

# Применение акустических методов для изучения динамики океана в полярных широтах и ее влияния на миграцию зоопланктона

Владислав Ю. Петрусевич



# Владислав Ю. Петрусевич

- Выпускник физического факультета МГУ 1998, кафедры физики земли
- В 2003 году окончил магистратуру Университета штата Висконсин , Милуоки.
- С 2007 года научный сотрудник Университета Манитобы, участник многих полярных океанологических экспедиций
- В 2021 году заканчиваю докторантуру Университета Манитоба
- Мой личный океанологический блог [www.oceanographer.ca](http://www.oceanographer.ca)



University  
of Manitoba

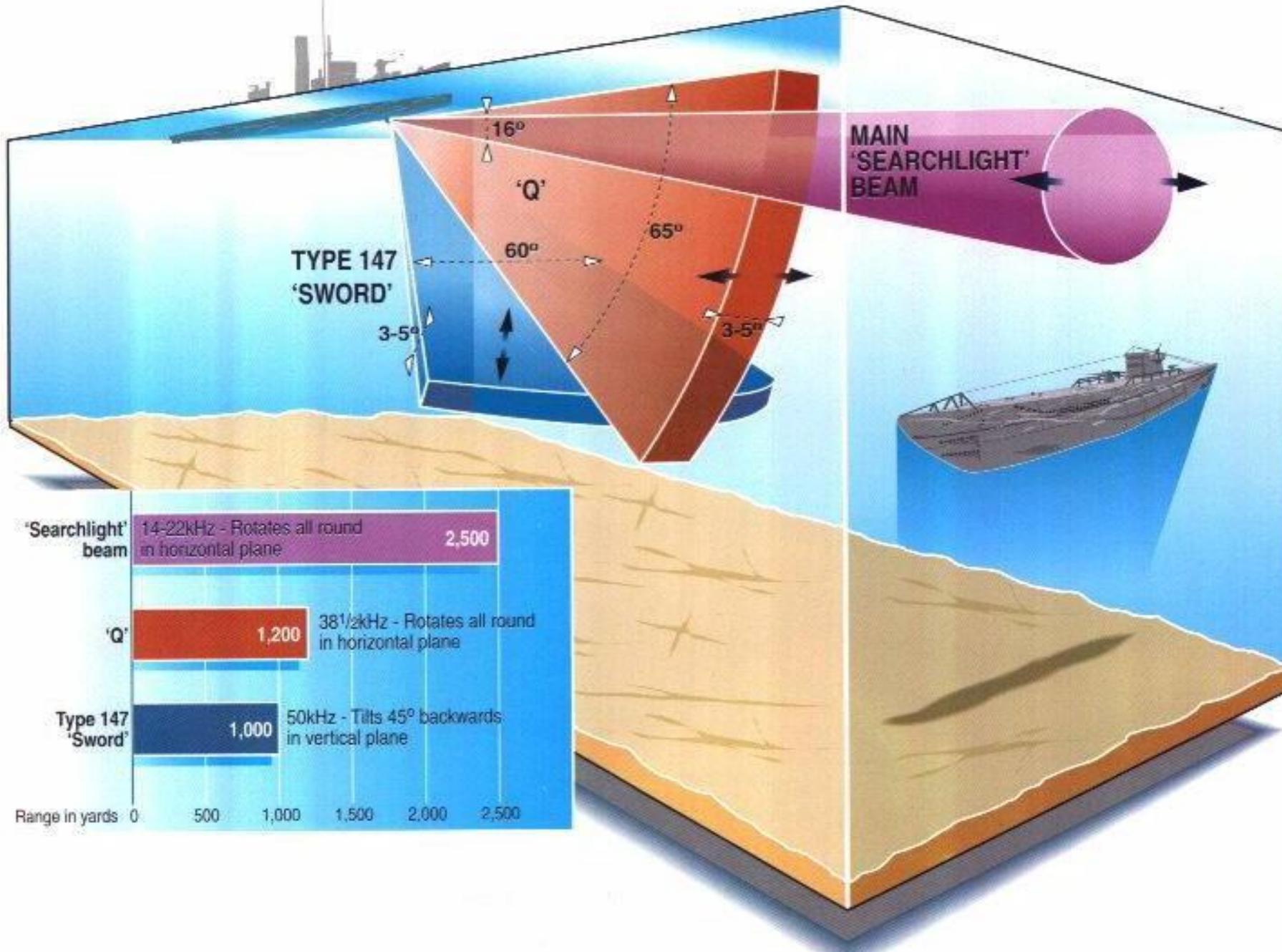


# Гидролокатор, Асдик и Сонар

- 1914 – Константин Васильевич Шидловский (1880-1958), «О возможности видения под водой»
- 1915 – Шидловский и Поль Ланжевен создали работающий образец гидролокатора с дальностью обнаружения до 2 км
- 1919 - ASDIC (Anti-Submarine Detection Investigation Committee) был разработан канадским физиком Робертом Вильямом Бойлем.
- 1940-е – Название сонар (SONAR=SOund Navigation And Ranging) было использовано в качестве гидроакустического подобия радара (RADAR = Radio Detection and Ranging).

Das  
Boot

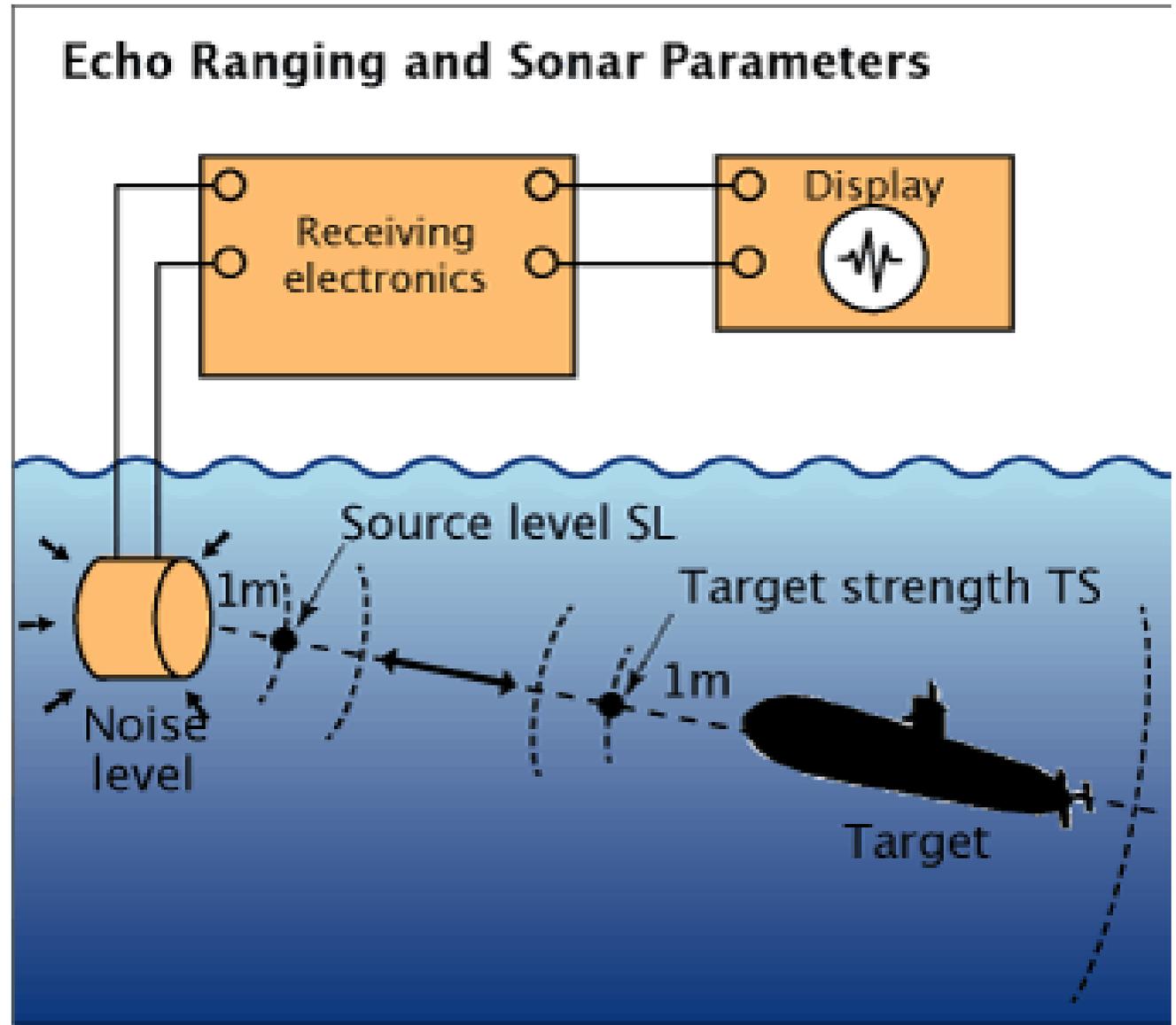
# АСДИК



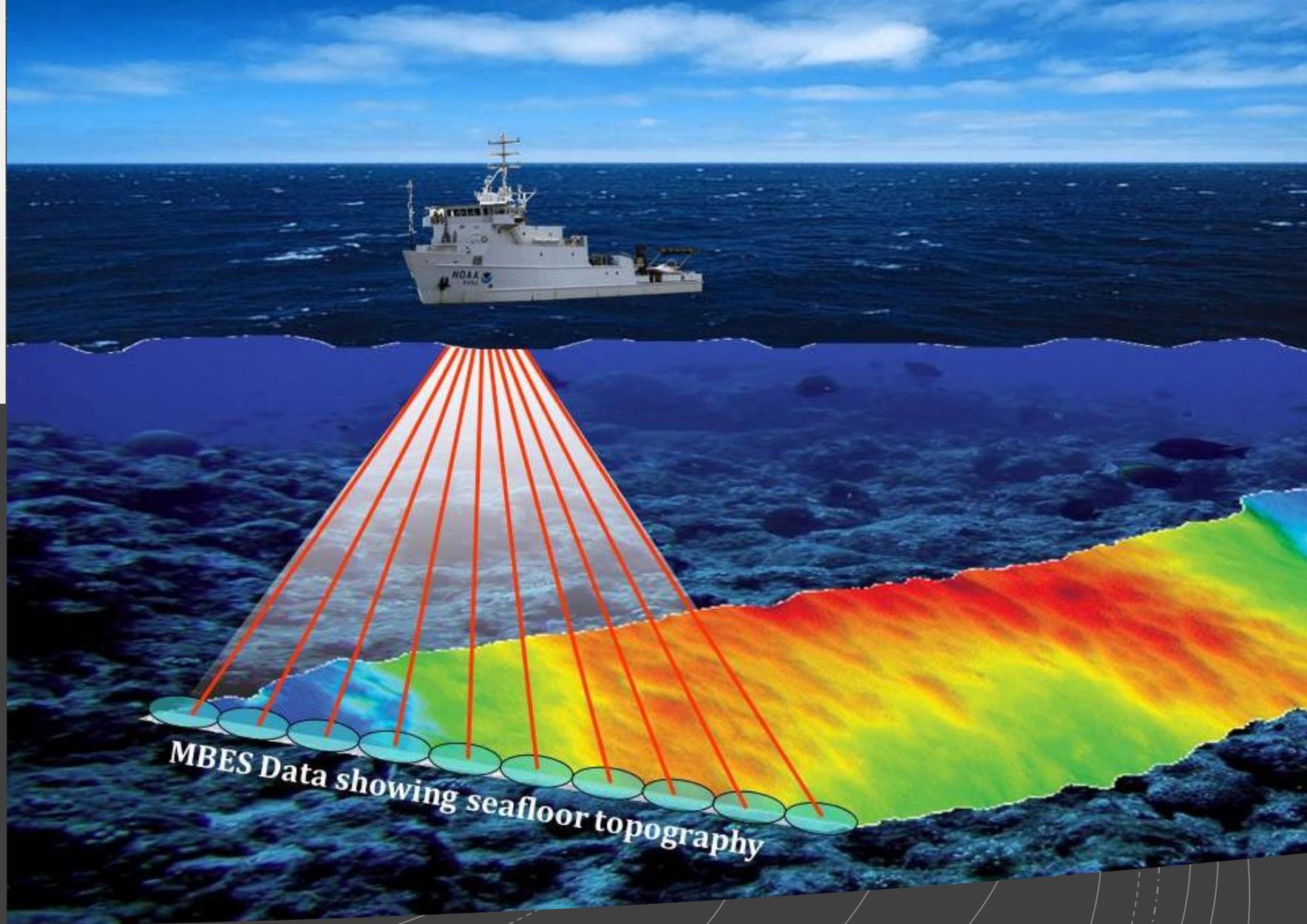
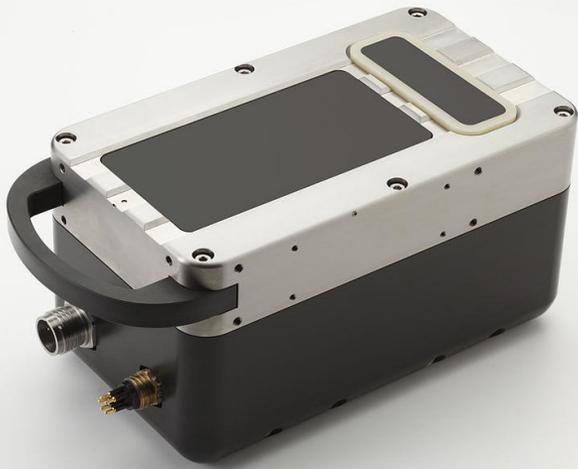
- Поисковый луч, горизонтального сканирования. 14-22кГц. Эффективная дальность обнаружения ~1.2 морск мили.
- Луч Q – 38,5кГц – сканирует в горизонтальной плоскости. Дальность обнаружения ~ 0,6 морк мили.
- Тип 147 «Меч» 50кГц – сканирует под 45° в вертикальной плоскости. Дальность обнаружения ~0,6 морк мили.

