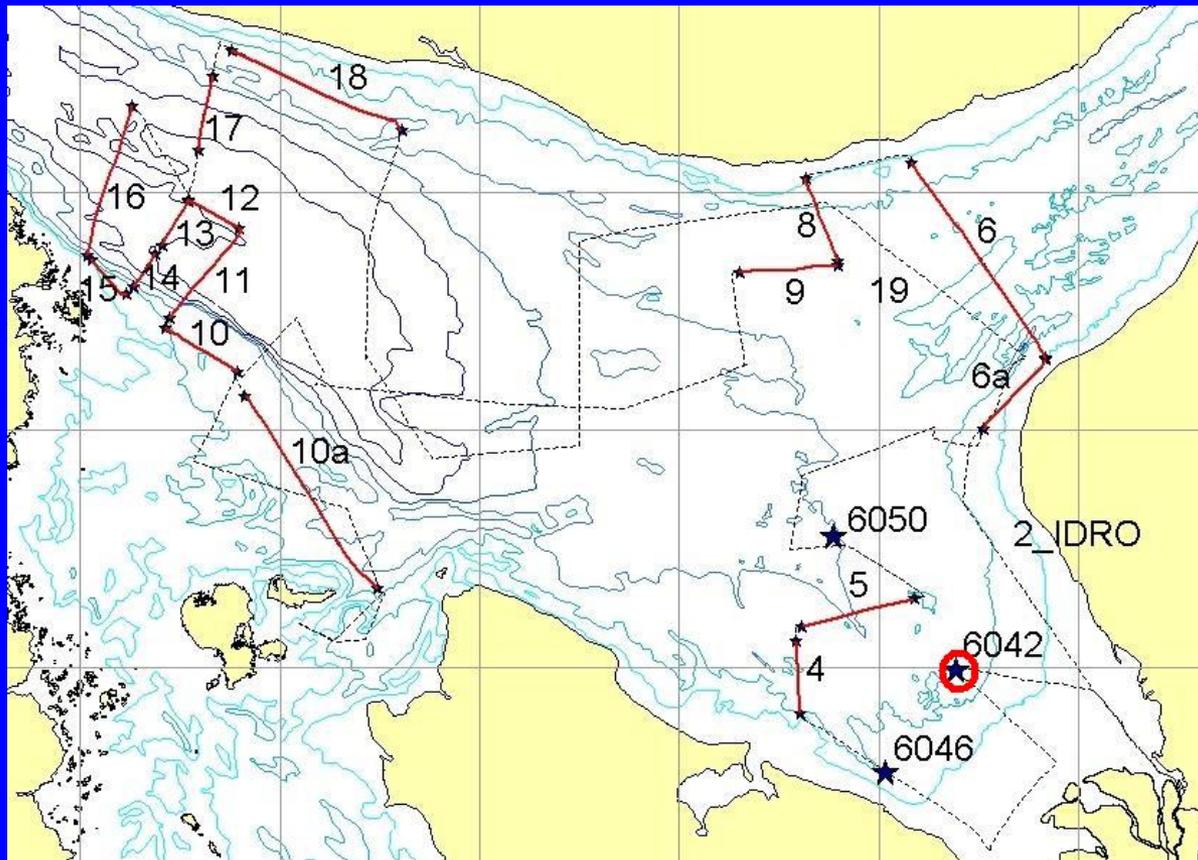


ADCP “Rio Grande 600 kHz” помещенное в обтекаемое тело для буксировки

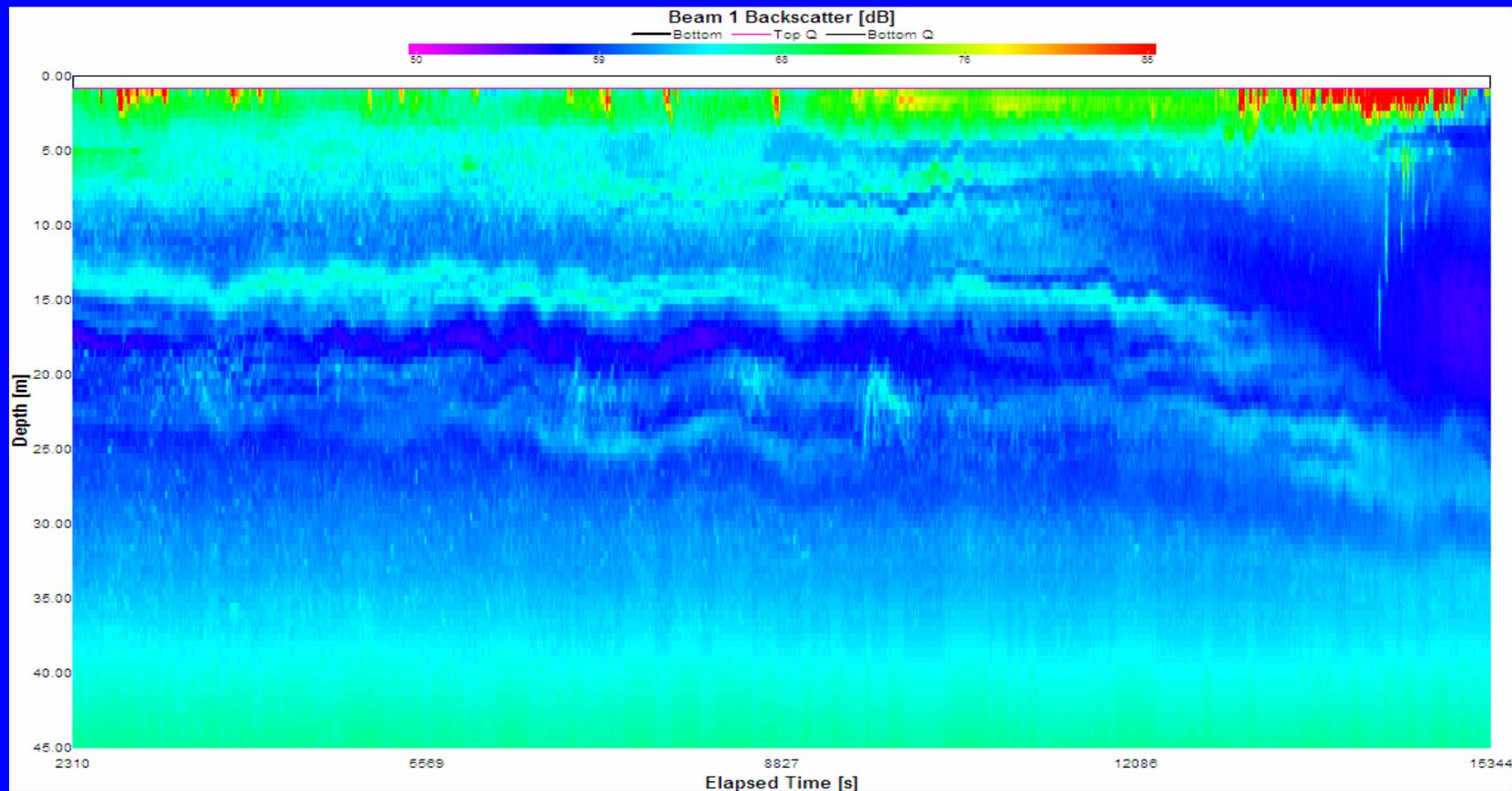


Буксировка ADCP, скорость судна около 3 м/с

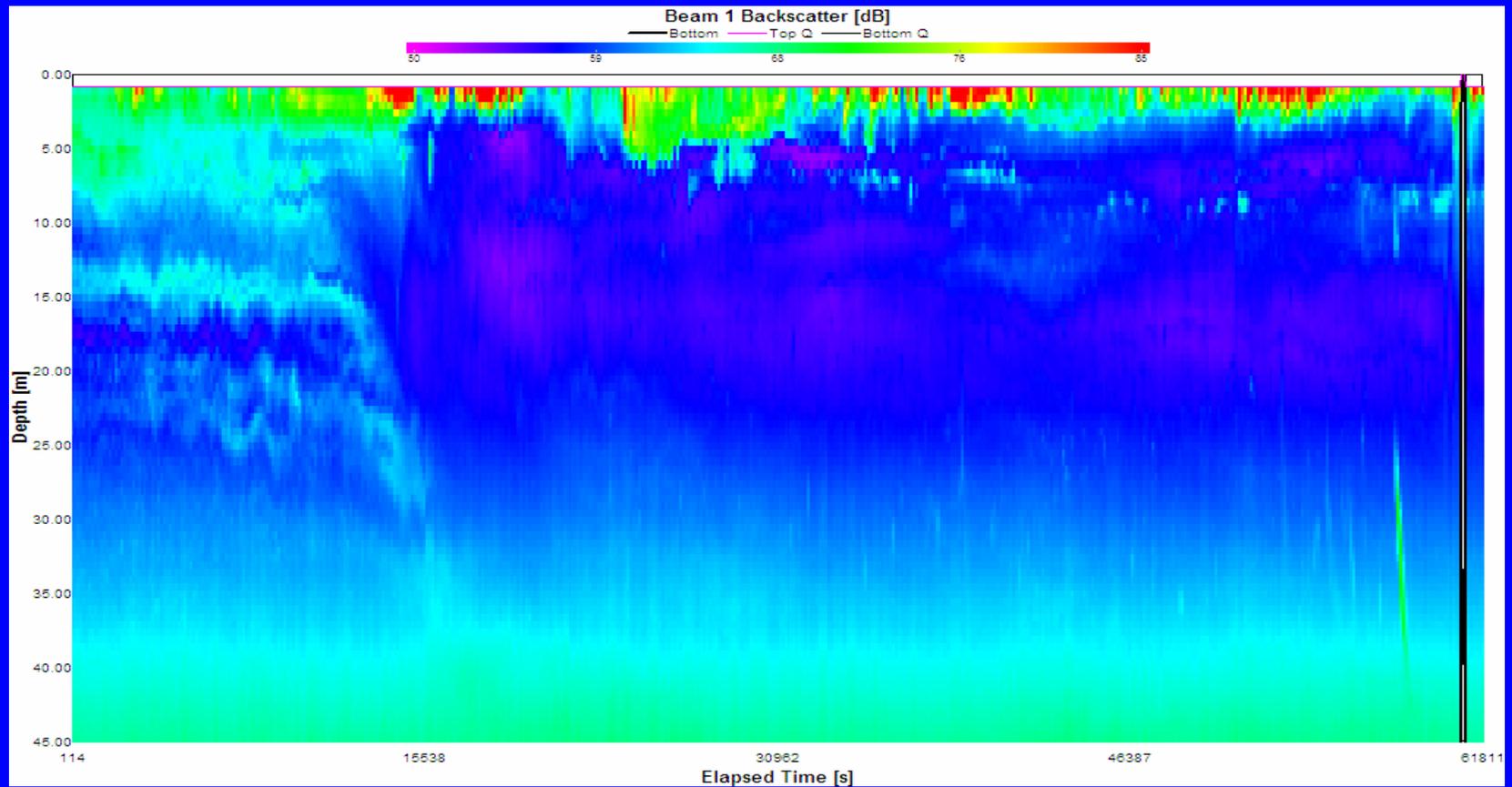




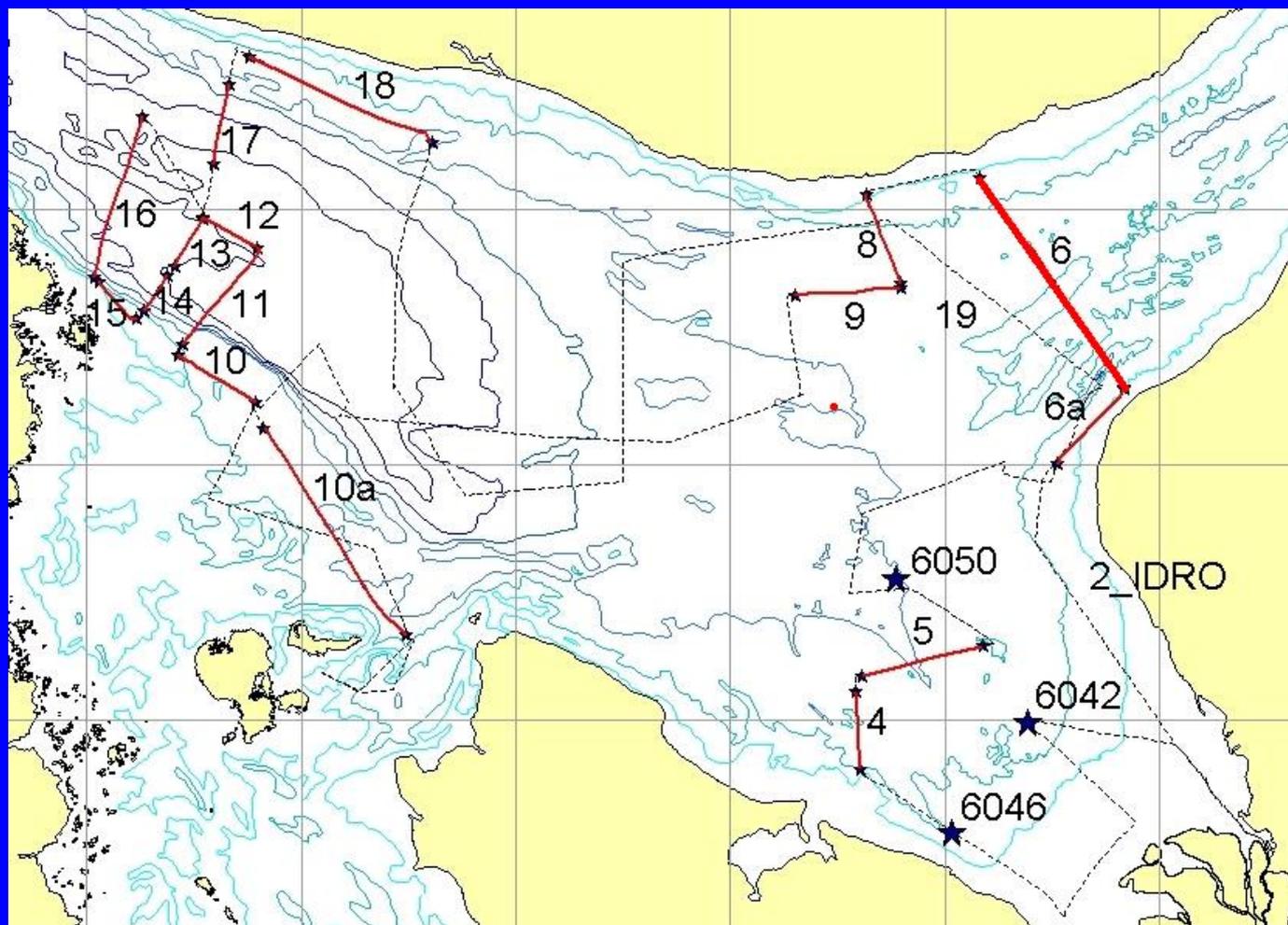
Короткопериодные внутренние волны с типичными высотами 2-3.5м на записи эхолокационных контрастов (600 кГц ADCP). Белое море, Двинский залив. (Серебряный, Пака, Корж, 2009)



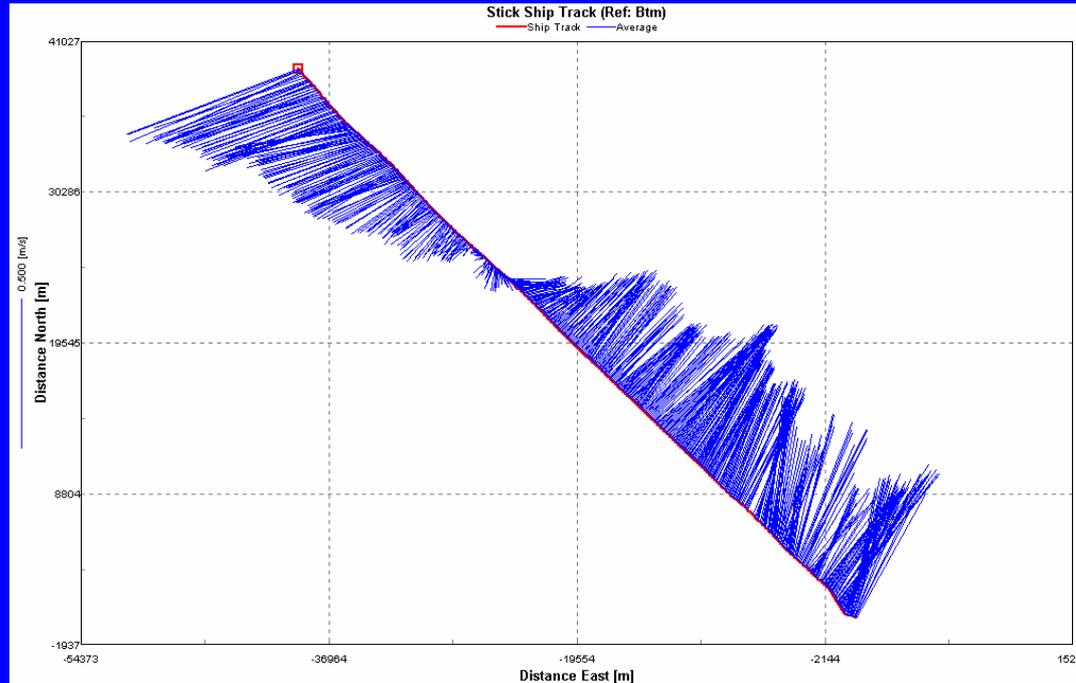
Заглубление звукорассеивающих слоев при наступлении утра



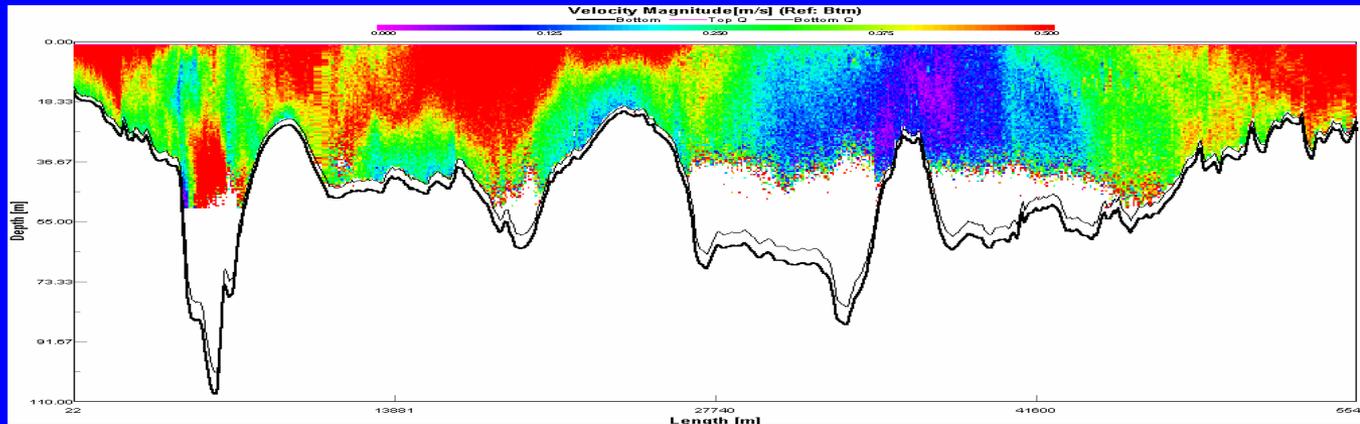
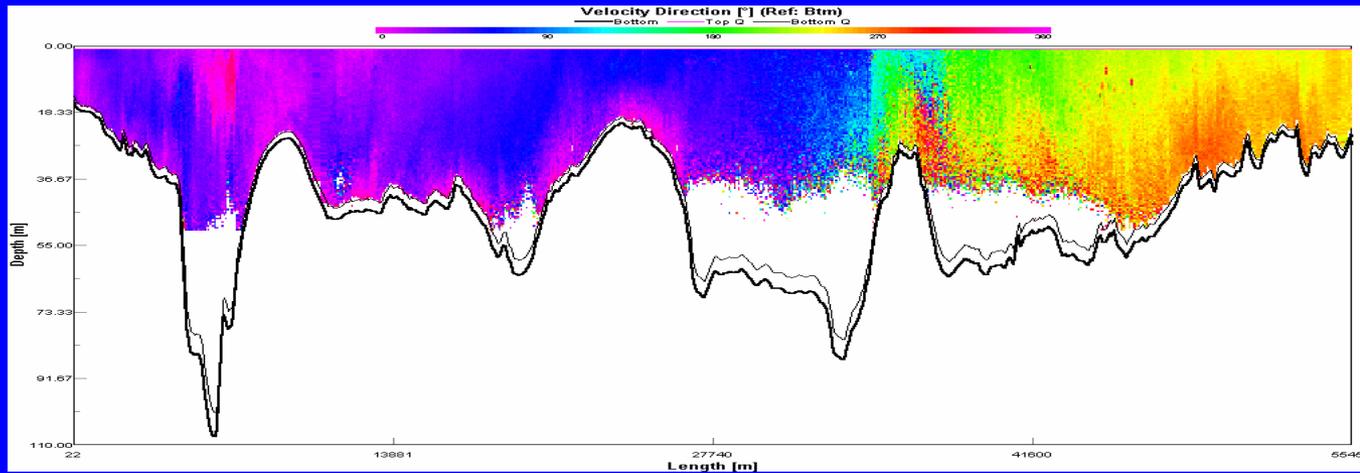
Батиметрическая карта Белого моря и траектория разреза
НИС «Профессор Штокман» через Горло Белого моря
(красная линия) 19 августа 2006



Траектория 55-км разреза через Горло Белого моря и осредненные (по глубине) течения на разрезе. Вверху показана изменчивость направления течений на разрезе, внизу - изменение модуля течений



Распределение направления (вверху) и амплитуды течения (внизу) по глубине на разрезе поперек Горла. Узкая глубокая ложбина глубиной до 110 м (3.5 км x 10 км) пересечена на разрезе. Над ложбиной максимум течения не в приповерхностном слое, а заглублен на 30 м.

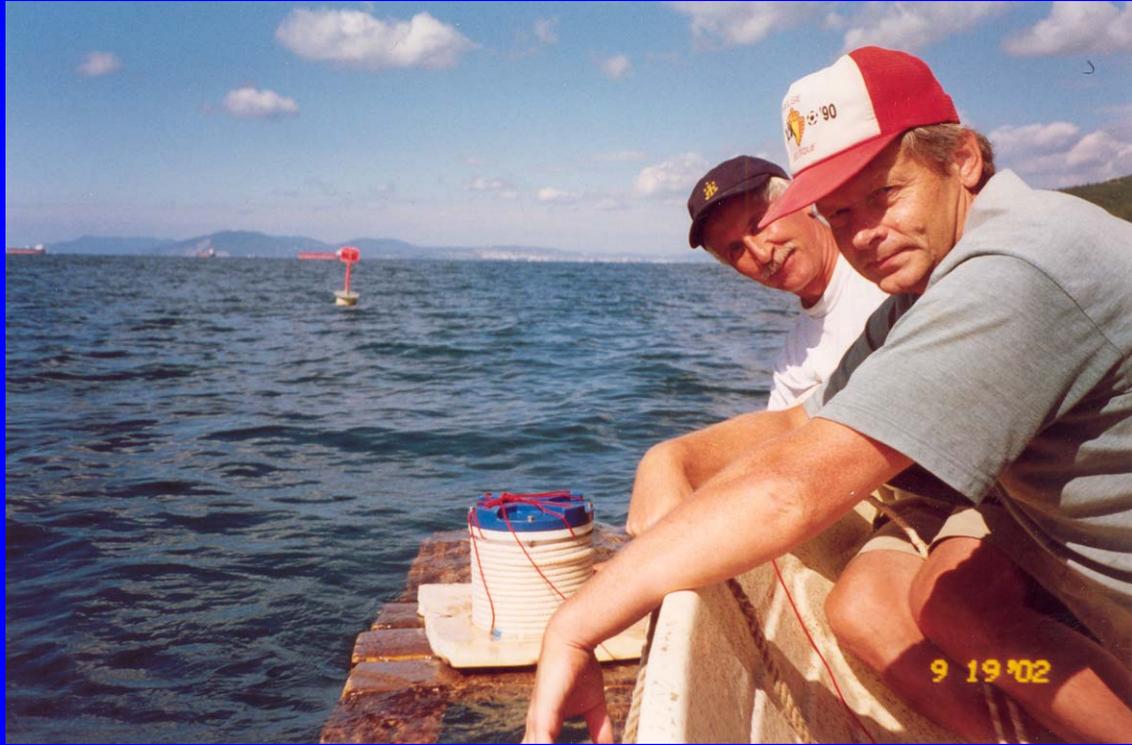


Investigations of internal waves on shelves with using ADCP «Rio Grande 600 kHz» gave us possibility to see the processes in more detail



Using of “Rio Grande 600 kHz” from a boat





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



Яхта, оснащенная ADCP “Rio Grande 600 kHz”, позволяет вести долговременные наблюдения на акватории вблизи Голубой бухты, северо-восточное побережье Черного моря.



