

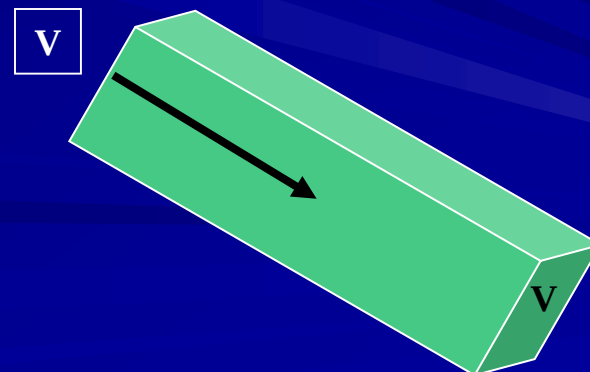
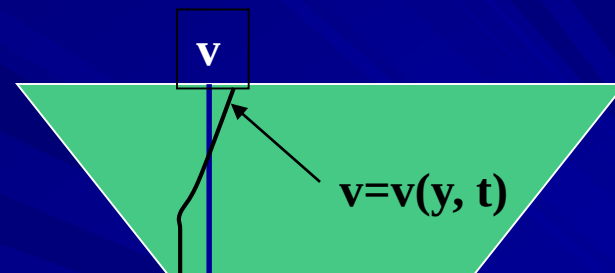
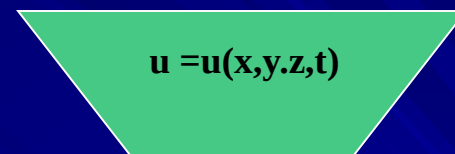


Движение воды в реках

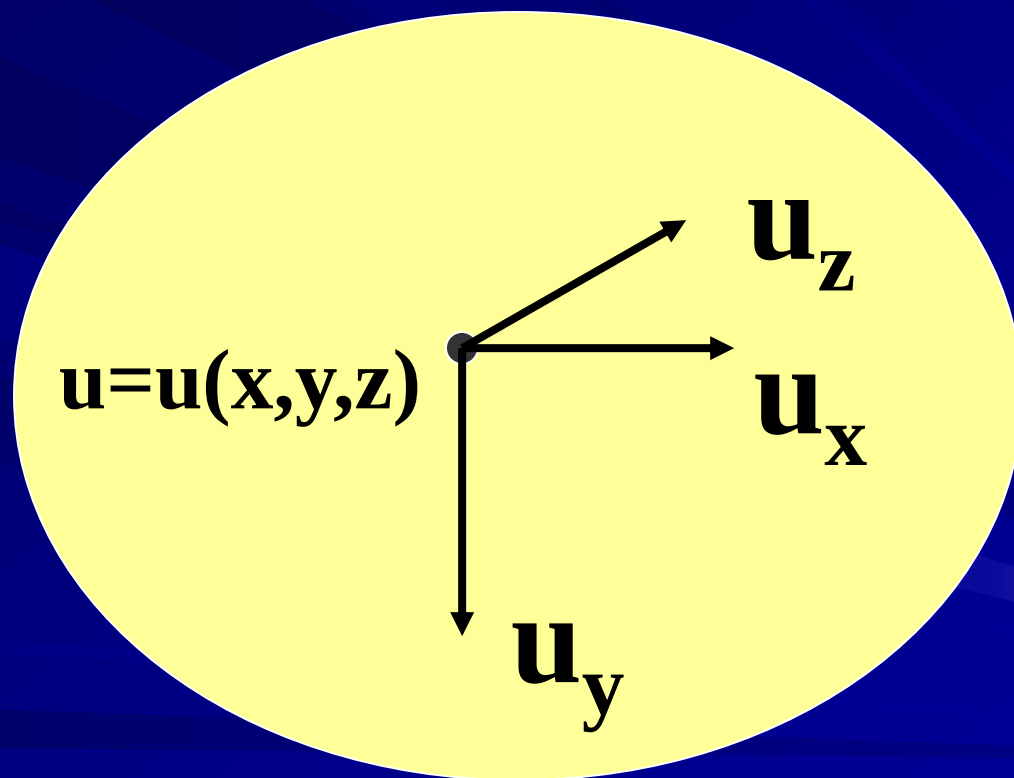
***Распределение скоростей
течения
в речном потоке***

Скорость движения воды

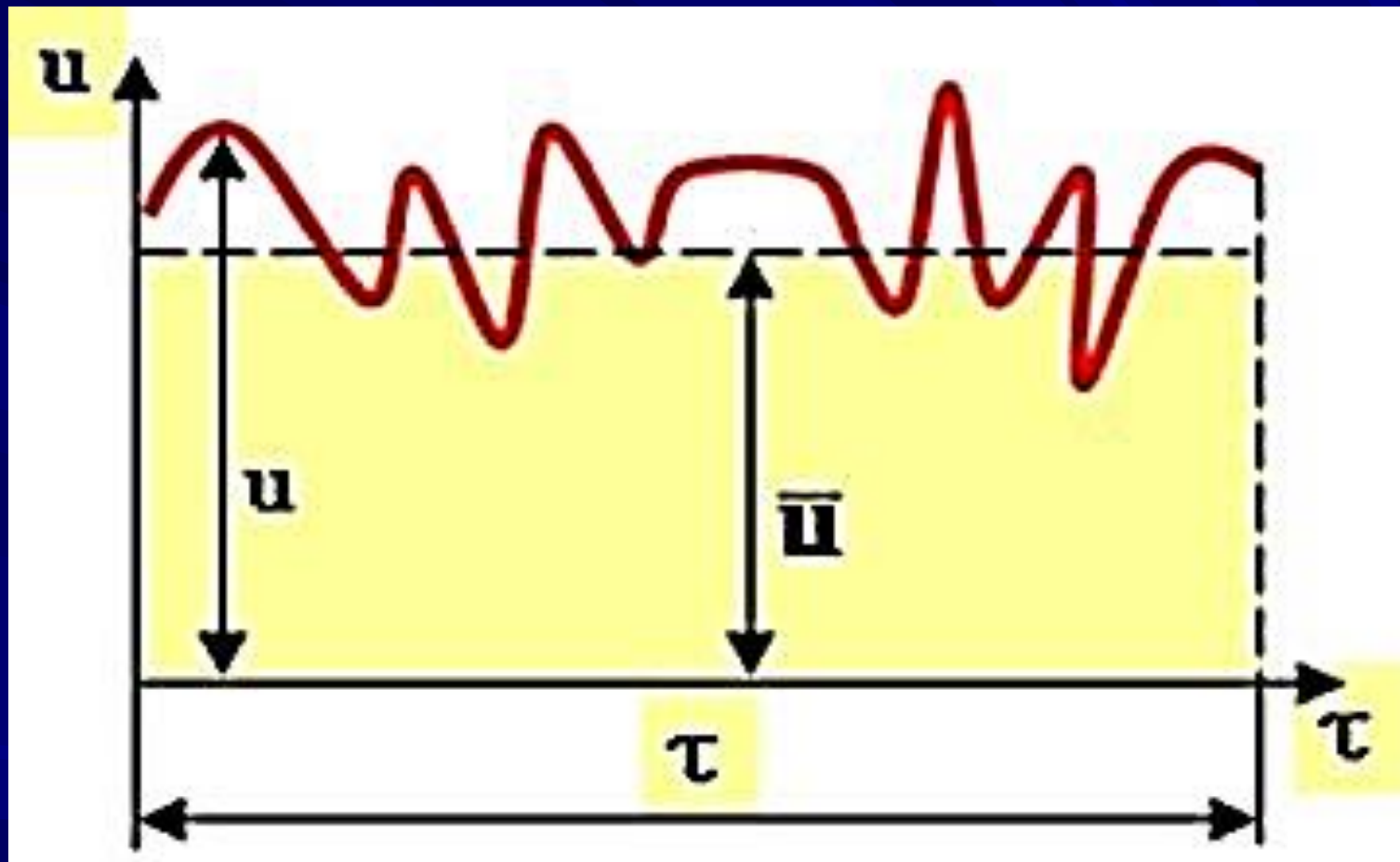
- в конкретной точке потока – **местная скорость u** , м/с
- средняя скорость по глубине водного потока v , м/с
- средняя скорость в поперечном сечении реки V , м/с