# Уравнение гидролокации (Sonar equation)

- $SNR (dB) = SL - 2TL + TS - NL$
- $SL$  – Исходный Уровень (Source Level)
- $TL$  – Потеря передачи (Transmission Loss)
- $NL$  – Уровень шумовой помехи (Source Noise Level)
- $TS$  – Акустический размер или сила цели (Target strength)



# Многолучевой эхолот



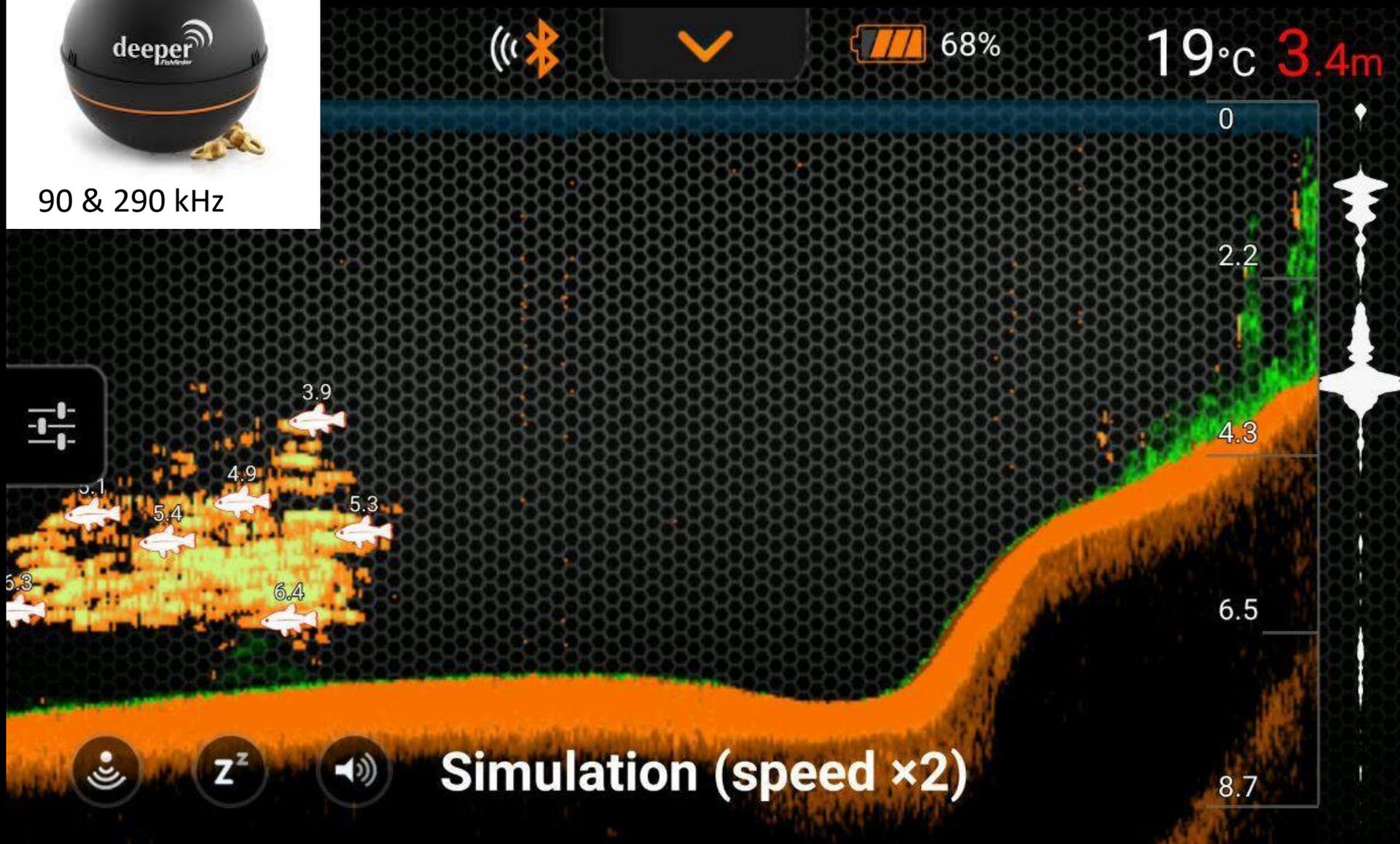
# Промысловые и любительские сонары



Источник: Garmin



90 & 290 kHz



# Акустический доплеровский измеритель течения

- Доплеровский профилограф.  
Англ: ADCP – Acoustic Doppler Current profiler
- Эффект Доплера – изменение частоты  $f$  (длины волны) волны воспринимаемой приемником, при движении источника излучающего частоту  $f_0$  относительно приемника со скоростью  $v_s$ .

$$f = \left( \frac{c \pm v_r}{c \pm v_s} \right) f_0$$

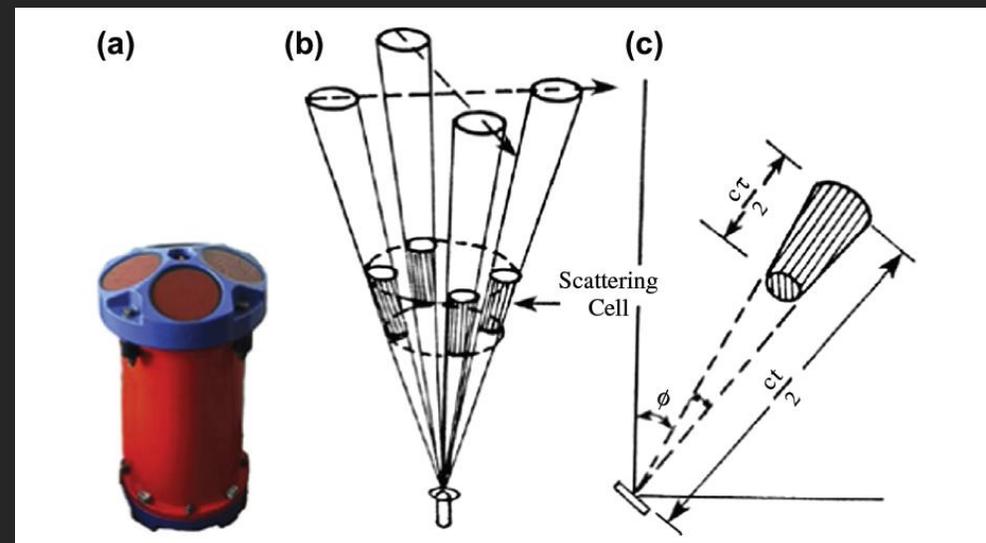
- В случае если скорость распространения волны  $c$  намного больше скорости движения приемника и источника, то доплеровское изменение частоты:

$$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} f_0 \quad \Delta f = f - f_0$$
$$\Delta v = -(v_r - v_s)$$



# Принцип действия акустических профилографов

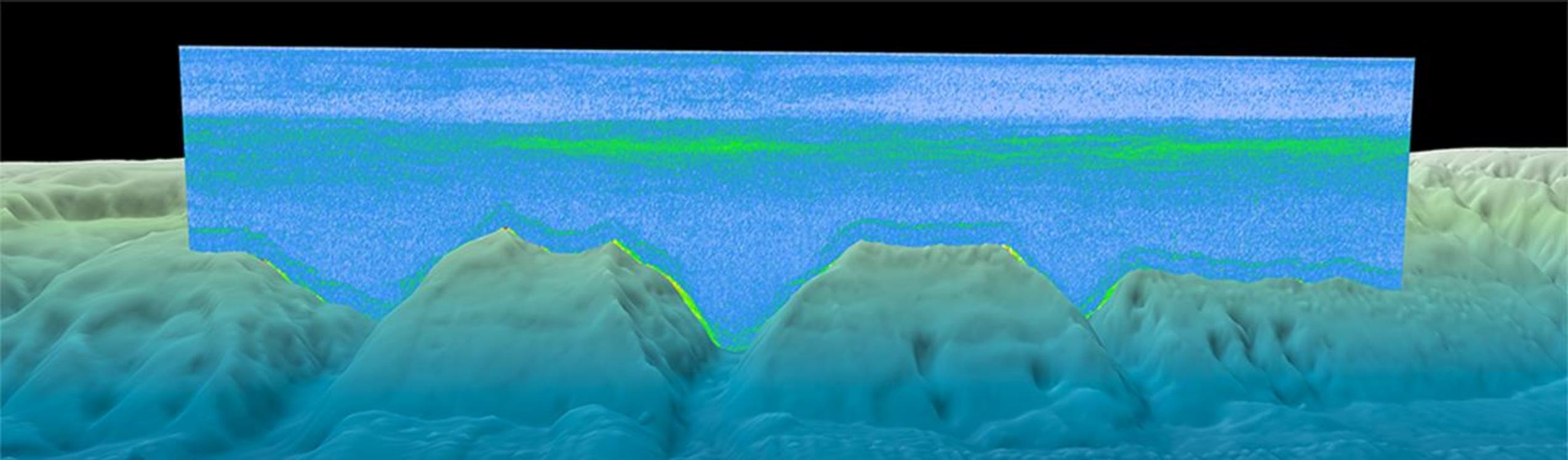
- В водной среде присутствуют звукорассеивающие/звукоотражающие частицы: пузырьки воздуха, седименты, зоопланктон.
- Передаваемые профилографом акустические импульсы рассеиваются звукорассеивающими частицами. Большинство звука распространяется от излучателя. Лишь небольшая часть отражается, имея доплеровский сдвиг.



