



Институт океанологии им П.П. Ширшова
Российской академии наук



Гидрофизические приборы: CTD - зонды

Фрей Дмитрий Ильич

dima.frey@gmail.com

CTD - зонды

CTD-зонд назван по измеряемым параметрам:

C – Conductivity (Электропроводность), пересчет в соленость

T – Temperature (Температура)

D – Depth (Глубина), измеряется давление

Измеряются основные гидрологические параметры, характеризующие морскую воду – **температура, соленость, давление**, по которым можно рассчитать:

- Плотность (уравнение состояния)
- Скорость звука
- Частота Вяйсяля-Брендта
- Вязкость
- Температура замерзания
- Температура максимальной плотности
- К-т преломления



Режимы работы CTD

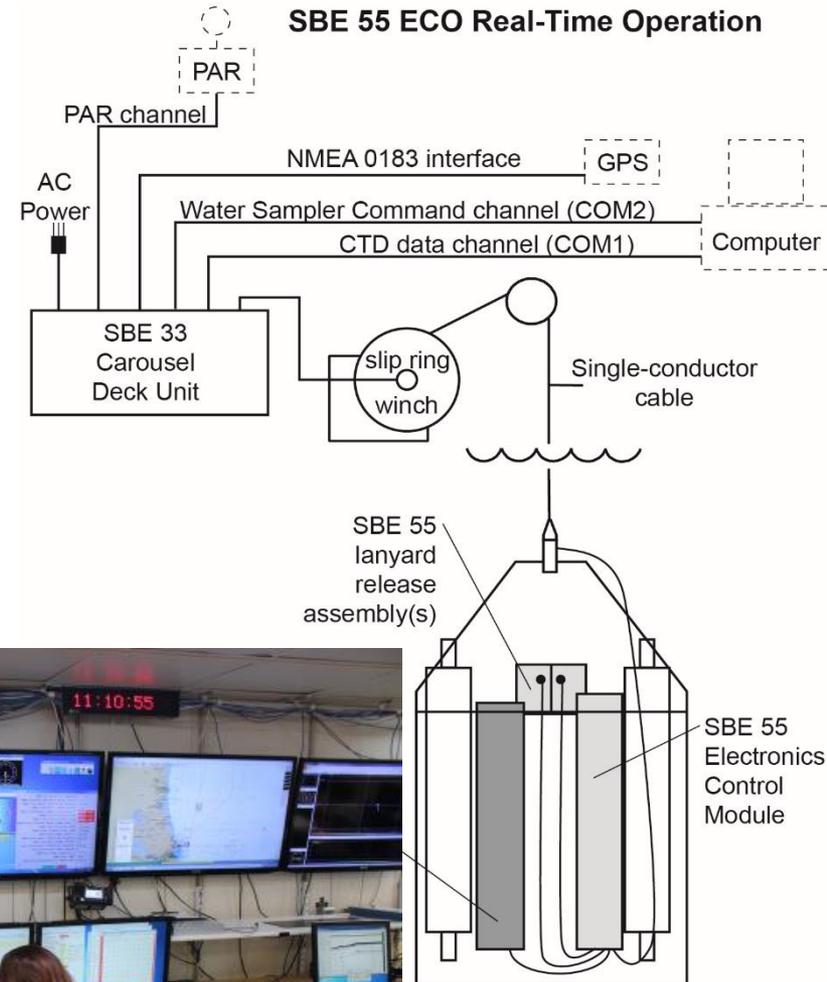
Автономные



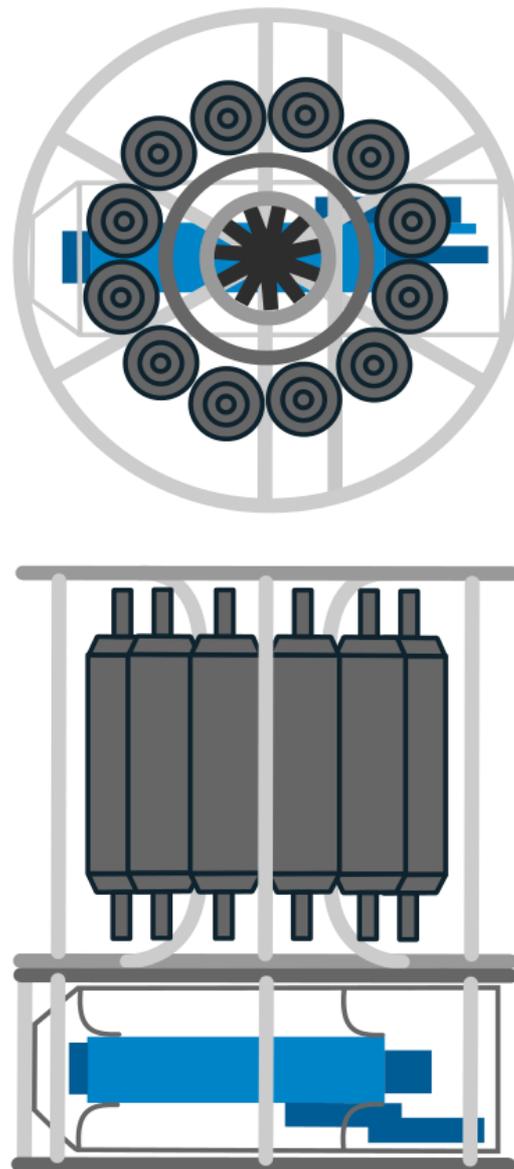
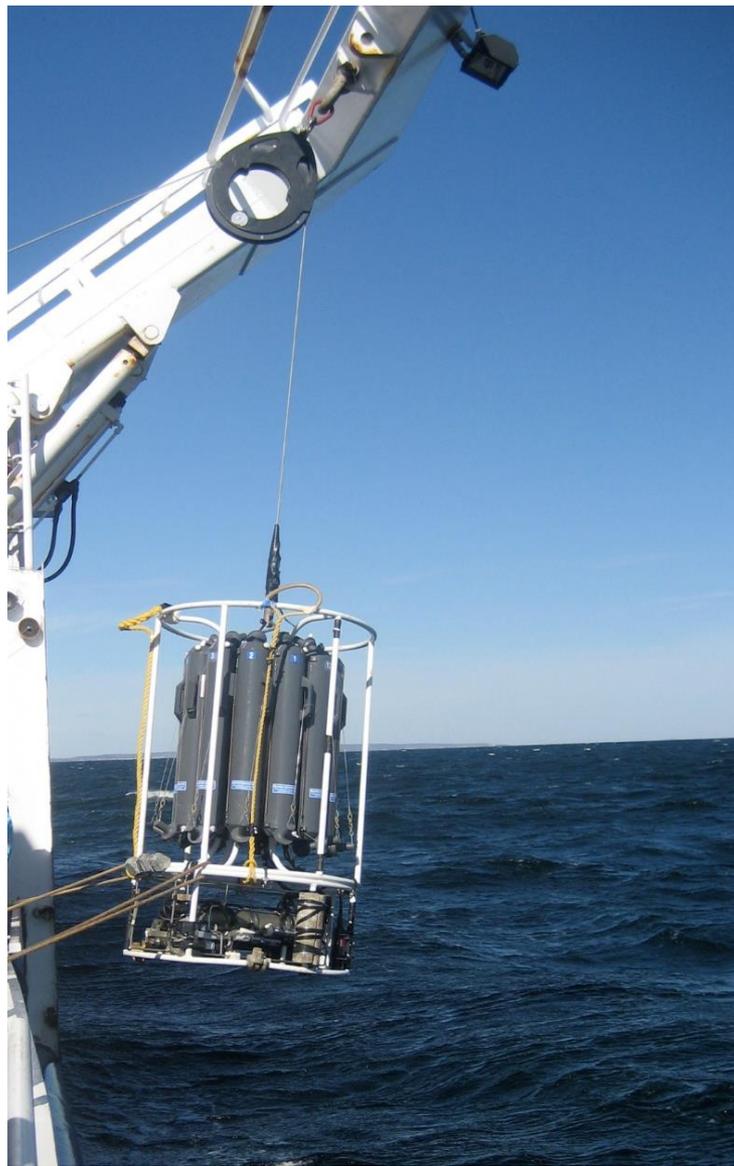
Корпус прибора может быть рассчитан на глубины погружения:

- 700м
- 6000м
- 11000м

Работающие на кабель-тросе



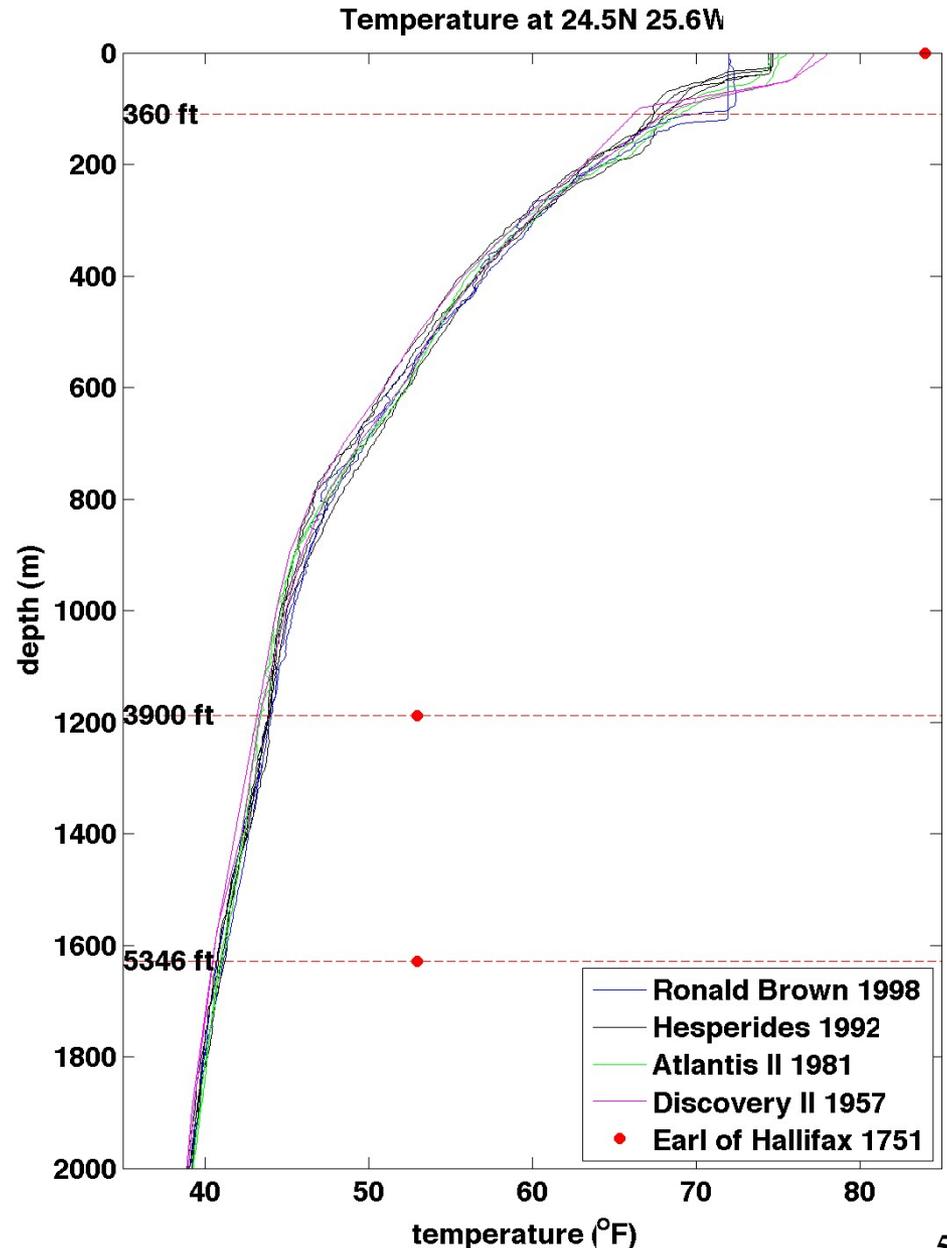
Кассетный пробоотборник



Первые измерения температуры

- Первые измерения профиля температуры – Henry Ellis, **1751** год
- Атлантический океан
координаты:
25°13'N, 25°12'W
- Первое объяснение – Румфорд (Томпсон), открыл явление конвекции в жидкостях и газах

Ellis, H. and S. Hales, 1750-1751. A Letter to the Rev. Dr. Hales, F.R.S. from Captain Henry Ellis, F. R. S. Dated Jan 7, 1750-1751, , at Cape Monte Africa, Ship Earl of Hallifax. Philosophical Transactions (1683-1775), Vol. 47, 211-216.



