



Факультет географии и геоинформационных  
технологий

Технические методы и средства  
географических исследований

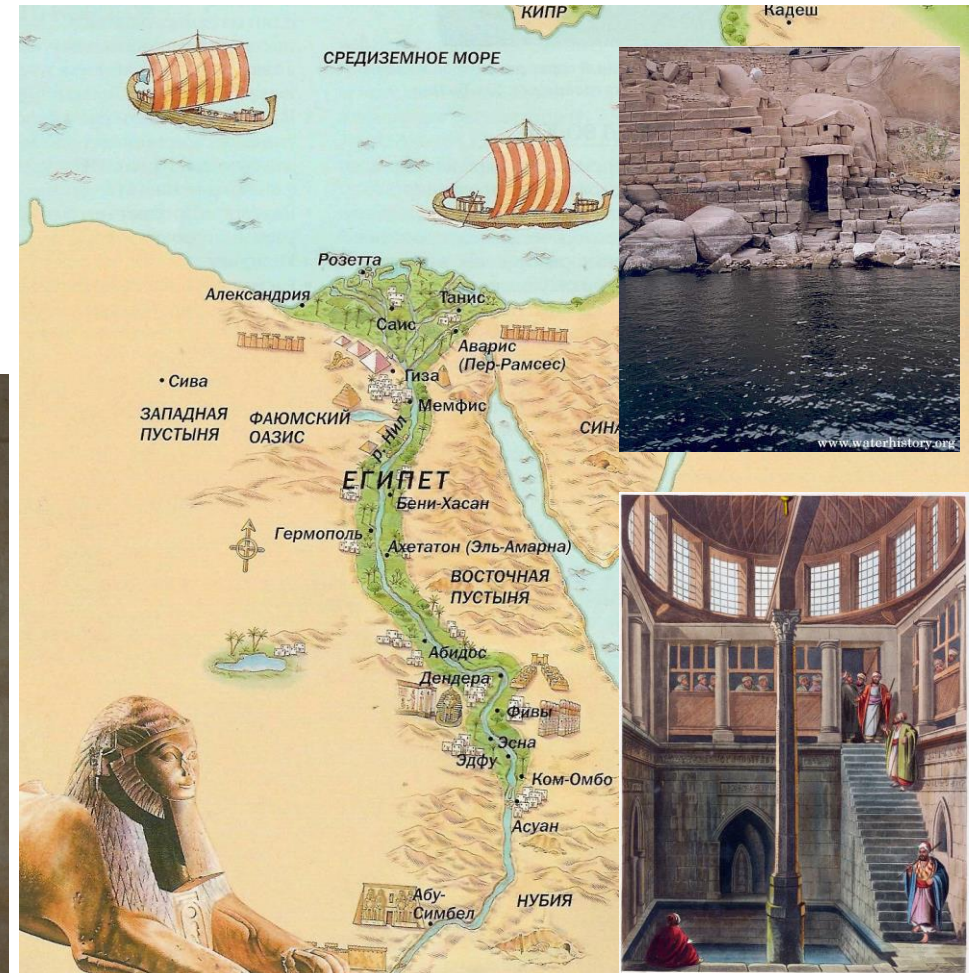
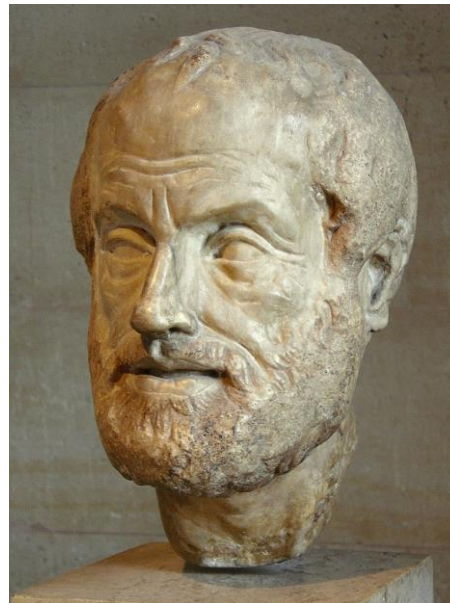
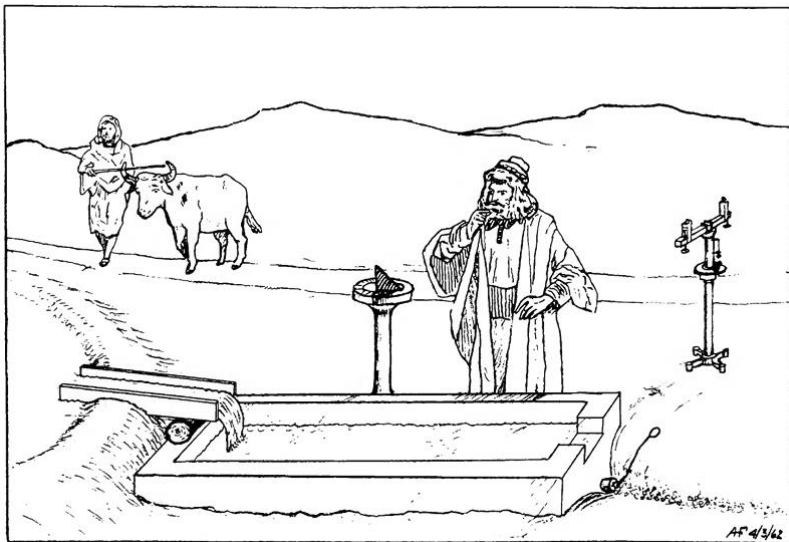
Москва 2023

# Гидрология и гидрохимия

Методы и средства измерения количества и качества природных вод

## Древнейшие методы измерения гидрологических характеристик

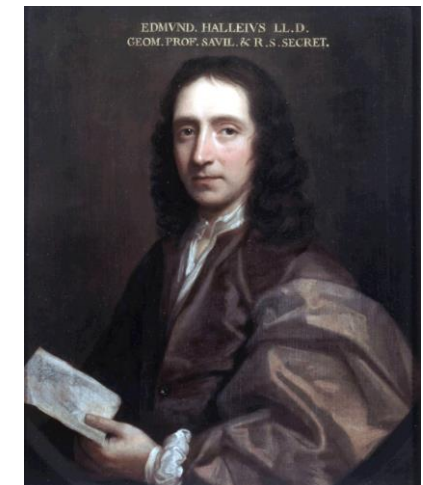
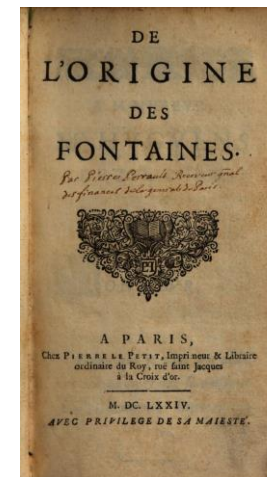
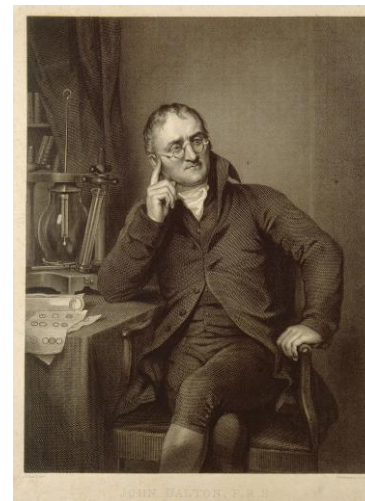
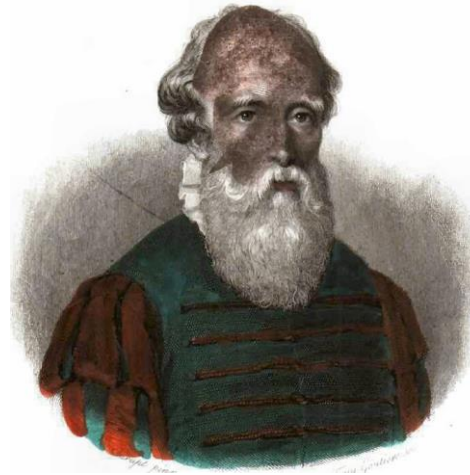
- Кодекс Хаммурапи (1900 г. до н.э.)
- Ниломер (4 в до н.э., ряд 720 г. н.э. – 1692 гг.)
- Аристотель (384—322 гг. до н.э.)
- Марк Витрувий Поллион (80-70 гг. до н.э. — 13 г. до н.э.)
- Объемный метод (Герон Александрийский, I в н.э.)