With director of RD Instruments-Europe Mr. Hector-Lysis Kiriakidis during Conference “ADCPS in action Europe”, Nice, 2004.



Study area in the northeast part of the Black Sea



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

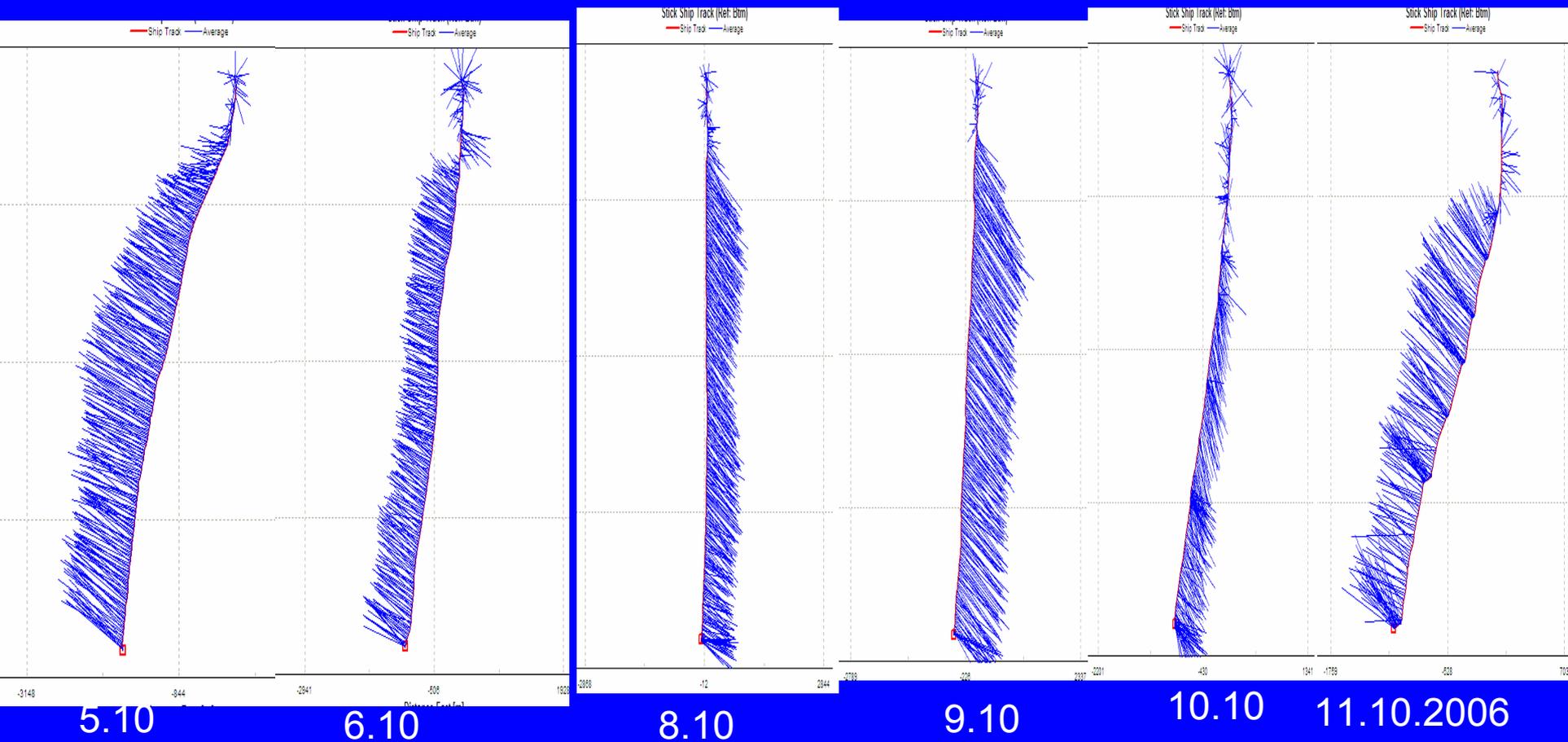
Прибрежные антициклонические вихри (ПАВ)



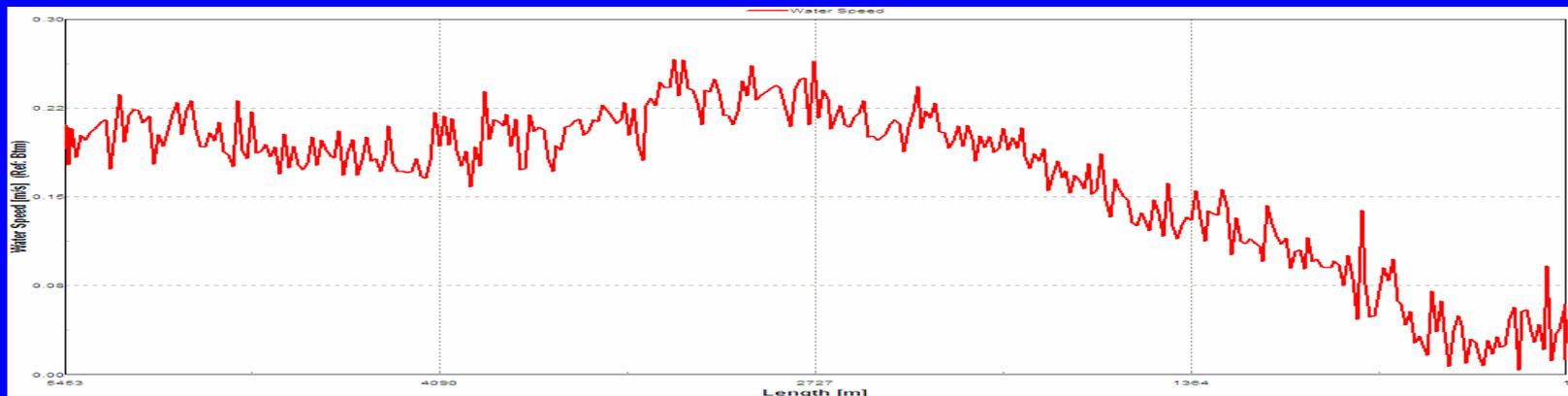
- Фрагмент радиолокационного изображения поверхности Черного моря в районе Геленджика, полученного с помощью радиолокатора ERS-2 SAR 5 октября 2006 (О.Ю. Лаврова ИКИ РАН).
- На снимке виден антициклонический вихрь размером около 25 км на расстоянии 30 км от траверса Геленджика.
- Вихрь движется на С-З с потоком ОЧТ (Основное черноморское течение) со скоростью 12 см/с

Изменчивость течений на 6-км разрезе на юг от Голубой бухты, вызванная прохождением прибрежного антициклонического вихря.

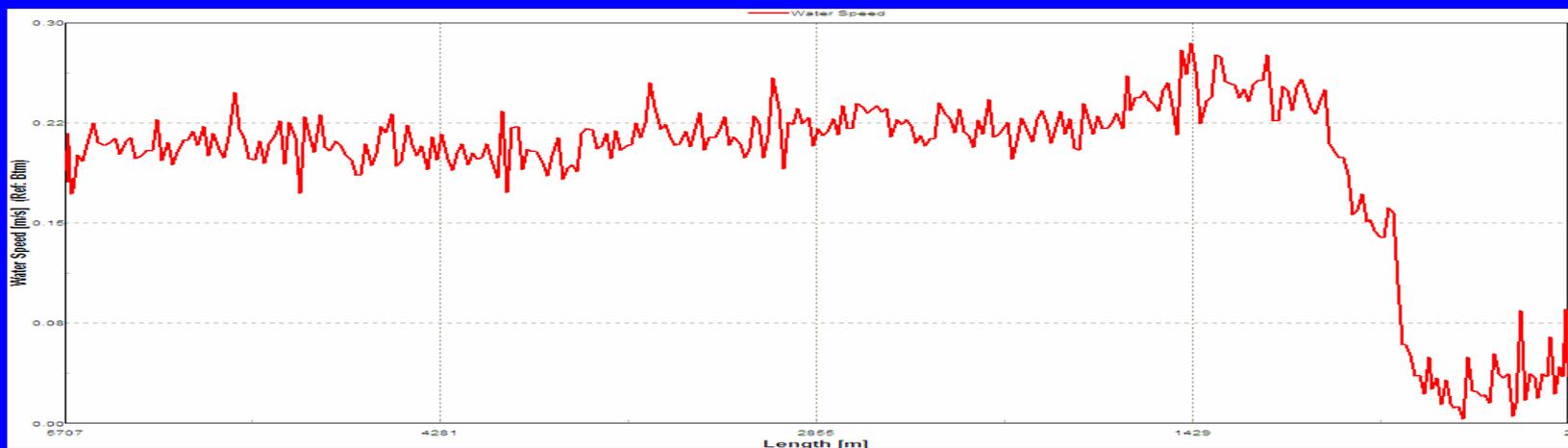
Наблюдения на ежедневных разрезах с 5 по 11 октября 2006 г. Смена северо-западного течения 6-8 октября на юго-восточное есть следствие подхода антициклонического вихря. Смена течения на обратное 11 октября свидетельствует об окончании прохода вихря.



Характерное изменение величины течения в зависимости от расстояния от берега в двух фазах бимодального режима течений на шельфе Черного моря : а – при с-з течении величина течения в среднем возрастает с удалением от берега; б – при ю-в течении - спадает, имея максимум на периферии антициклонического вихря. Берег справа.

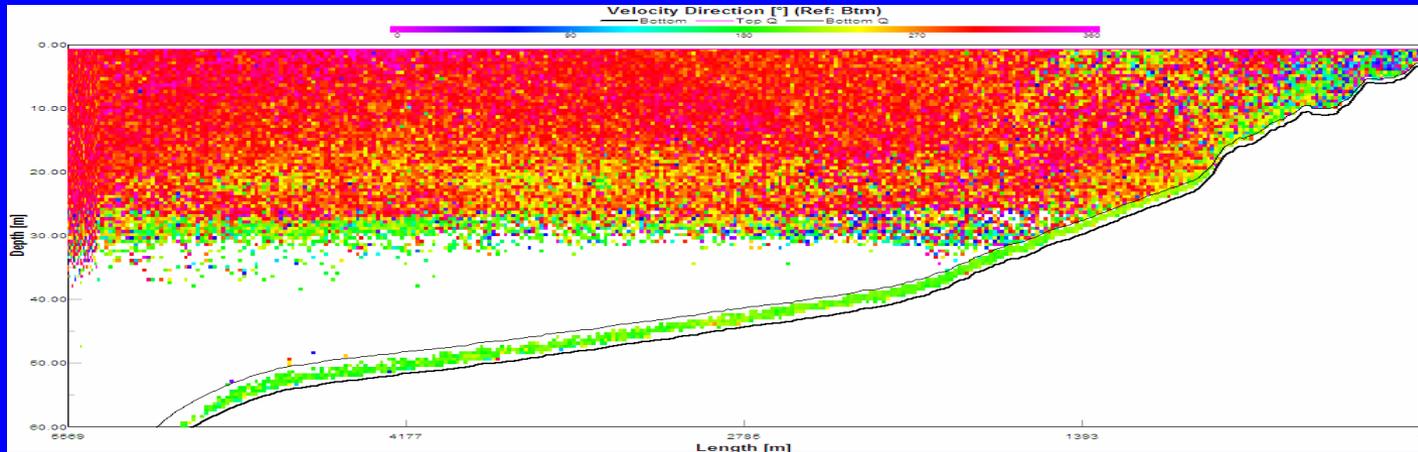


а

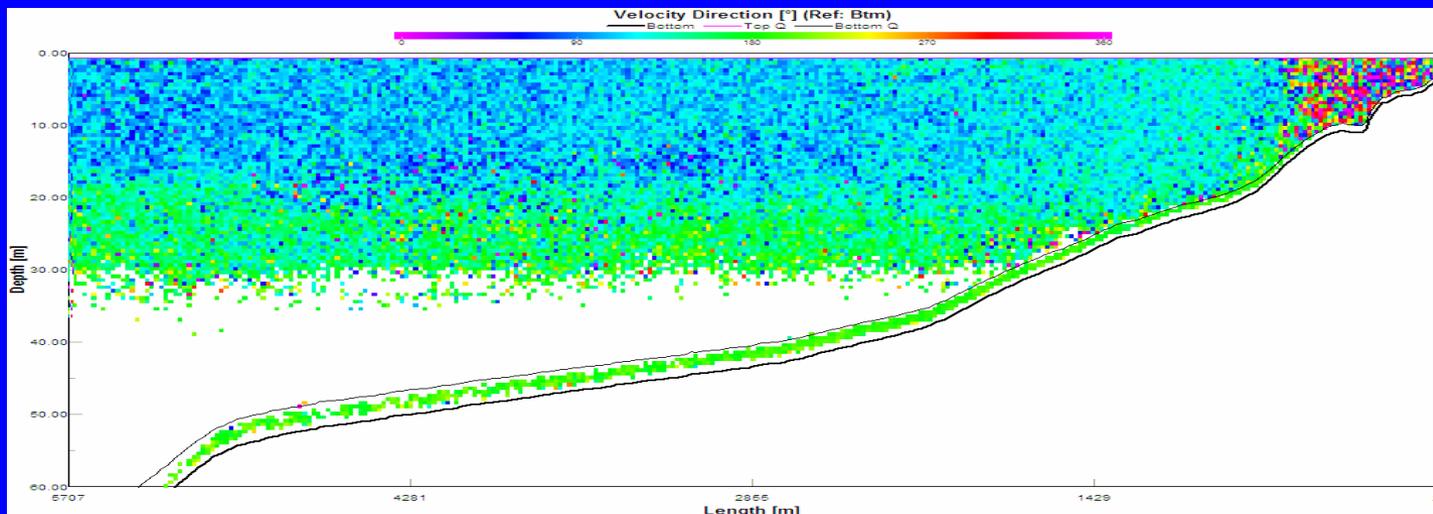


б

Изменение направления течения по глубине на разрезах в верхнем 30-метровом слое моря весьма незначительно при с-з потоке (а). В вихре ниже верхнего 20-метрового слоя, в котором присутствует однородное ю-в течение, имеет место подворот потока на юг (б).

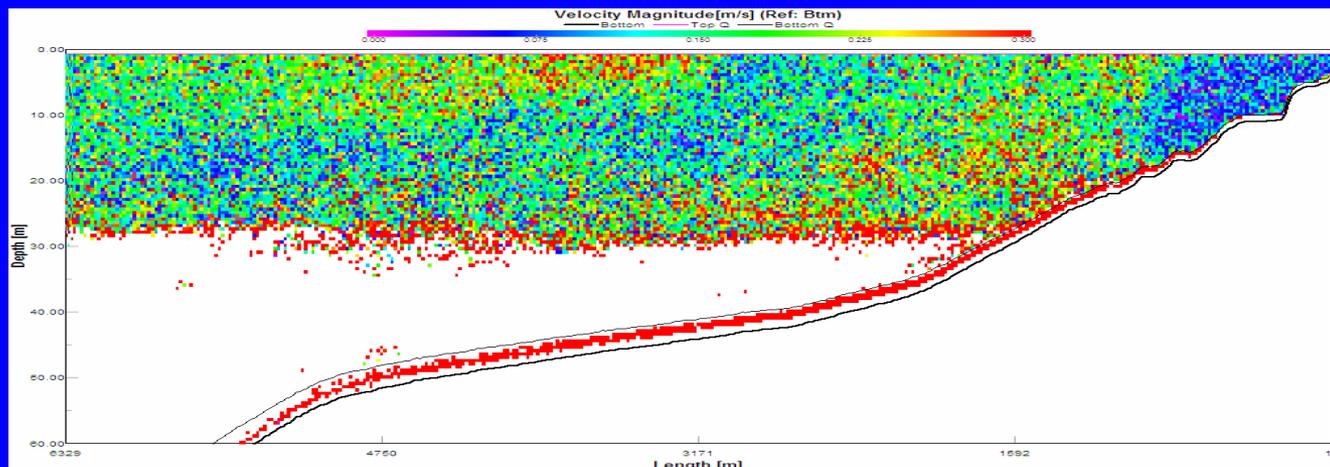


a
5.10.2006

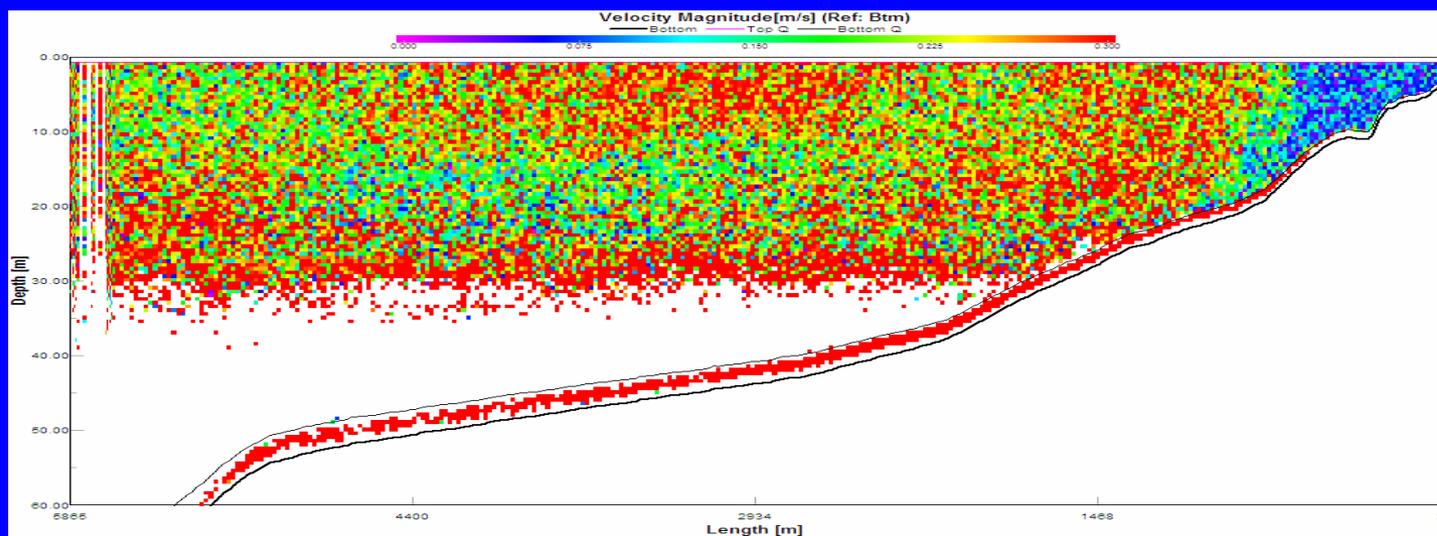


б
9.10.2006

Изменение интенсивности течения при проходе вихря: характерно появление струй интенсивного течения, выходящих из глубины к поверхности. Образуемые ими сдвиговые течения на морской поверхности, по-видимому 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.

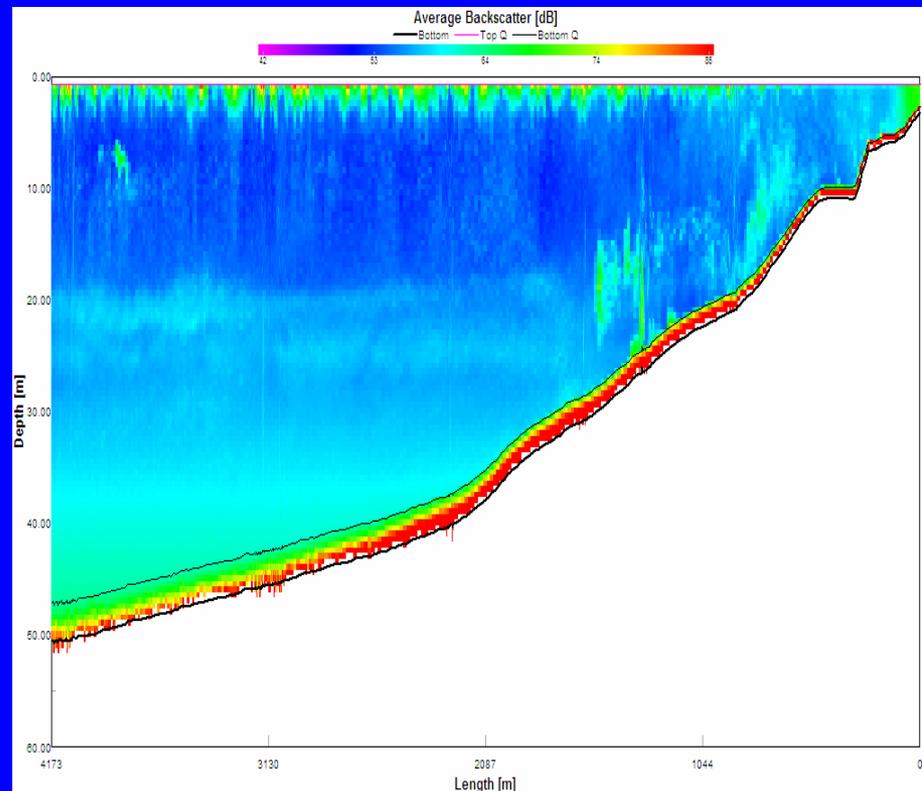
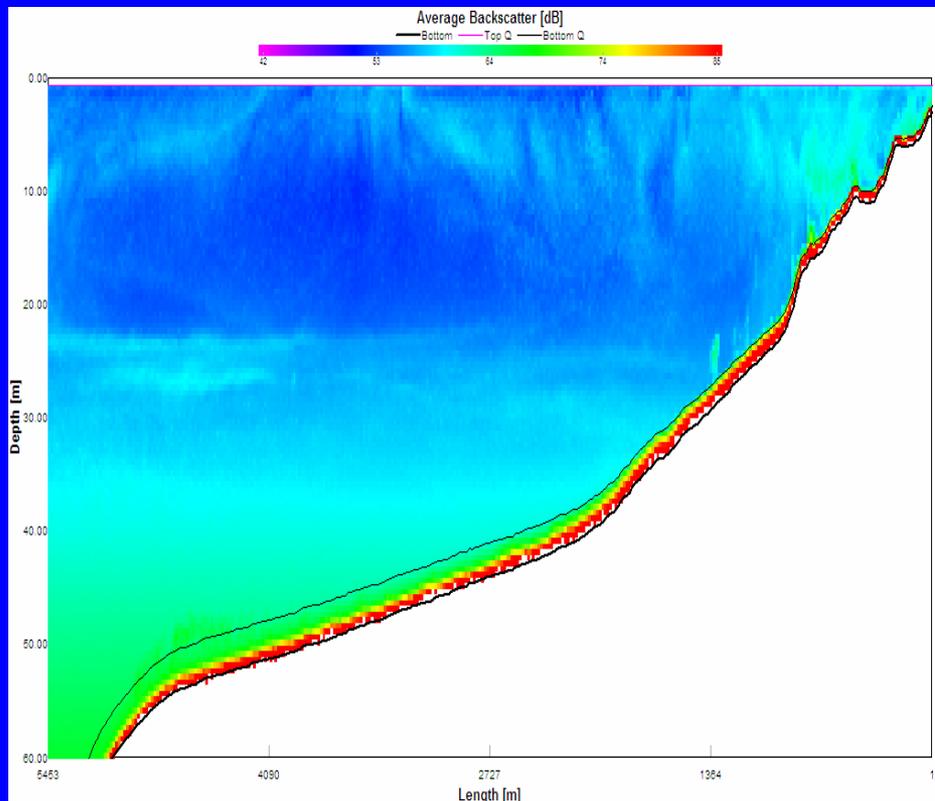


8.10.2006



9.10.2006

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 слева).