Компоненты местной мгновенной скорости



Изменение продольной составляющей скорости



Для рек характерен турбулентный режим движения воды, и скорость течения в любой точке речного потока подвержена турбулентным пульсациям

Методы и приборы измерения скоростей течения воды

Регистрация числа оборотов лопастного винта (ротора)

Регистрация скорости плывущего тела

Регистрация скоростного напора

Принцип теплообмена

Измерение объема воды при наполнении

Ионный паводок

Регистрация распространения ультразвуковых колебаний

Регистрация силового воздействия потока

Доплеровский эффект

Методы и приборы измерения скоростей течения воды

Регистрация
числа оборотов
ВЕРТУШКИ
лопастного винта
(ротора)

Регистрация
скорости
ПОПЛАВКИ
плывущего тела

Регистрация
**ГИДРОМЕТРИ-
ЧЕСКИЕ ТРУБКИ**
напора

Принцип
ТЕРМОГИДРОМЕТРЫ
теплообмена

Измерение
**БАТОМЕТРЫ-
ТАХИМЕТРЫ**
объема воды при
наполнении

Индукционная
КОНДУКТОМЕТРЫ

Регистрация
распространения
ОСЦИЛЛОГРАФ
ультразвуковых
колебаний

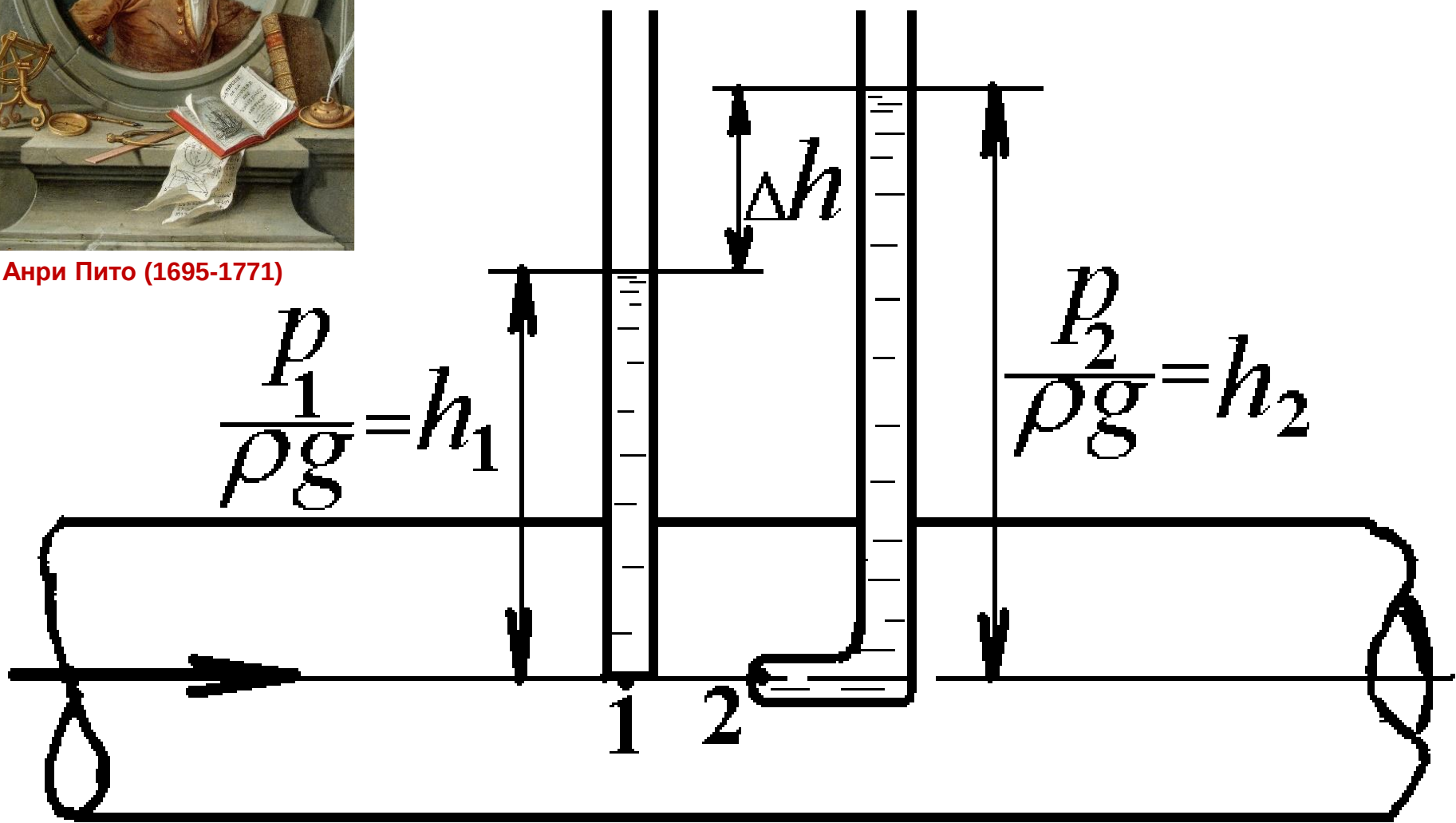
Регистрация
силового
ГИДРОДИНАМОМЕТРЫ
воздействия
потока