## Гидрология как наука

- Леонардо да Винчи (1452 – 1519)
- Бернар Палисси (1510 – 1589)
- Бенедетто Кастелли (1577 – 1644)
- Пьер Перро (1608 – 1680)
- Эдм Мариотт (1620 – 1684)
- Эдмунд Галлей (1656 – 1742)
- Джон Дальтон (1766—1844)



## Методы измерения глубины потока

- Наметка
- Лот
- Эхолот

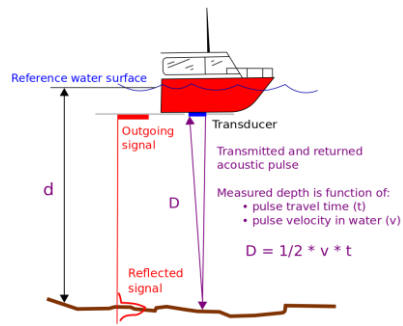


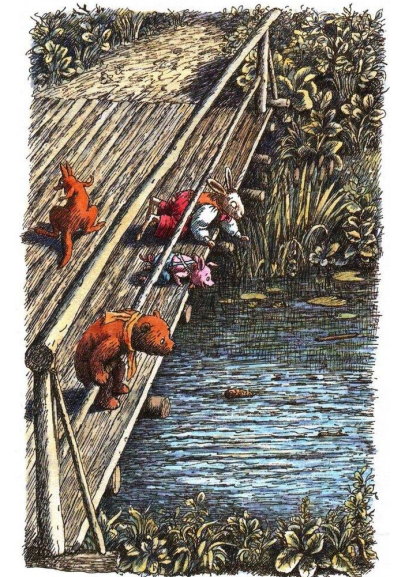
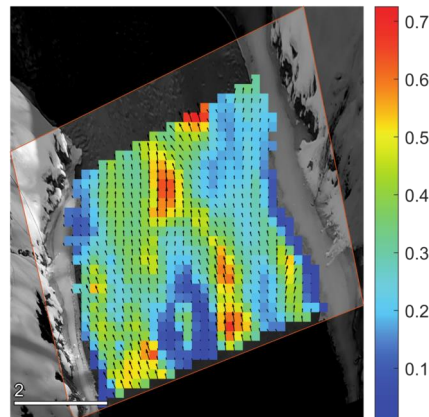
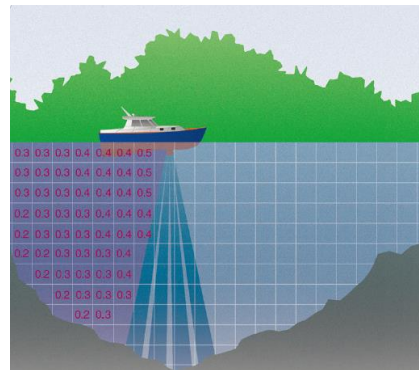
Figure 9-1. Acoustic depth measurement





## Методы измерения скорости течения воды

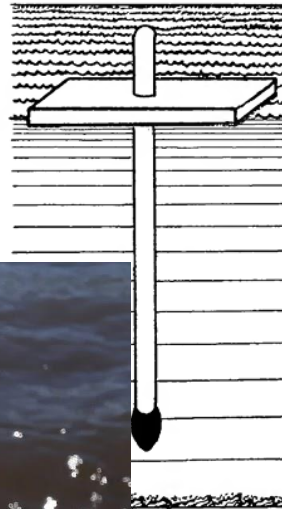
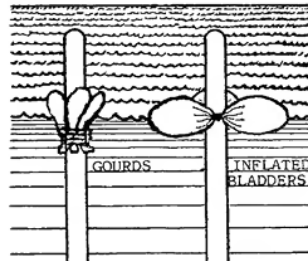
- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Электромагнитный датчик
- Радарный скоростемер
- Допплеровский расходомер
- Крупномасштабная велосиметрия