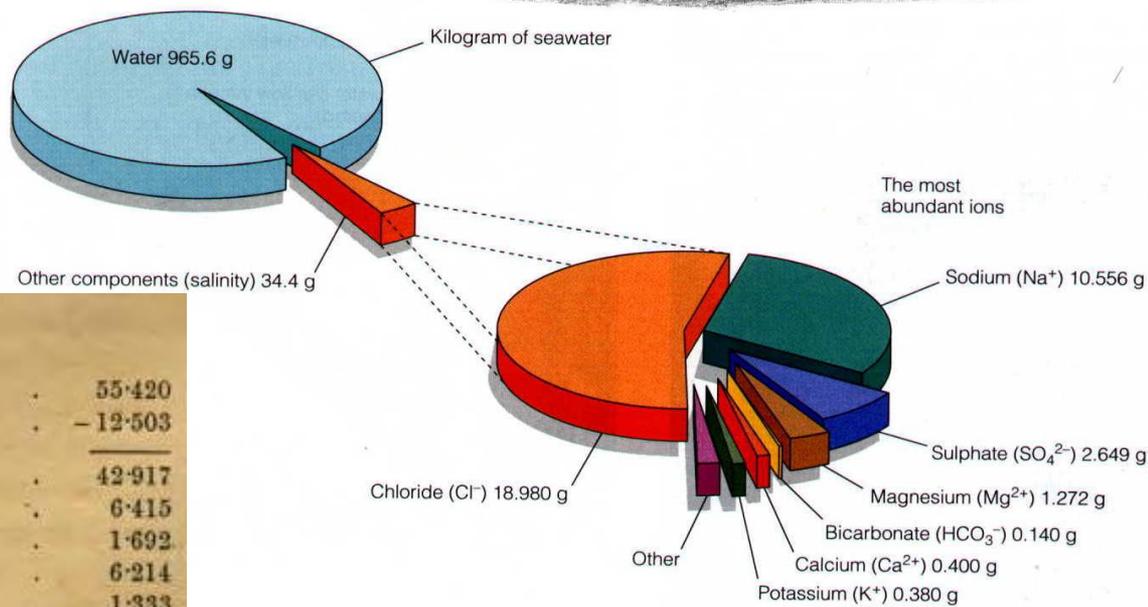
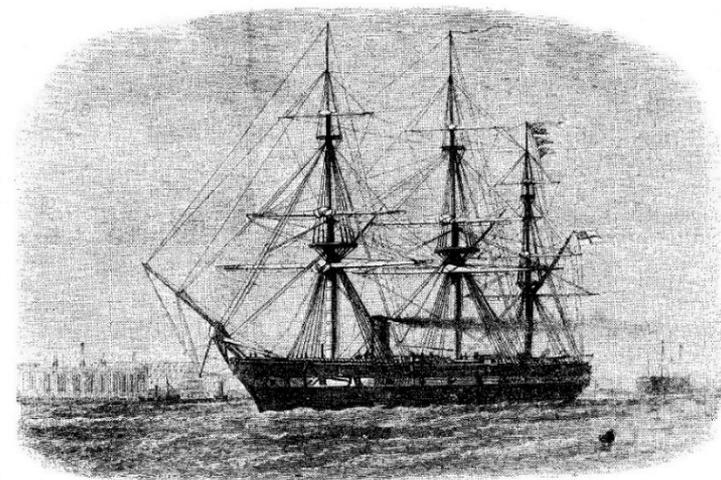
Первые измерения солености

Экспедиция «Челленджера» 1872-1876 гг

[Dittmar W. 1884. Report on researches into the composition of ocean water, collected by the HMS Challenger. Challenger Reports, Physics and Chemistry]

Дитмар 77 проб воды, «Челленджер» – постоянство солевого состава. Закон Диттмара

- 55.3 % Хлор
- 30.8 % Натрий
- 7.7 % Сульфат (SO_4)
- 3.7 % Магний
- 1.2 % Кальций
- 1.1 % Калий



(In 100 parts of Total Salts.)

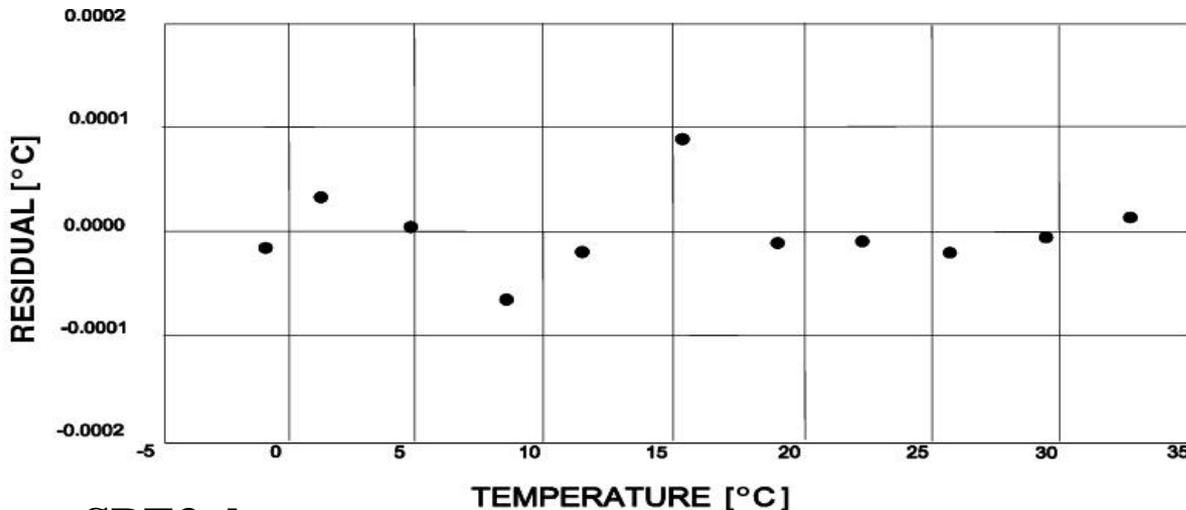
Chlorine,*	55.420
Deduct basic oxygen equivalent to this chlorine,	- 12.503
Muriatic acid, $\text{Cl}_2 - \text{O}$	42.917
Sulphuric acid, SO_3	6.415
Lime,	1.692
Magnesia,	6.214
Potash,	1.333
Soda,	41.433
	100.004