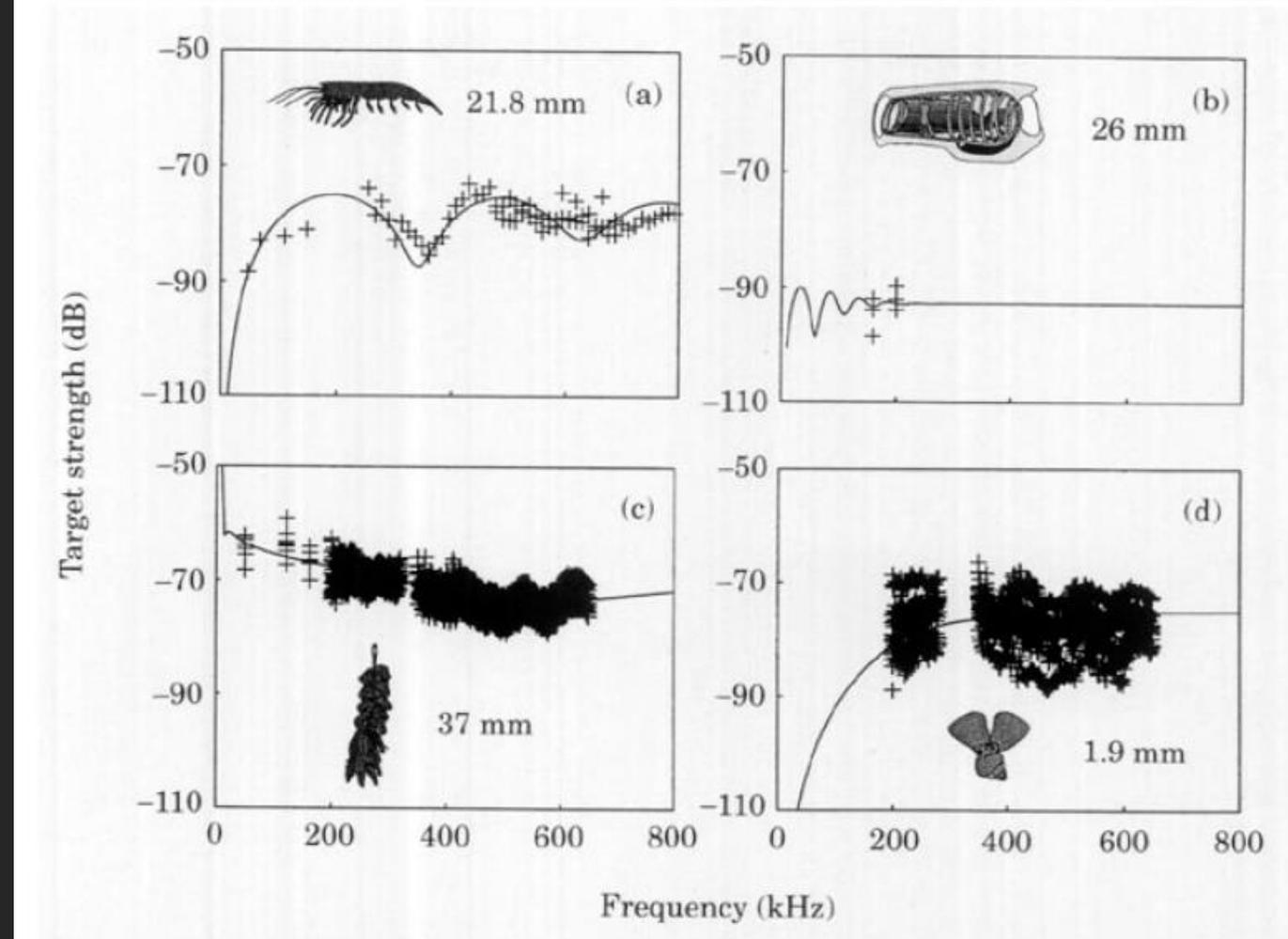
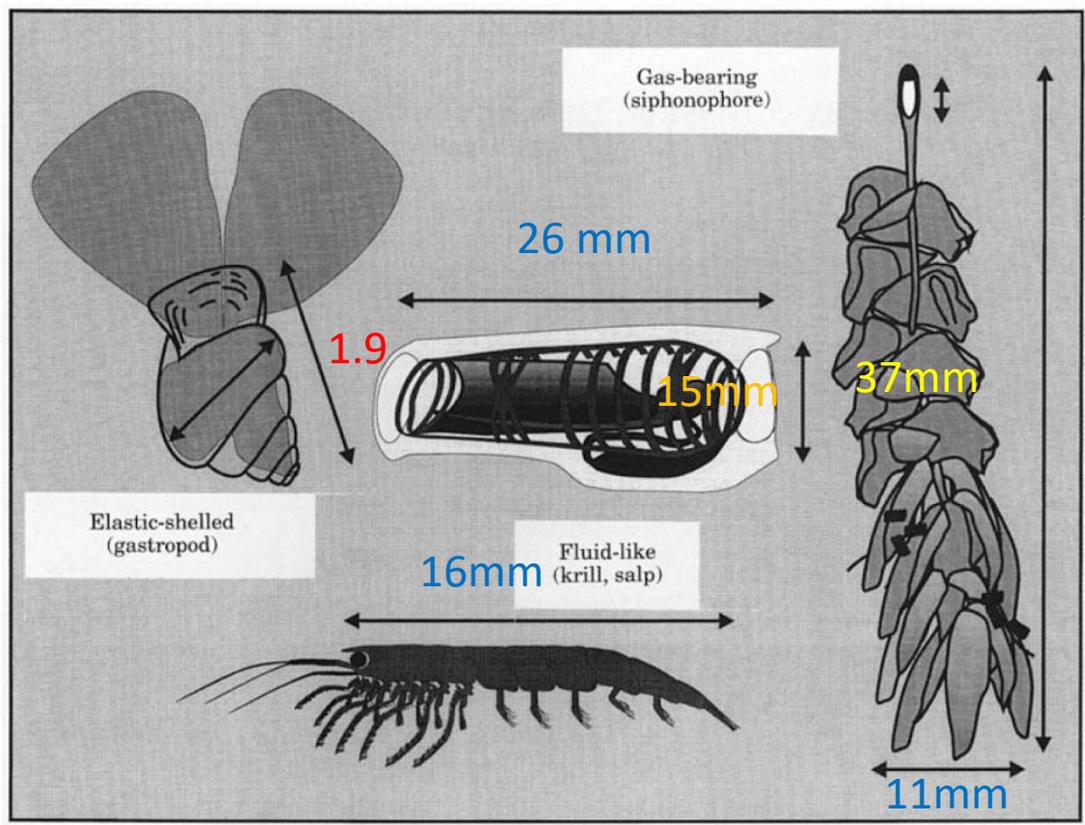
- После излучения передатчик работает как приемник, принимая отраженное эхо от рассеивающих частиц. Прибор измеряет как амплитуду отраженного сигнала так и доплеровский сдвиг.
- Обычно принимают не один, а три и больше излучателя, что позволяет определять направление течения.
- Акустические профилографы широко используются для измерения скоростей течения, как на буйковых станциях донного типа, якорных с поверхностным бумом, притопленным бумом, вмороженных в лед, так и интегрируются в корпуса НИС.

# Глубоководный звукорассеивающий слой

- Звукорассеивающий слой был обнаружен операторами сонаров, как слой ошибочно принимали за морское дно. Причем его уровень был на меньшей глубине ночью.
- Это указывало на его биологическое происхождение.
- Дальнейшие исследования показали, что ночью он поднимается, а днем опускается в соответствии с суточной вертикальной миграцией.



# Акустический размер биомассы зоопланктона



Источник: Stanton et al., 1994

## Преобразование импульсов обратного рассеяния (backscatter counts) в объемную силу обратного рассеяния (Volume Backscatter Strength)

$$S_v = C + 10 \log_{10}((T_x + 273.16)R^2) - L_{DBM} - P_{DBW} + 2\alpha R + K_C(E - E_r)$$

C – empirical constant

$T_x$  – температура передатчика (°C)

$L_{DBM}$  –  $10 \log_{10}$  (длина передаваемого импульса, м)

$P_{DBW}$  –  $10 \log_{10}$  (мощность передаваемого импульса, Вт)

$\alpha$  – коэффициент поглощения звука в воде

R – расстояние вдоль акустического луча

$$2\alpha R = 2\alpha_p B / \cos(\theta) + \sum \alpha_D D / \cos(\theta)$$

B – blank length, D – глубина каждой ячейки,  $\alpha_D$  – коэф. Поглощения на данной глубине

$K_C$  – коэффициент преобразования для интенсивности отраженного сигнала ( $\text{dB count}^{-1}$ )

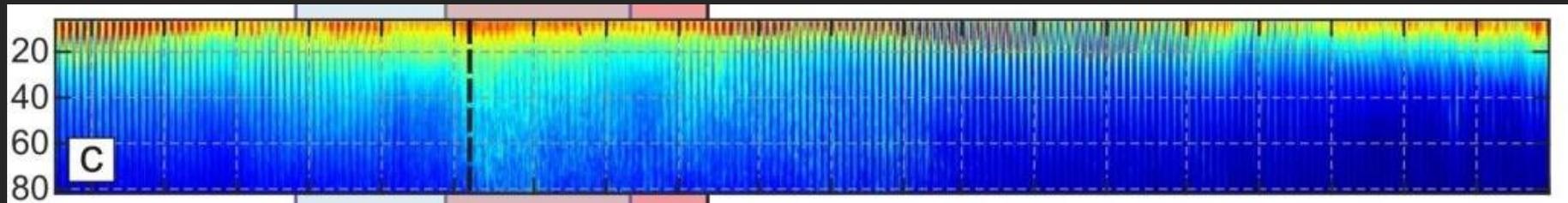
E – интенсивность отраженного сигнала

$E_r$  – эталонный уровень в реальном времени для интенсивность отраженного сигнала, равный минимальному измеренной интенсивности отраженного сигнала

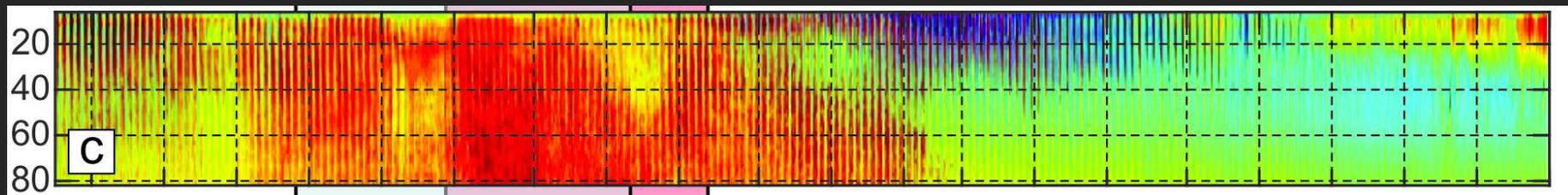
Источник: Denies, 1999

# Зачем нужно это преобразование?

Импульсы обратного рассеяния:

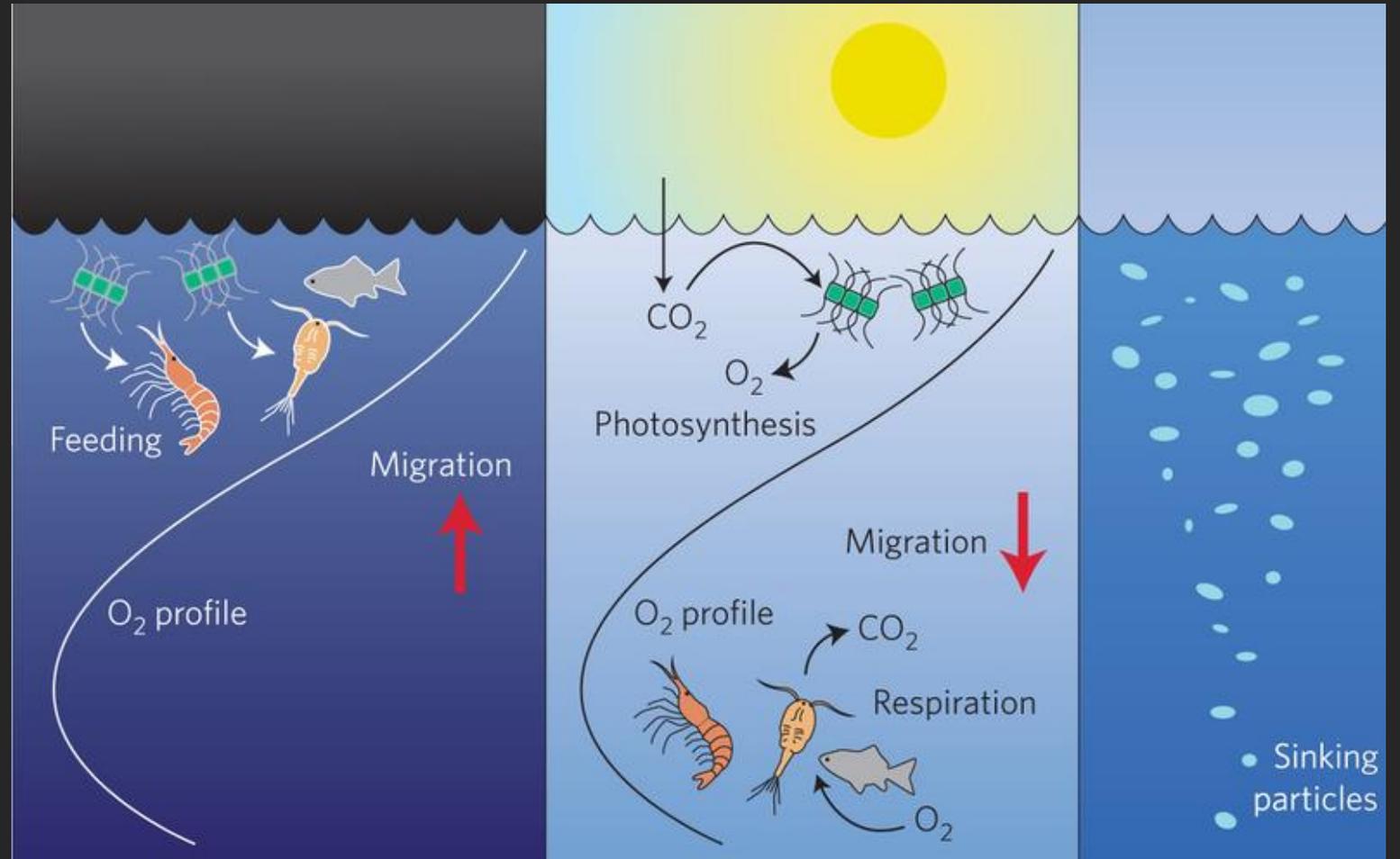


Объемная сила обратного рассеяния  $S_v$  (dB):



# Вертикальная миграция зоопланктона

- Вертикальная миграция зоопланктона (англ: Diel vertical migration DVM).
- Вертикальная миграция зоопланктона является самым большим синхронизированным движением биомассы на планете.
- Является своего рода биологической помпой, которая перекачивает органический углерод с поверхности океана на глубину.

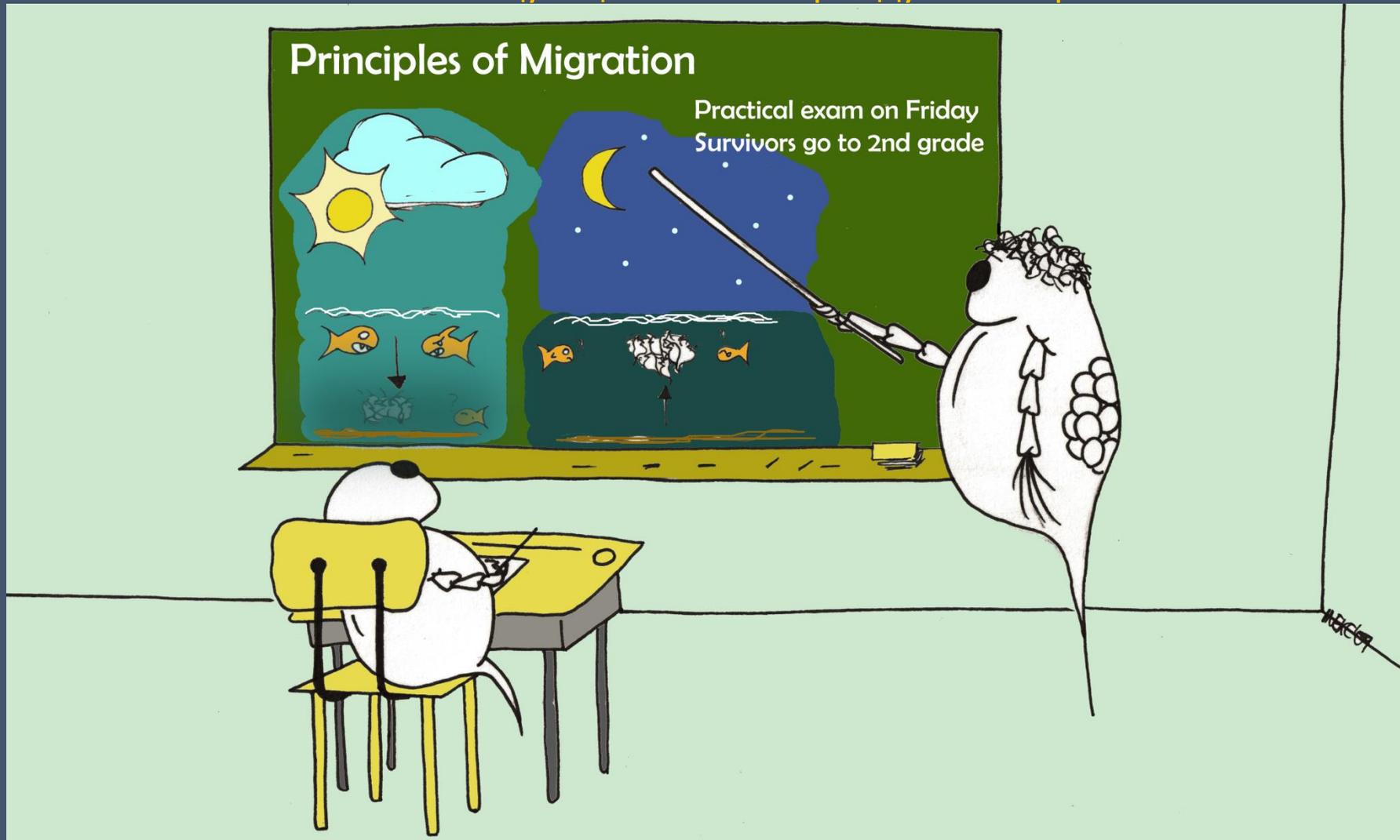


Источник: Doney et al., 2013

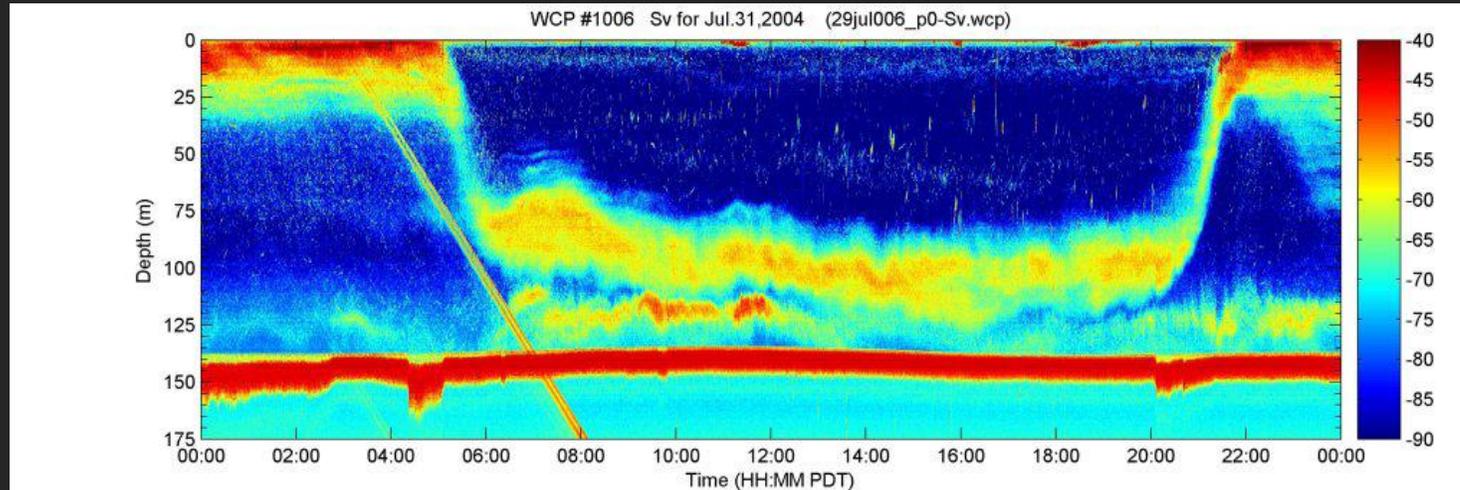
Урок в первом классе начальной школы зоопланктона.

Тема урока: Принципы миграции

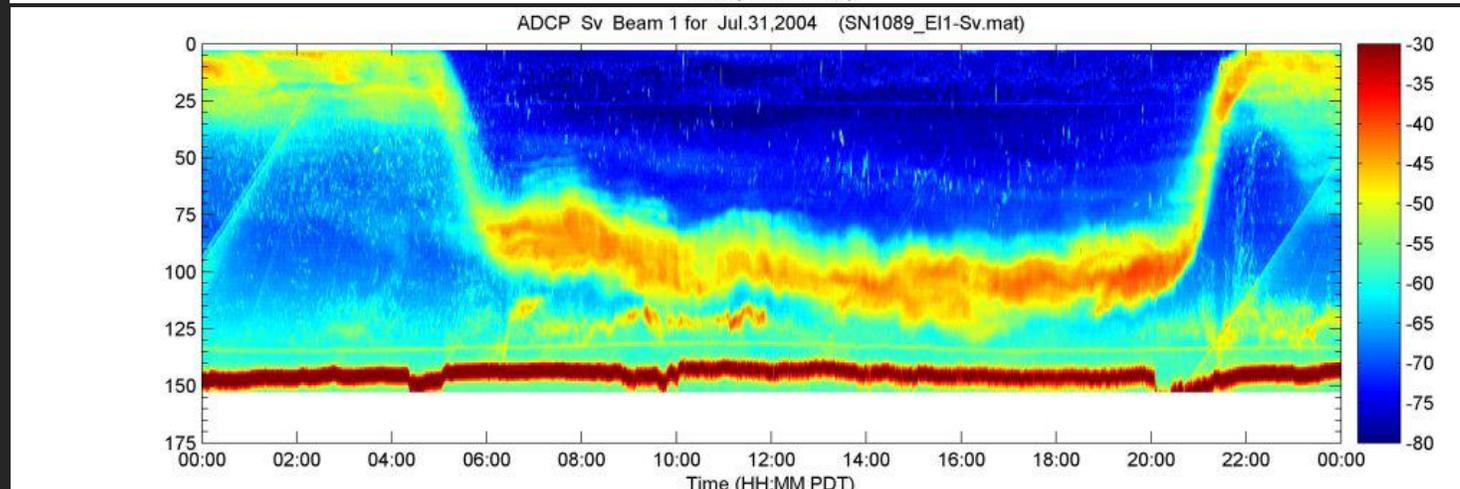
Практический экзамен в пятницу. Уцелевшие перейдут во второй класс.