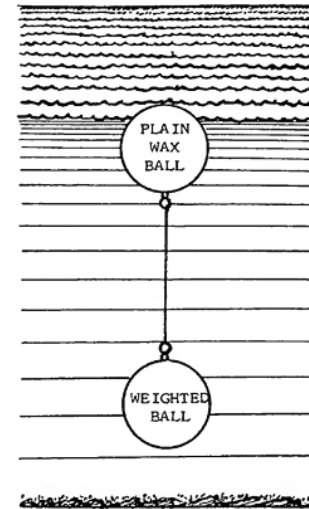


## Методы измерения скорости течения воды

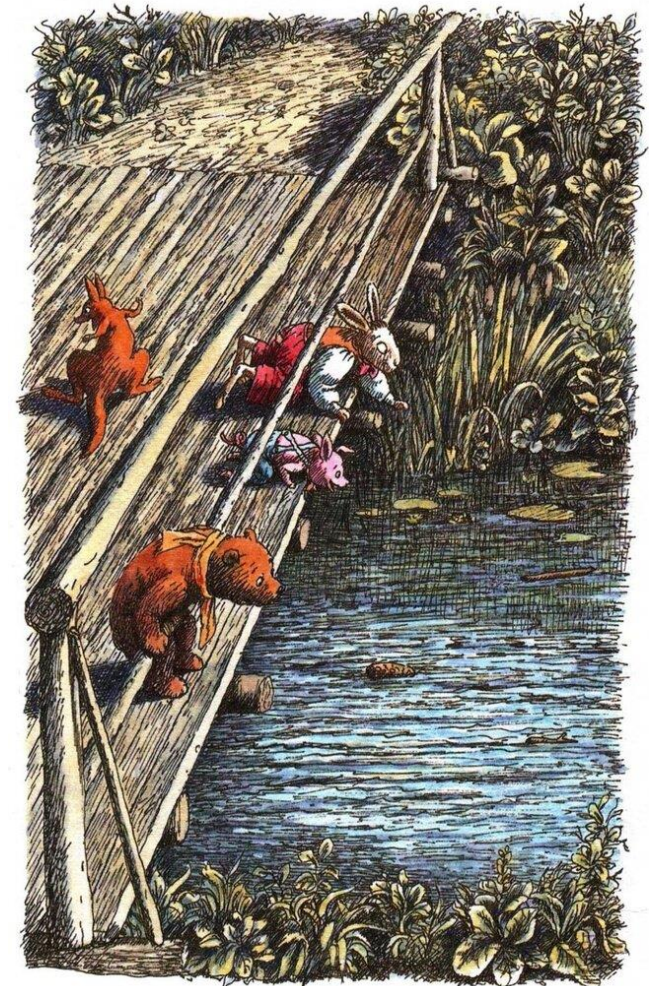
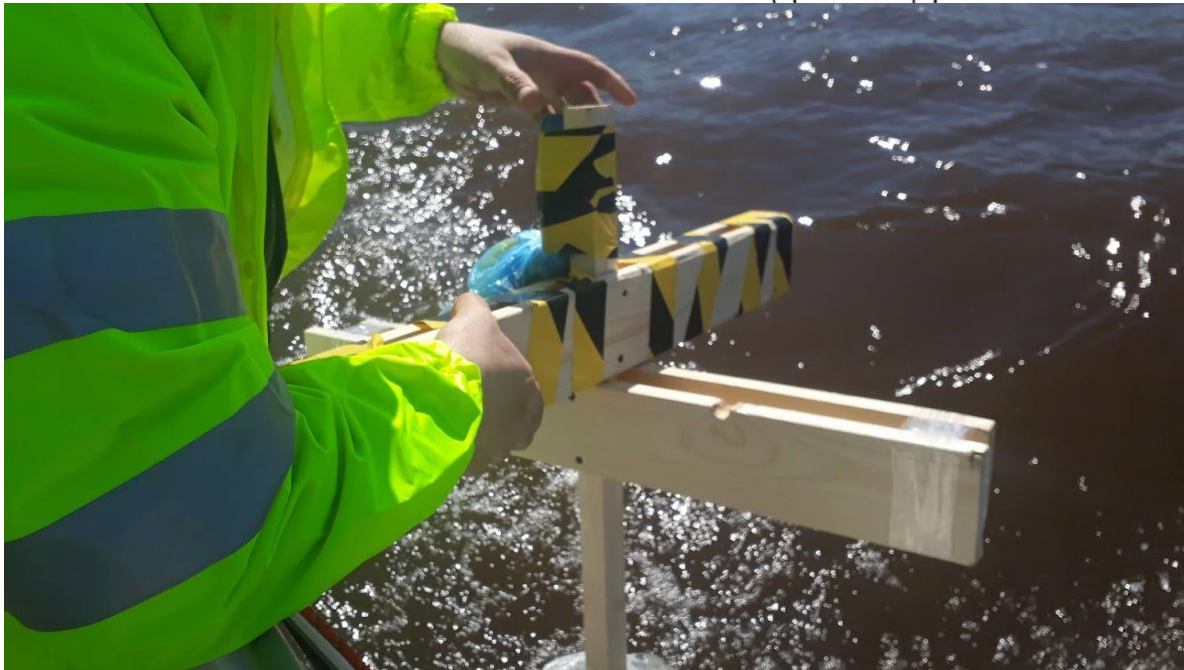
- Поплавки



b



c



## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры (Доменико Гьельмини – «гидрометрия»)

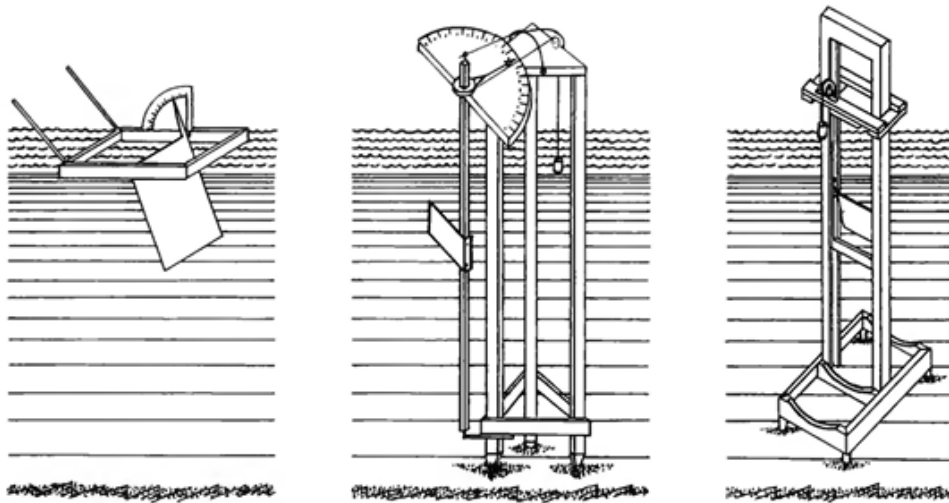
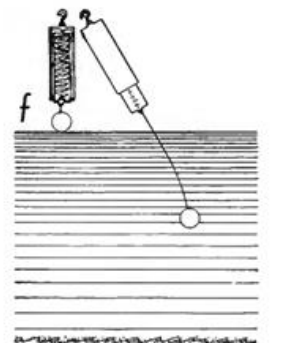
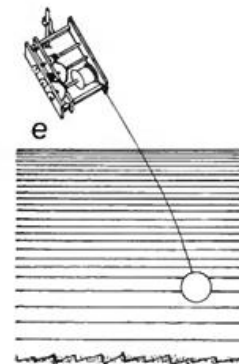
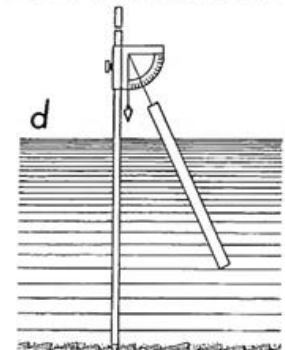
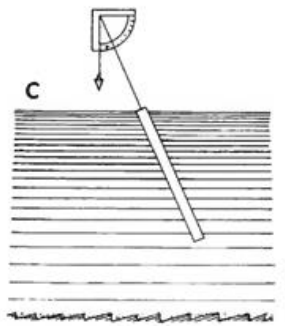
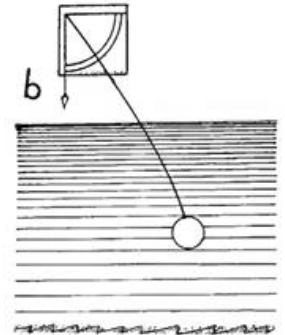
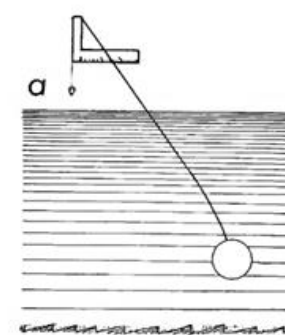
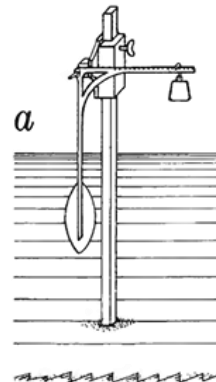
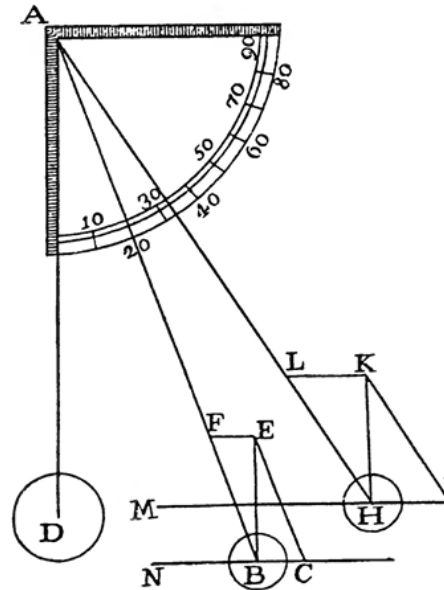


FIGURE 19.—Ximenes' paddle type current meters, ca. 1780.  
(Drawn by A. H. Frazier after Masetti, "Descrizione.")