Доплеровский
ПРОФИЛОГРАФЫ
эффект

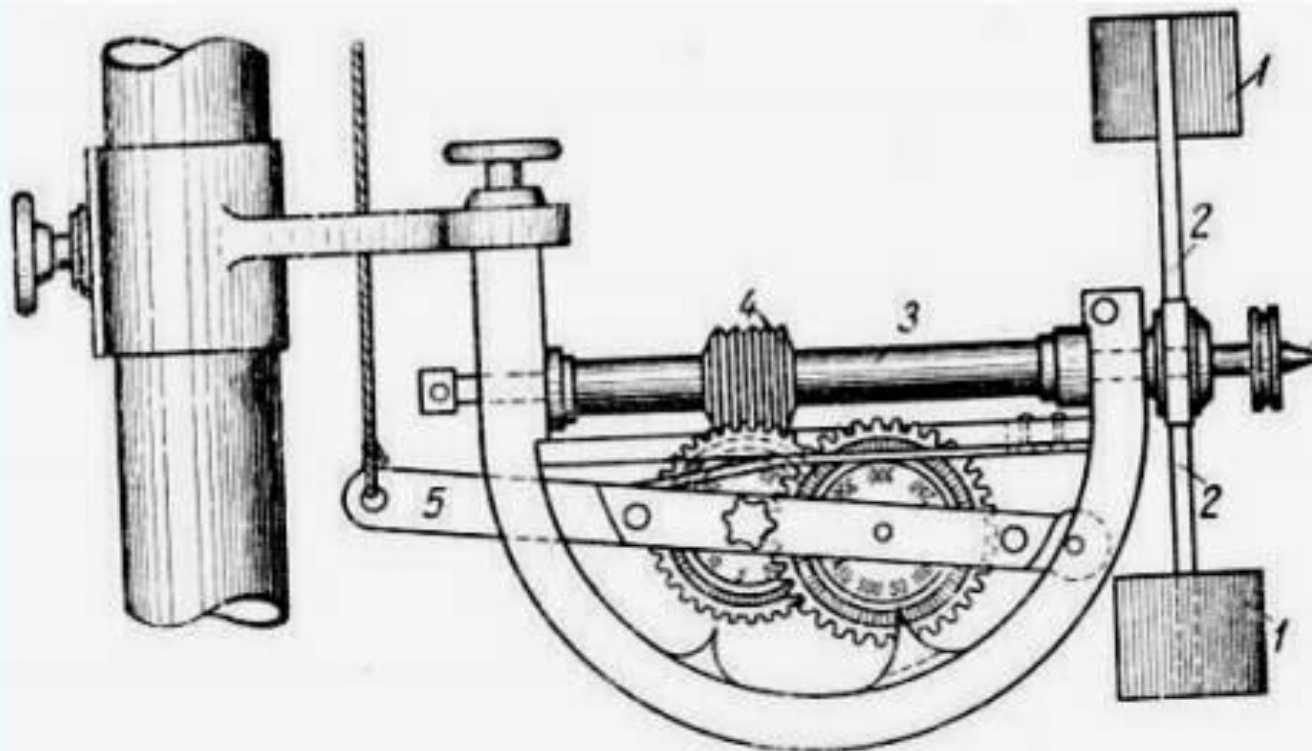


Трубка Пито-Прандтля

Анри Пито (1695-1771)

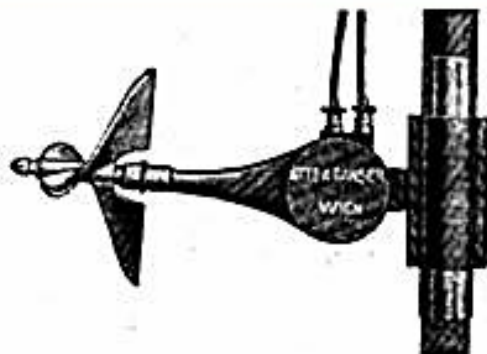


Первая гидрометрическая вертушка Вольтмана (1790)

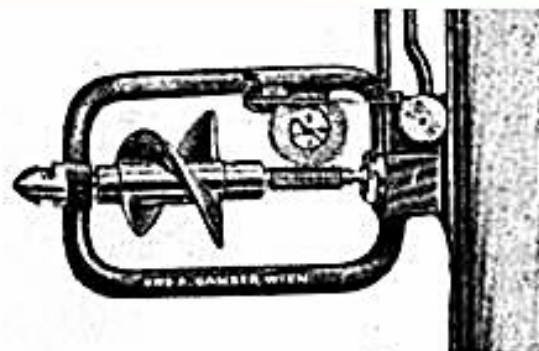


Создателем гидрометрической вертушки считают немецкого гидротехника Рейнгарда Вольтмана, впервые применившего такой прибор в **1790 г.** для определения скорости течения реки Эльбы.