# Преимущества и недостатки использования акустических профилографов перед эхолотами применительно к зоопланктону

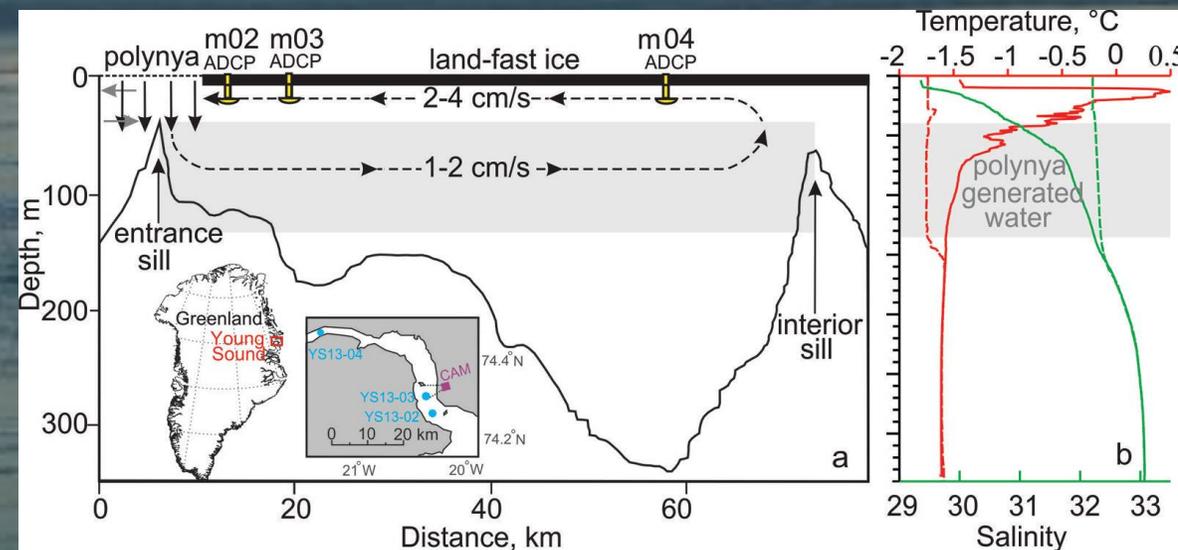


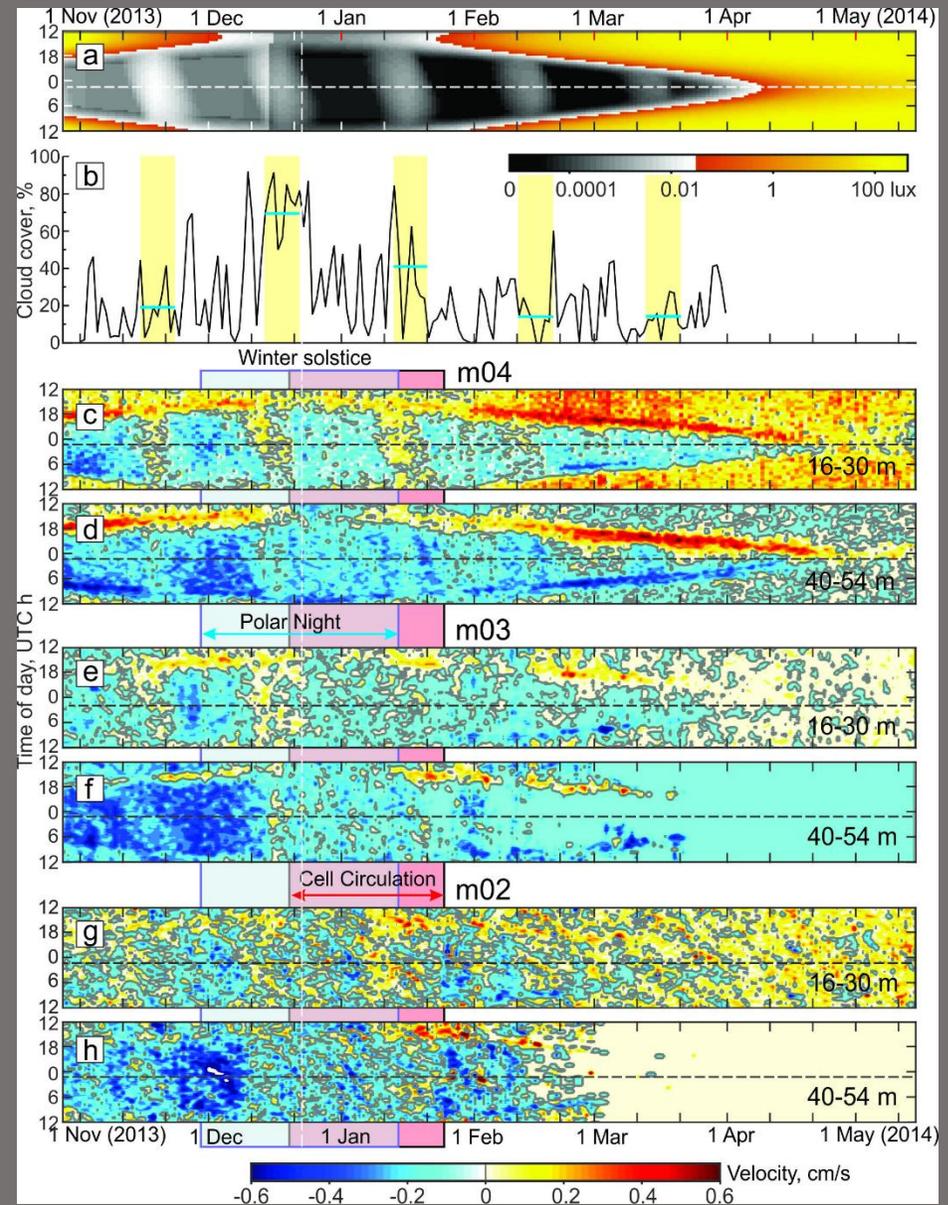
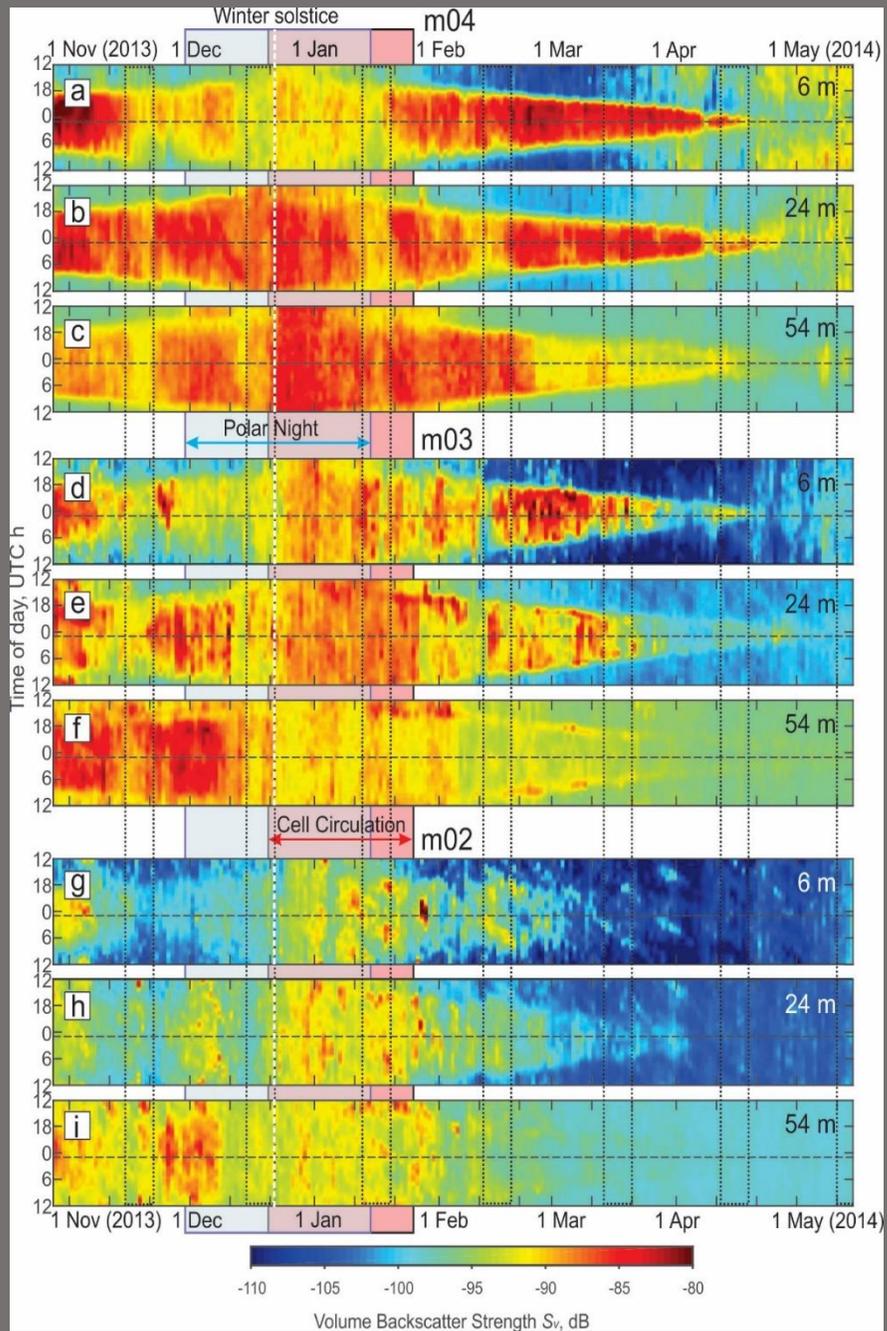
Эхолот