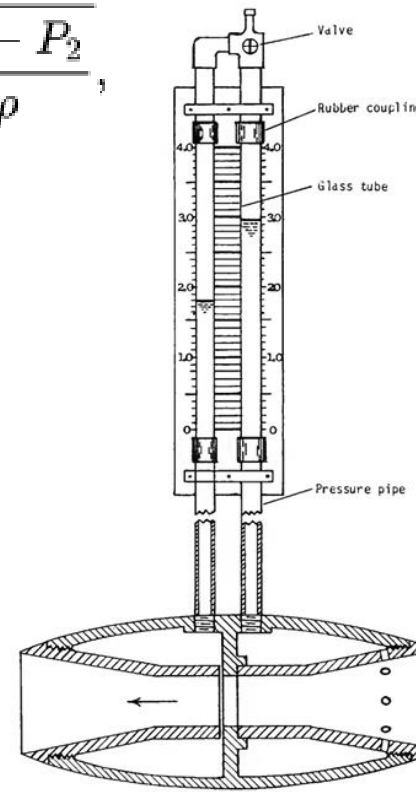


## Методы измерения скорости течения воды

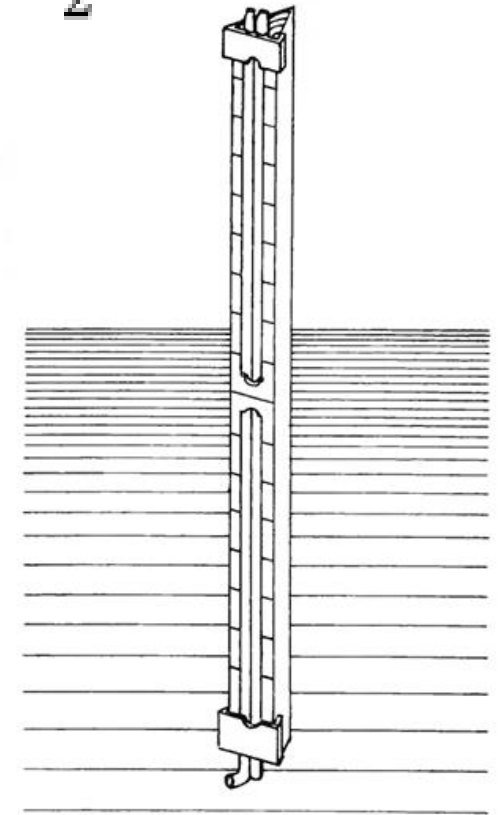
- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Анри Пито (1665-1771)
- Джованни Баттиста Вентури (1764-1822)

$$Q = \frac{CA_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}},$$

$Q$  — объемный расход жидкости,  
 $C$  — экспериментальный коэффициент, отражающий потери внутри расходомера,  
 $A_1$  и  $A_2$  — площади сечения трубопровода и горловины соответственно,  
 $\rho$  — плотность жидкости или газа,  
 $P_1$  и  $P_2$  — статические давления на входе трубы и в горловине.



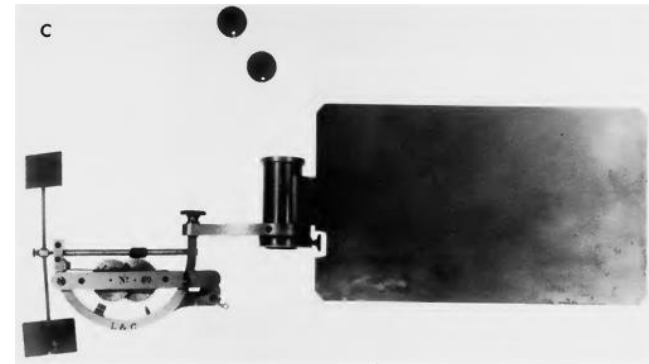
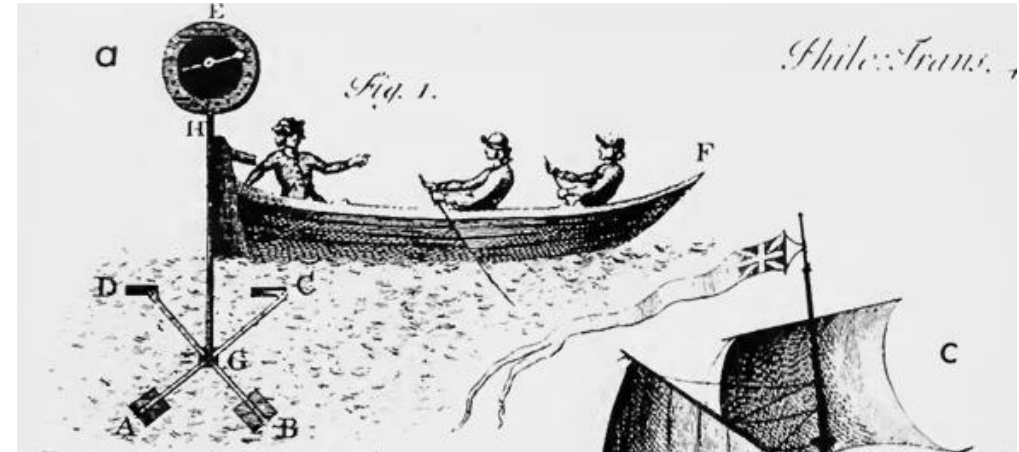
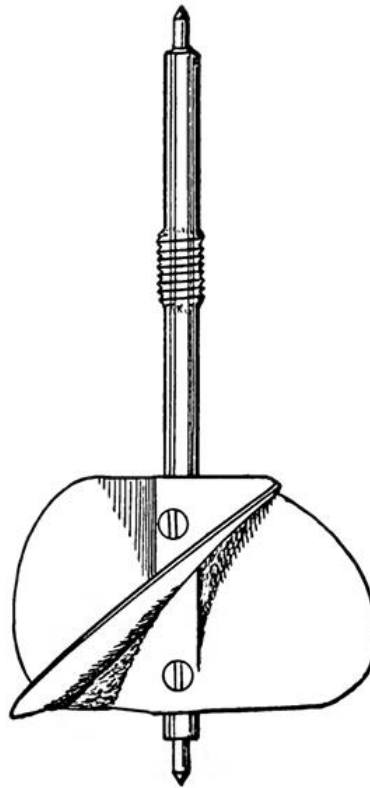
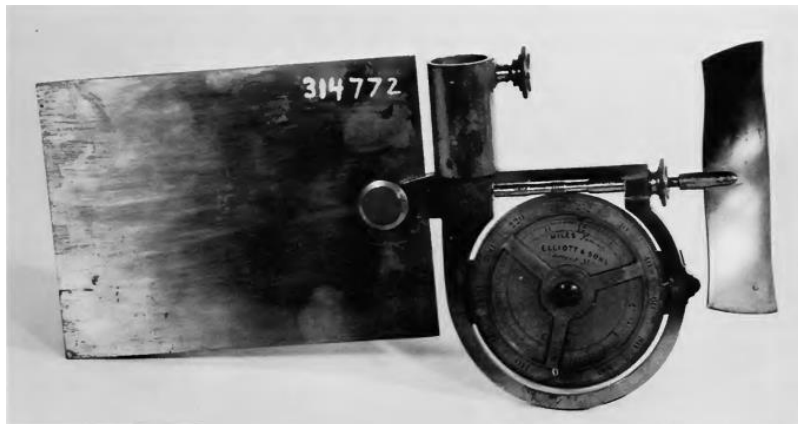
$$p_{\partial} \approx \xi \frac{\rho V_o^2}{2},$$