Измерение температуры



Параметр	Типы датчиков		
	термометр сопротивления	термистор	кварцевый резонатор
Стабильность	0,1% / 5 лет	0,1–2,5 °C / 1 год	0,01 °C / месяц
Чувствительность	0,2–10 Ом / °C	100–1000 Ом / °C	1000 Гц / °C
Нелинейность, %	0,55	5-20	< 0,05
Быстродействие, с	1–0,2	0,025	3–10

Пример калибровки

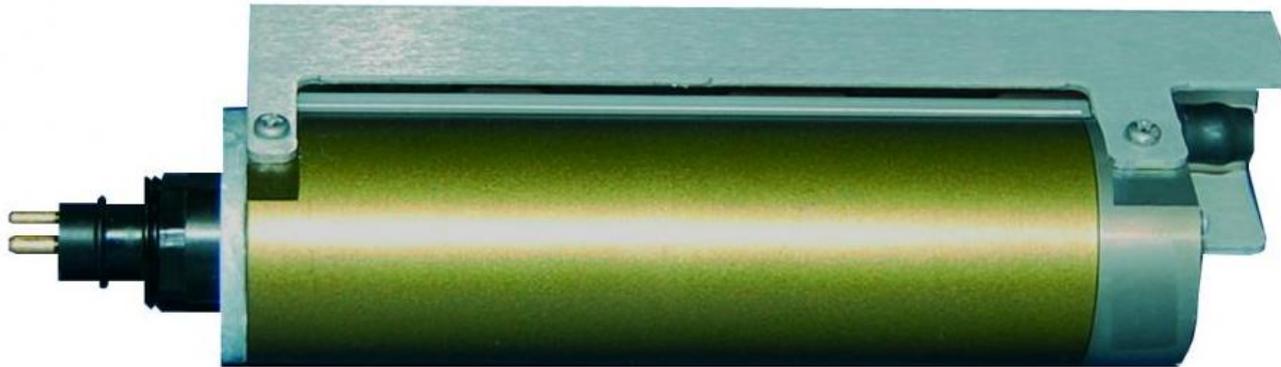


Характеристики SBE3plus

Measurement Range	-5.0 to +35 °C
Initial Accuracy ¹	± 0.001 °C
Resolution ²	0.0003 °C at 24 samples/sec