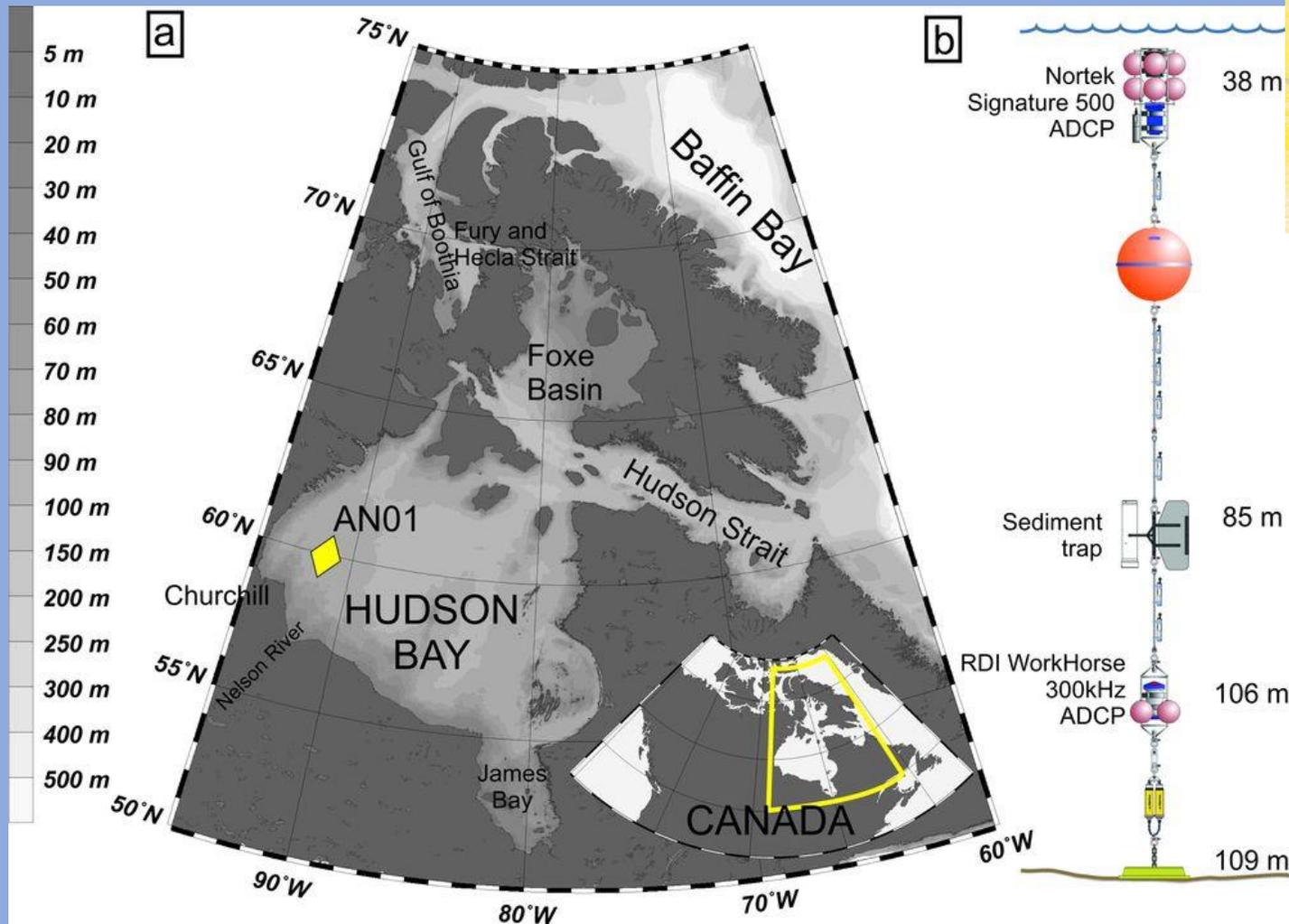
Профилограф

Практическое применение: Исследование суточной и сезонной миграции зоопланктона в арктическом фьорде в Гренландии





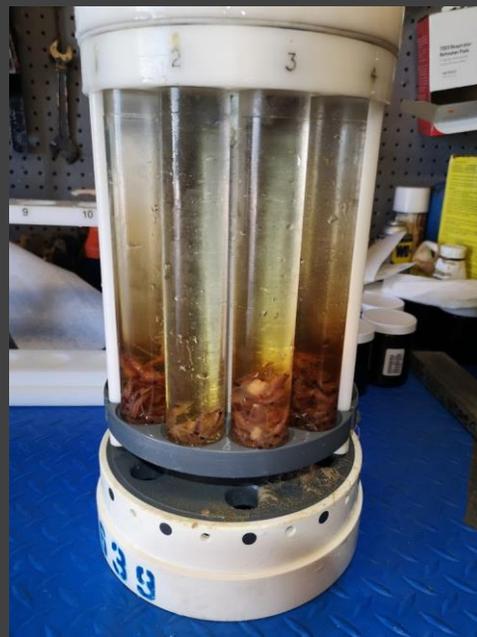
# Применение: буйковая станция с притопленным бумом в Гудзоновом Заливе

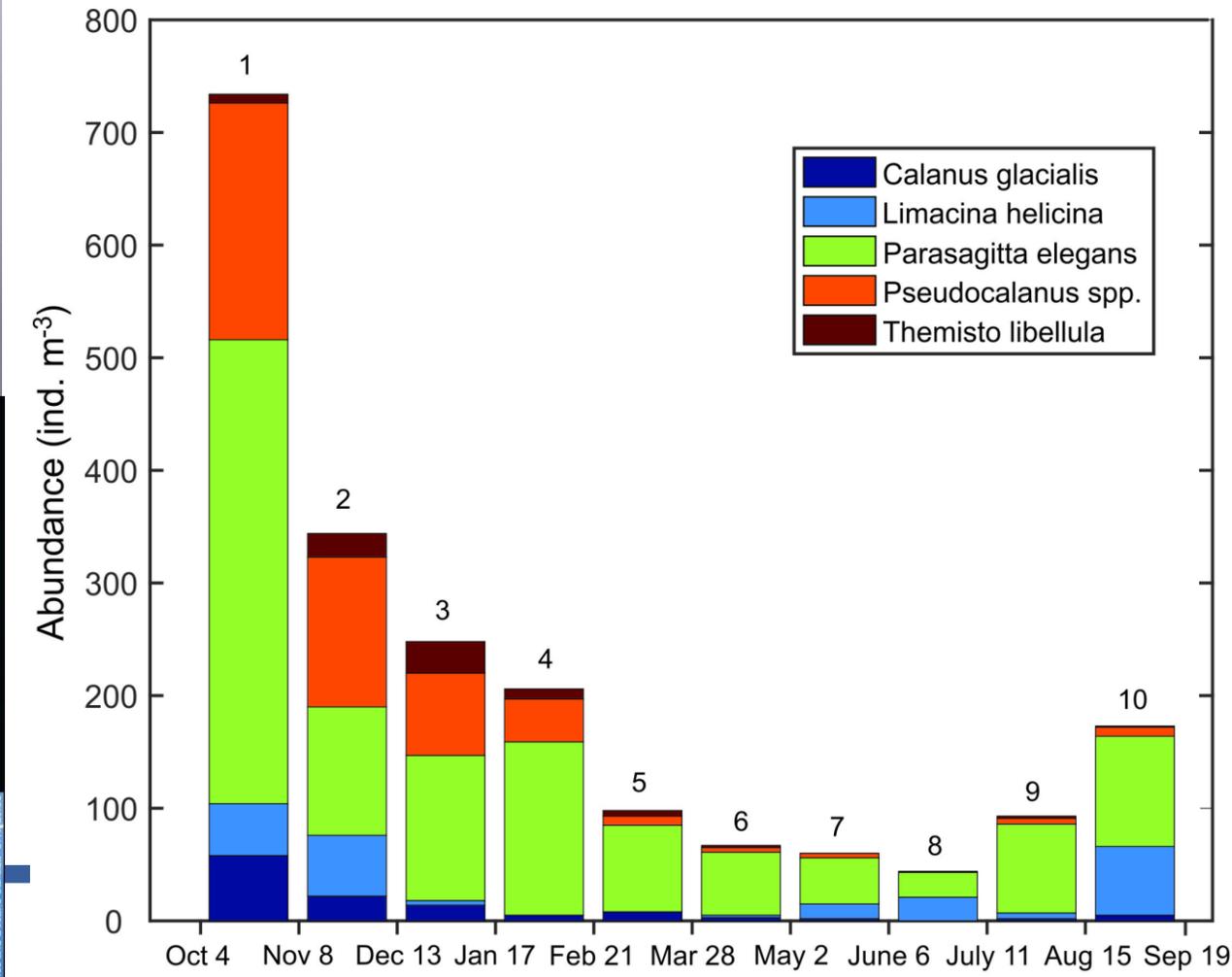
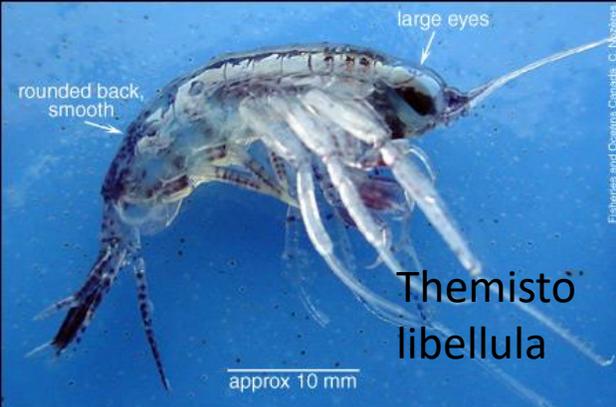
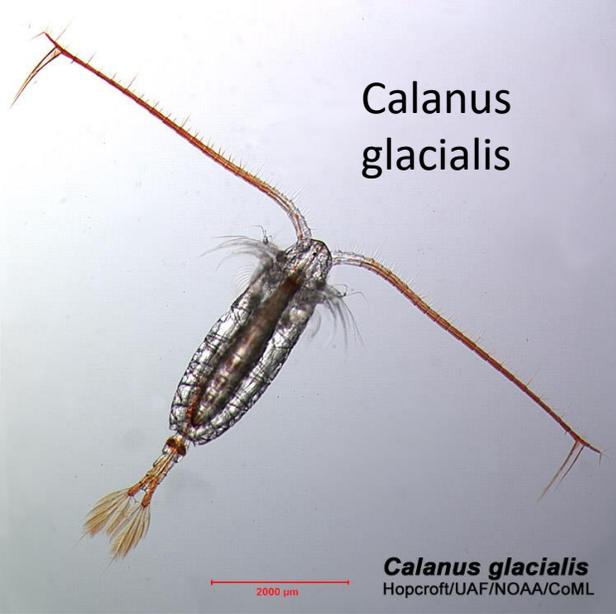


Oct 4   Nov 8   Dec 13   Jan 17   Feb 21   Mar 28   May 2   June 6   July 11   Aug 15   Sep 19



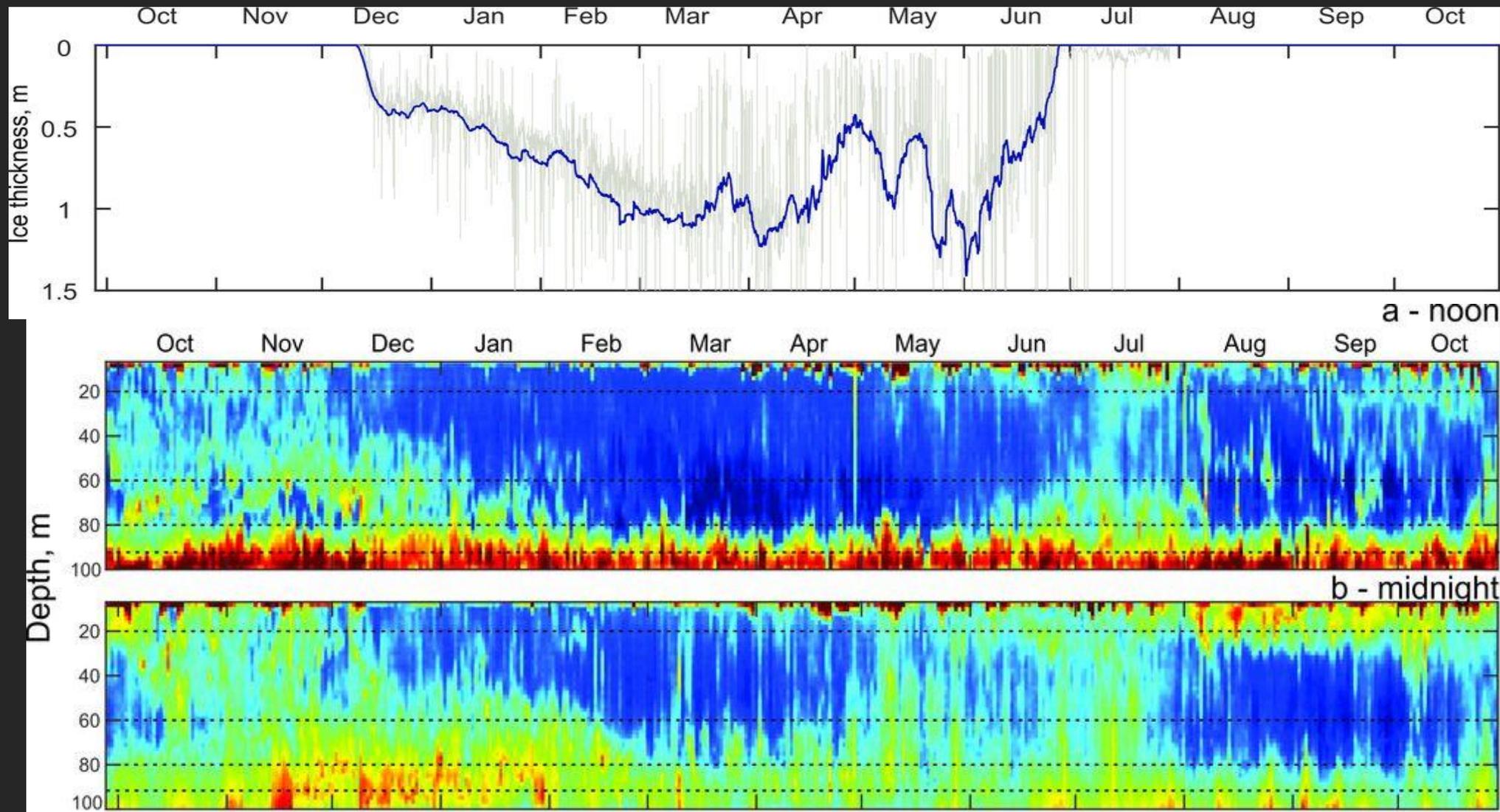
Седиментационная ловушка позволила поймать различные виды зоопланктона