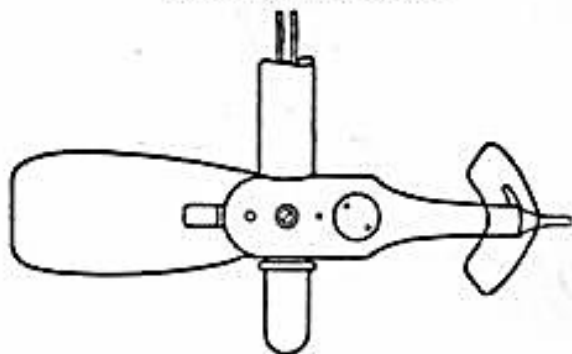
Вертушки конца XIX века



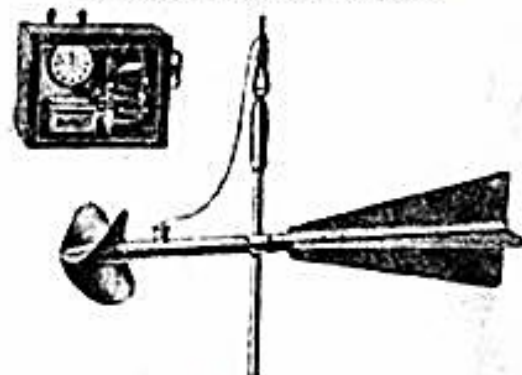
вертушка Ганзера



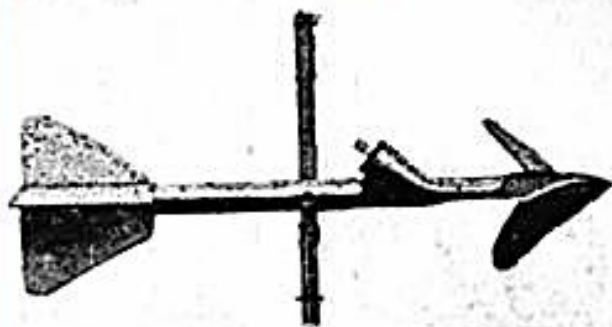
малая вертушка Ганзера



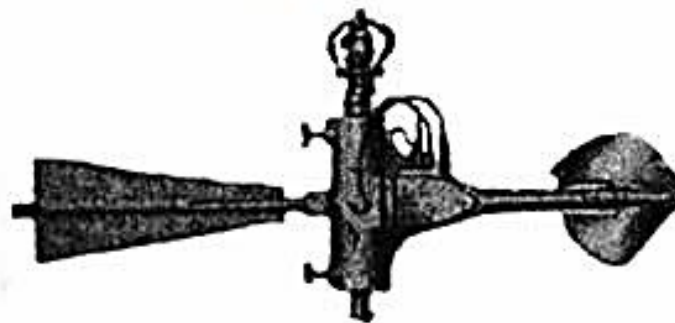
вертушка Ришара



вертушка Гаскеля



вертушка Хоффа

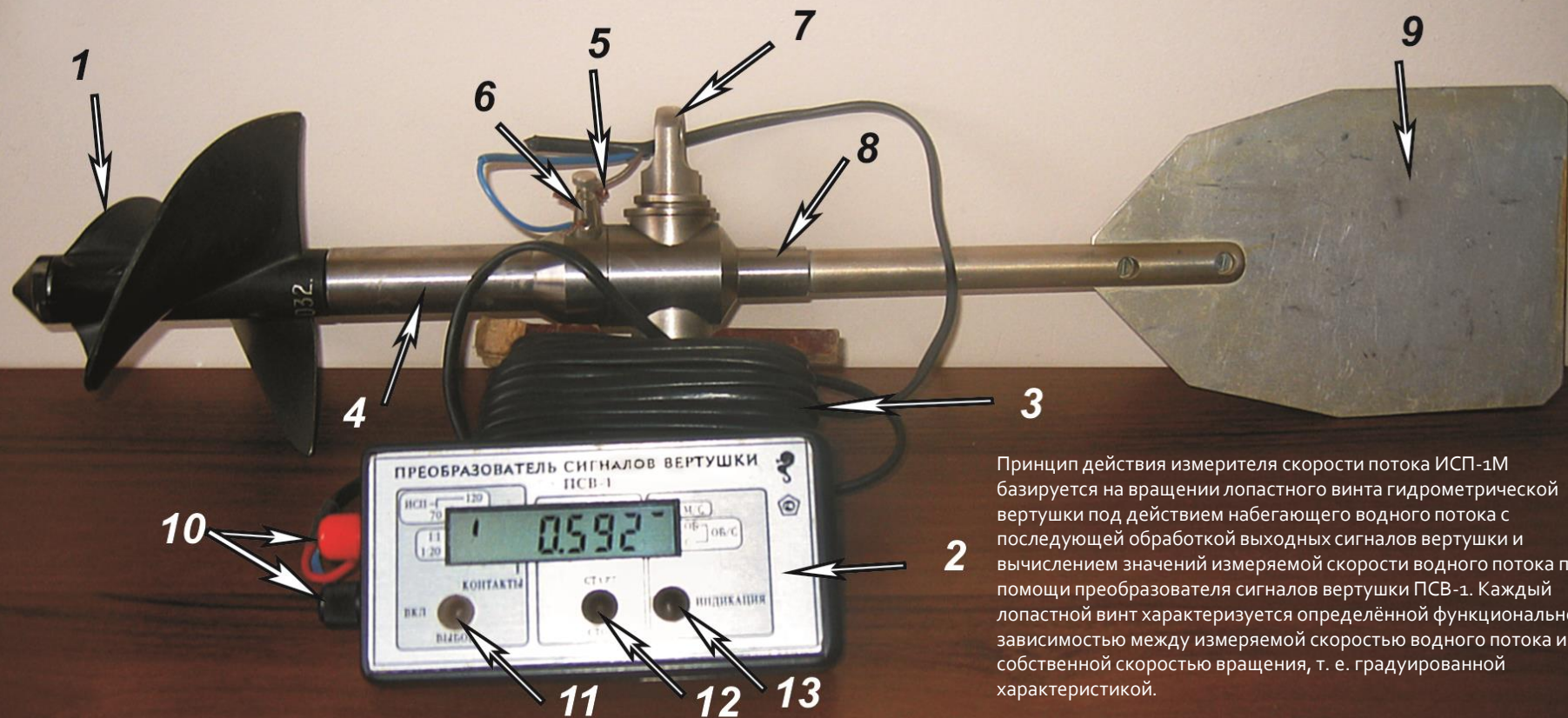


вертушка Амелера

Музей гидрологических приборов (Валдай)



Измеритель скорости потока (ИСП-1М)



Принцип действия измерителя скорости потока ИСП-1М базируется на вращении лопастного винта гидрометрической вертушки под действием набегающего водного потока с последующей обработкой выходных сигналов вертушки и вычислением значений измеряемой скорости водного потока при помощи преобразователя сигналов вертушки ПСВ-1. Каждый лопастной винт характеризуется определённой функциональной зависимостью между измеряемой скоростью водного потока и собственной скоростью вращения, т. е. градуированной характеристикой.