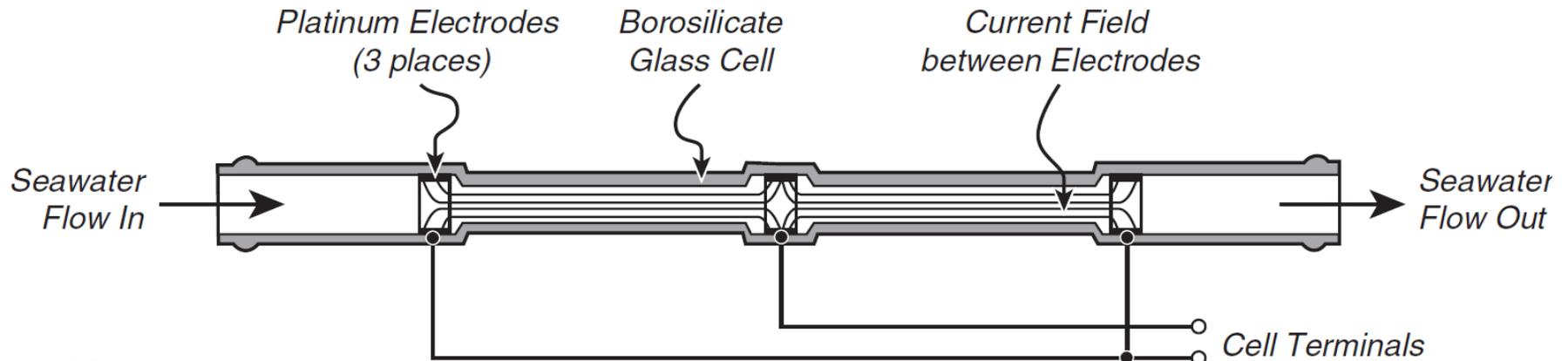
Измерение электропроводности

Датчик SBE4 Conductivity Sensor

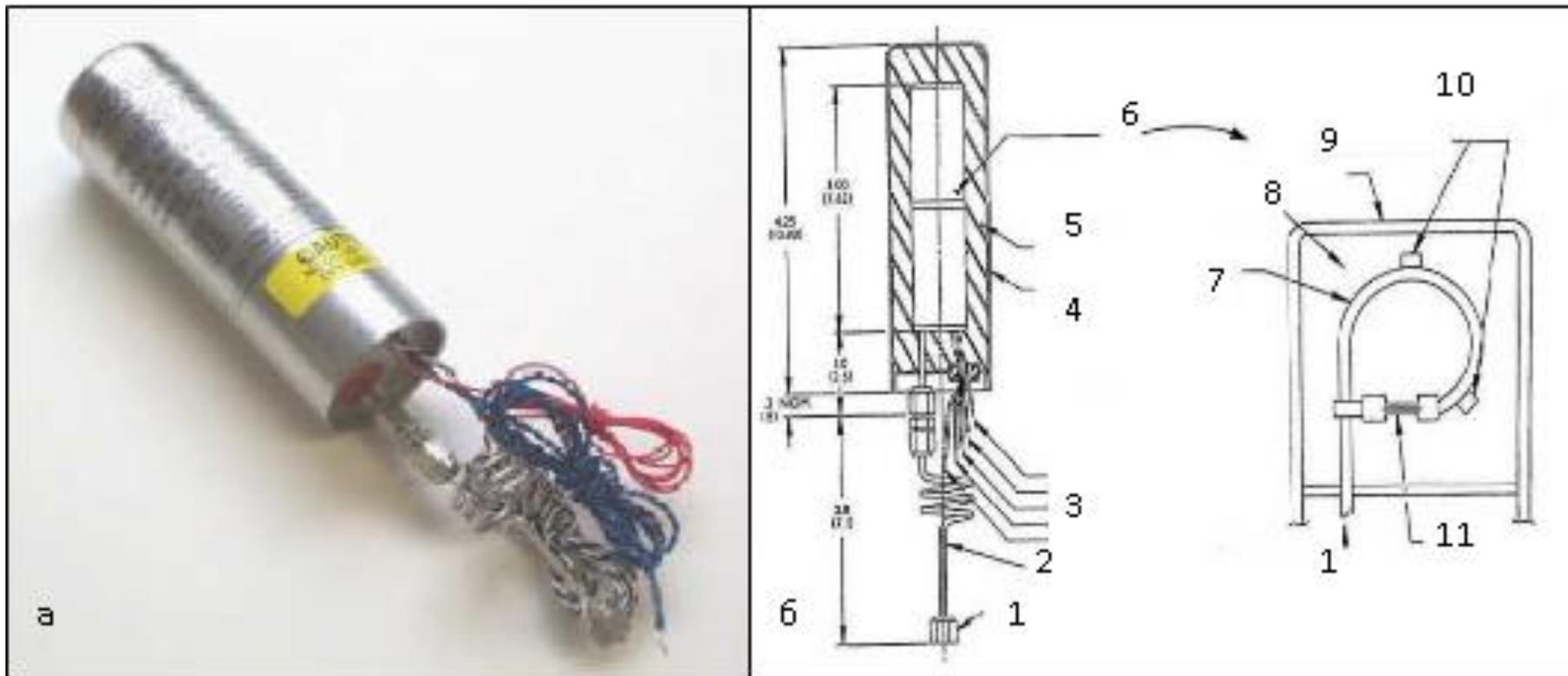


Помпа для прокачки воды (SBE5)