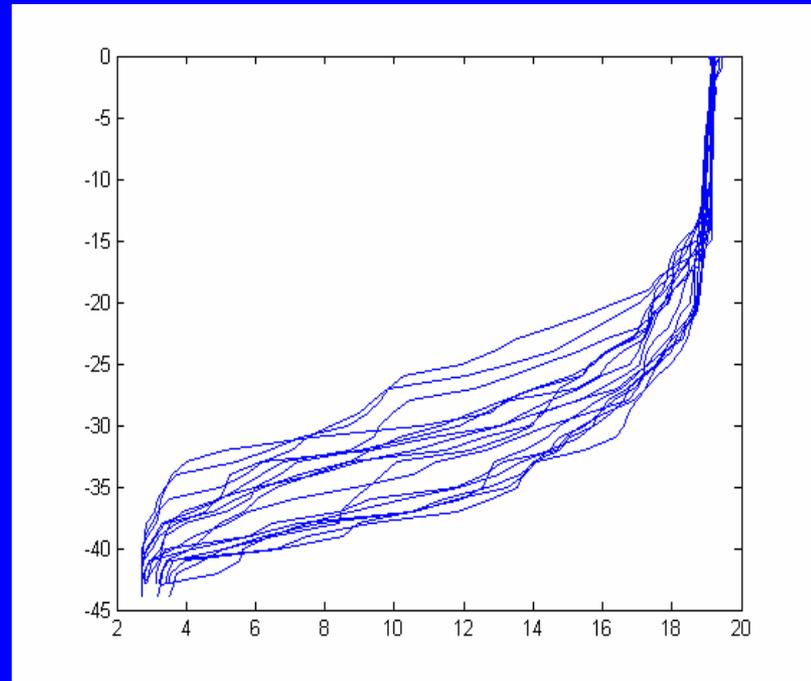
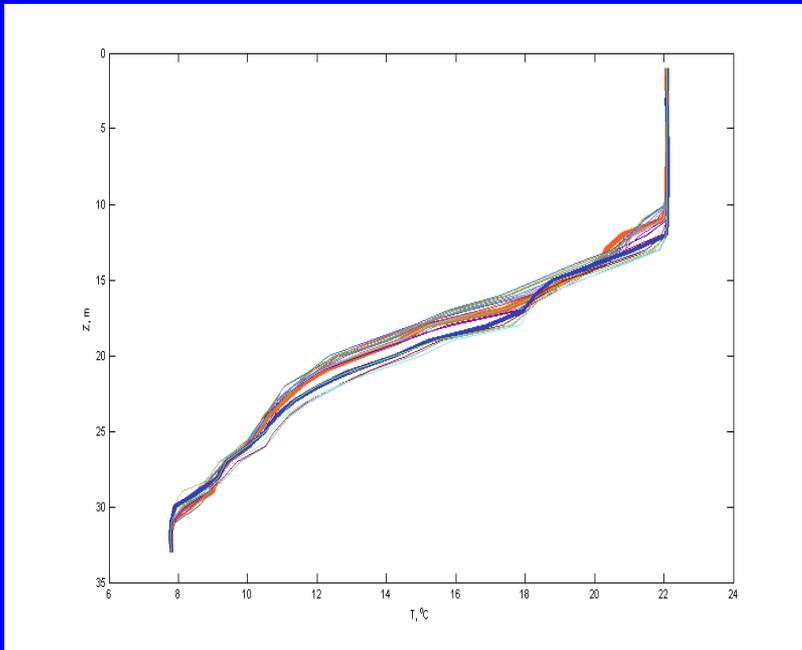
Картины объемного обратного рассеяния акустического сигнала

5.10.2006 – до подхода вихря

10.10.2006 – при проходе вихря

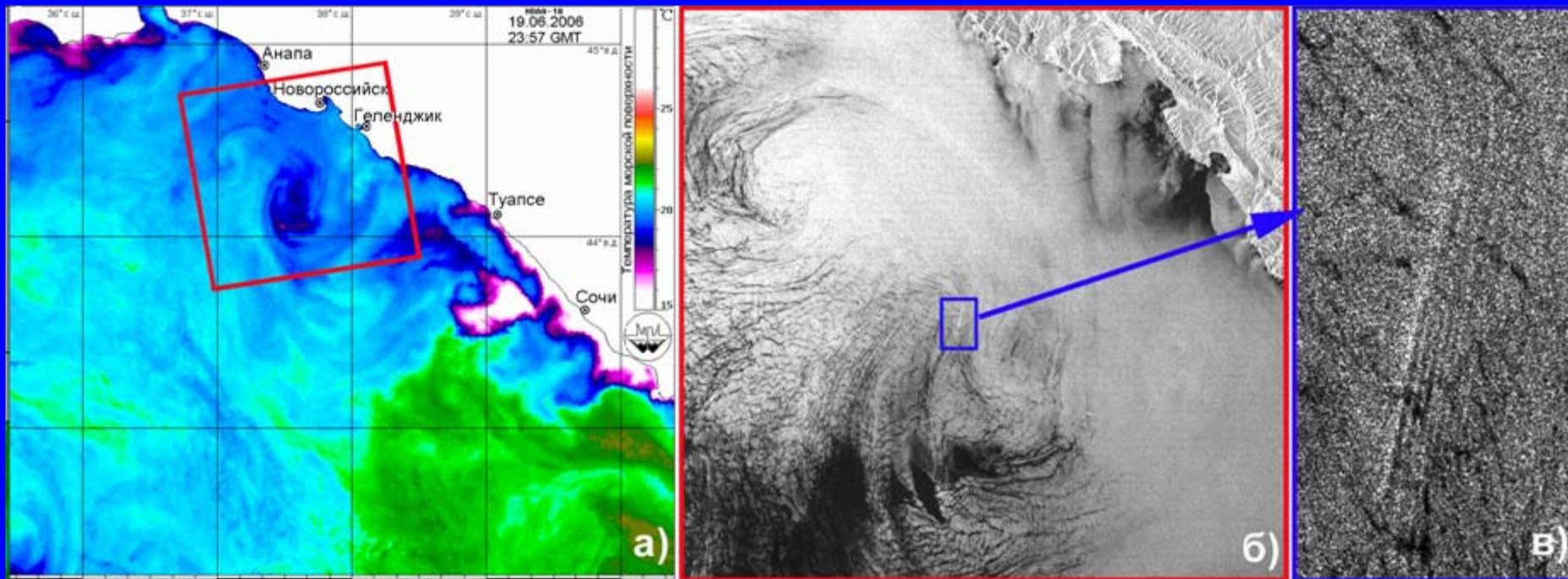
OBSERVATION OF RECORD-AMPLITUDE INTERNAL WAVES IN NON-TIDAL SEA

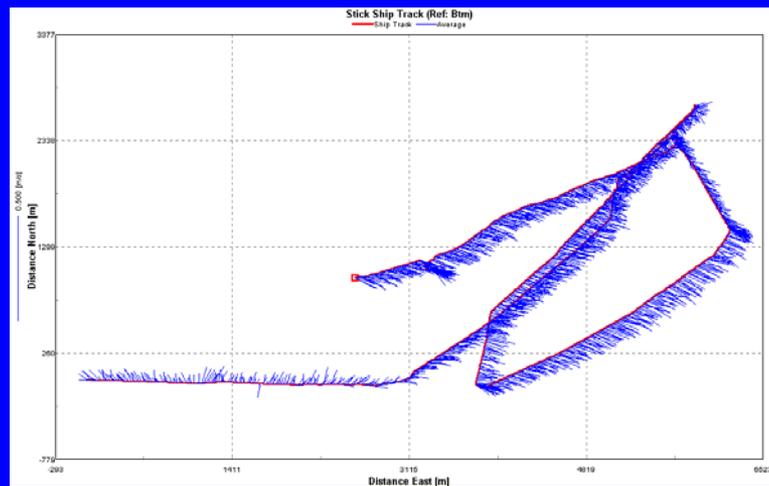
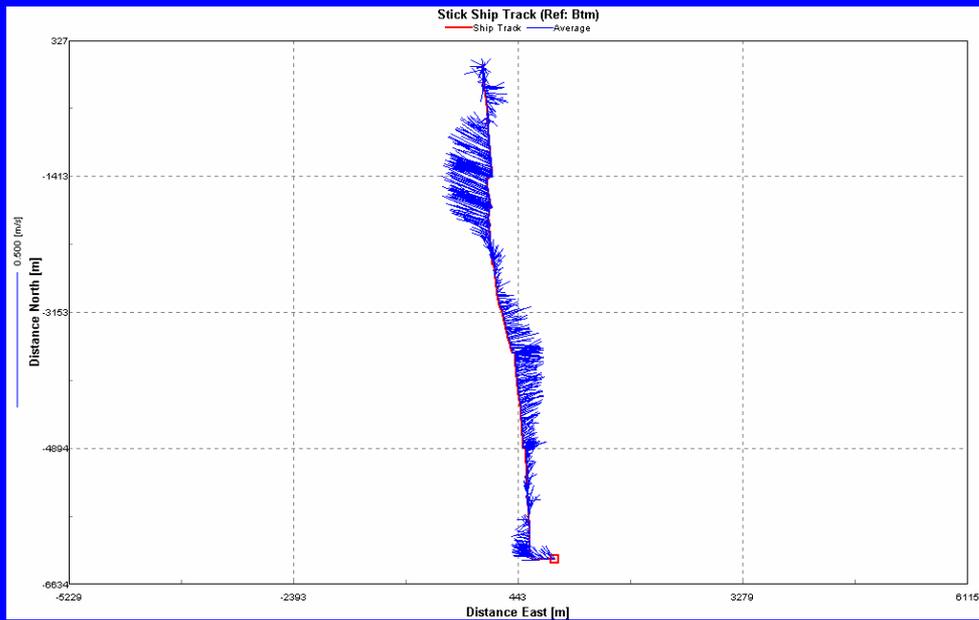
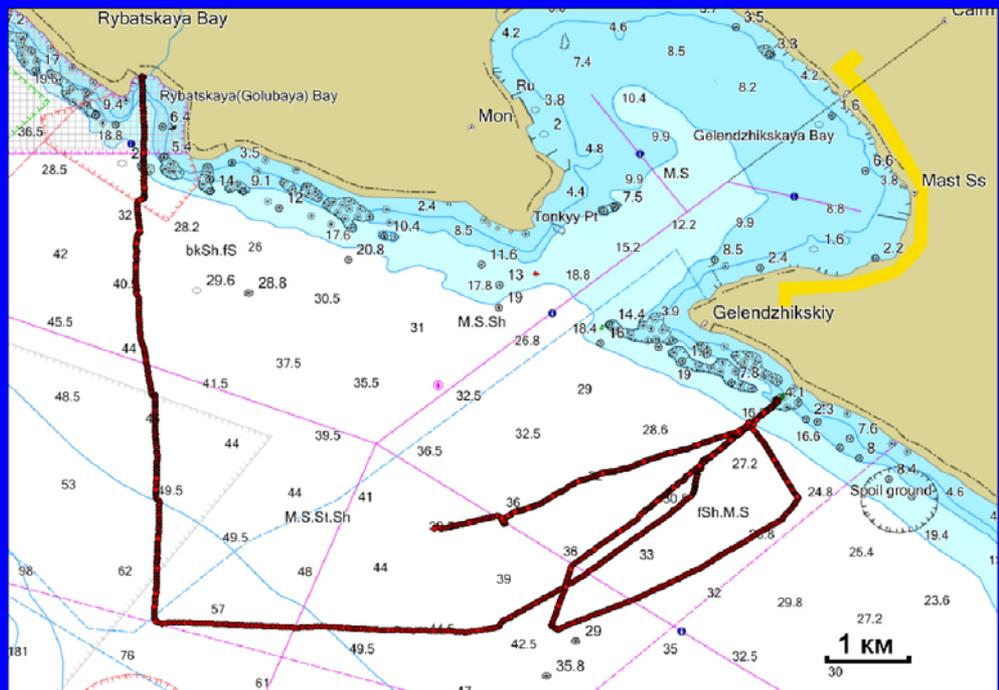
Изменчивость вертикального профиля температуры из-за внутренних волн в бесприливном Черном (слева) и приливном Японском (справа) морях



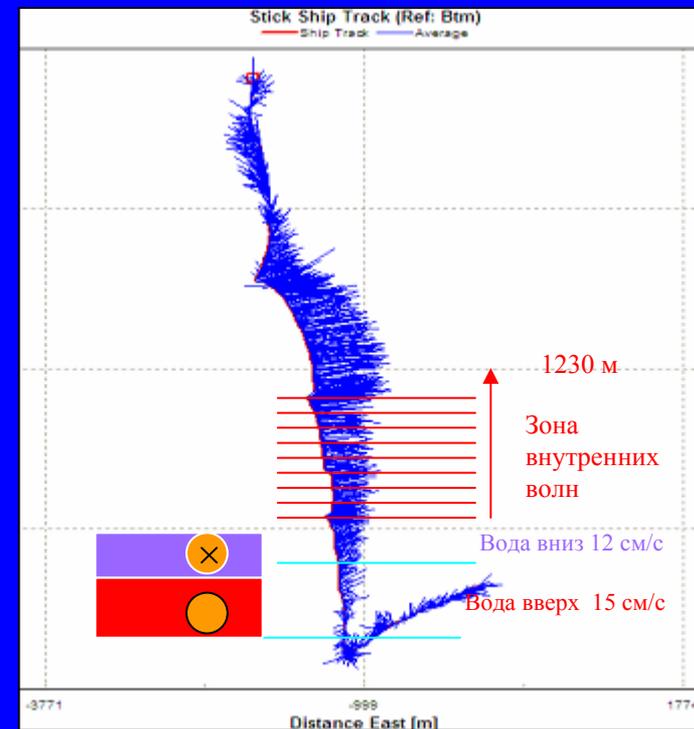
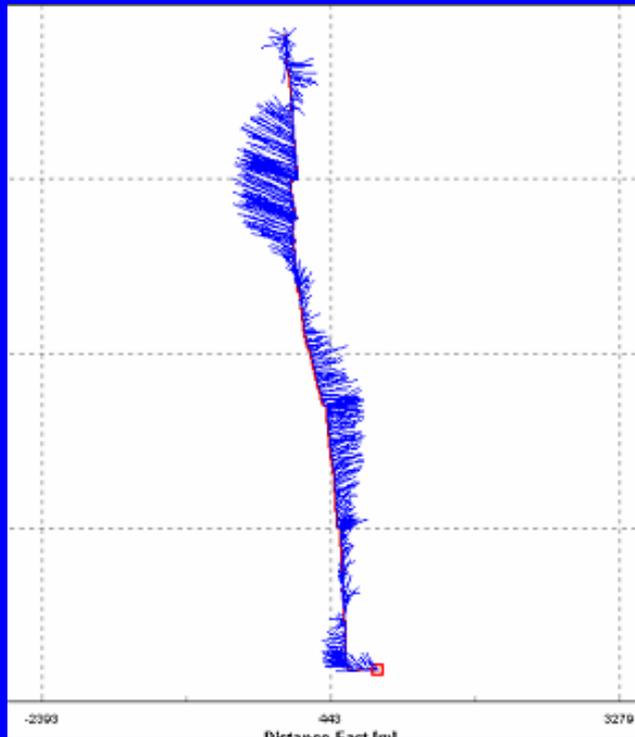
Обнаружение пакета внутренних волн у вихревых структур

(Из статьи О.Ю.Лаврова, М.И. Митягина, К.Д. Сабинин. Проявление внутренних волн на морской поверхности в северо-восточной части Черного моря//ИЗК, 2009, №6, С.49-55)

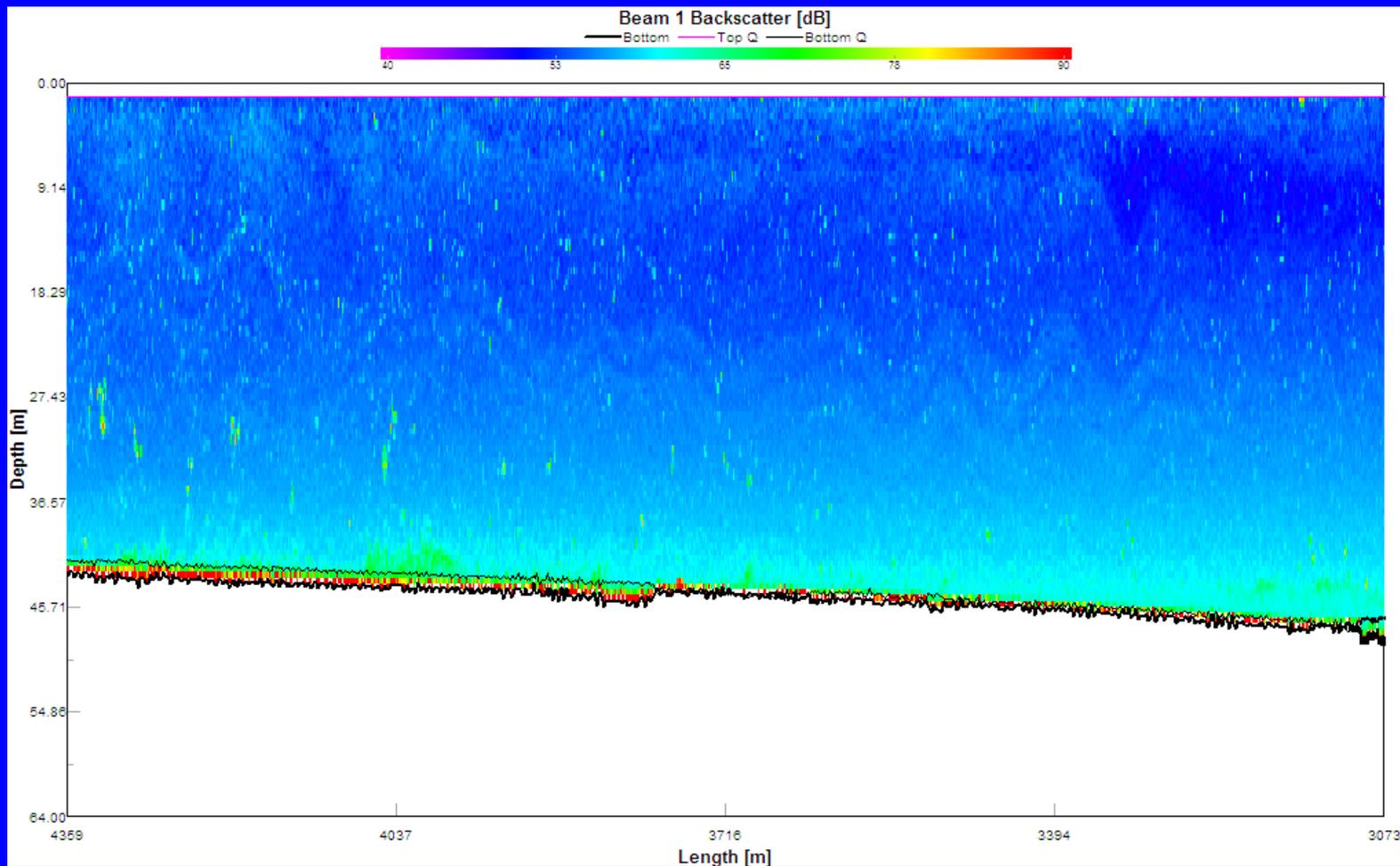




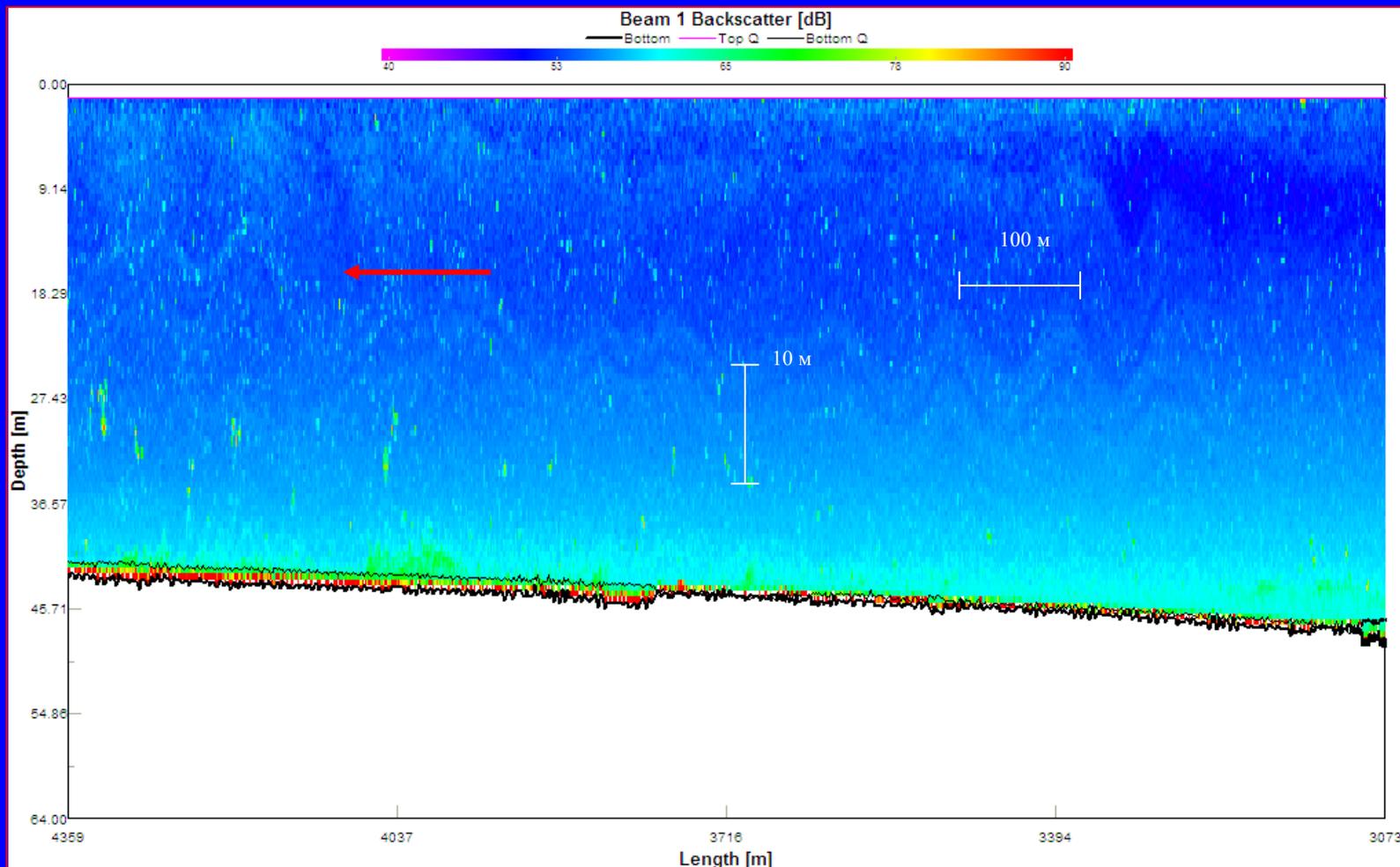
Изменение течений на разрезе 4 октября. Повторный разрез (показан слева) сделан на 5 ч позже.