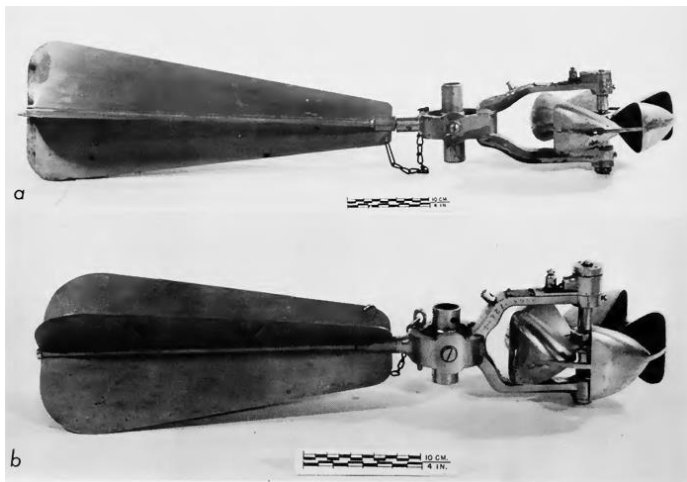
## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Роберт Гук (1635-1703)

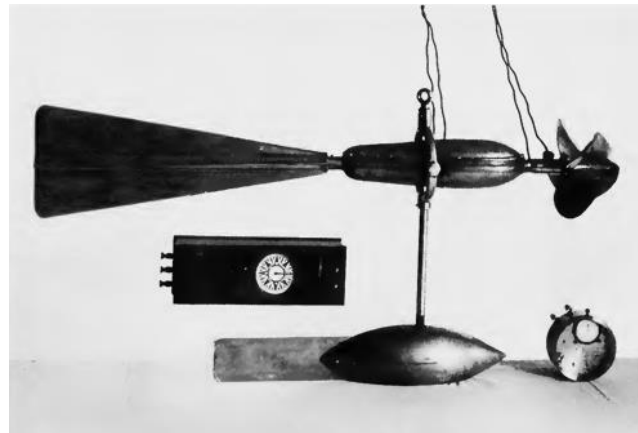


## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Роберт Гук (1635-1703)



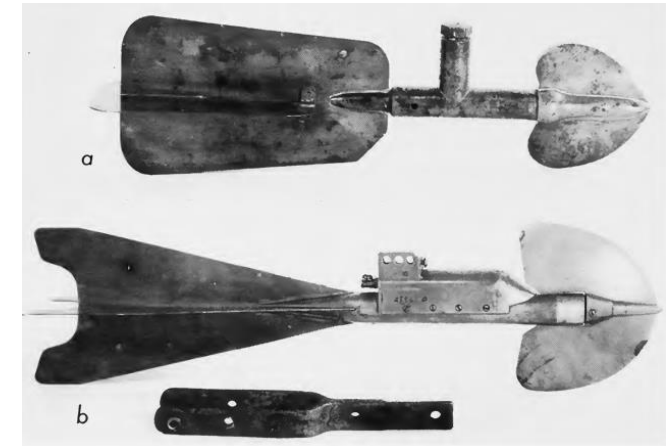
Прайс



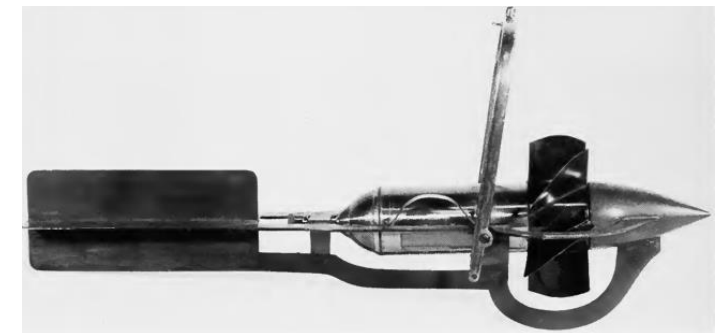
Хаскелл



Колупайло-Отт



Холл

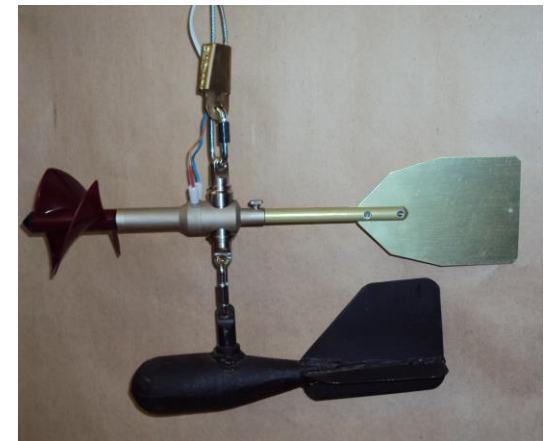


Мур



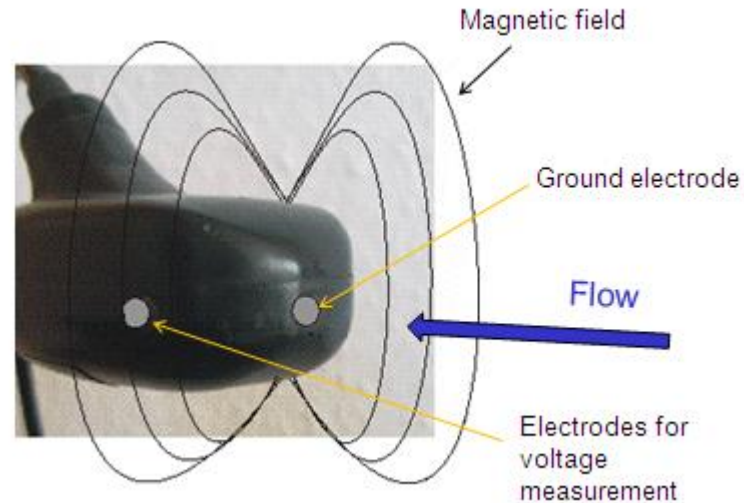
## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- ГР-21, ГР-55
- ИСП-1



## Методы измерения скорости течения в

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Электромагнитный датчик



$$V = \frac{E}{k \cdot B}$$

$V$  – скорость

$E$  – ЭДС

$B$  – магнитная индукция

$k$  – коэффициент



Посейдон-1



Ott MF-Pro

Закон Фарадея – напряжение, вырабатываемое проводником при его движении под прямым углом через магнитное поле, пропорционально скорости этого проводника.