Схема измерений



Измерение давления



**Датчик давления
DigiQuartz 410K**

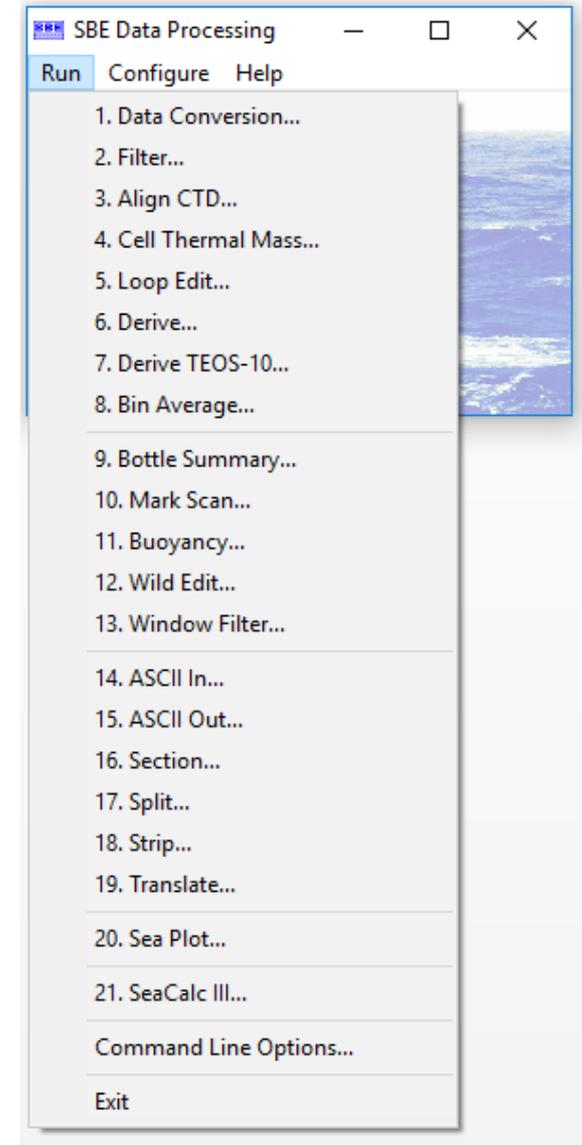
Диапазон измерения	от 0 до 7000 дБ
Первоначальная точность, дбар	1.4
Средняя стабильность, дБ/год	1.4
Разрешение, дБ	0.175

Параметры SeaBird 19plus

Датчики	Параметры	Значение
Датчик температуры	Диапазон измерения	от -5°C до 35°C
	Первоначальная точность после калибровки, °C	0.005
	Средняя стабильность, °C/месяц	0.0002
	Разрешение, °C	0.0001
Датчик давления	Диапазон измерения	от 0 до 7000 дБ
	Первоначальная точность, дбар	1.4
	Средняя стабильность, дБ/год	1.4
	Разрешение, дБ	0.175
Датчик электропроводности	Диапазон измерения	от 0 до 9 См
	Первоначальная точность, См	0.0005
	Средняя стабильность, См/месяц	0.0003
	Разрешение, См	0.00005

Первичная обработка данных CTD

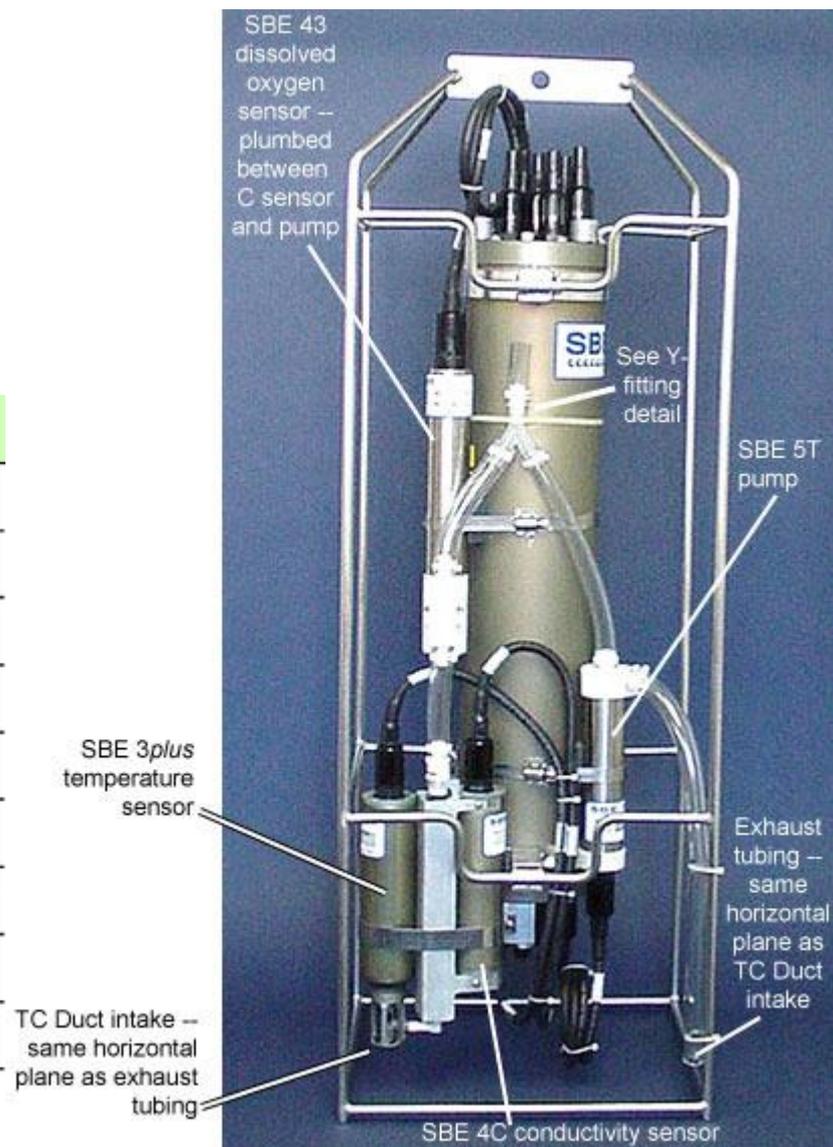
- Использование актуальной калибровки
- Поправки на запаздывание датчиков
- Поправки на теплоемкость датчика электропроводности
- Коррекция данных в поверхностном слое
- Коррекция данных при движении зонда с малой скоростью
- Расчет необходимых параметров (EOS80 / TEOS10):
 - соленость
 - плотность
 - потенциальная температура
 - скорость звука
 - частота Вяйсяля-Брендта
 - ...