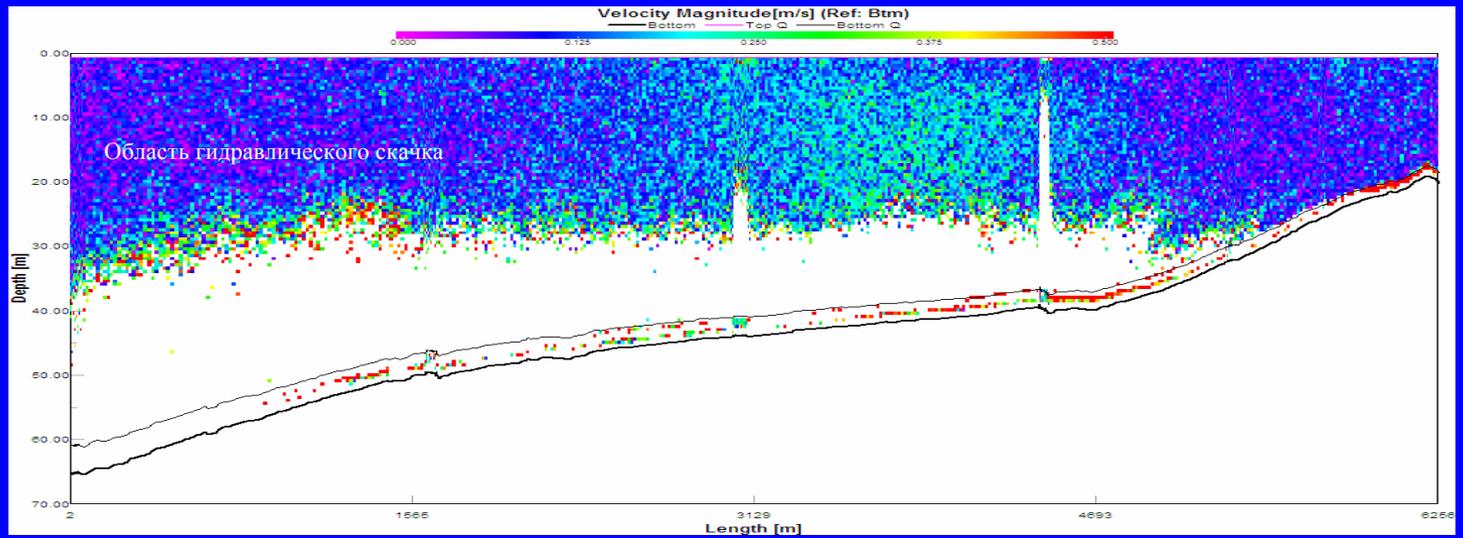
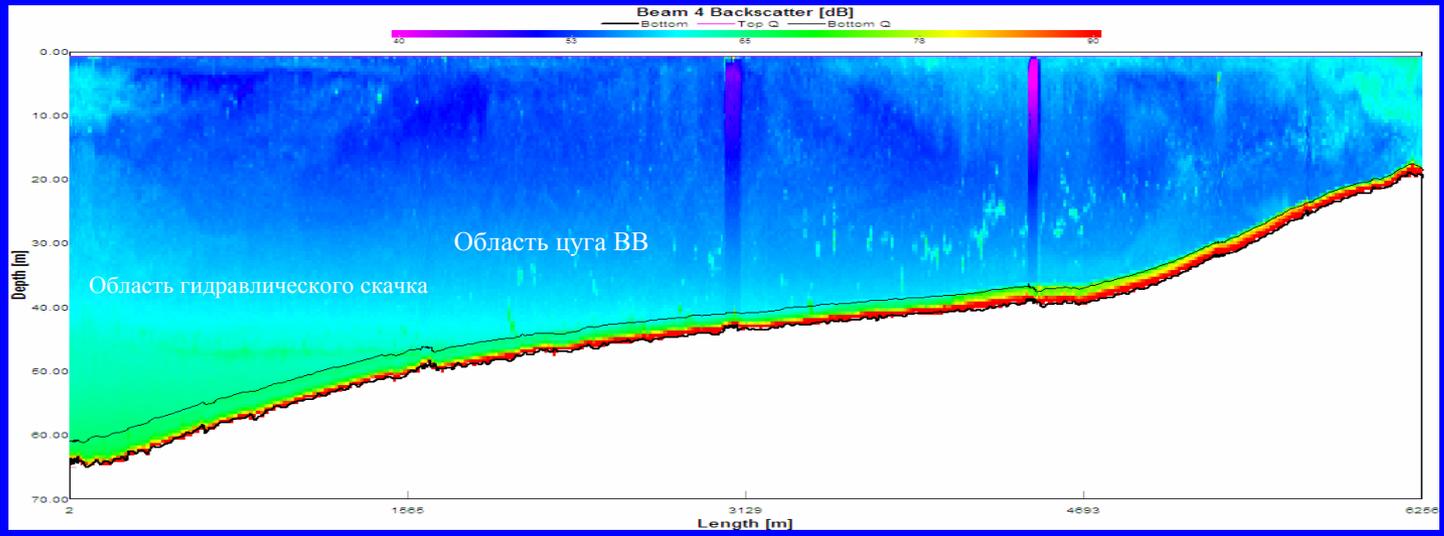
Внутренние волны больших амплитуд, зарегистрированные на северо-восточном шельфе Черного моря. Наблюдения сделаны на сечении с помощью ADCP “Rio Grande 600 kHz, 4 октября, 2009.



Цуг состоял из 8-10 волн, их высоты лежали в пределах 9-13 м, длины – 100-115 м. Появление цуга совпало с периодом прохождения в прибрежной зоне компактного антициклонического вихря (диаметром около 10 км).

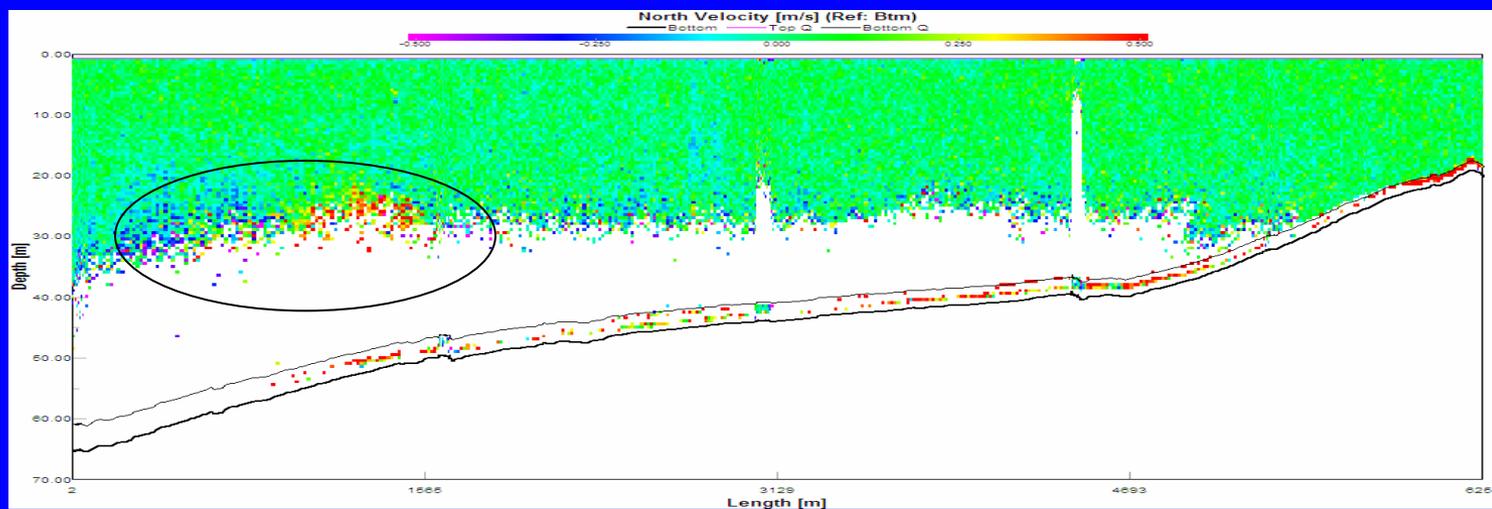
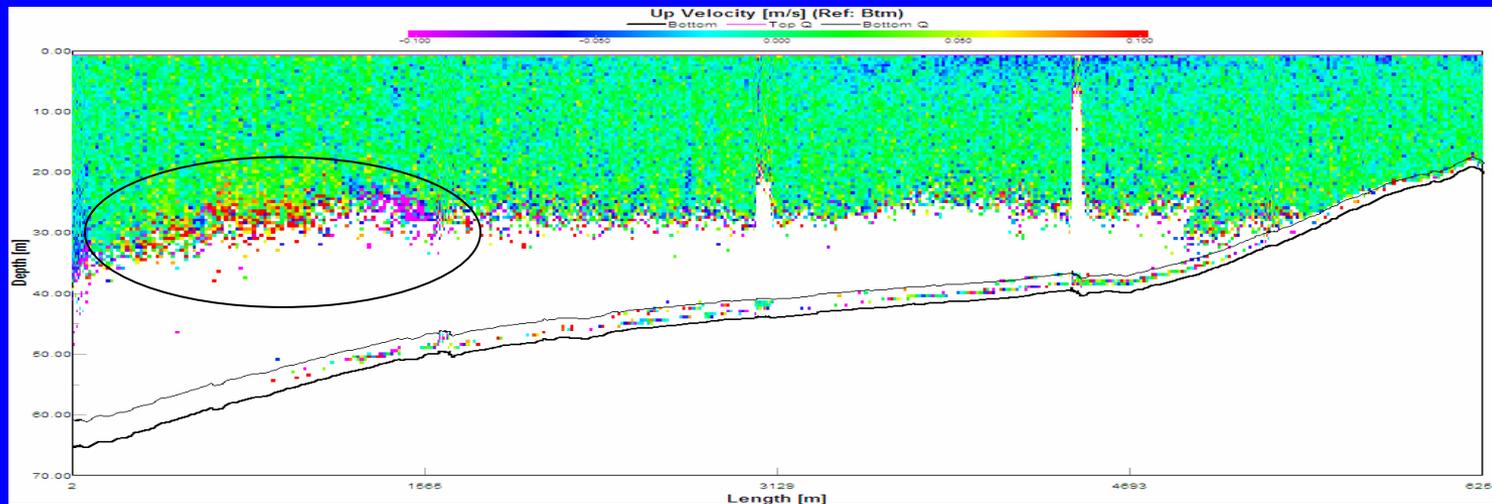


Картина объемного обратного рассеяния (вверху) и амплитуда скорости течения (внизу) на разрезе 4 октября 2009



Вертикальная и северная (внизу) компоненты течения на разрезе 4 октября.

Вертикальные скорости достигают 10-15 см/с вверх, 10-12 см/с вниз.



Процесс, вызвавший интенсивные внутренние ВОЛНЫ

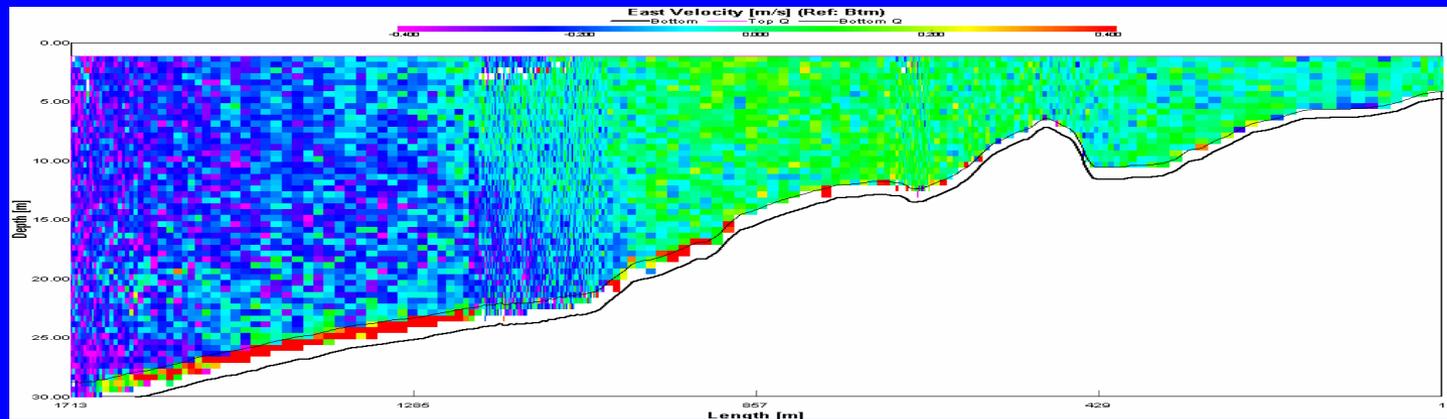
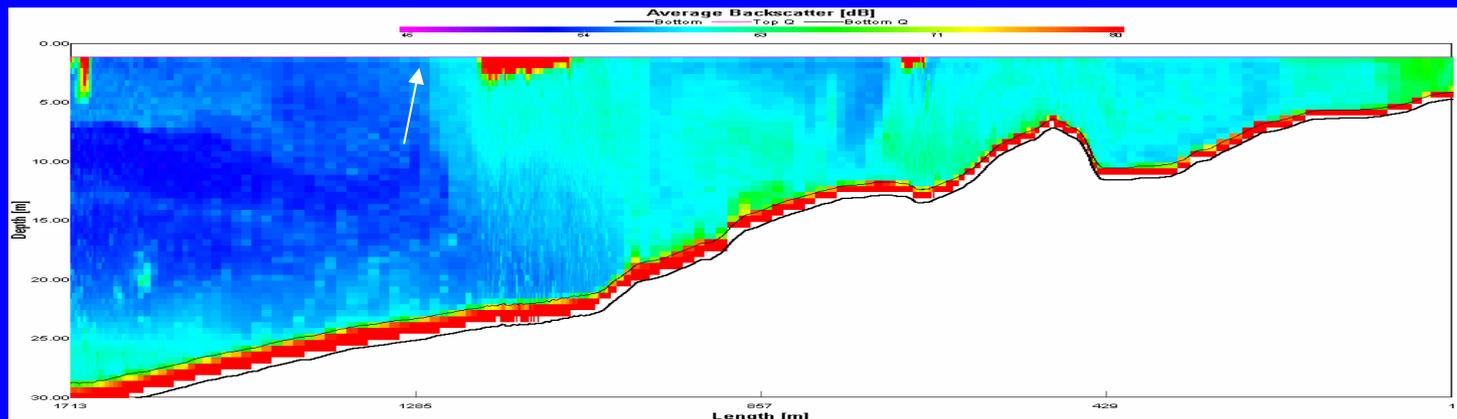
- Зарегистрированные с помощью ADCP особенности течений на разрезе показали, что в части шельфа с глубинами более 50 м существовала уединенная область с интенсивным вертикальным движением вод (гидравлический скачок).
- Этот гидравлический скачок был встроен в систему течений антициклонического вихря и двигался на берег, излучая пакет внутренних волн в прибрежную стратифицированную область моря.

**Встречные течения, как причина образования уединенных
сликовых полос на поверхности моря.**

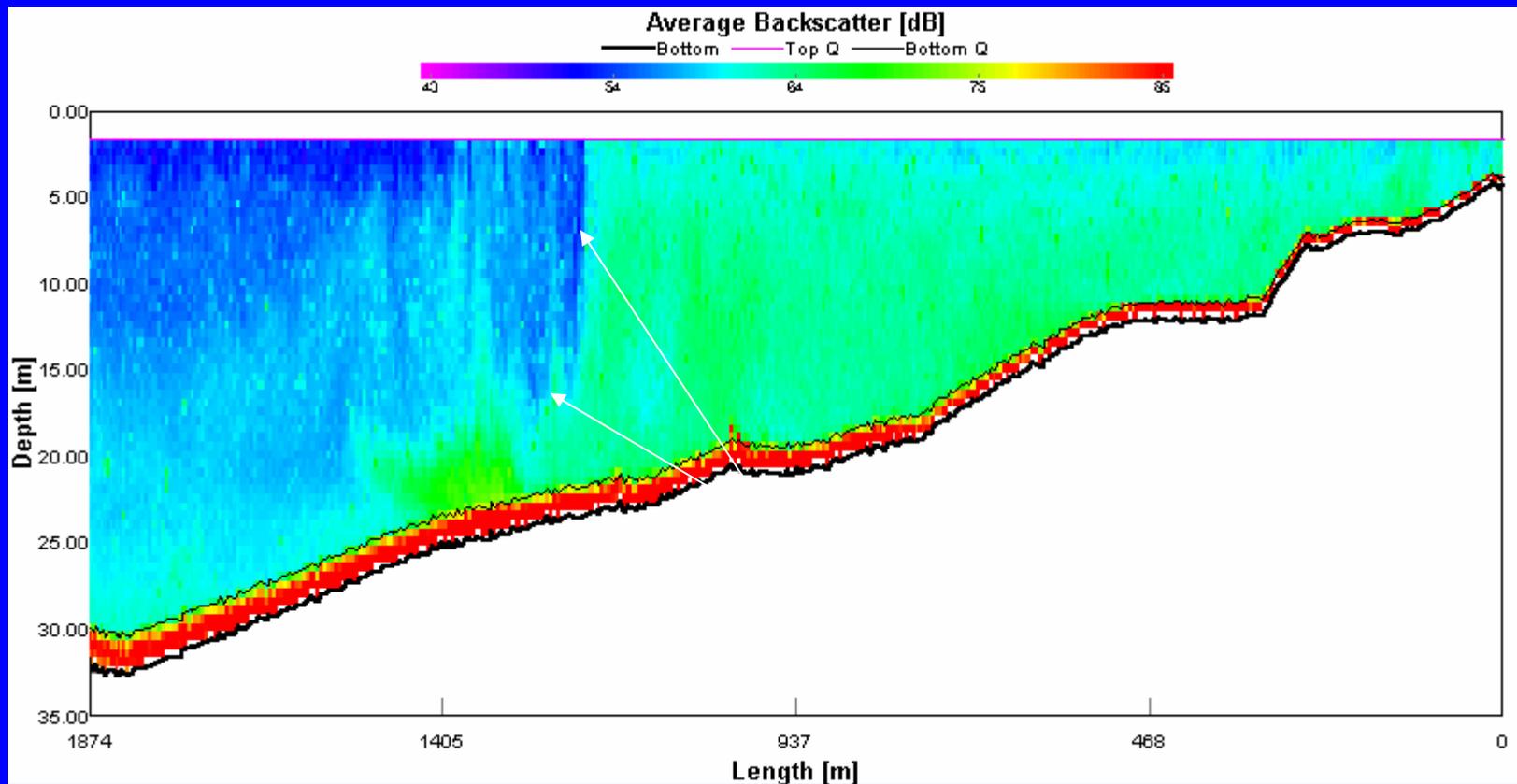
Слик на шельфе Черного моря, вызванный
вдольбереговым противотечением



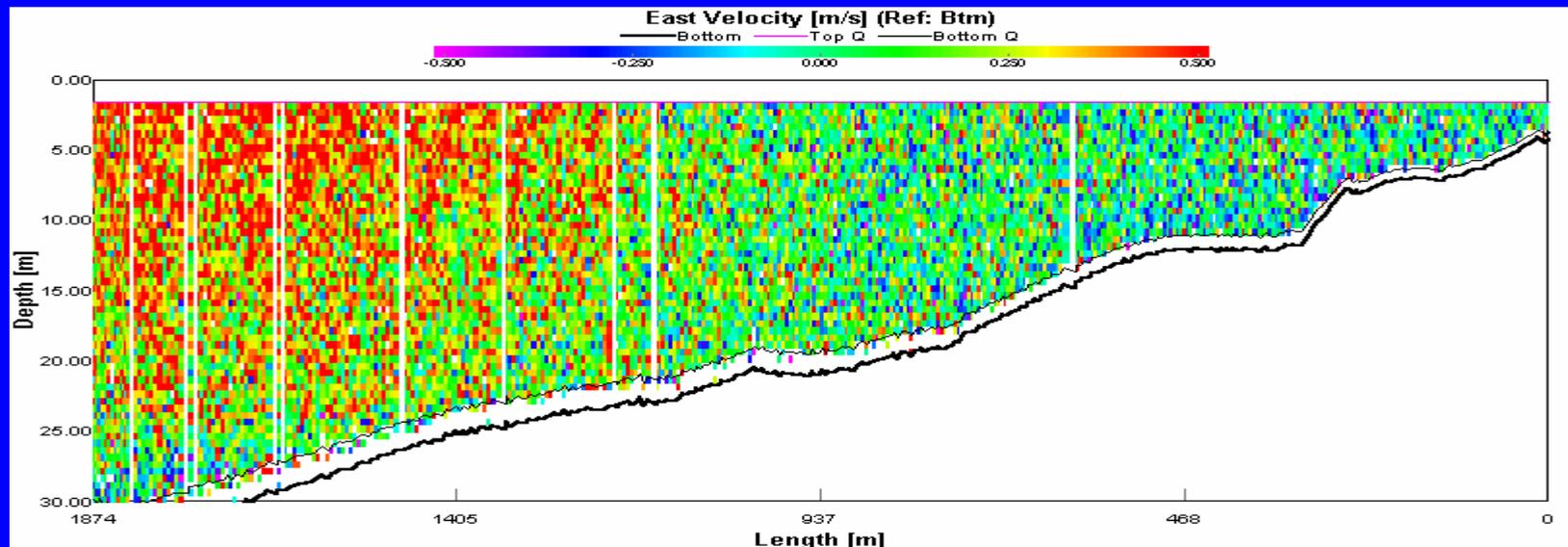
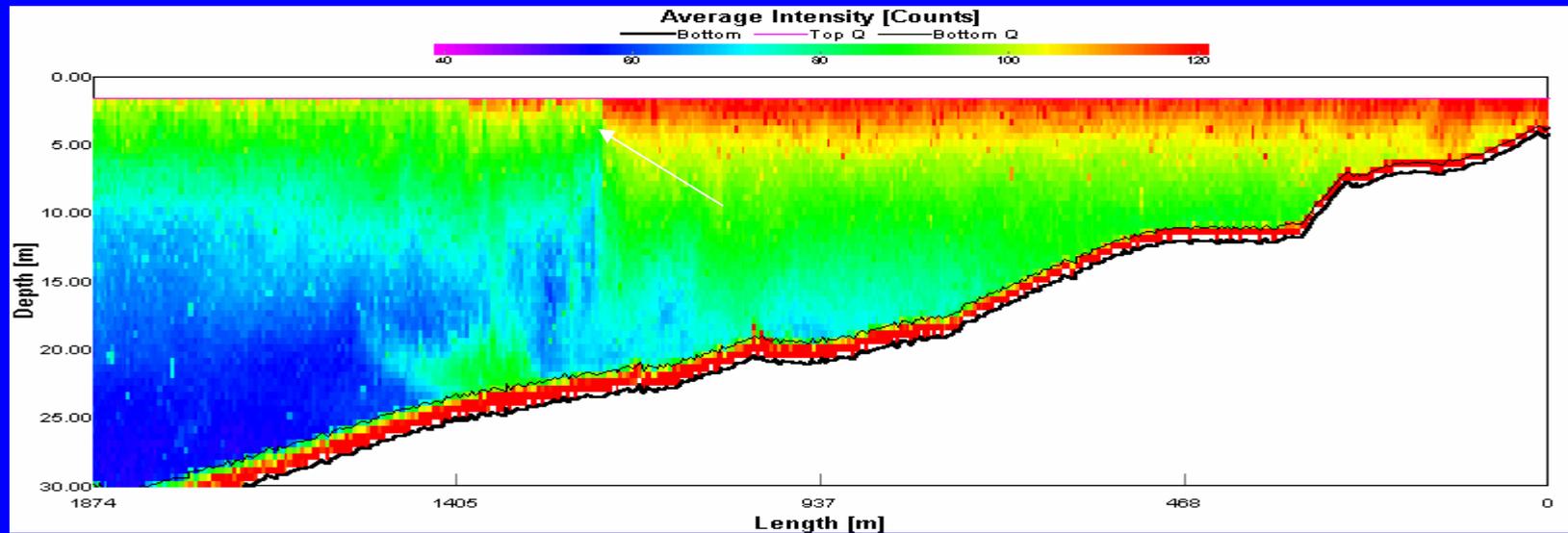
Интенсивность обратного рассеяния акустического сигнала (вверху) и в-з компонента течений на разрезе, ориентированном по нормали к берегу. Положение сликовой полосы совпало с областью вдольберегового усиления течения.