1 — лопастной винт; 2 — преобразователь сигналов вертушки; 3 — электрический провод; 4 — ось вертушки (находится внутри под ее корпусом); клеммы: 5 — изолированная, 6 — соединенная с корпусом; 7 — вертлюг, 8 — винт стабилизатора, 9 — стабилизатор; 10 — контакты преобразователя; кнопки преобразователя сигналов: 11 — ВЫБОР, 12 — СТАРТ/СТОП, 13 — ИНДИКАЦИЯ

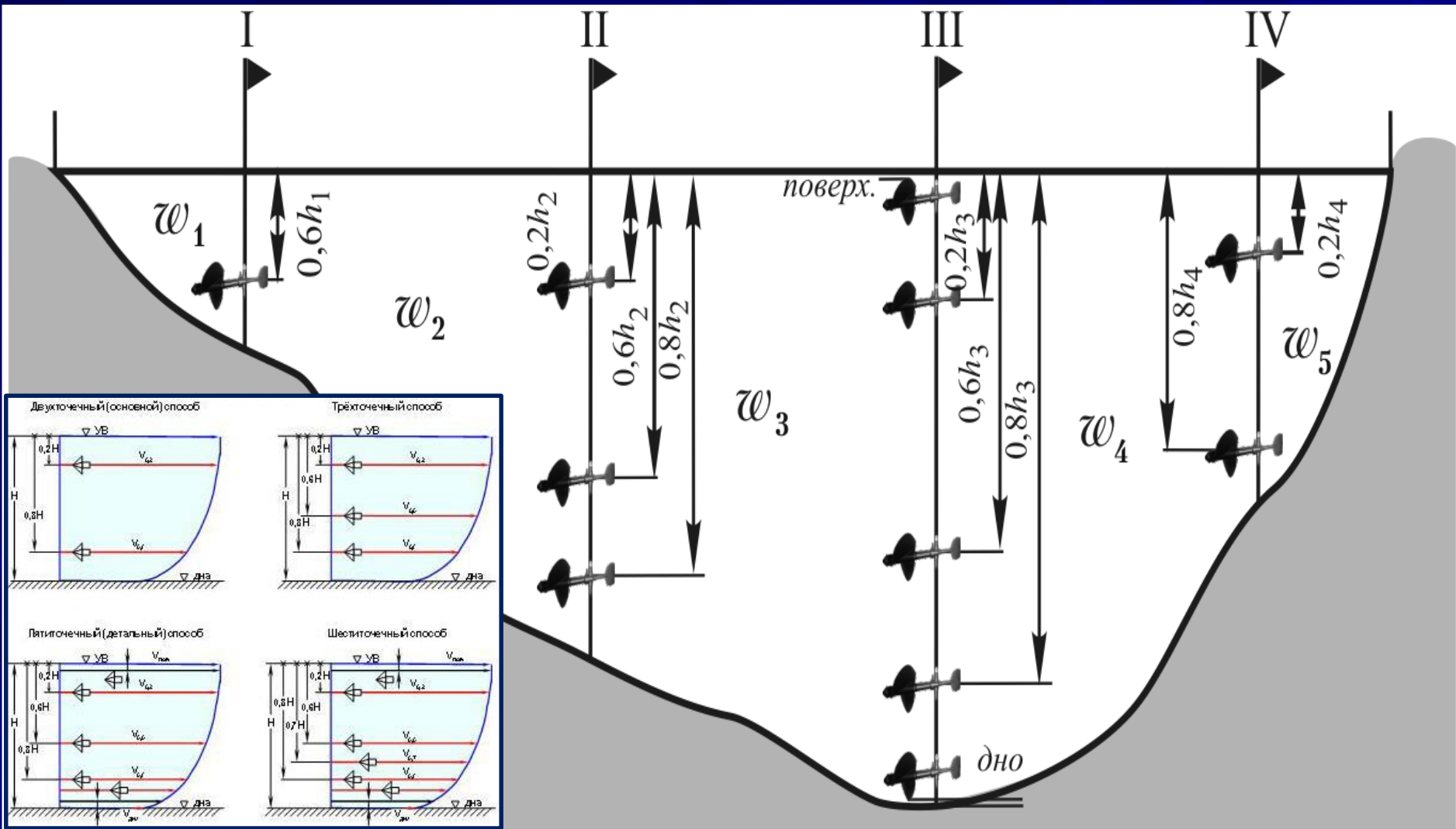


***Крепление
вертушки
при работе с
троса на
лебедке***

Измерение расхода гидрометрической вертушкой



Схема расположения точек на скоростных вертикалях гидрометрического створа

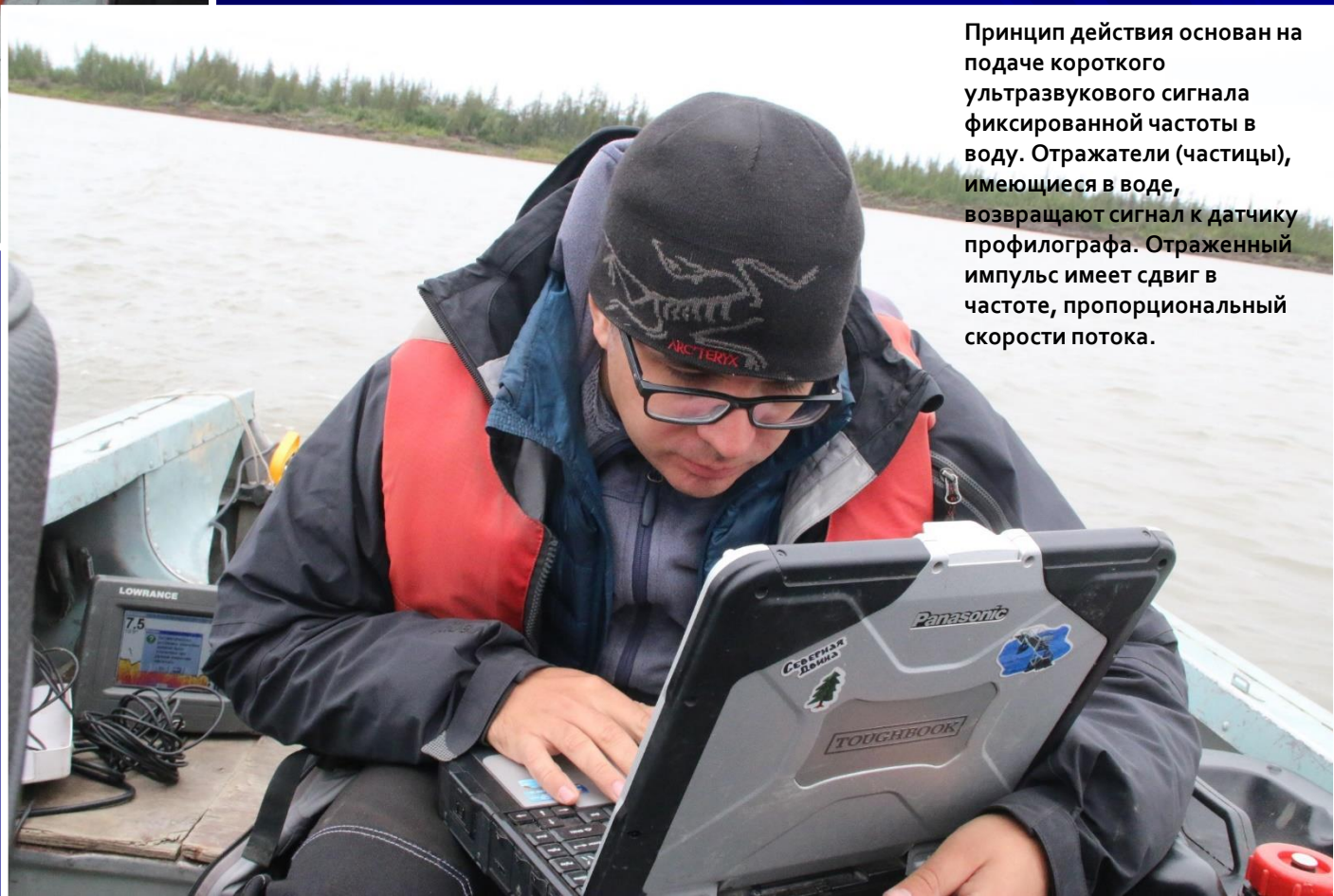


Экран регистрирующего устройства и величина местной скорости течения



Устье
Оби,
2004 г.

Акустические доплеровские профилографы