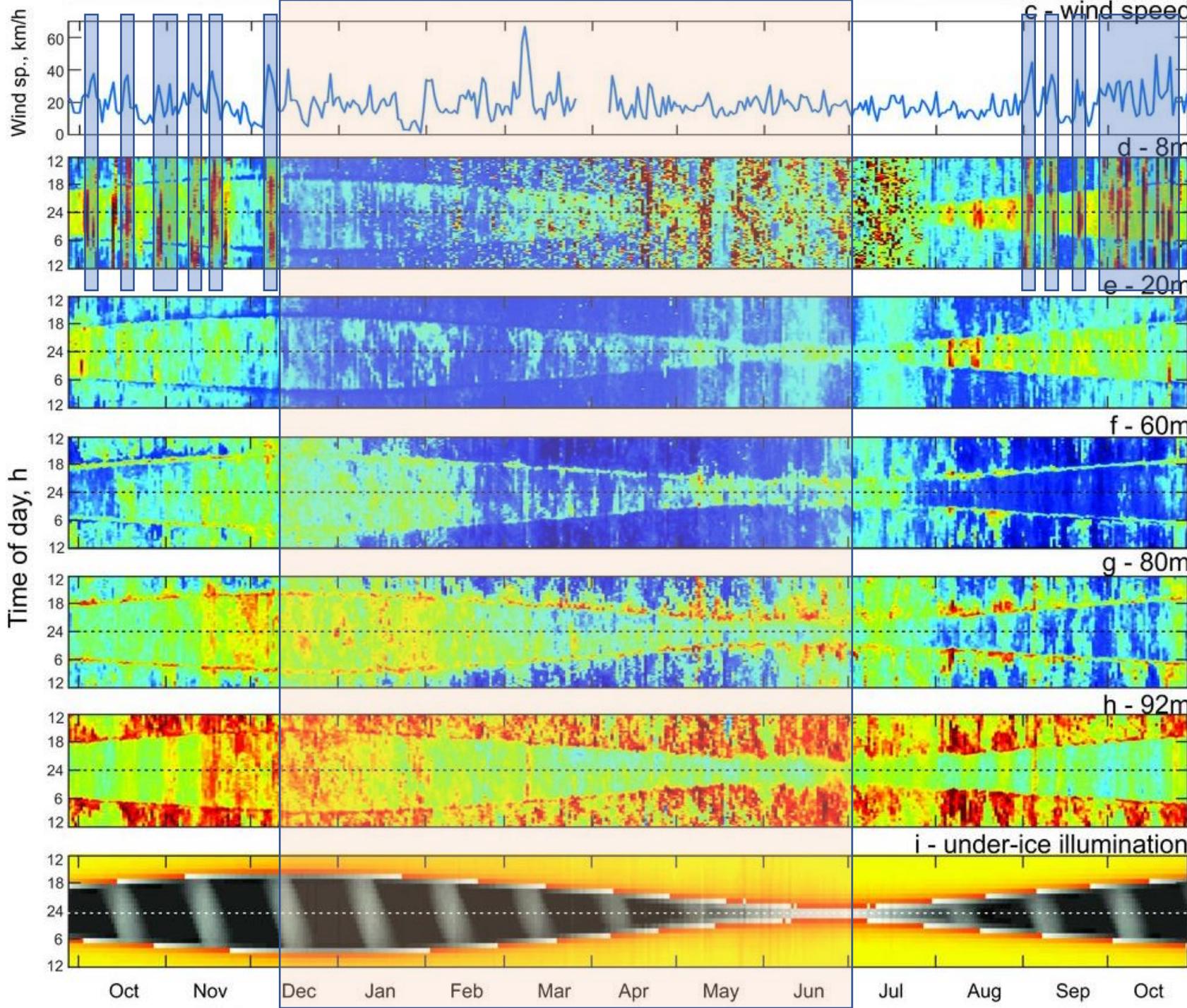


**University of Manitoba**

Измеренная профилографом осадка льда – из которой можно посчитать толщину льда

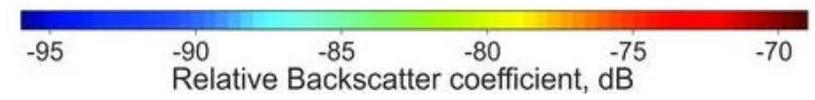


Полуденные и полночные графики объемной силы обратного рассеяния

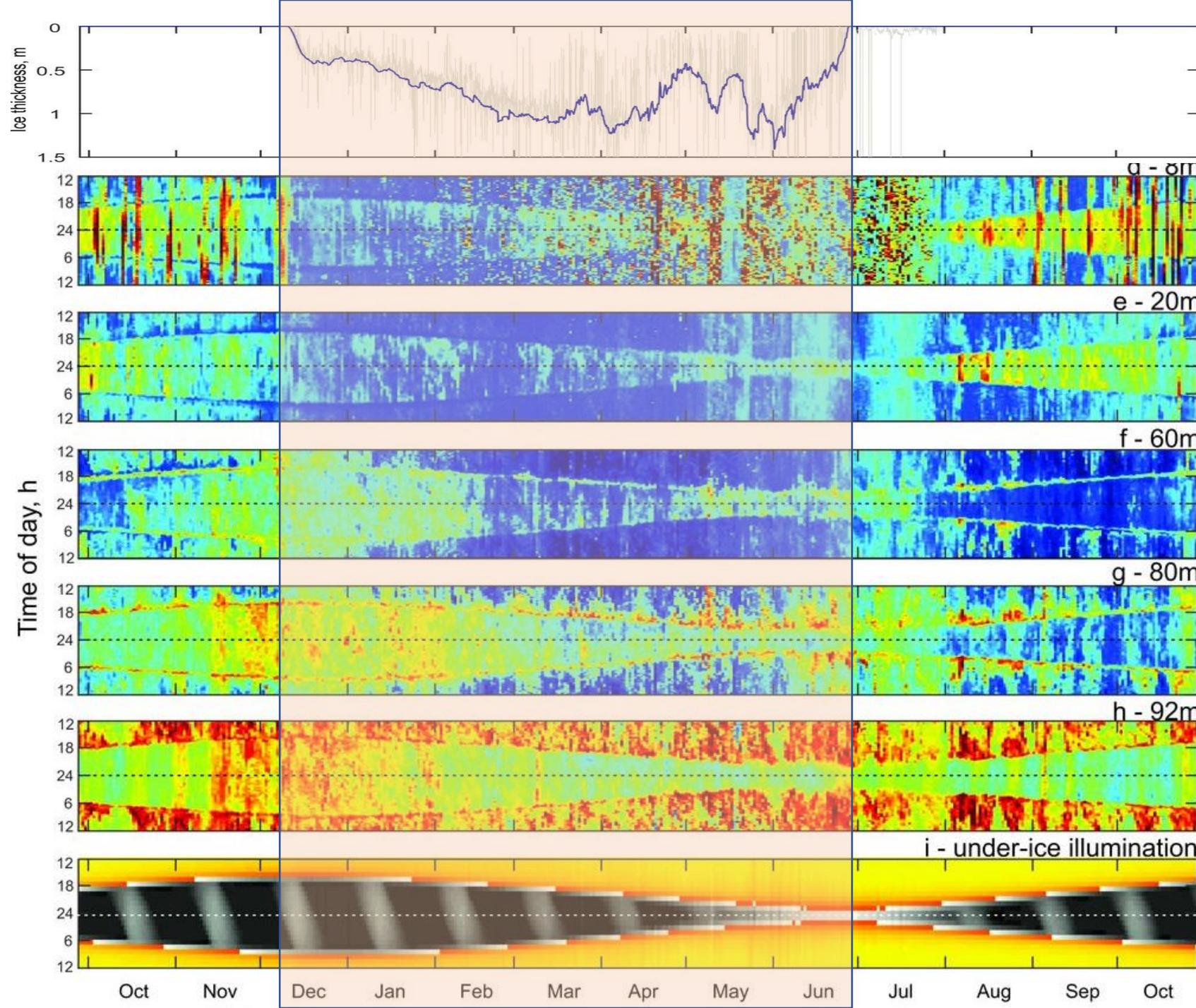


Средняя скорость ветра в районе буйковой станции

Акторграммы акустической силы обратного рассеяния на глубинах: 8m, 20 m, 60 m, 80 m и 92 m