**Coastal front generated due to strong storm.
Passage of the front is accompanied by train of intense
internal waves**



Граница послештормового фронта в прибрежной зоне совпадает с резким изменением направления течения



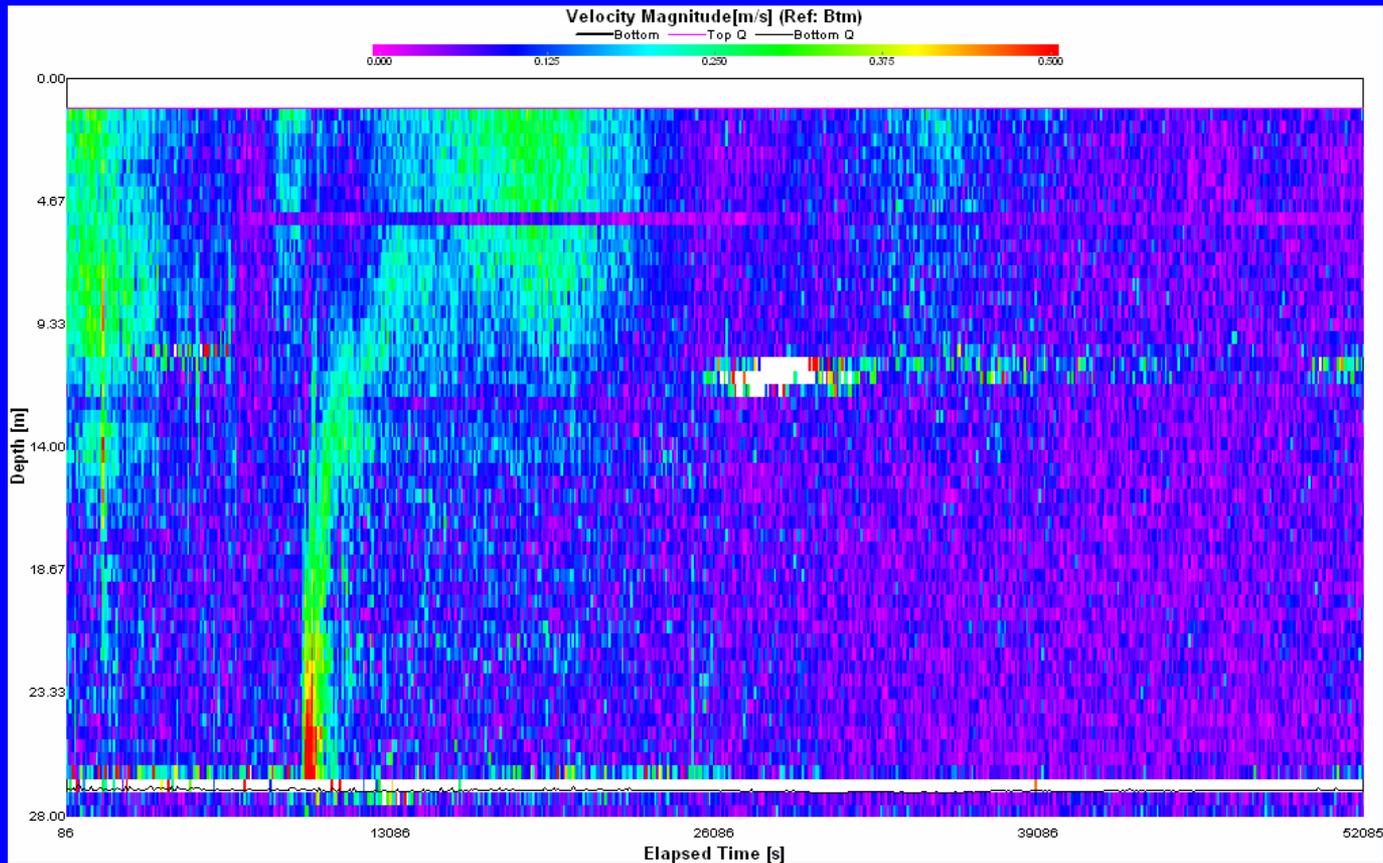
Oceanographic platform of Marine Hydrophysical
Institute, National Academy of Science of Ukraine.
Black Sea, Crimea



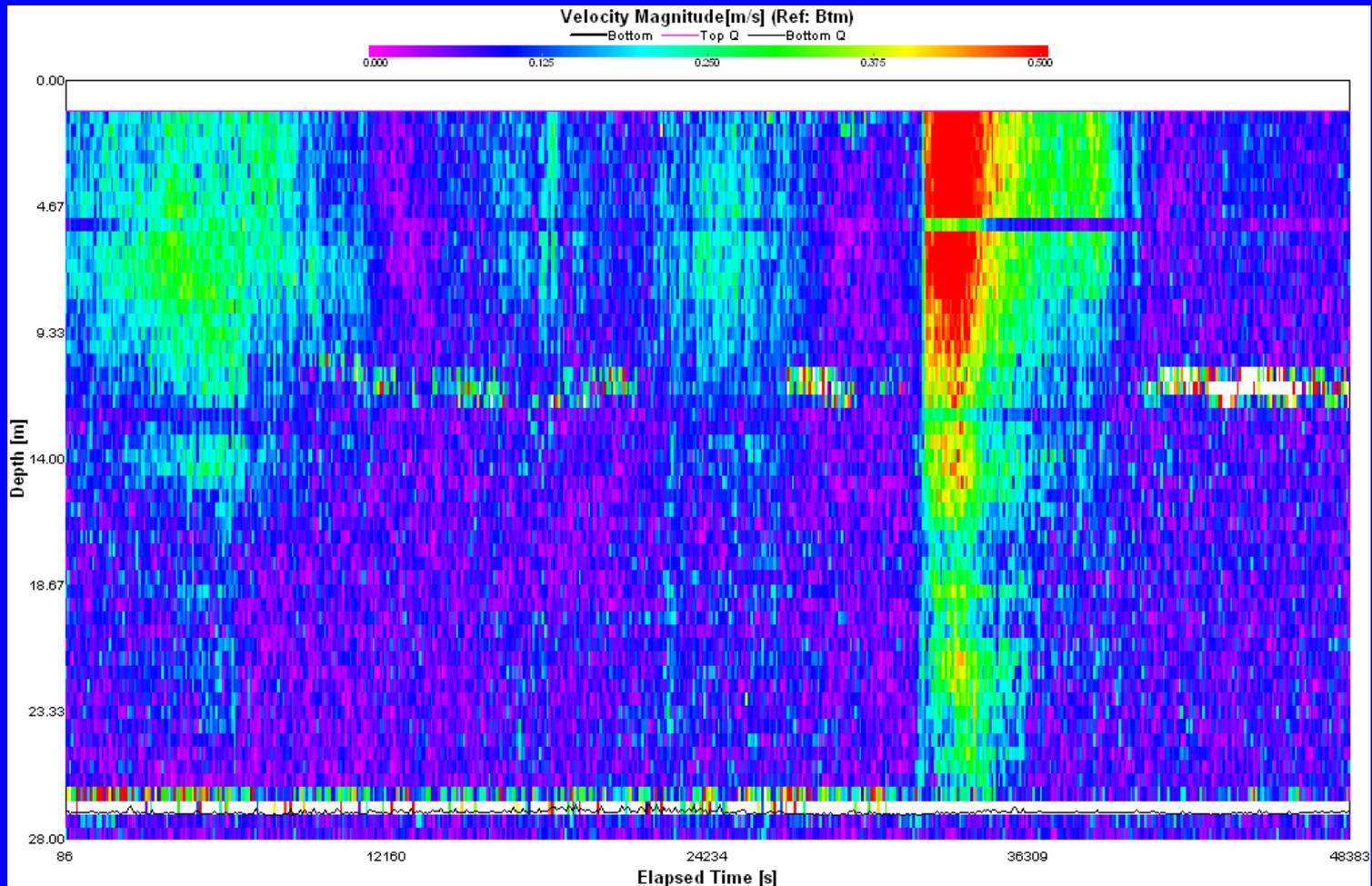


Наблюдение внутренних боров.

Внутренний бор в виде ступени холодной придонной воды в прибрежной зоне Черного моря появился в виде интенсивного струйного течения в придонном слое (до 60 см/с). Длина реализации 14.4 ч. Резкое изменение направления течения (с восточного на западное).



Внутренний бор 21.08. 2005 (показана амплитуда течения).
Сильное поверхностное течение (до 80 см/с). Длина реализации 13.5 ч.
Резкое изменение направления течения (с восточного на западное).



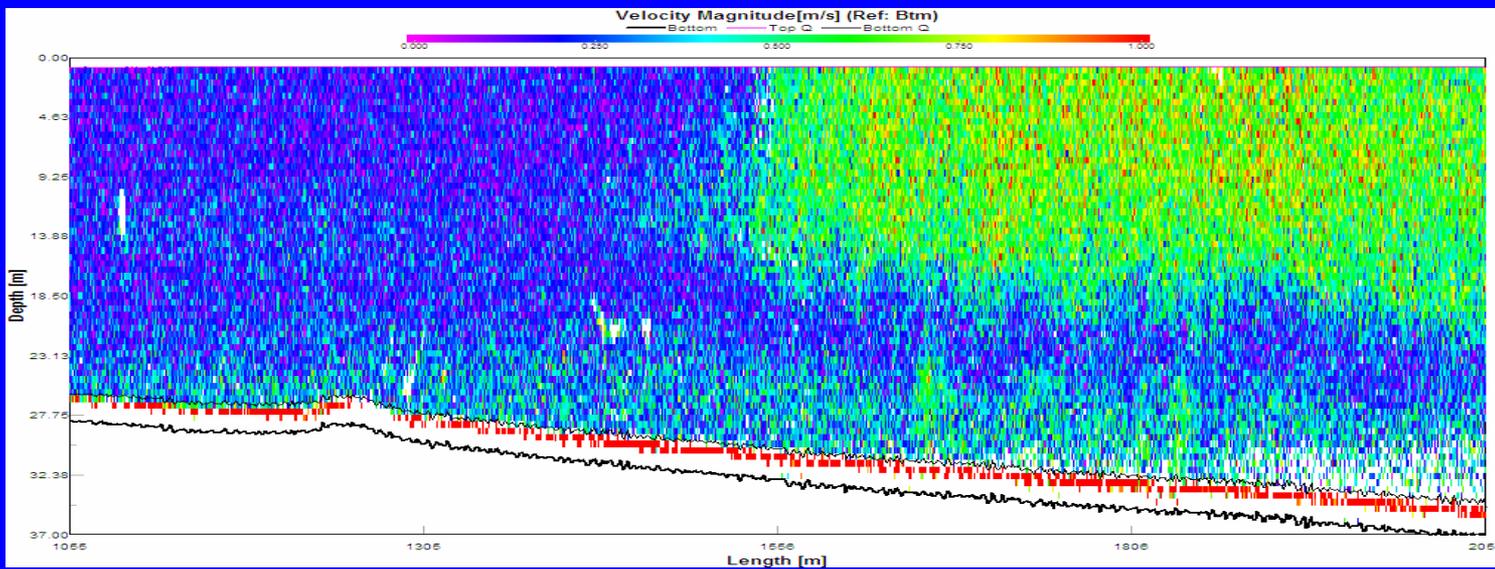
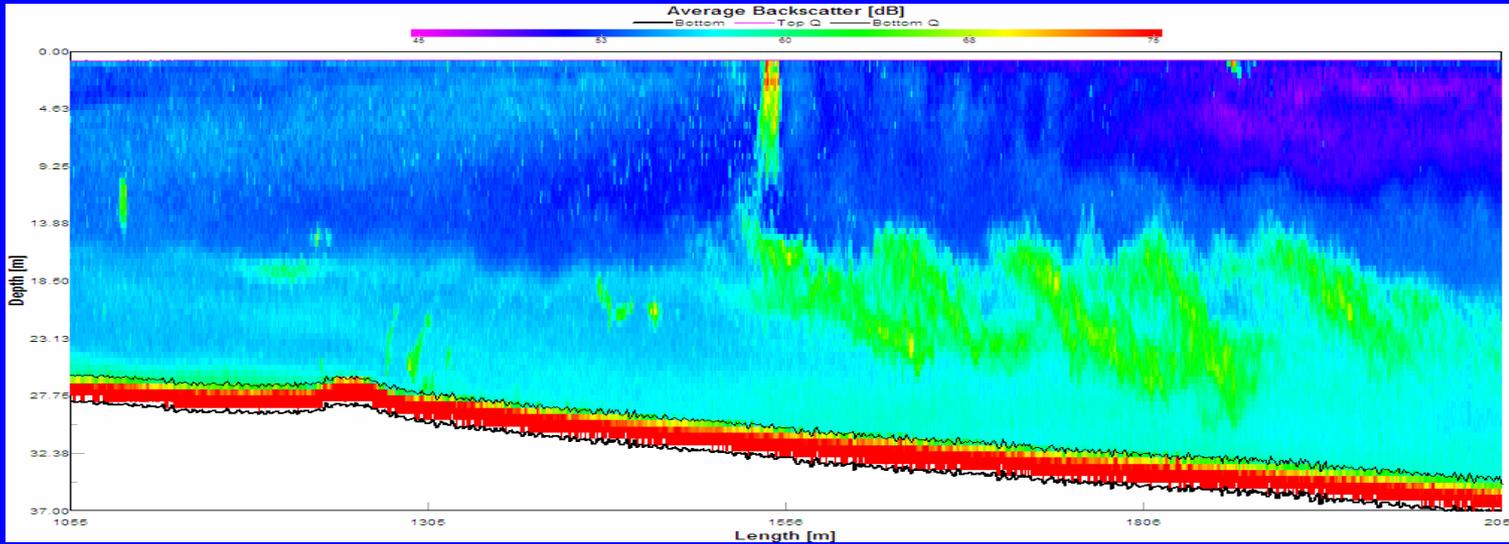
Уединенный слик, встреченный при выходе из б. Витязь

17.09.2004



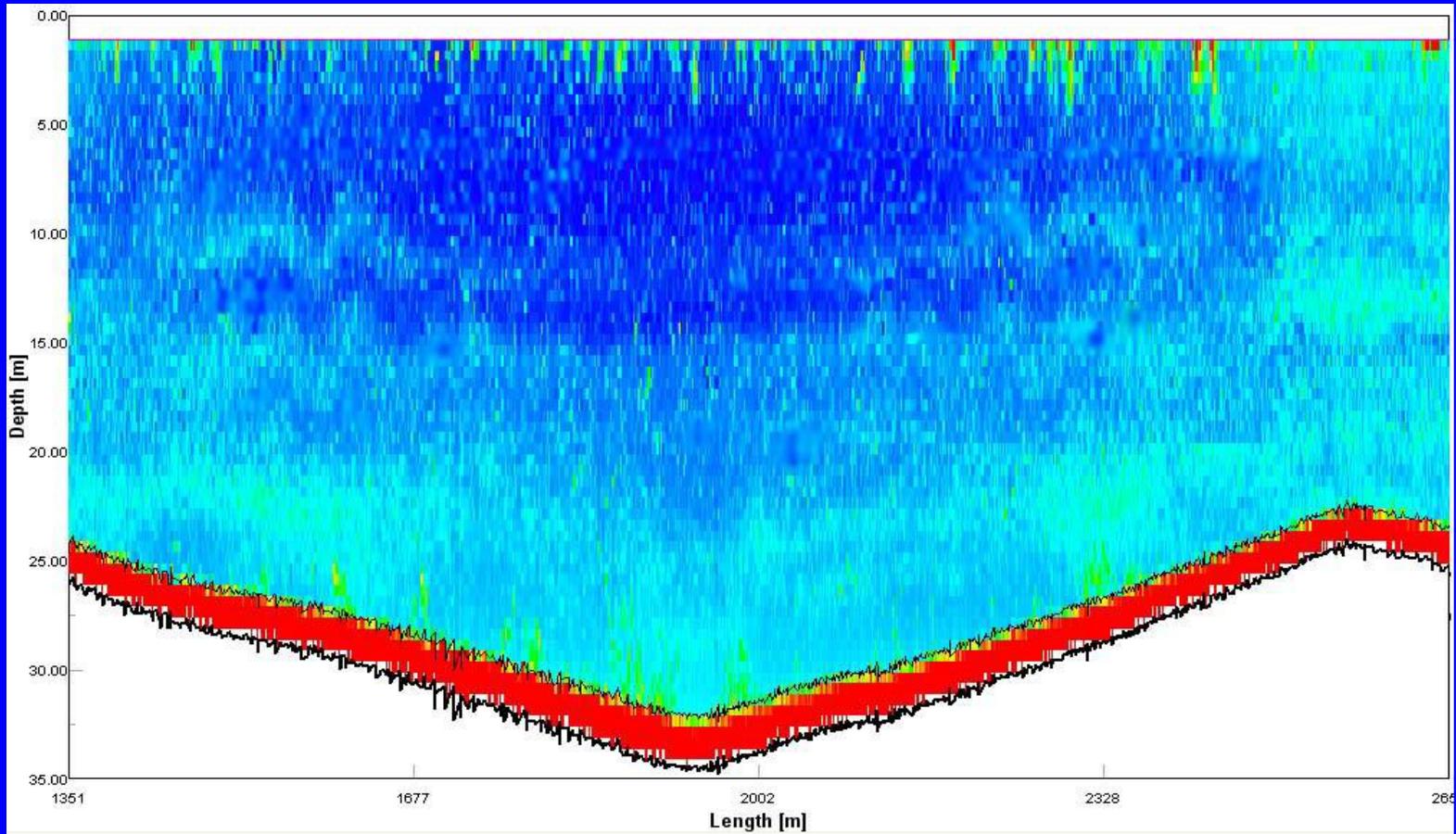
Shear instability

Вдольбереговая струя течения (0.8 м/с) во время отлива. Под слоем скачка противотечение (0.3 м/с). Пакет из 5 обрушивающихся волн высотой 10-12 м.

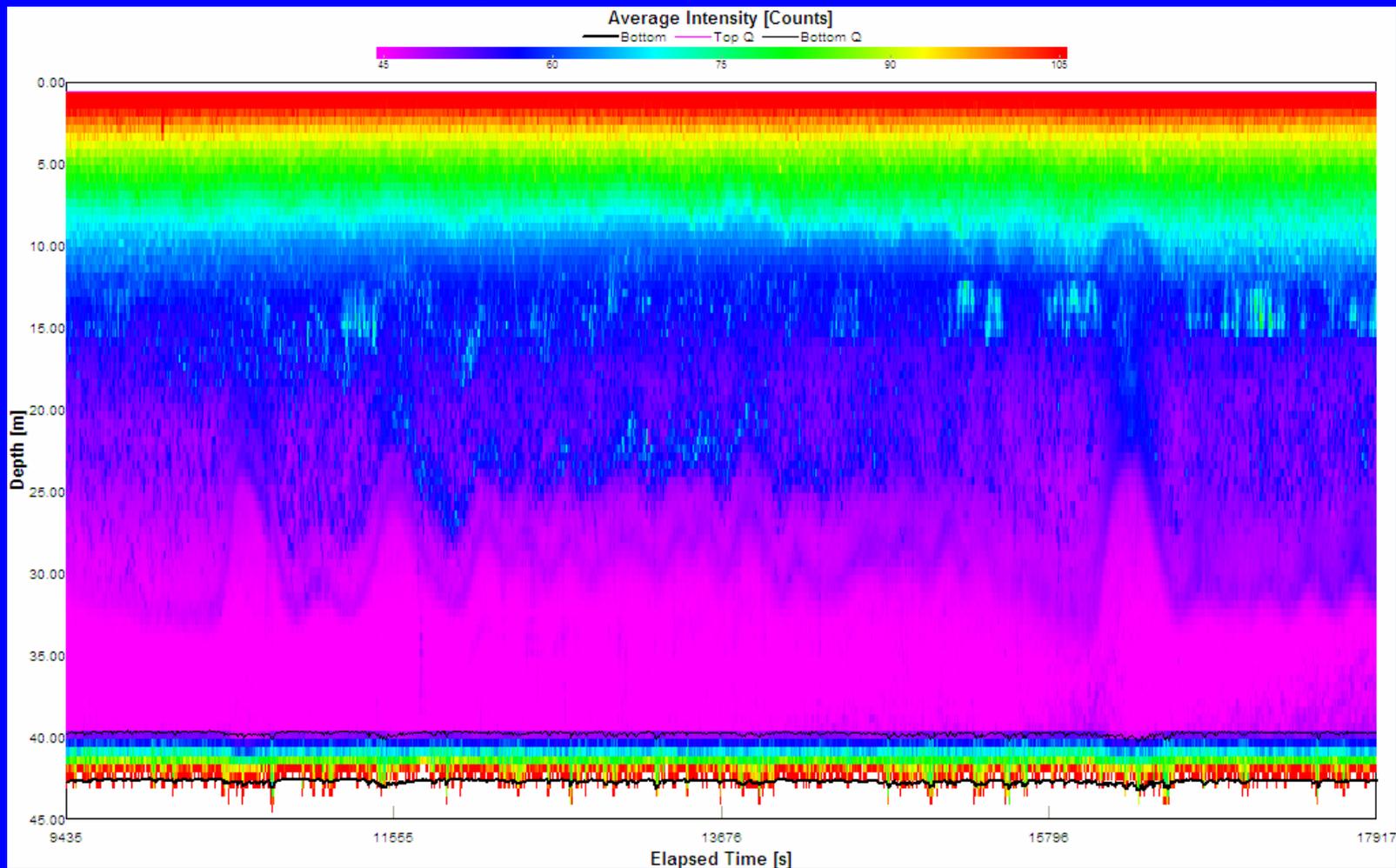


Observations of internal waves

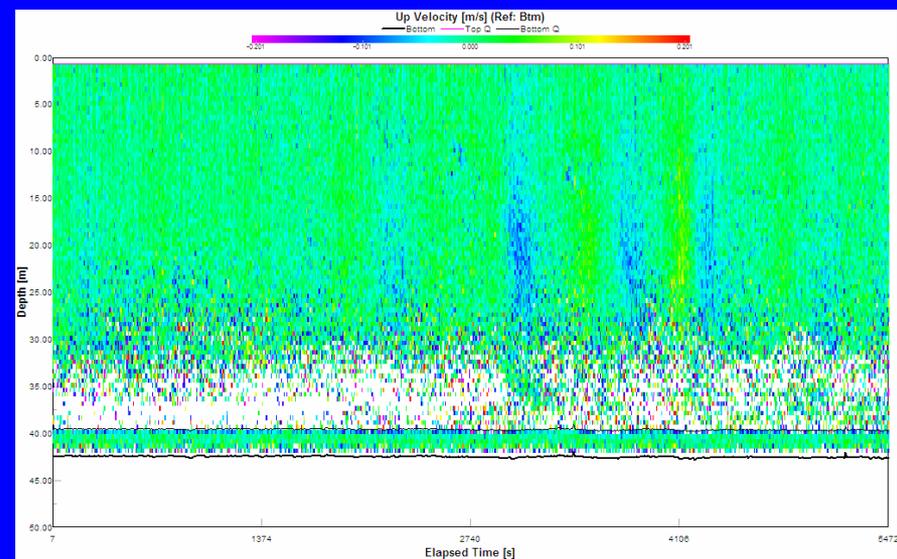
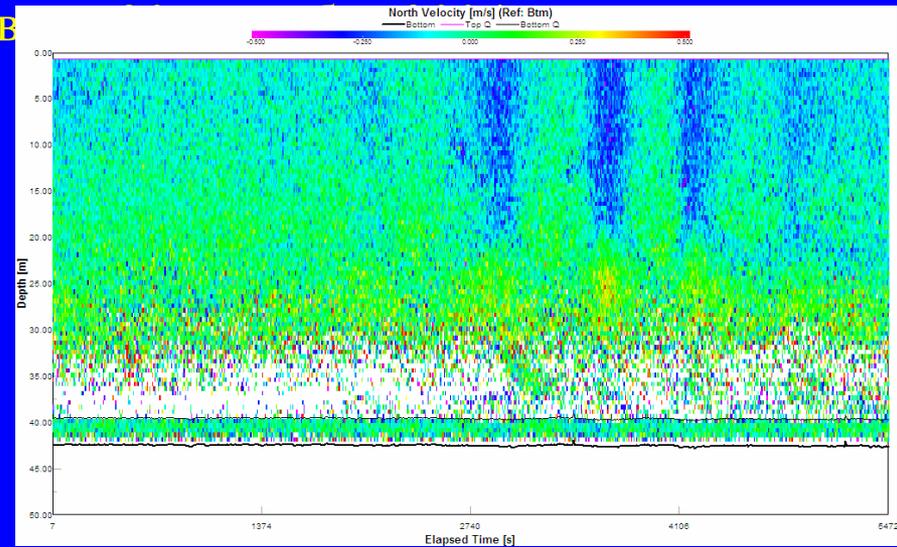
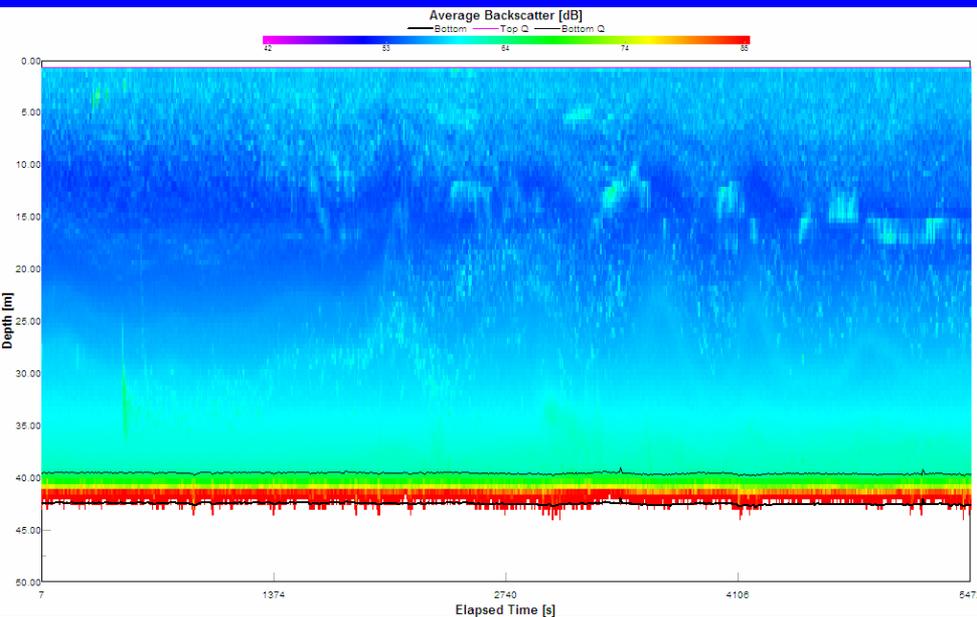
ADCP record of a train of intense internal waves in the coastal zone of the Black Sea (the backscattered signal)