Принцип действия основан на подаче короткого ультразвукового сигнала фиксированной частоты в воду. Отражатели (частицы), имеющиеся в воде, возвращают сигнал к датчику профилографа. Отраженный импульс имеет сдвиг в частоте, пропорциональный скорости потока.

Измерение
скоростей основано
на эффекте
Допплера.

Устье
Колымы,
2019 г.

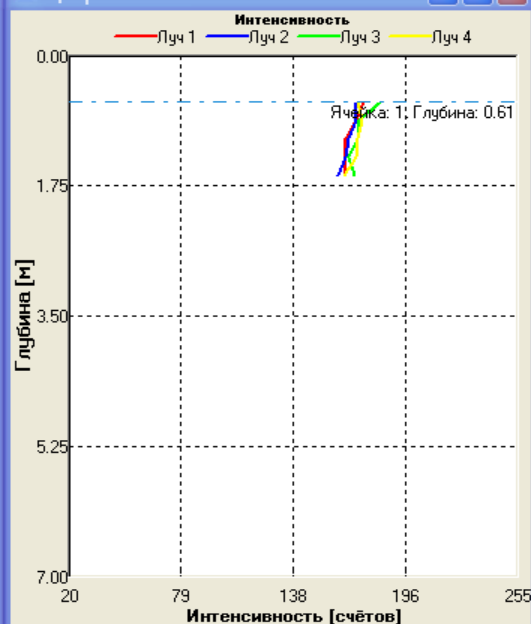
Файл Установка Вид Сбор Воспроизведение Window Справка



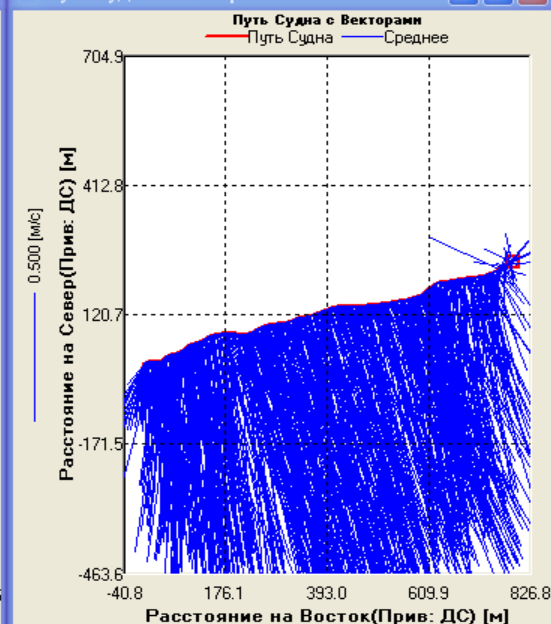
КонтрольИзме...

- kama 24 mai.mmt
- Информация Участка
- Расход на Участке
- ☒ Трансект 000
 - kama 24 mai_0_000.PDO
 - Полевая Конфигурация
 - Конфигурация Воспро
 - Сводка Расхода
 - QA/QC
 - Сбор Данных

Профиль Интенсивности 1 - TRDI



Путь Судна с Векторами 1 - TRDI



Составная Таблица 1 - TRDI

Ном. Анс.	Число Анс.	Потерян.Анс.
779	769	0
Плох. Анс.	%Плох. Яч.	Промежуток
10	0%	0.77
Май 24, 2008 23:01:50.39		
Тангаж	Крен	Направление
-5.37°	0.70°	349.14°
Темп.	Датч. Давл.	
11.70°C	Н/Д	