Дополнительные датчики

- Растворенный кислород (SBE43/63)
- Датчик pH (SBE18/27)
- Датчик флуоресценции
- Датчик мутности
- Альтиметр (Benthos)

Sensor	s/n
Temperature SBE 3, T	2417
Conductivity SBE 4, c	2054
Temperature SBE 3, T	2460
Conductivity SBE 4, c	2055
Pressure, Digiquartz with TC -->	0485
Oxygen, SBE 43	0880
Altimeter	1228
Fluorometer, WET Labs ECO-AFL/FL -	1670
Transmissometer, WET Labs C-Star	946
Deck-unit	NA



Castaway Sontek

- ручной CTD зонд с высокой точностью
и привязкой к местности

Параметр	Диапазон измерений	Разрешение	Точность	Измеряемый или расчетный
<i>Проводимость</i>	от 0 до 100 мСм/см	0,001 мСм/см	$\pm 0.25\% \pm 0,005$ мСм/см	Измеряется
<i>Температура</i>	от -5° до + 45° С	0.01° С	$\pm 0.05^\circ$ С	Измеряется
<i>Давление</i>	от 0 до 100 дбар	0.01 дбар	$\pm 0.25\%$ дбар	Измеряется
<i>Соленость</i>	до 42 ПЕС	0.01 ПЕС	± 0.1 ПЕС	PSS-78 ³
<i>Скорость звука</i>	от 1400 до 1730 м/с	0.01 м/с	± 0.15 м/с	Chen-Millero ⁴
<i>Плотность¹</i>	от 990 to 1035 кг/м ³	0.004 кг/м ³	± 0.02 кг/м ³	EOS80 ⁵
<i>Глубина</i>	от 0 до 100 м	0.01 м	$\pm 0.25\%$ полной шкалы	EOS80 ⁵
<i>Удельная проводимость²</i>	от 0 до 250 мСм/см	0,001 мСм/см	$\pm 0.25\% \pm 0,005$ мСм/см	EOS80 ⁵
<i>Координаты GPS</i>			10 м	

¹ На основе разрешения и точности измерений температуры воды

² На основе 100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ при -5° С.

³ Расчет по практической шкале солености. 1978 г.

⁴ Chen-Millero, 1977 г. Скорость звука в морской воде при высоком давлении.

⁵ International Equation of State for sea water (EOS-80).



Заключение

- **CTD**-зонд назван по измеряемым параметрам: электропроводность, температура, глубина
- Электропроводность пересчитывается в соленость; важно постоянство солевого состава. Давление необходимо для расчета глубины
- Широкий набор характеристик морской воды, рассчитываемых по данным зонда:
 - соленость
 - плотность
 - потенциальная температура
 - скорость звука
 - частота Вайсяля-Брендта
 - ...
- Своевременная калибровка зонда и процесс обработки данных важны для достижения заявленной точности
- Возможность установки дополнительных датчиков (Кислород, флуоресценция, рН, мутность, к-т пропускания, альтиметр)