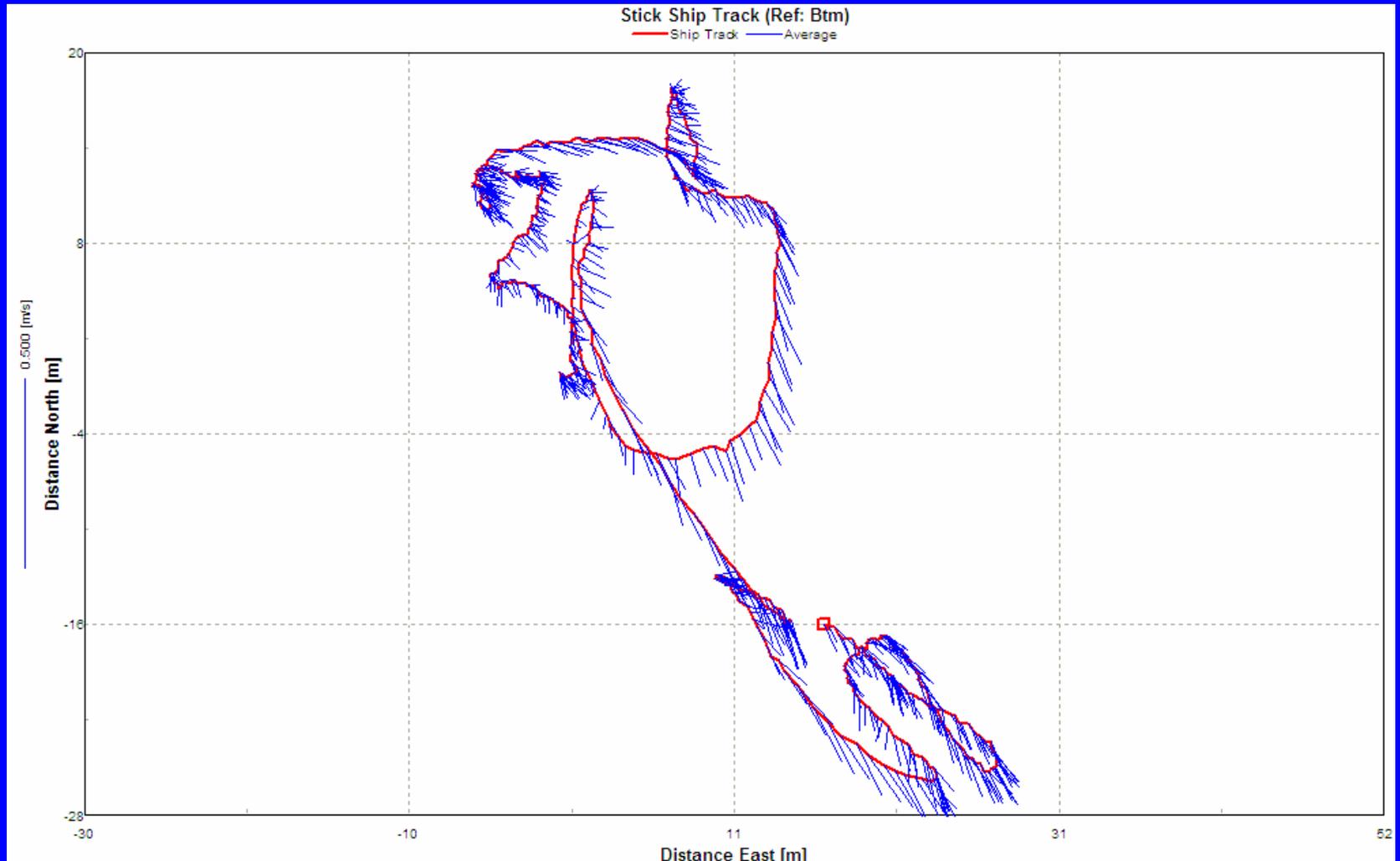
Картина интенсивности обратного рассеяния для момента прохождения пакета интенсивных волн. Высоты волн – 10-13 м. Период - около 13 мин. Горизонтальная компонента в орбитальных течениях – до 0.5 м/с. Вертикальная компонента – до 0.1 м/с. Справа



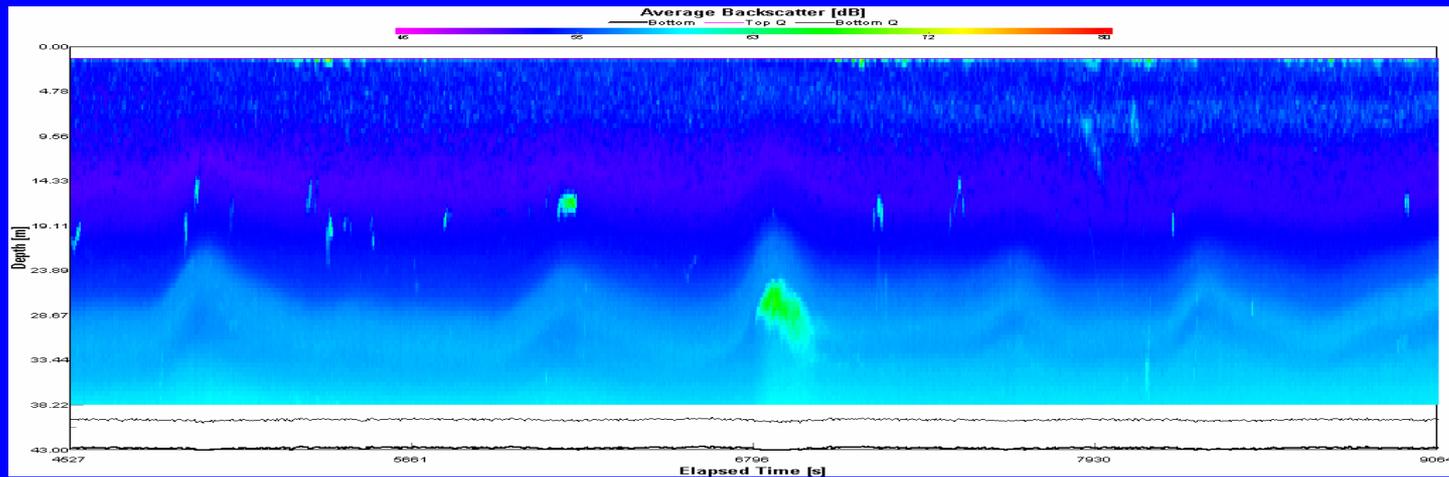
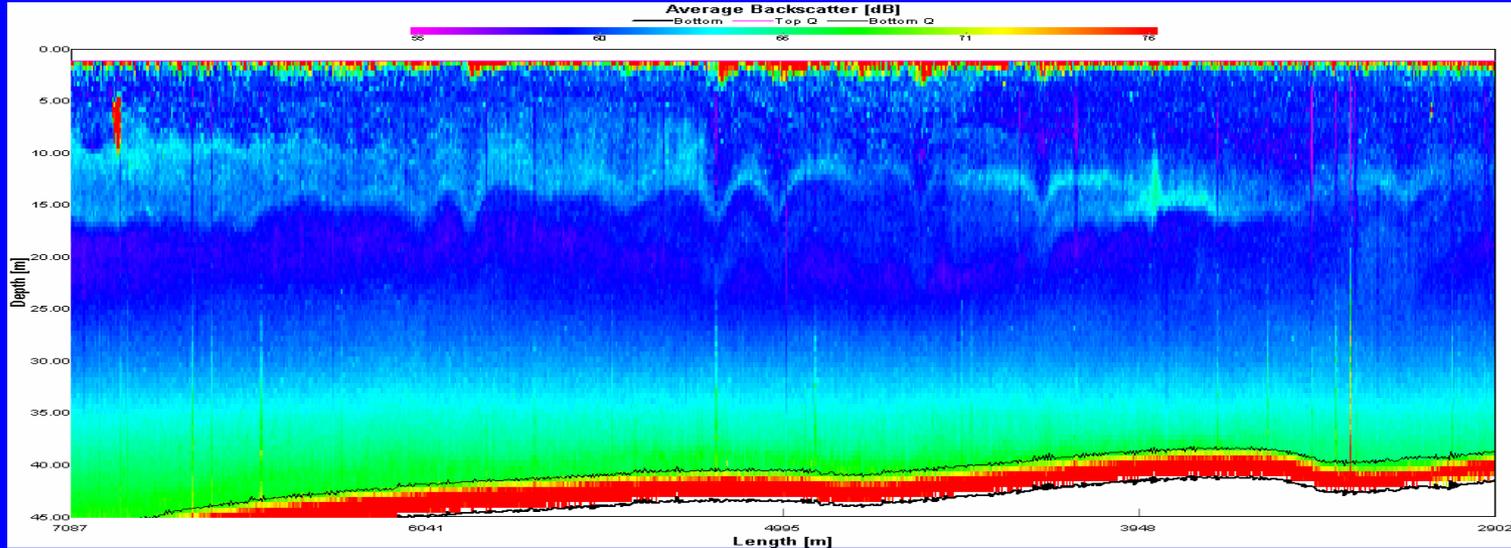
Запись картины обратного рассеяния звука (слева), горизонтальная (на север) составляющая течения (справа сверху) и вертикальная компонента течения (справа внизу) во время прохождения цуга интенсивных внутренних волн



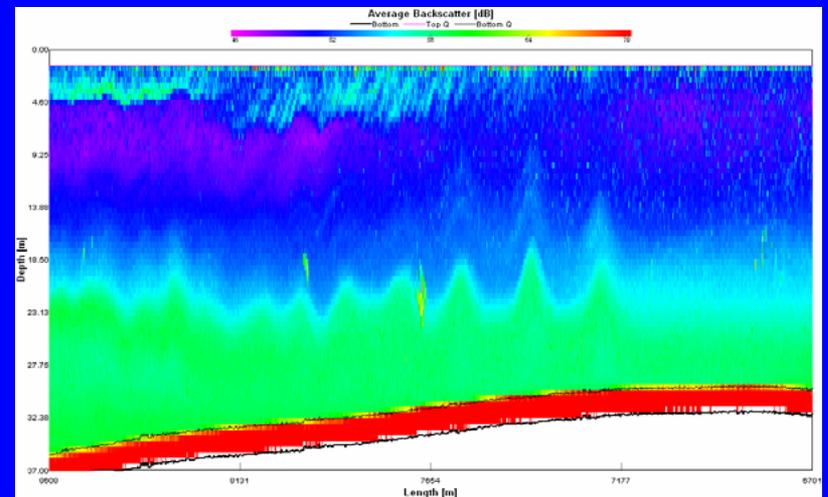
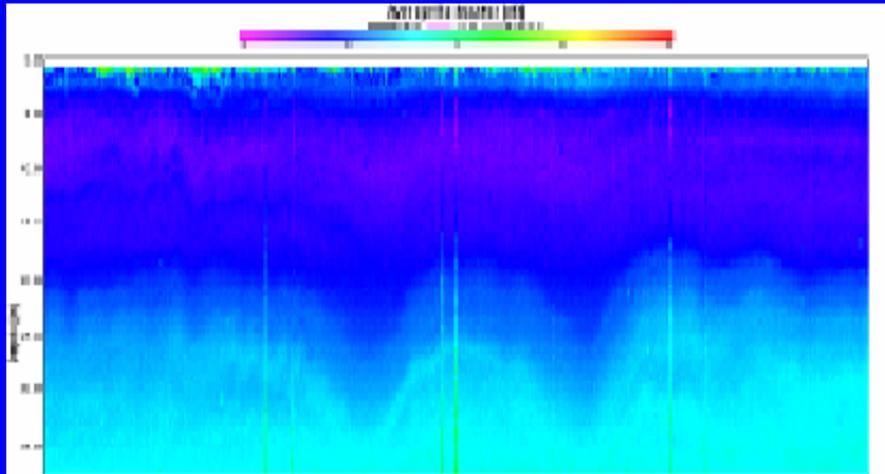
Траектория хождения стоящей на якорь яхты, вызванная проходящими к берегу интенсивными внутренними волнами. Смещения яхты, в пределах площадки 40 м X 30 м



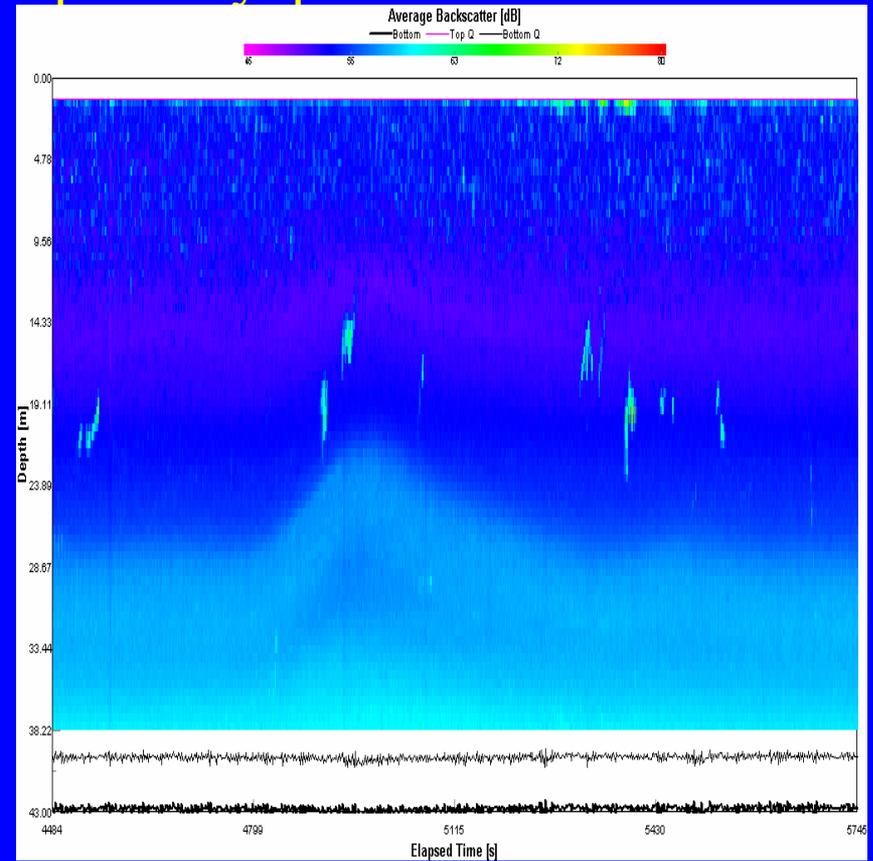
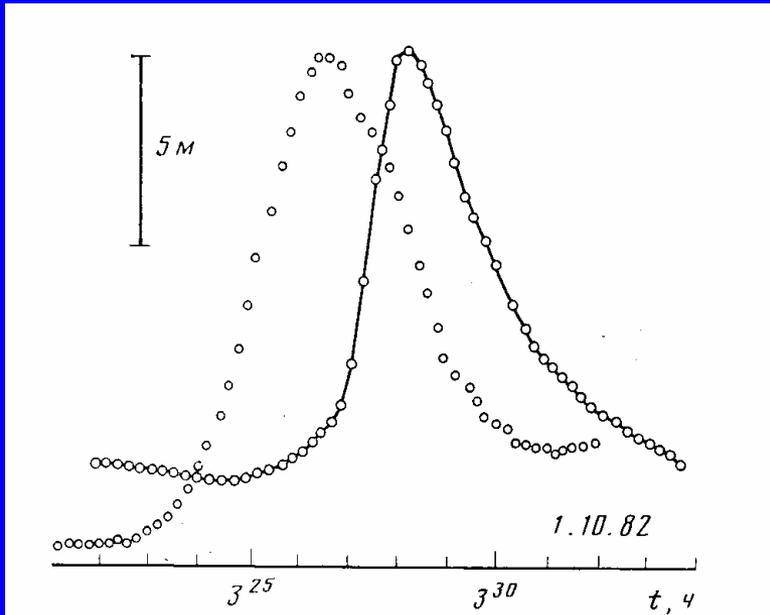
Волны-углубления (вверху) и волны-поднятия (внизу) на картинах эхолотационных контрастов ADCP (измерения 2003-2004 гг.)



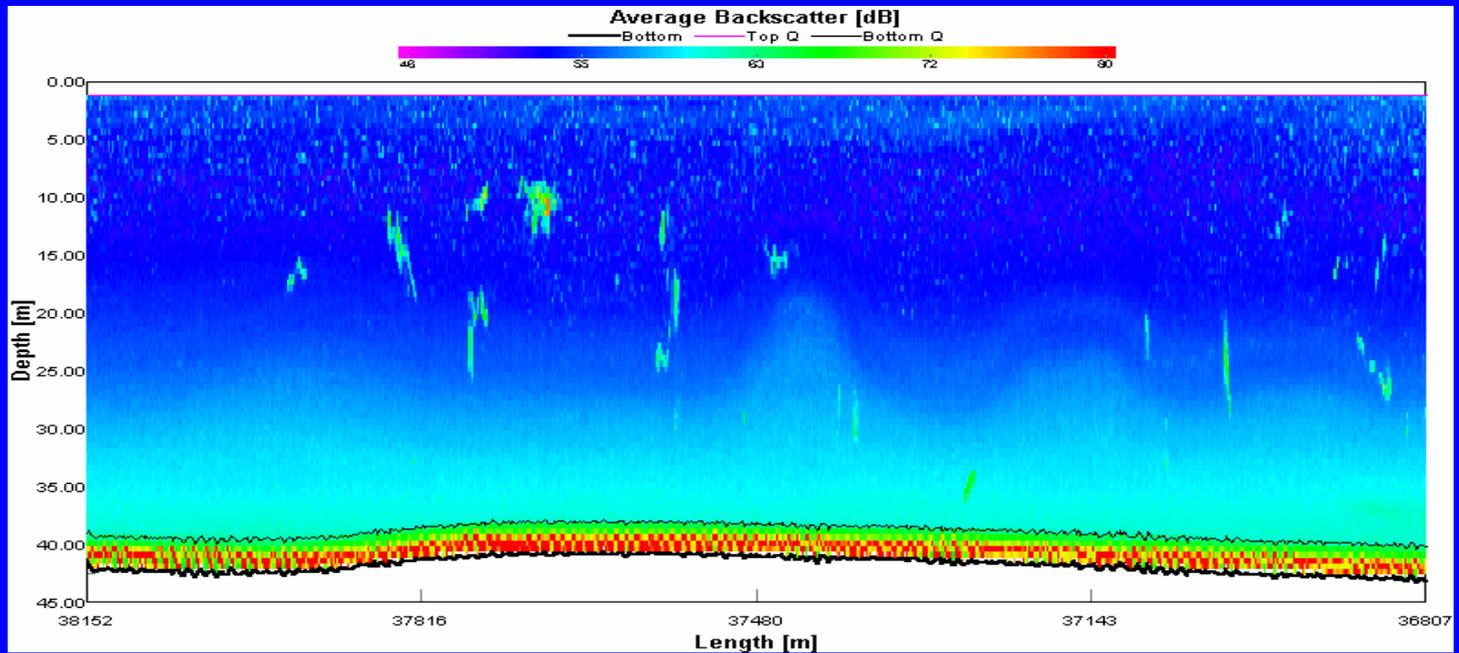
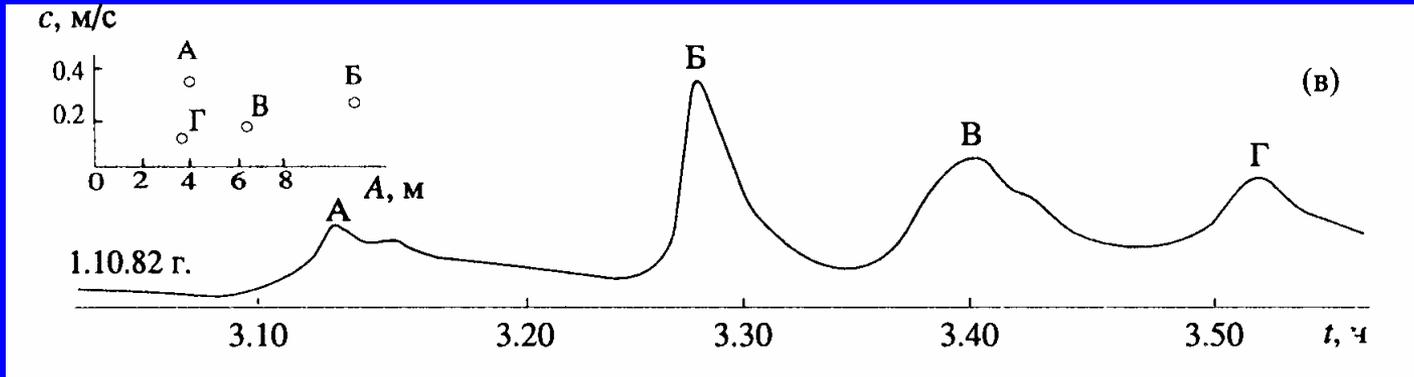
Intense internal waves in the deep part of the shelf have the form of depression waves (left), while in the shallow shelf have form of elevation waves (right)