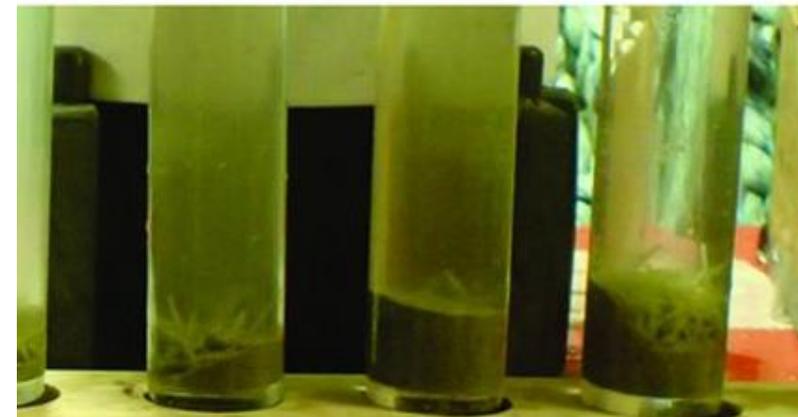


Моделированная подленная освещенность



Измеренная профилографом  
толщина льда

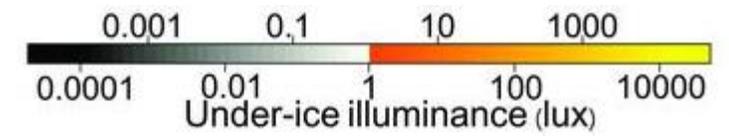
May 2 June 6 July 11 Aug

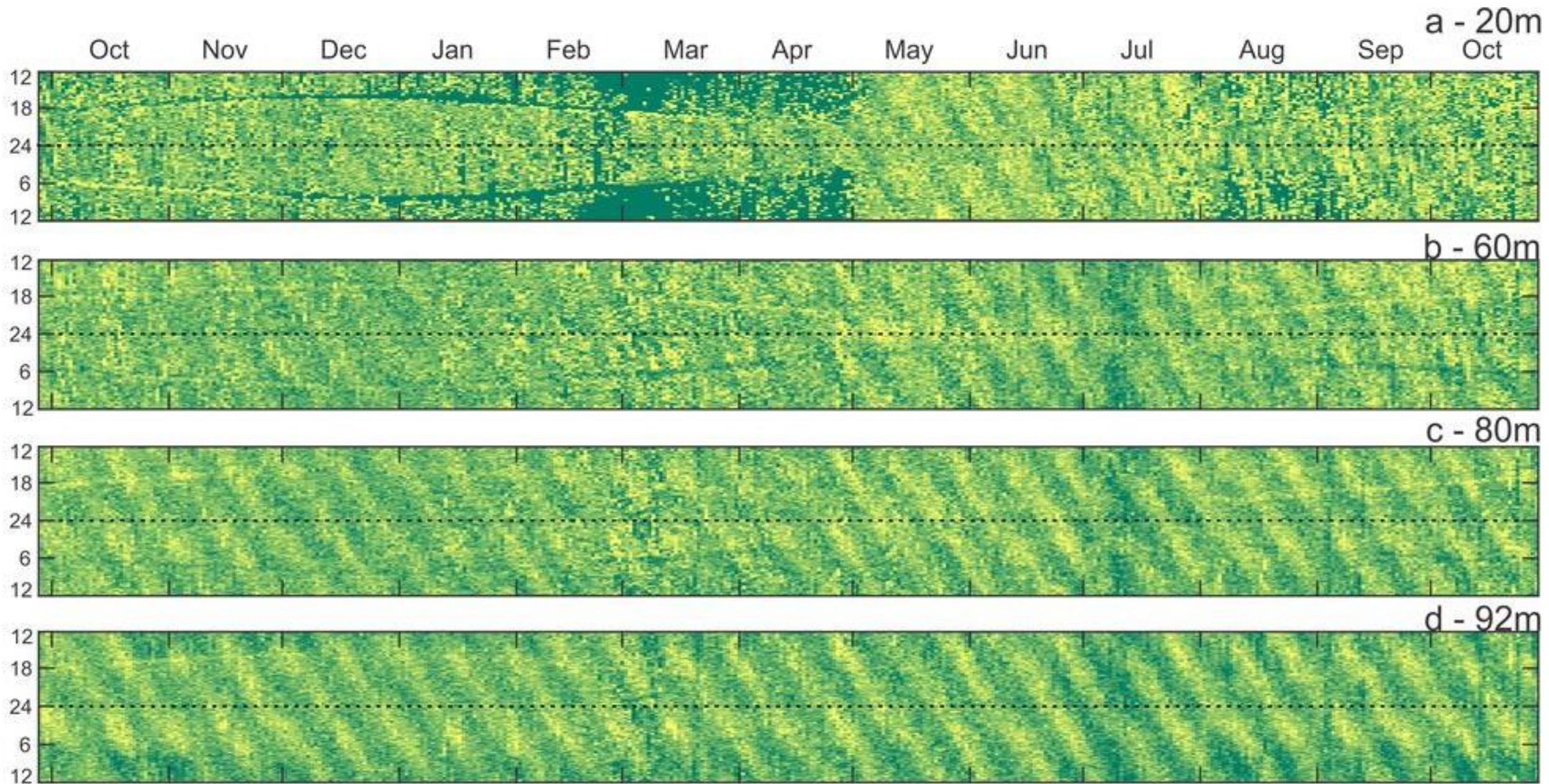


Выпавшие наносы (седименты)  
во время таяния льда

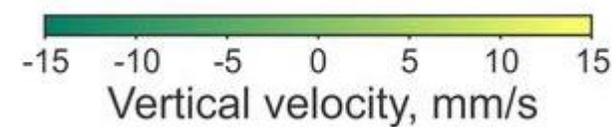


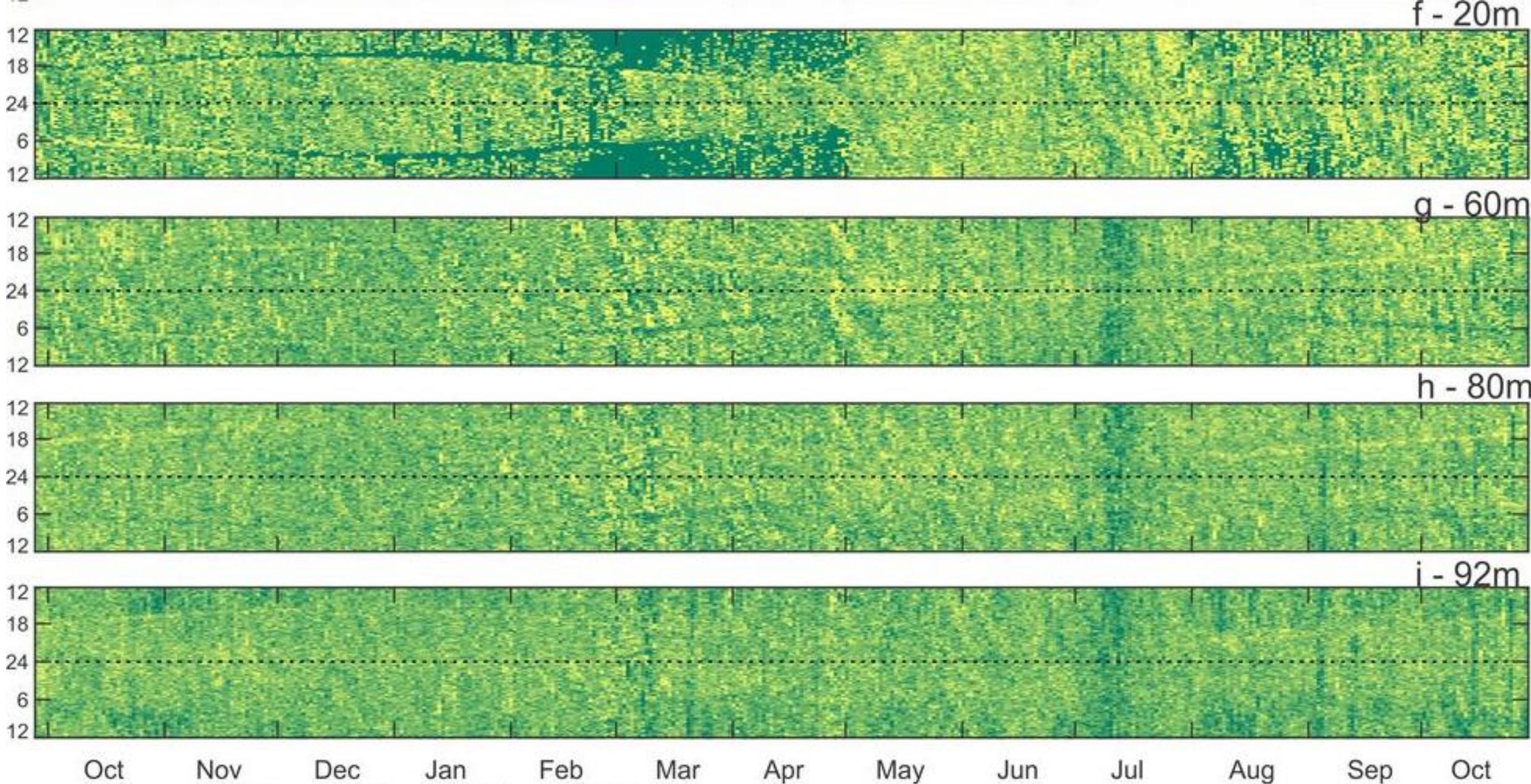
Modelled under-ice illuminance



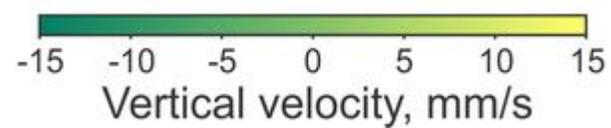


Актограммы измеренной профилографом вертикальной скорости

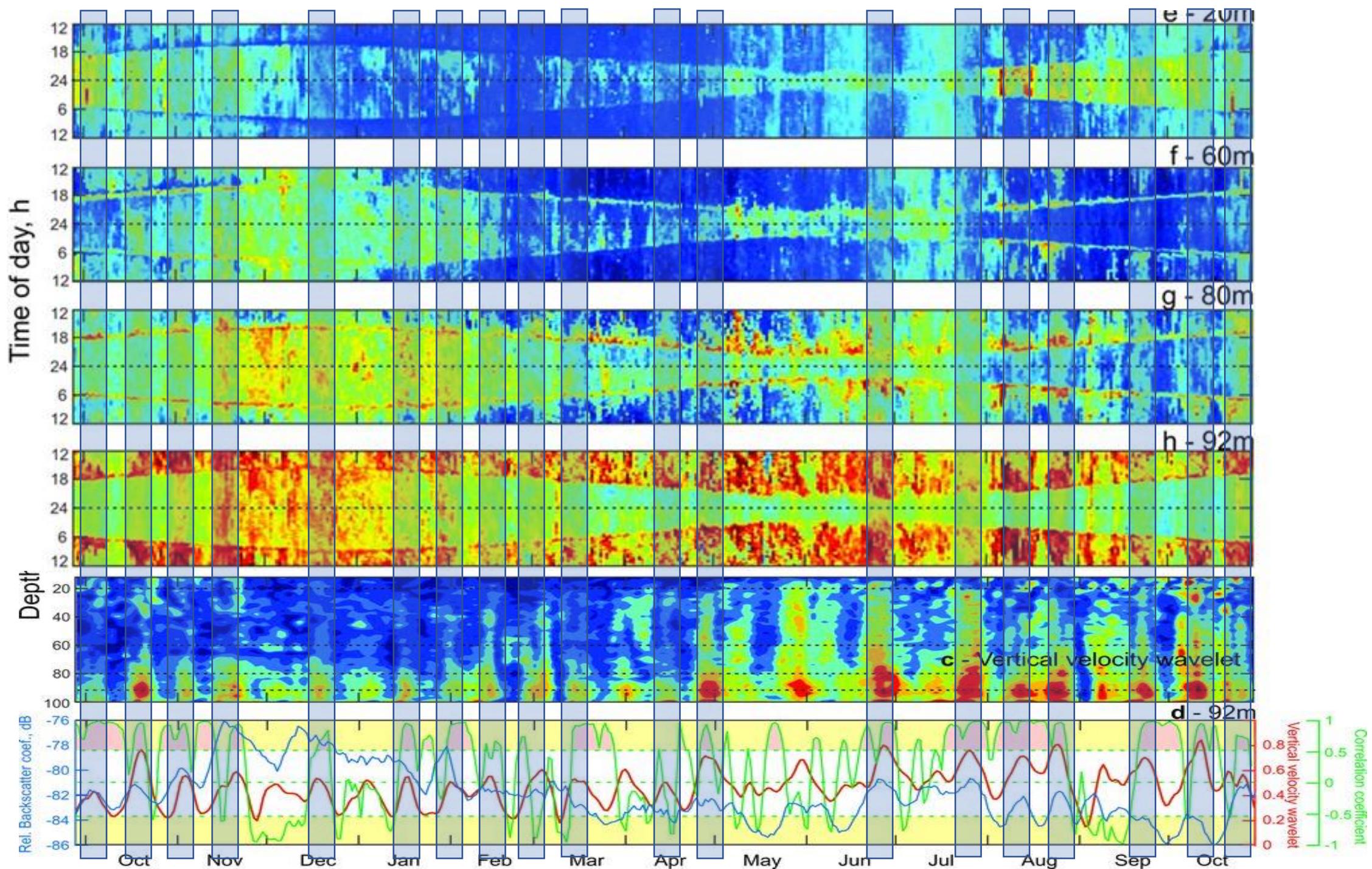




Актограммы вертикальной скорости, очищенной от приливного сигнала









[www.oceanographer.ca](http://www.oceanographer.ca)



**Благодарим за внимание!**



**University  
of Manitoba**