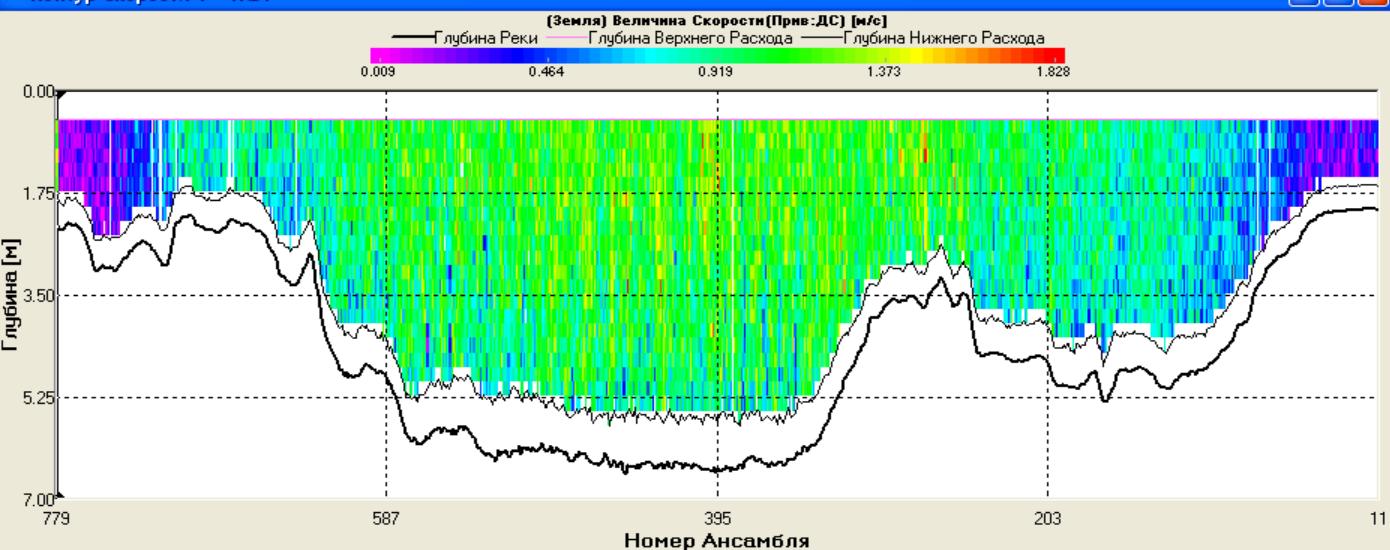
Расход (Прив: DC) Справа на Лево

Хороших Ячеек	5	
Расход Верха	375.815	[м³/с]
Измер. Расход	2501.543	[м³/с]
Расход Низа	414.746	[м³/с]
Лев. Расход	-0.234	[м³/с]
Пр. Расход	0.870	[м³/с]
Сум. Расход	3292.739	[м³/с]
MBT Corrected Q	3292.739	[м³/с]

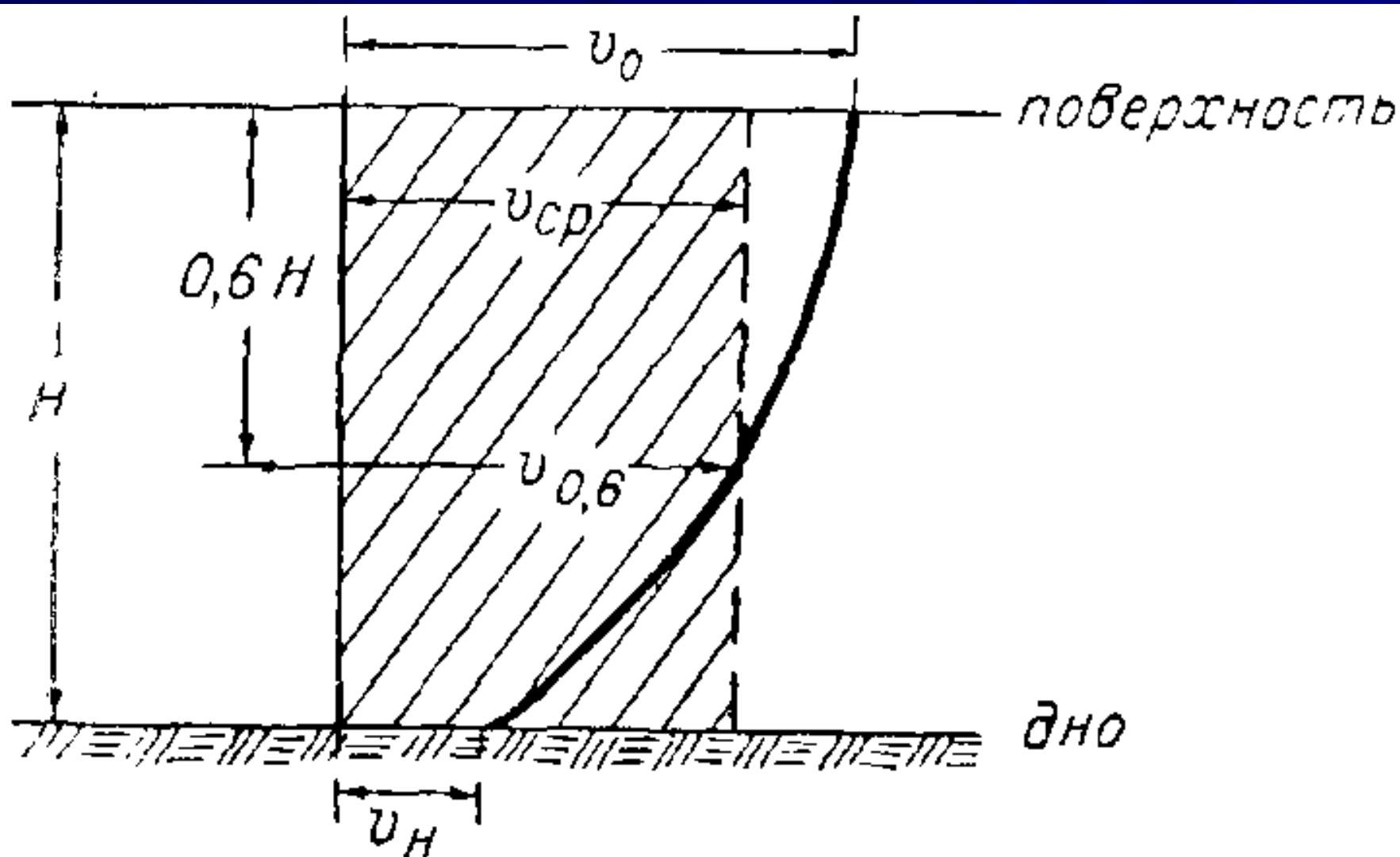
Навигация (Прив: DC)