Горизонтальная асимметрия внутренних волн



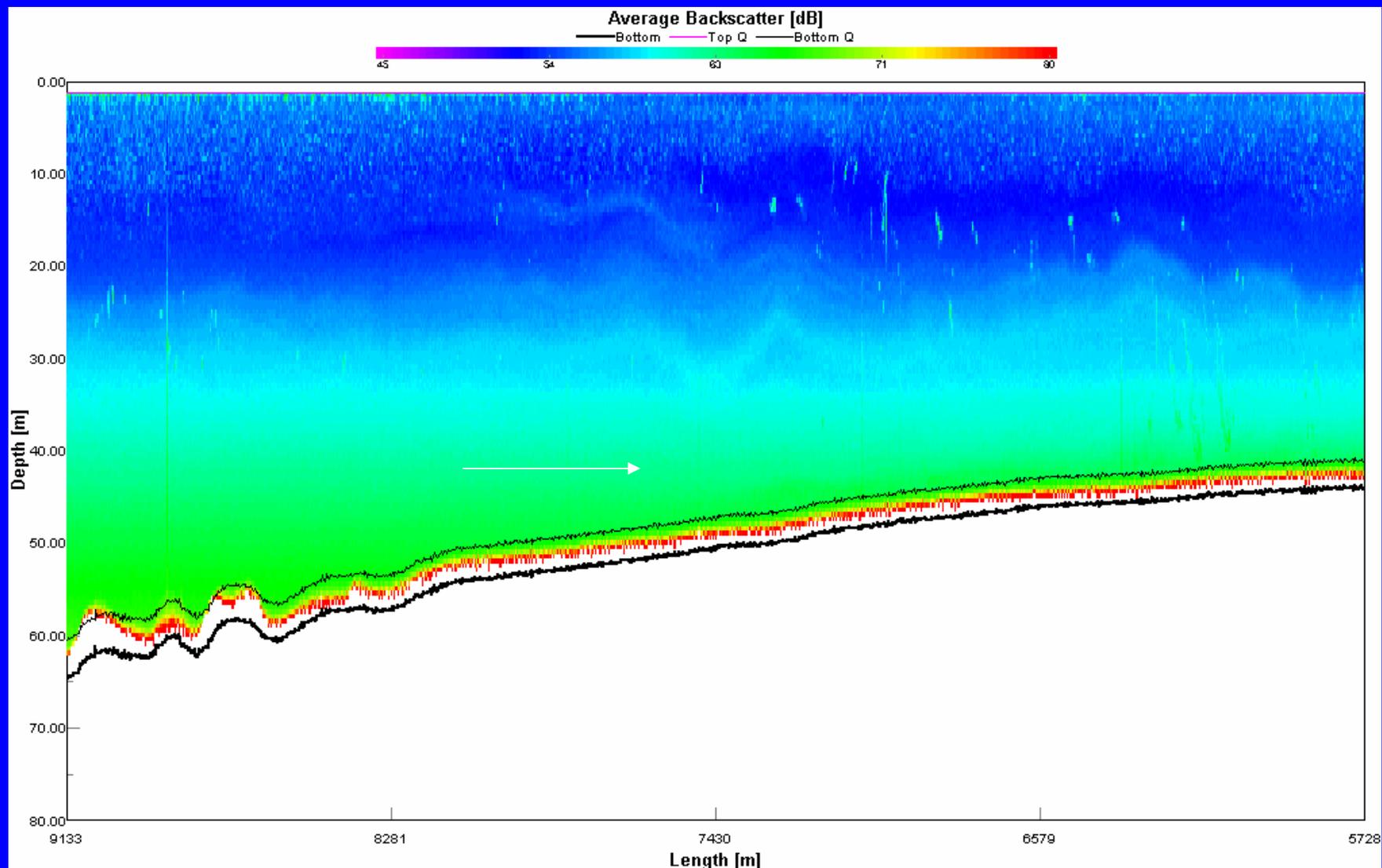
Цуги интенсивных волн с предвестниками: запись РДТ (вверху) и ADCP (внизу)



Слик над шельфом Японского моря (23.09.2004)



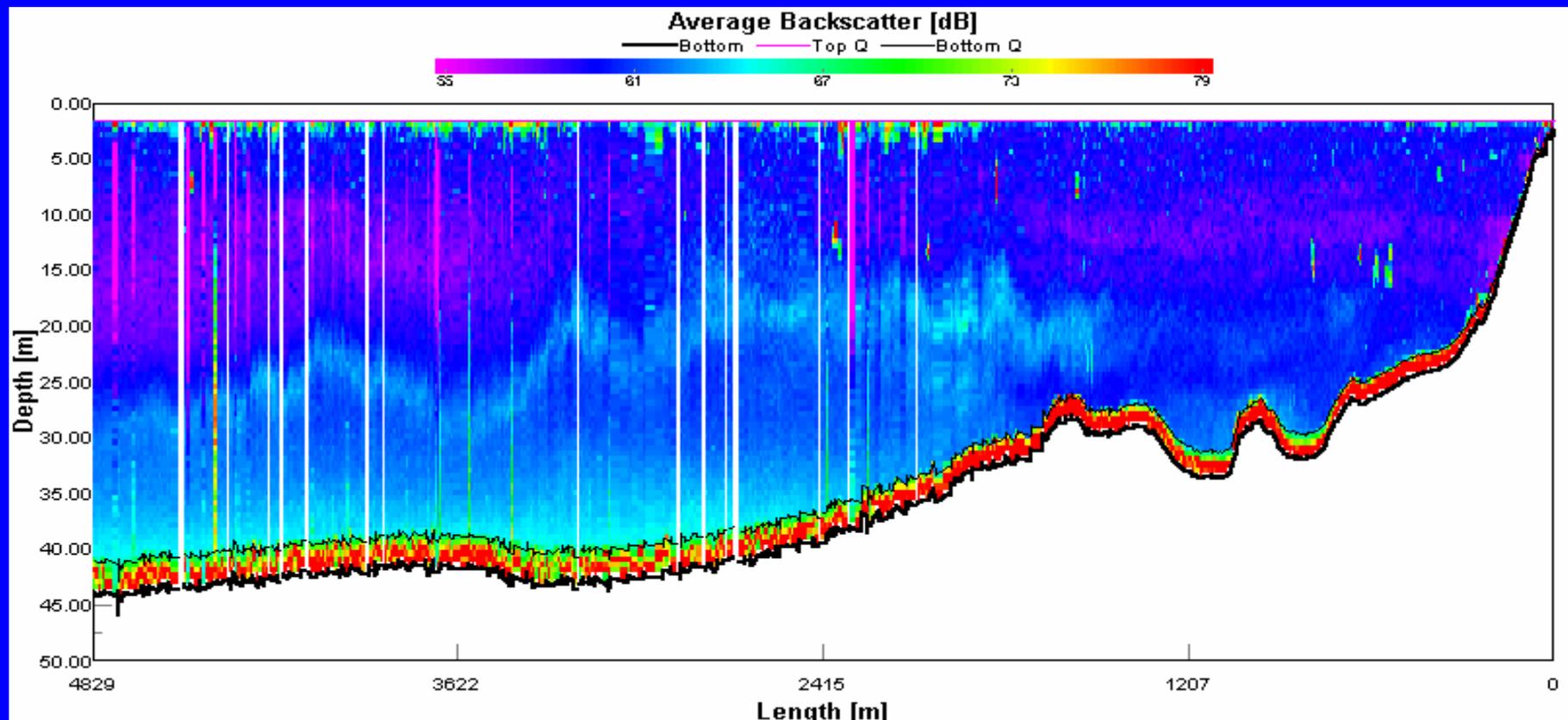
Внутренняя волна, сгенерированная слик на поверхности моря (измерения 23 сентября 2004 г)

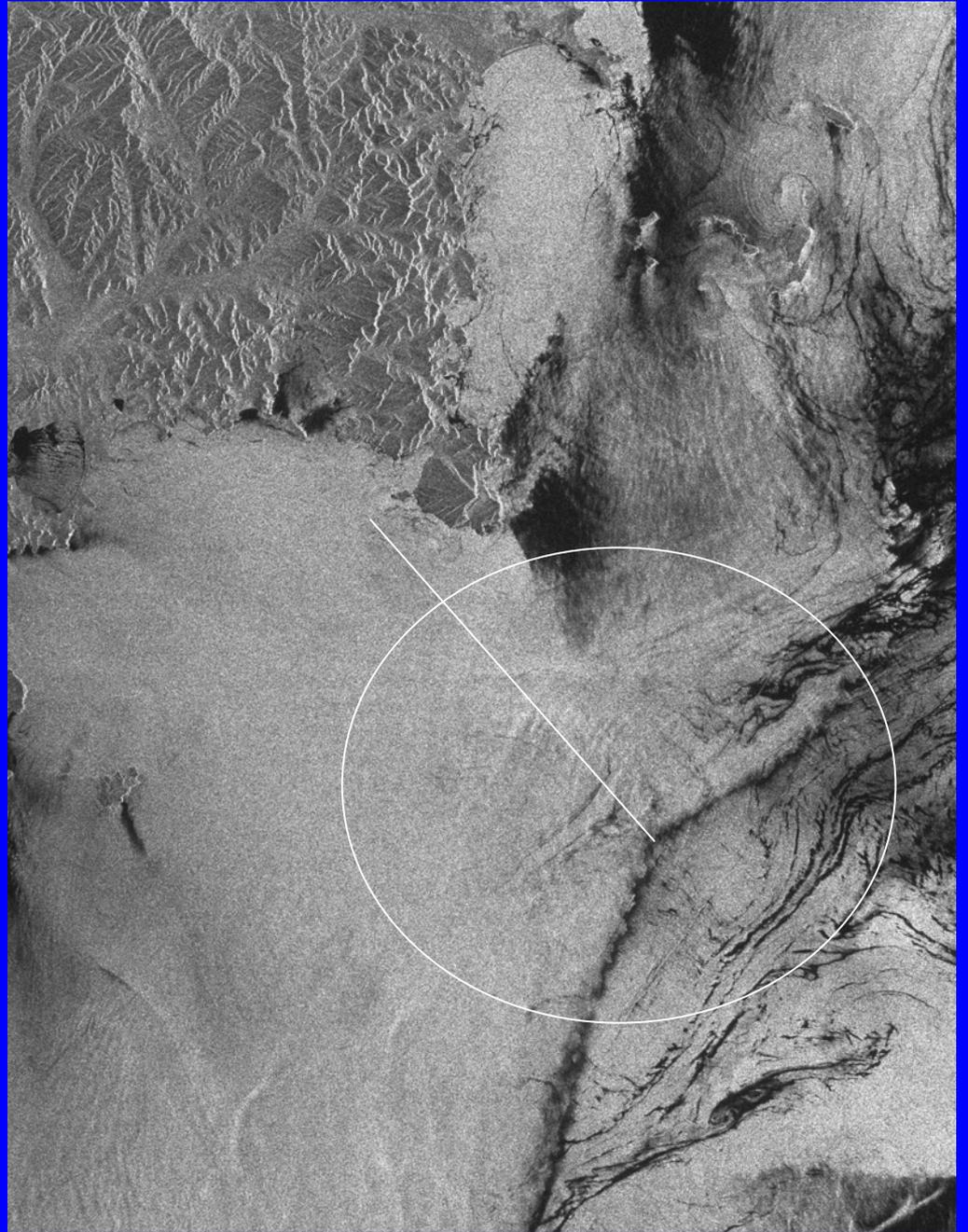
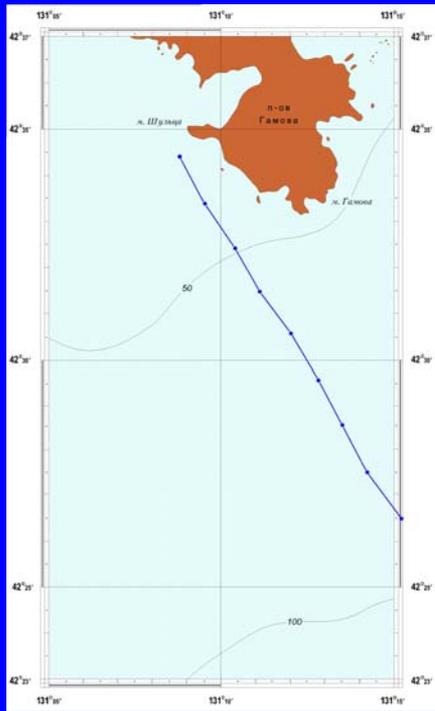


Сликовые полосы у входа в бухту Витязь

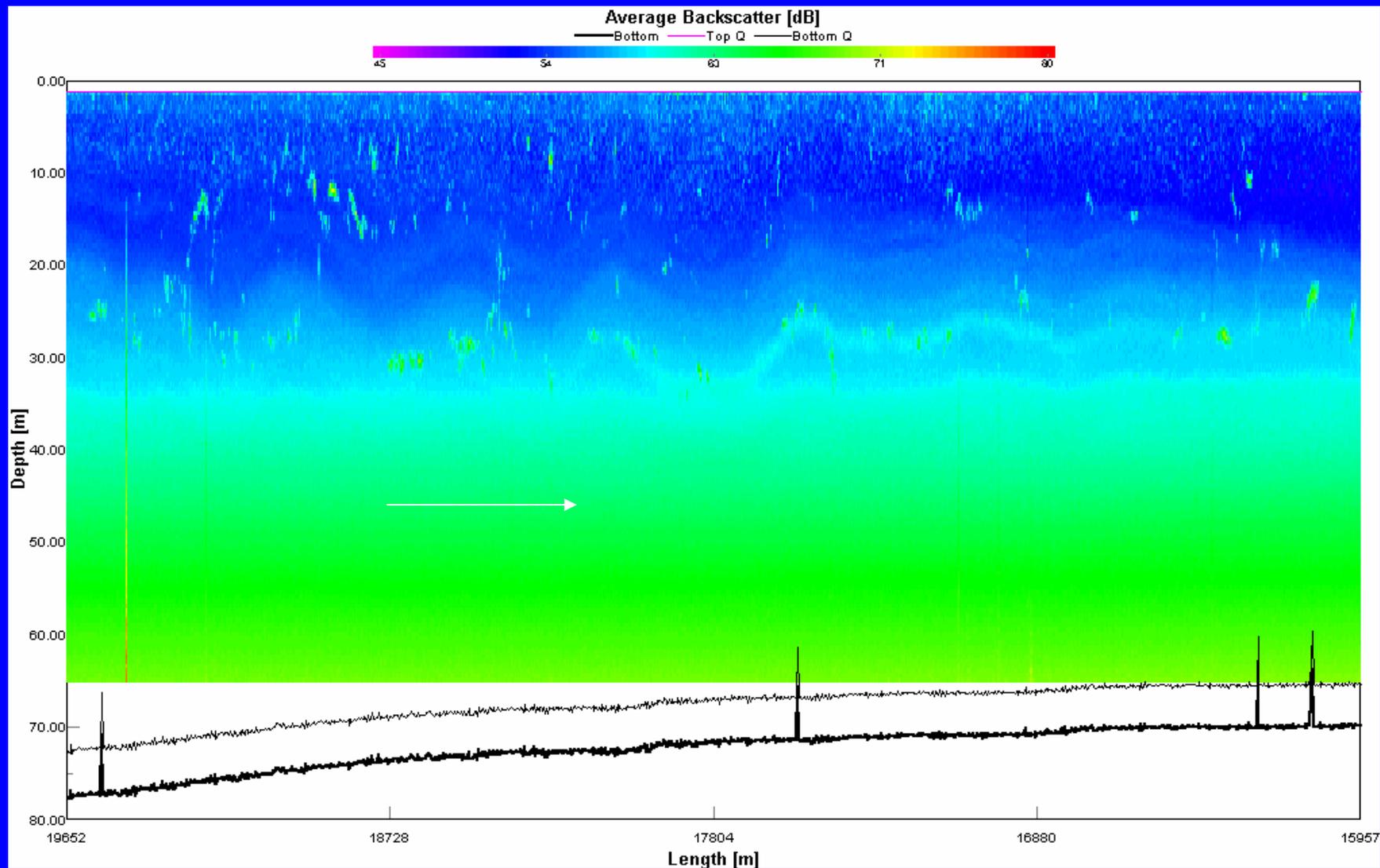


Внутренние волны над порогом у входа в б. Витязь

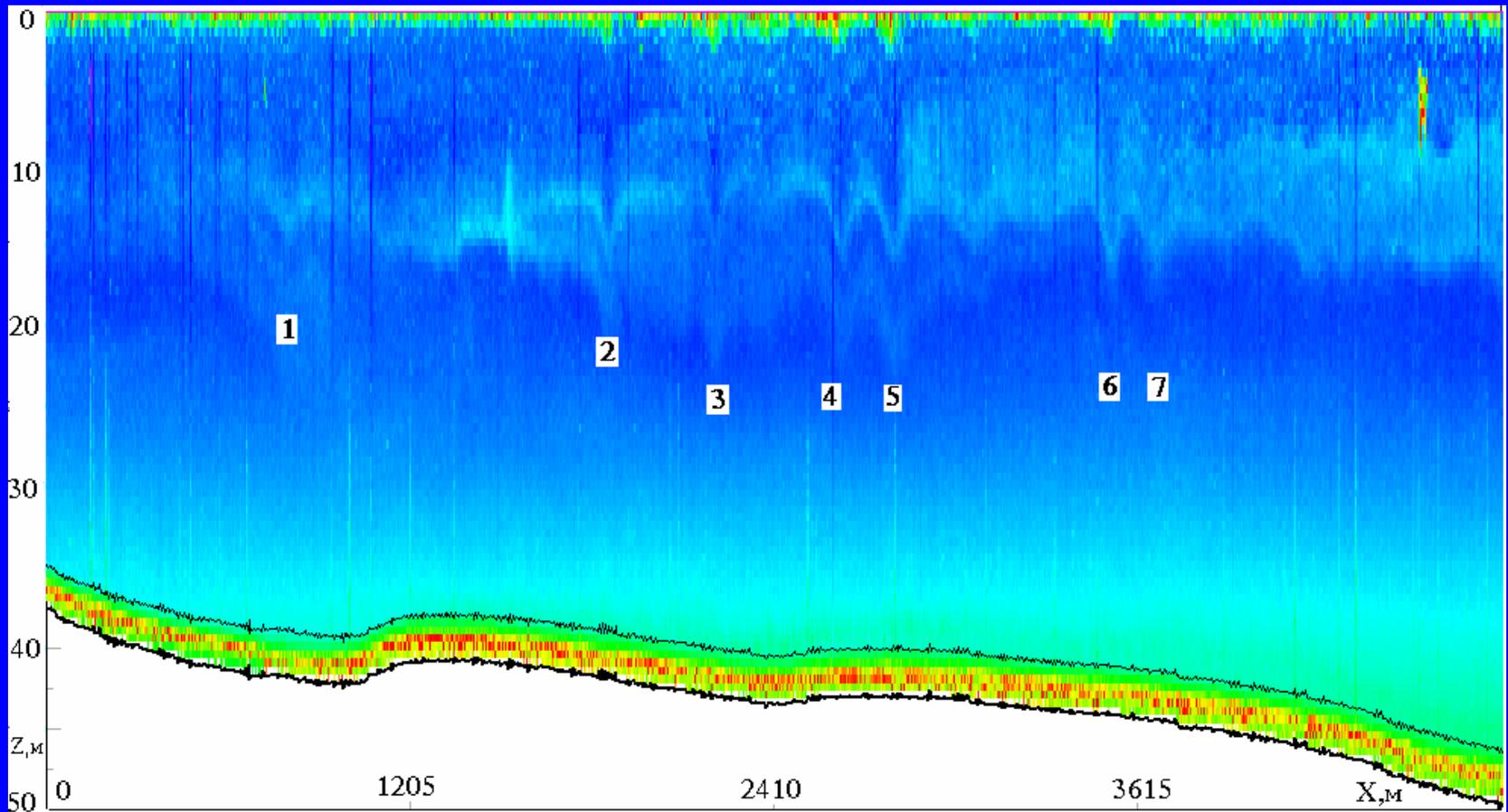




Дуг внутренних волн, зарегистрированный вблизи материкового склона (виден на спутниковом снимке), движется по направлению к берегу (запись на встречном галсе). Высота волн 10 м.



Pattern of the echo-sounder contrasts obtained by using the ADCP on a tack at the shelf of the Sea of Japan (off shore section). The characters from 1 to 7 label individual internal waves propagating towards the coast.



During the survey, the internal waves considerably approached the coast.