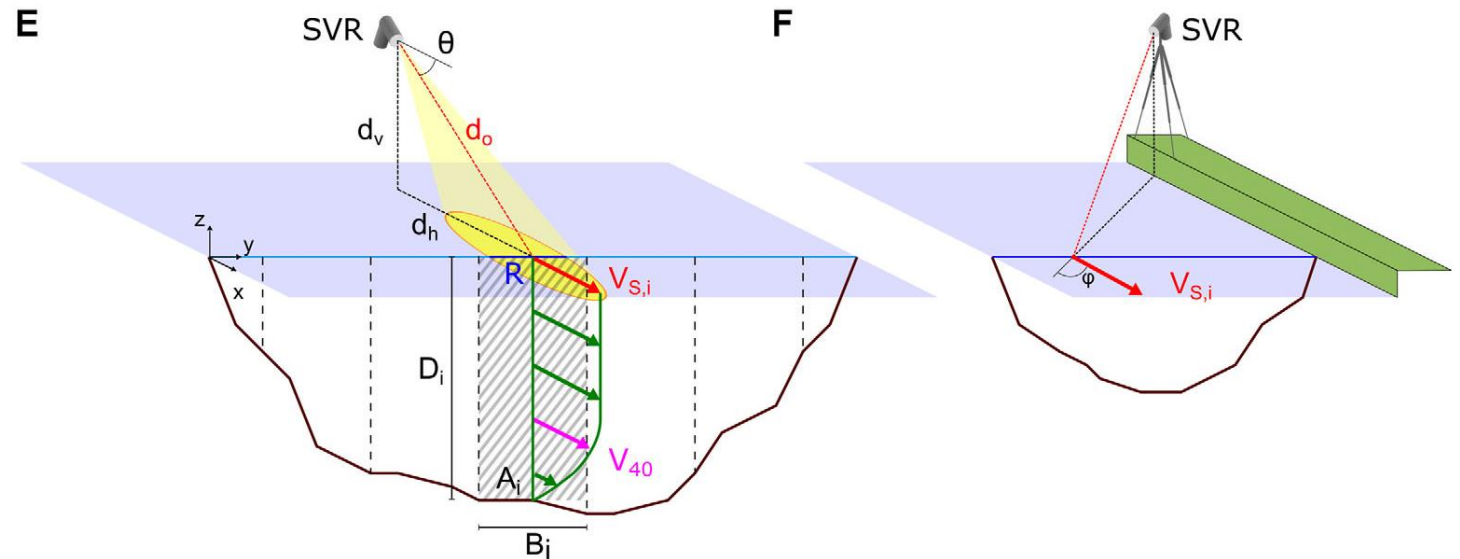


## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Электромагнитный датчик
- Радарный скоростемер



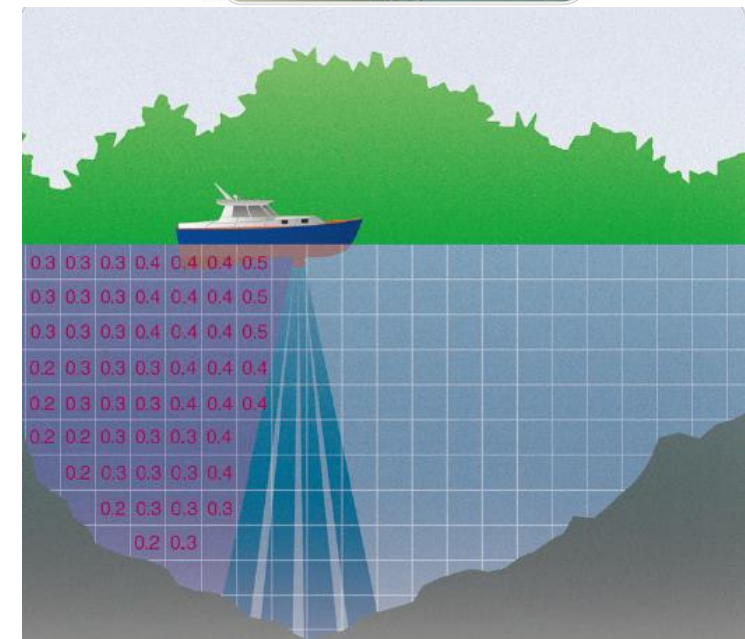
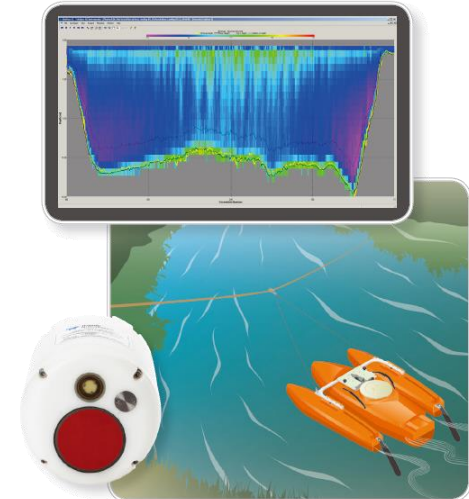
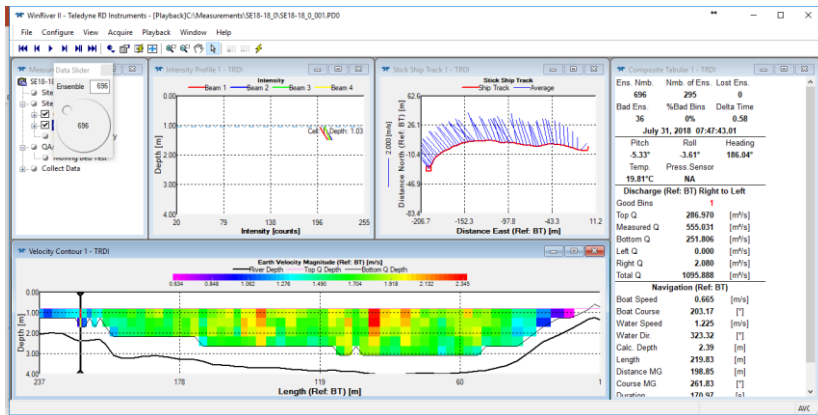
$$\alpha = \frac{V_i}{V_{s,i}}$$





## Методы измерения скорости течения воды

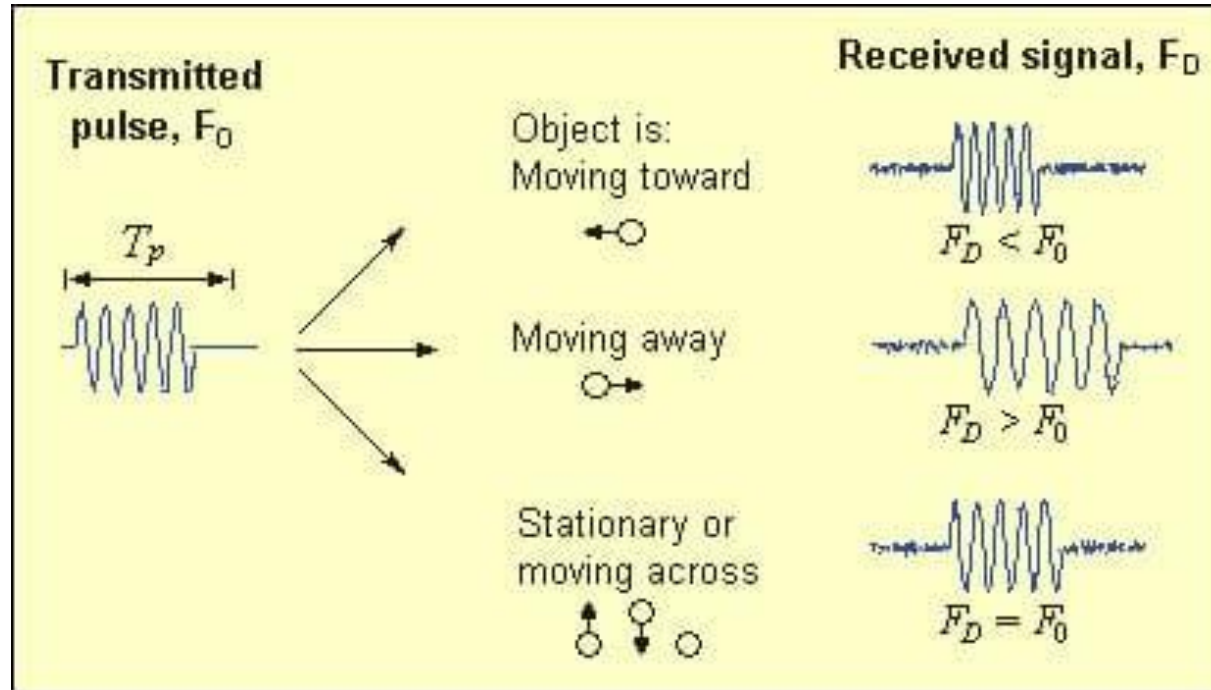
- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Электромагнитный датчик
- Радарный скоростемер
- Допплеровский расходомер





## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Электромагнитный датчик
- Радарный скоростемер
- Допплеровский расходомер



<https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/instruments/instruments-sensors-samplers/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/>

### Допплеровский эффект для измерения скорости течения воды

$T_p$  – длина импульса

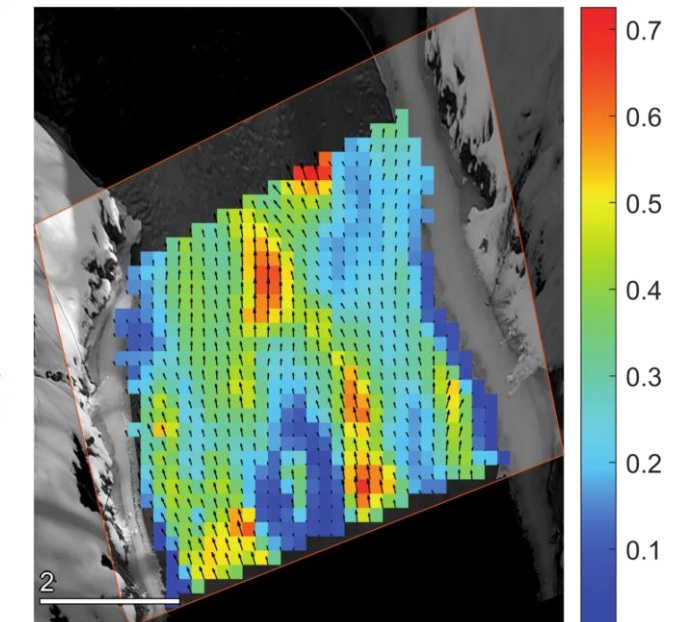
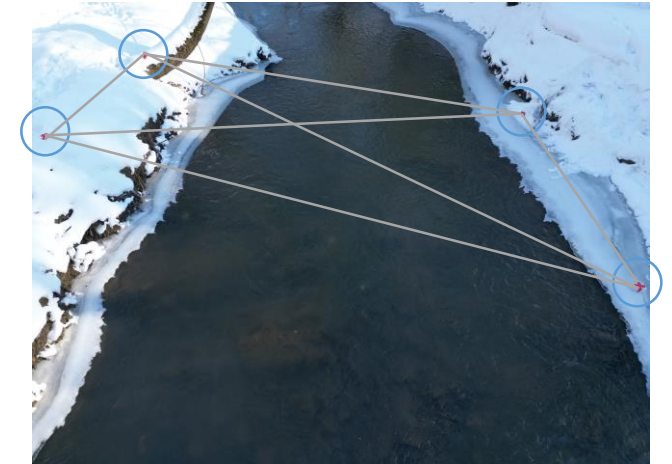
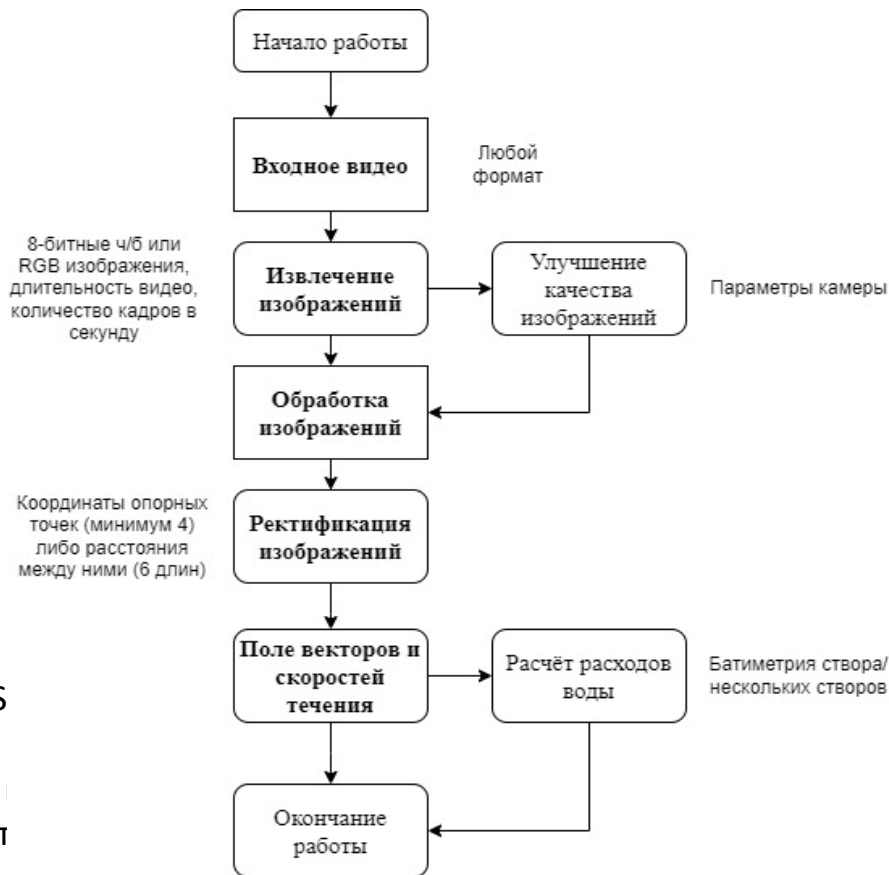
$F_0$  – частота выходного сигнала

$F_D$  – частота отраженного сигнала

## Методы измерения скорости течения воды

- Поплавки
- Инклинометры
- Трубки Пито и Вентури
- Гидрометрическая вертушка
- Электромагнитный датчик
- Радарный скоростемер
- Допплеровский расходомер
- Крупномасштабная велосиметрия

Метод **Large-Scale Particle Image Velocimetry (LS-PIV)**  
Разбивка видеофрагмента на изображения,  
раскладывание на последовательные векторы  
Пространственная привязка изображений, пост  
векторов течения, расчёт скоростей течения