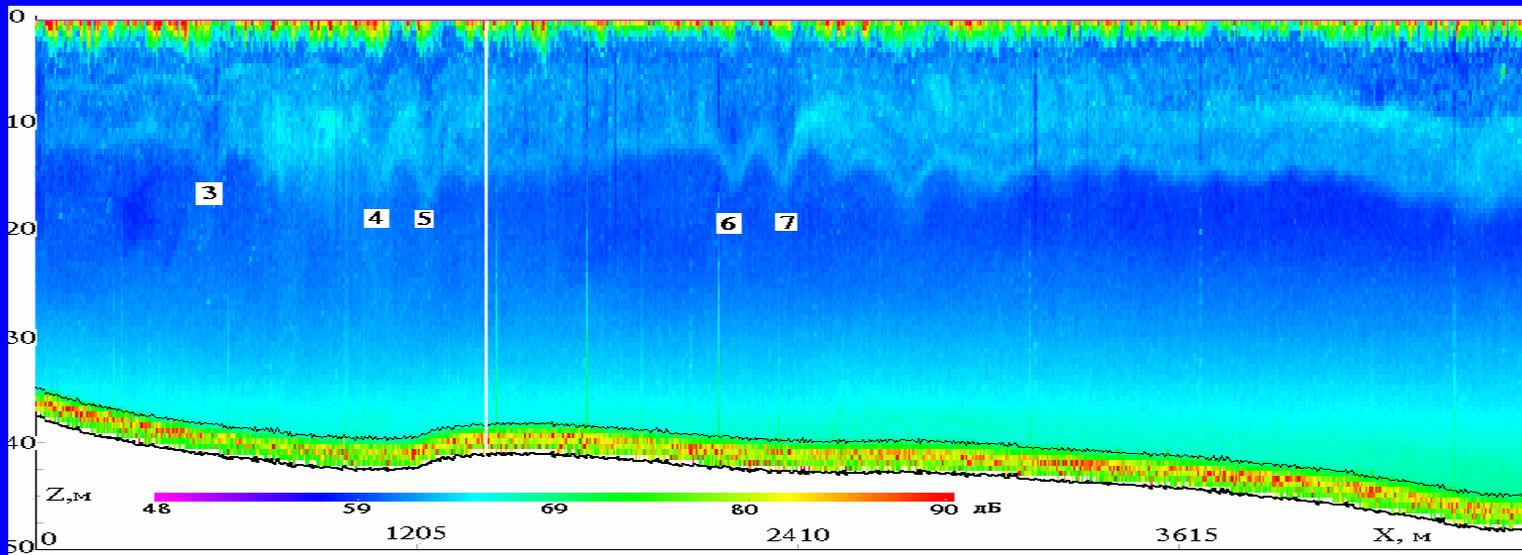
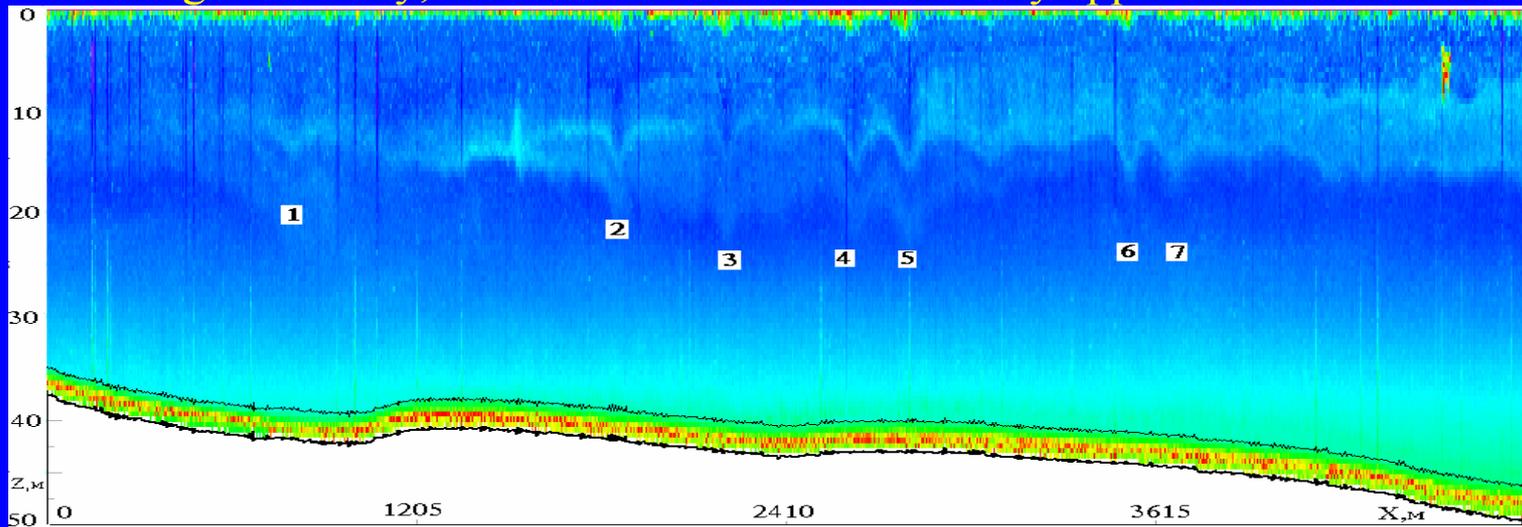


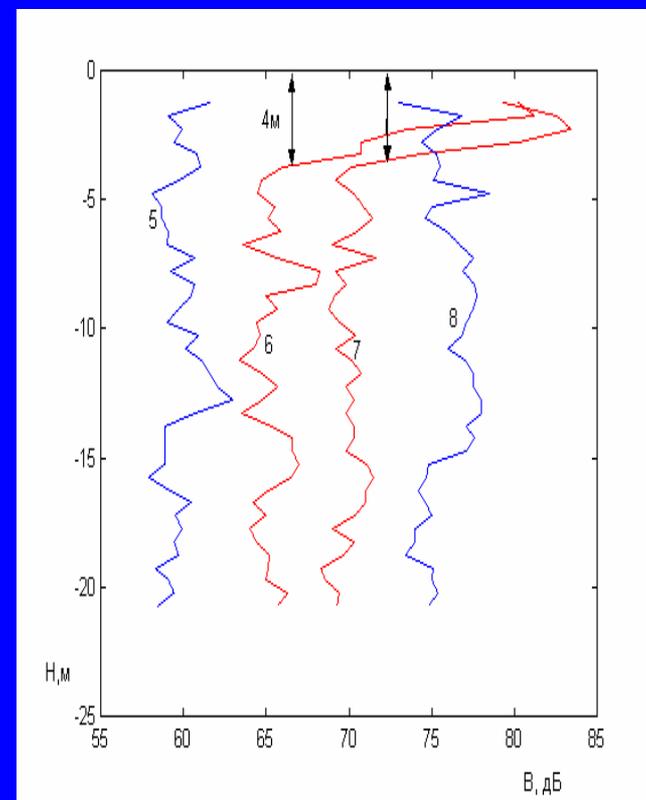
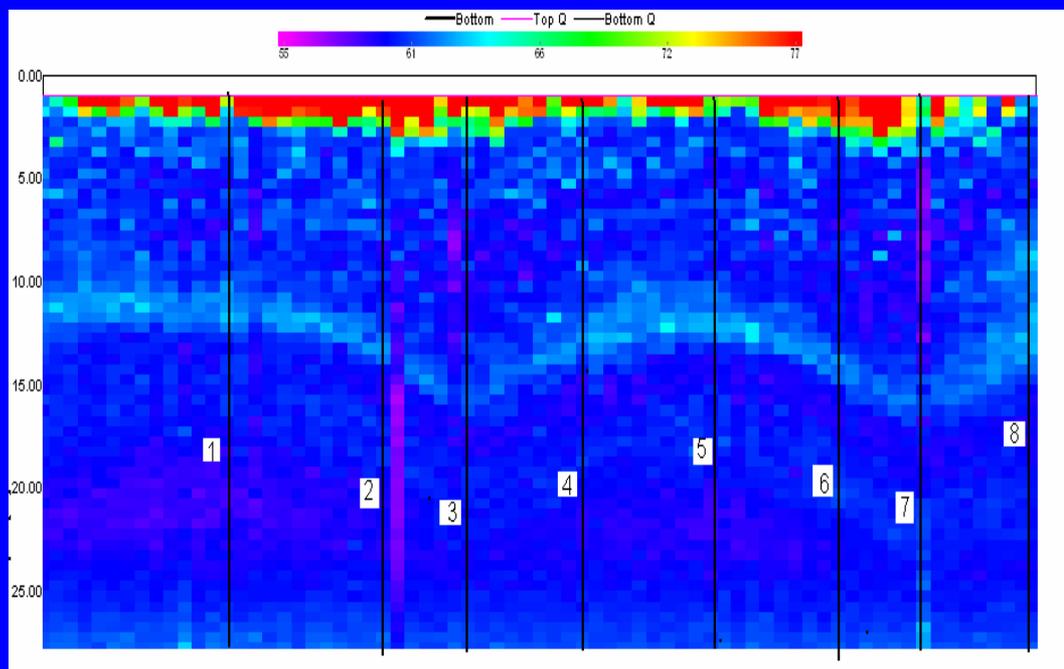
TABLE 1. Parameters of the internal waves

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

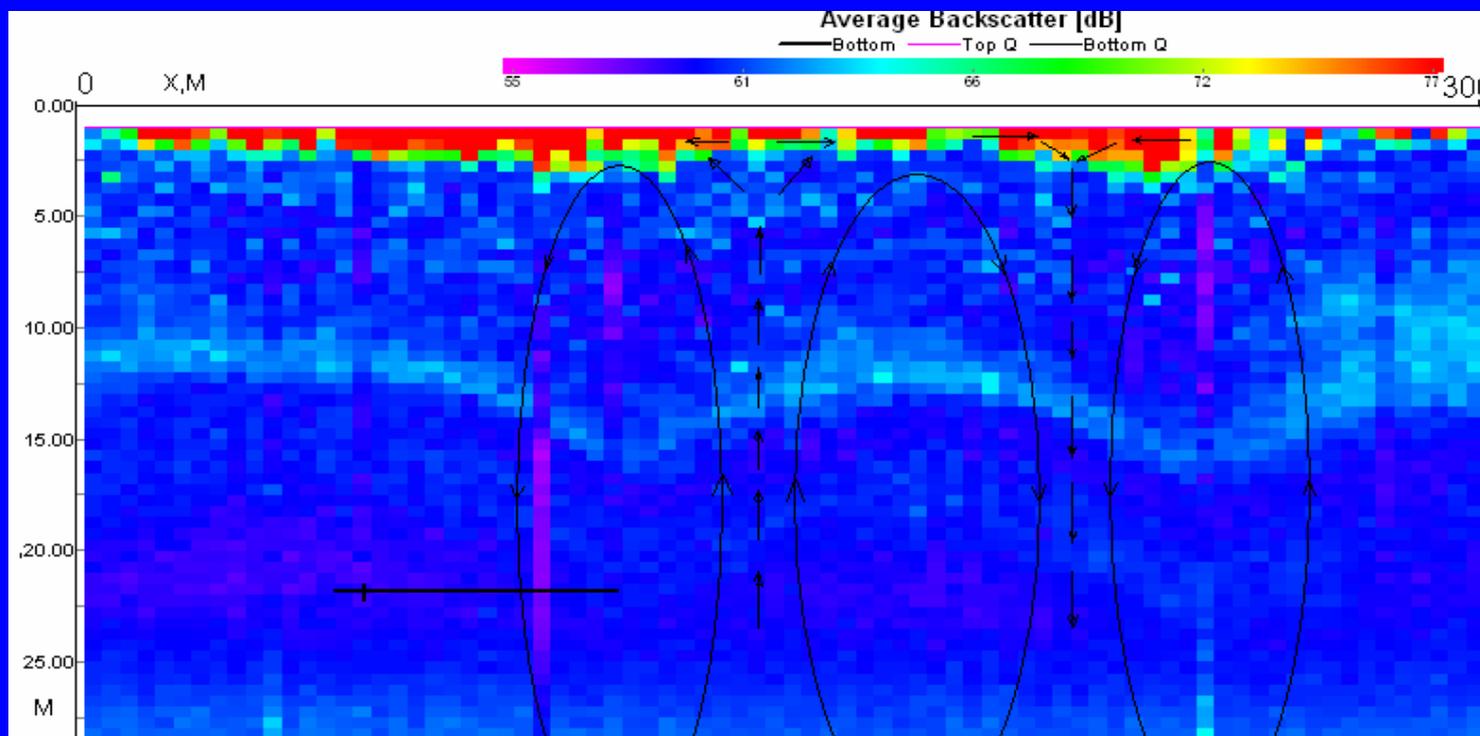
The waves approaching the shallow-water zone decrease their velocity from 0.26 to 0.23 m/s. The horizontal size of the waves is within 90—180 m. The amplitudes of the majority of the waves tend to increase in approaching the shallow-water region, this observation agreeing with the theoretical predictions

Эффект воздействия внутренних волн на приповерхностный слой воздушных пузырьков

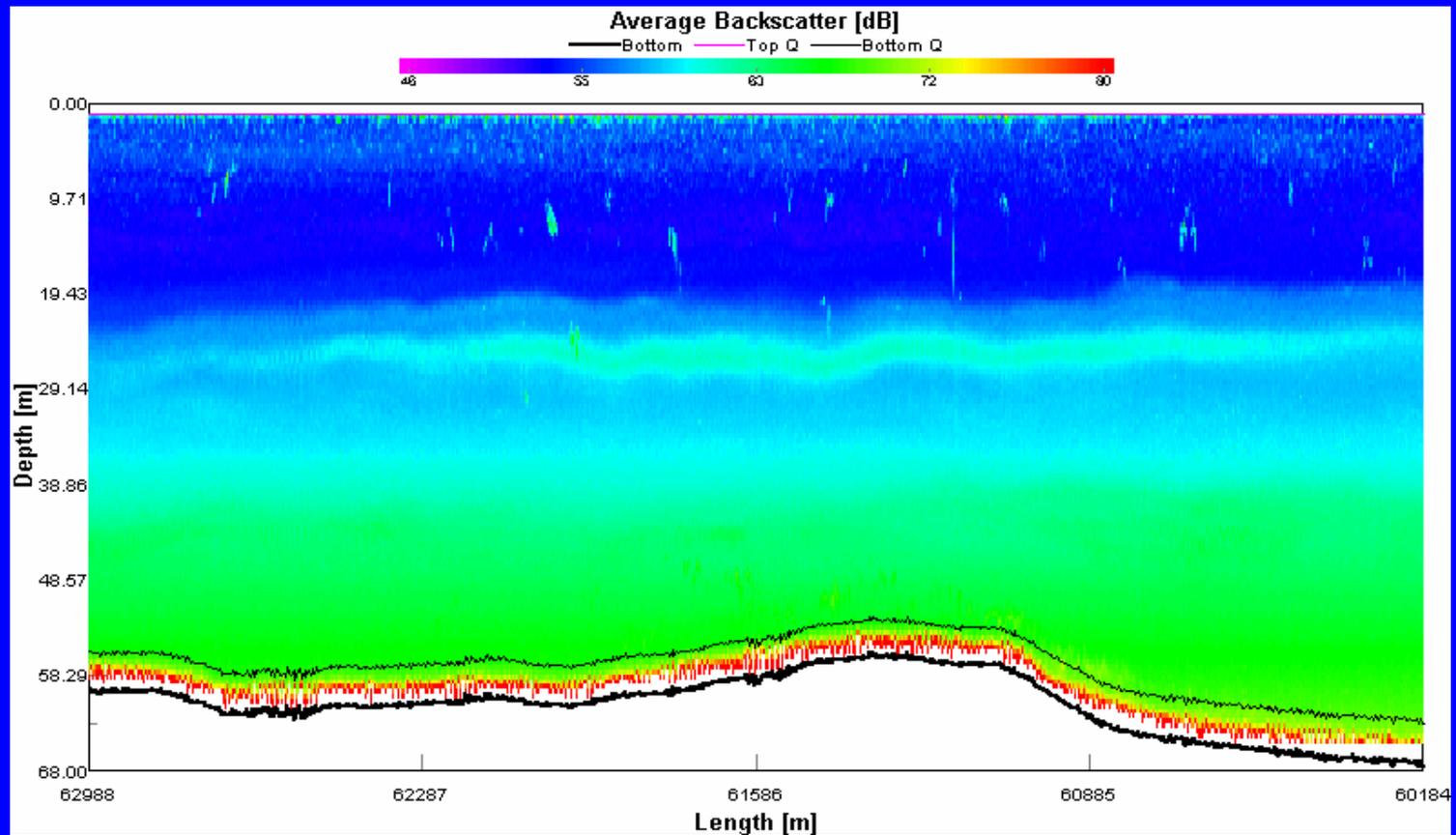
Фрагмент записи коэффициента обратного рассеяния звука V , на котором видны две внутренние волны и синхронная модуляция толщины слоя сильных рассеивателей в приповерхностном слое моря (слева). Волны движутся справа налево. Вертикальными пронумерованными линиями обозначены моменты времени для которых приведены профили $V(h)$ (справа)



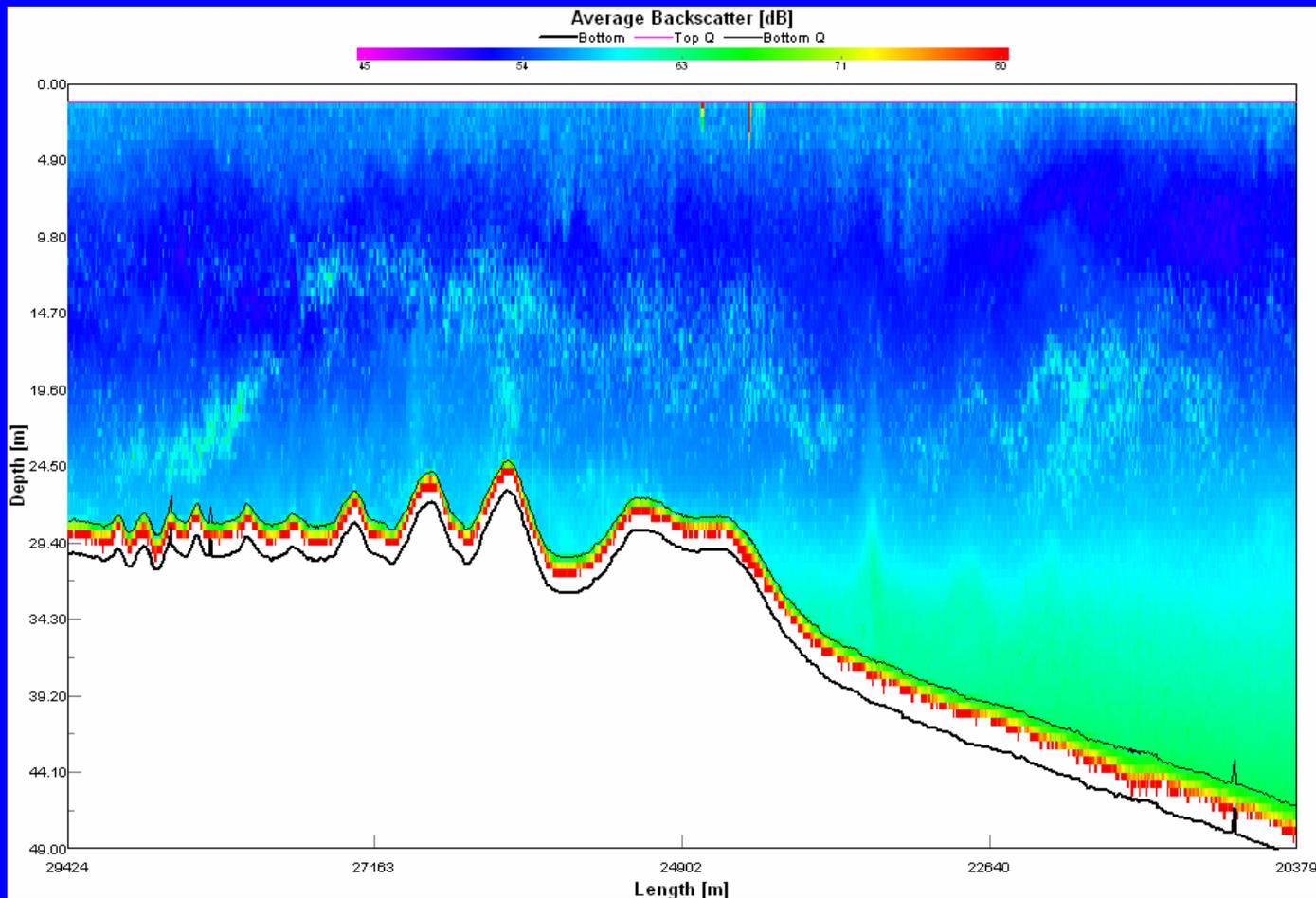
Качественное объяснение эффекта воздействия
внутренних волн на приповерхностный слой пузырьков.
Показаны орбитальные движения, вызываемые
проходящими внутренними волнами



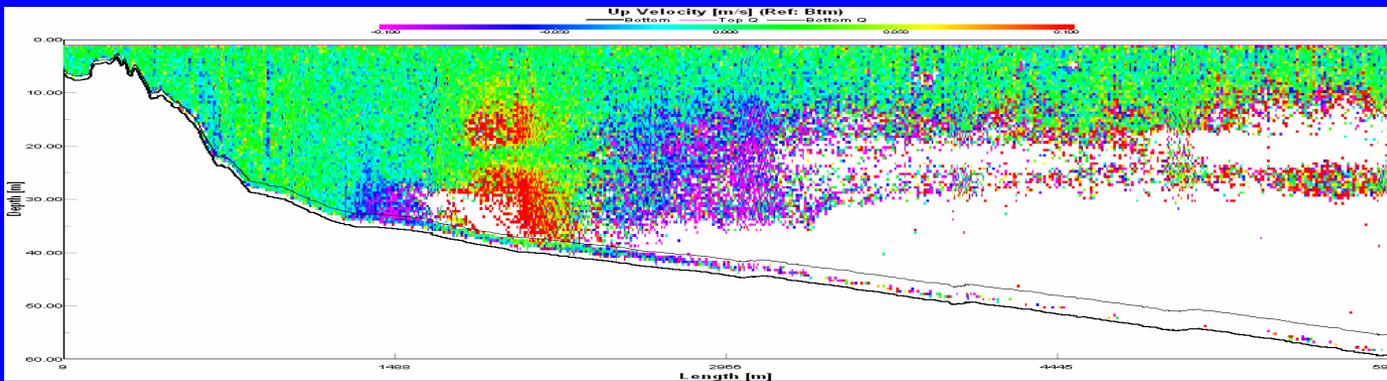
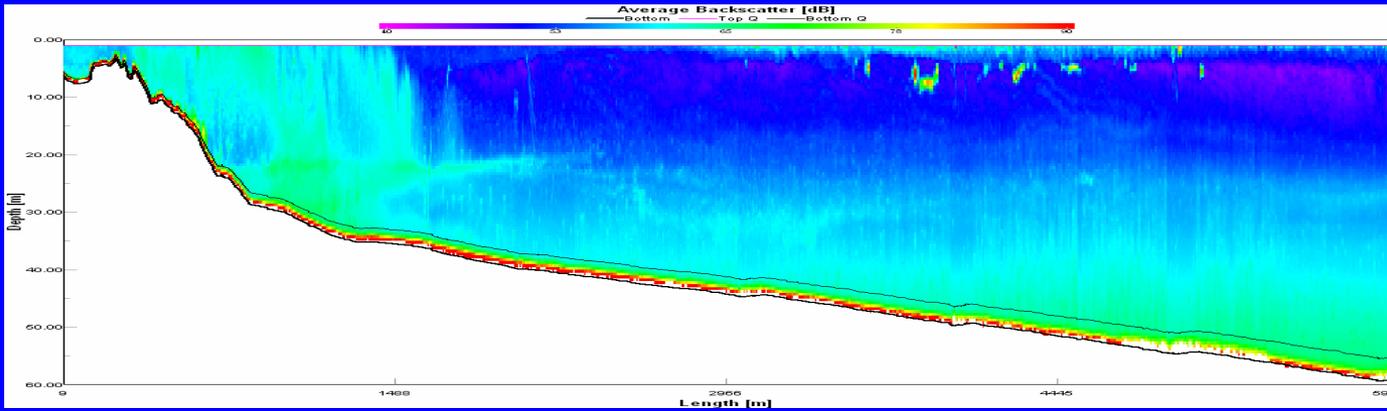
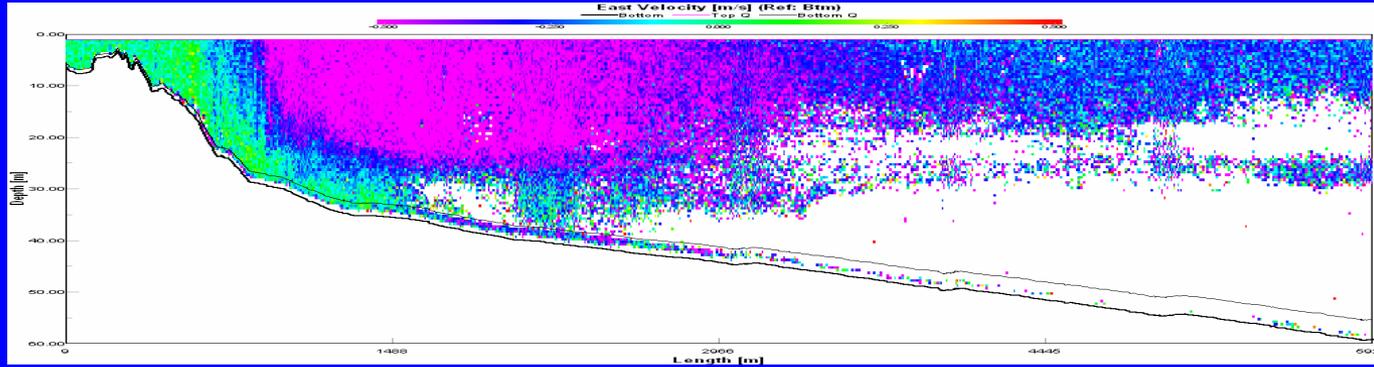
Interthermocline lens of warm and salt waters



Внутренние волны, движущиеся над подводной банкой и формирующие на дне гряды высотой до 6 м - «подводные барханы»,



Пример из последних спутниковых измерений осенью 2012. Распределение компоненты течений «восток-запад», вертикальной компоненты, и картина эхо-сигнала с глубиной на разрезе 26.09.2012.



Conclusion

- ADCP demonstrated itself as a powerful and convenient tool for oceanographic measurements.
- It gave possibility to collect valuable data essentially approached us in understanding the processes on a sea shelf.