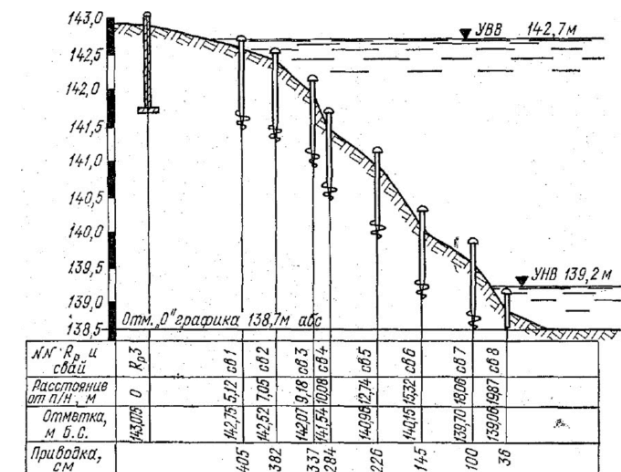
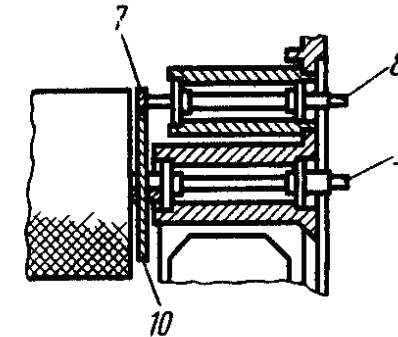
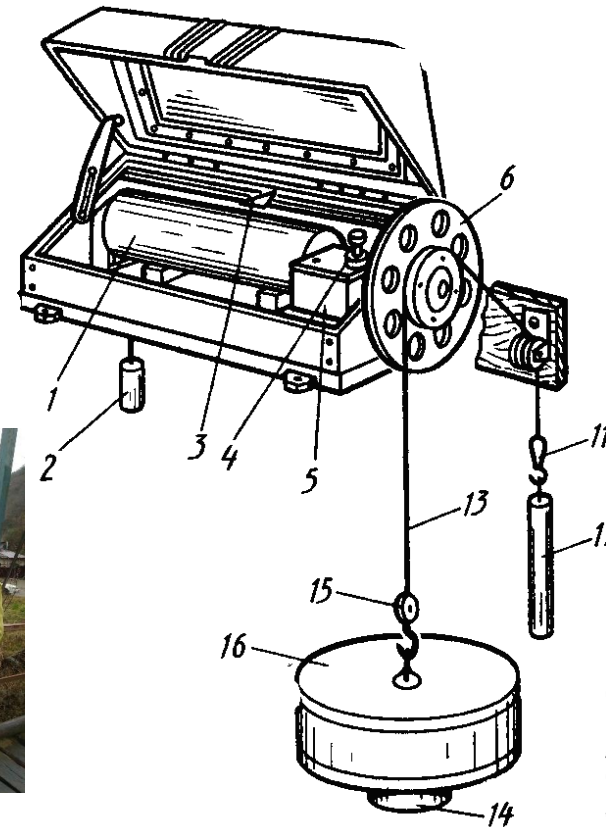


## Методы измерения уровня воды

- Рейка
- Передаточный пост - самописец
- Ультразвуковой уровнемер
- Логгер уровня (гидростатический)



<http://emergit.ru/map/>



## Методы измерения расхода

- Скорость – площадь

$$Q = k_1 v_1 w_1 + \frac{v_1 + v_2}{2} w_2 + \frac{v_2 + v_3}{2} w_3 + \frac{v_3 + v_4}{2} w_4 + k_2 v_4 w_5$$

- $v_1...v_4$  – средние скорости течения воды на вертикалях,
- $w_1... w_5$  – площади поперечного сечения между вертикалями, берегом и крайними вертикалями,
- $k$  – эмпирический коэффициент, отражающий характер берега (0.5 – 0.9)

при 1 точке измерения  $v_{\text{ср}} = v_{0,6}$ ;

при 3 точках  $v_{\text{ср}} = 0,25(v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})$ ;

при пяти точках  $v_{\text{ср}} = 0,1(v_{\text{пов}} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{дно}})$

при двух точках  $v_{\text{ср}} = 0,5(v_{0,2} + v_{0,8})$ ;

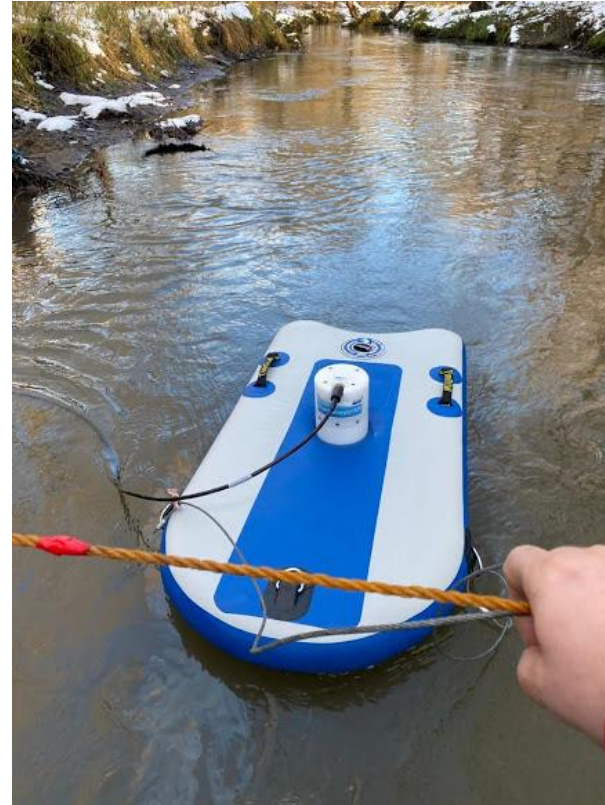
при шести точках при наличии растительности

$$v_{\text{ср}} = 0,1(v_{\text{пов}} + 2v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{дно}}).$$



## Методы измерения расхода

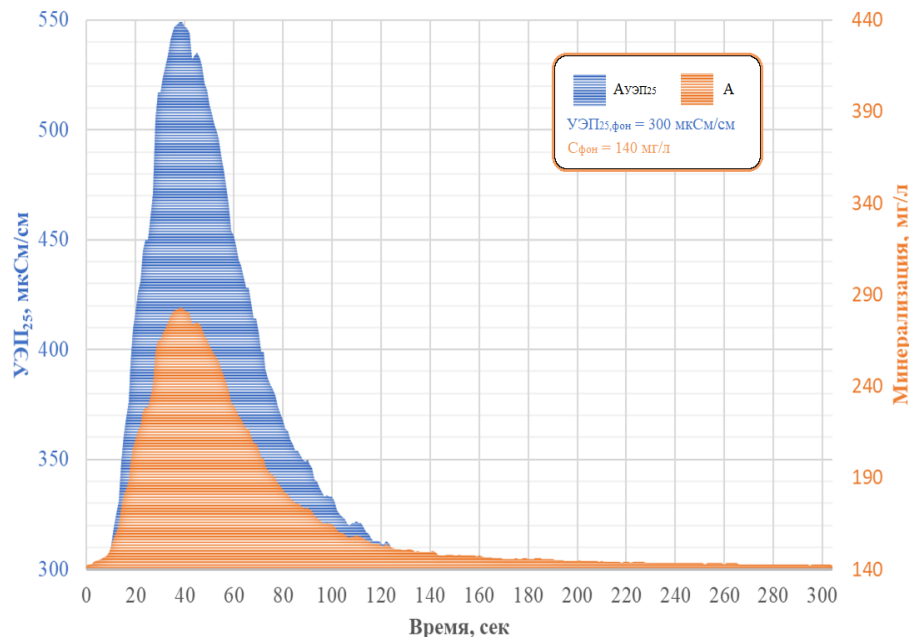
- Скорость – площадь
- Допплеровский расходомер





## Методы измерения расхода

- Скорость – площадь
- Допплеровский расходомер
- Ионный паводок



$$Q = \frac{m}{\int_t (C_t - C_{\text{фон}}) dt} = \frac{m}{A}$$

$Q$  – расход, л/с;

$A$  - площадь под кривой графика ионного паводка  $C = f(t)$  в единицах минерализации,  $(\text{мг/дм}^3) \cdot \text{с}$ ;

$m$  - масса вводимой в поток соли, г;

$C_t$  - минерализация воды, измеряемая наблюдателем в момент времени  $t$ ;

$C_{\text{фон}}$  - фоновое значение минерализации воды в потоке,  $\text{мг/дм}^3$ ;