Скор. Лодки	1.312	[м/с]
Курс Лодки	62.03	[°]
Скор. Воды	0.020	[м/с]
Напр. Воды	134.96	[°]
Выч. Глубина	2.359	[м]
Расстояние	852.39	[м]
Факт. Расст.	823.54	[м]
Факт. Курс	72.96	[°]
Длительность	592.36	[с]
Широта	НЕТ ДАННЫХ	
Долгота	НЕТ ДАННЫХ	

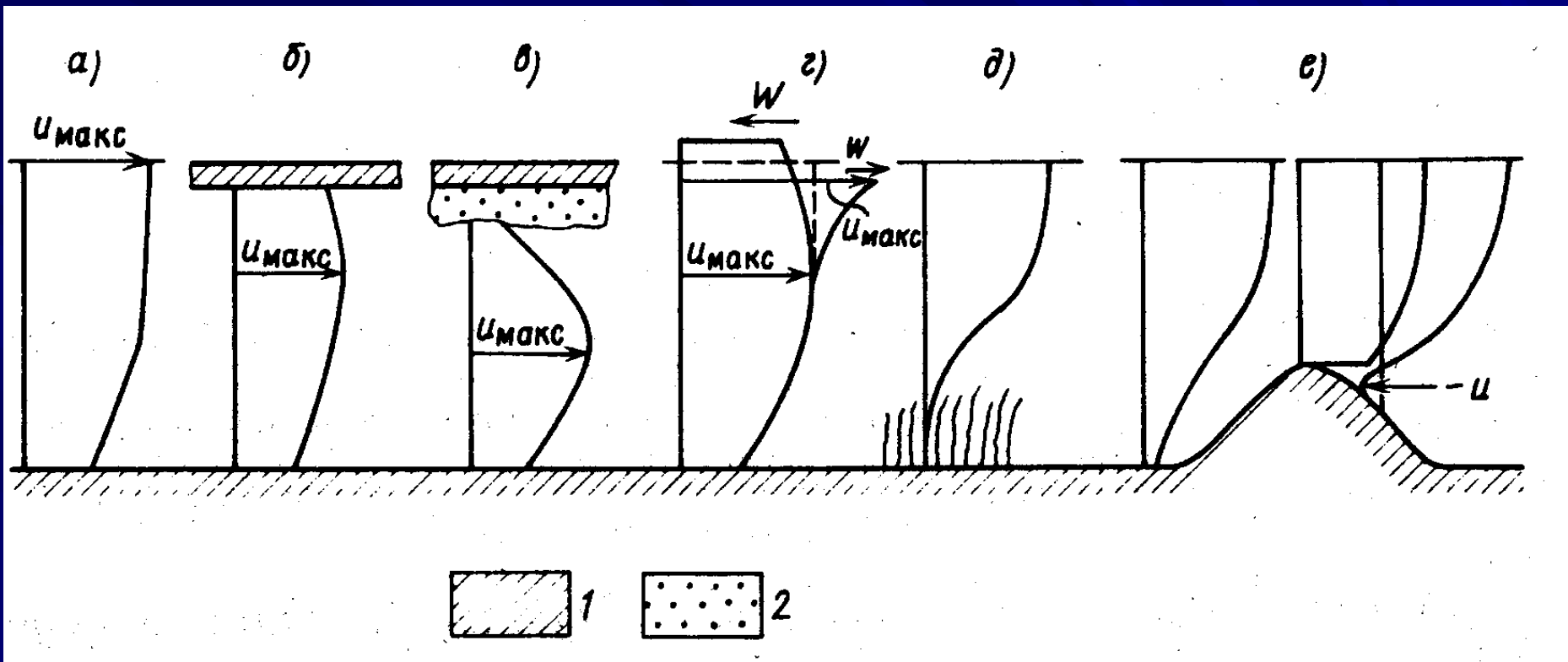
Контур Скорости 1 - TRDI



Характерная эпюра распределения скорости по вертикали речного потока



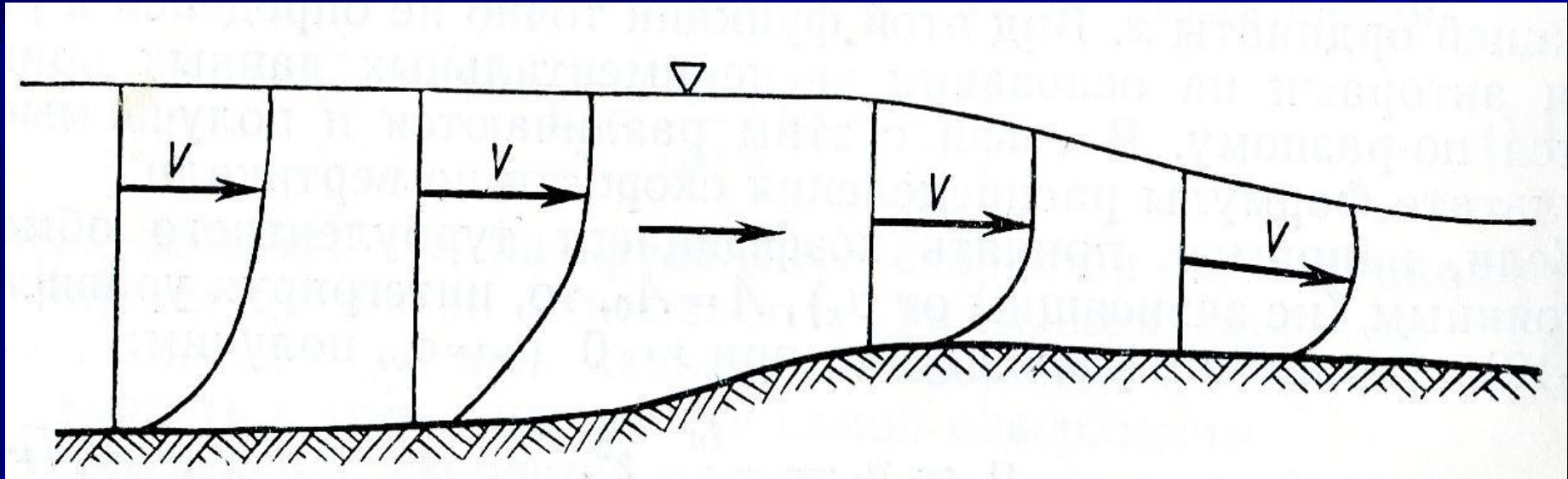
Этюды местных скоростей

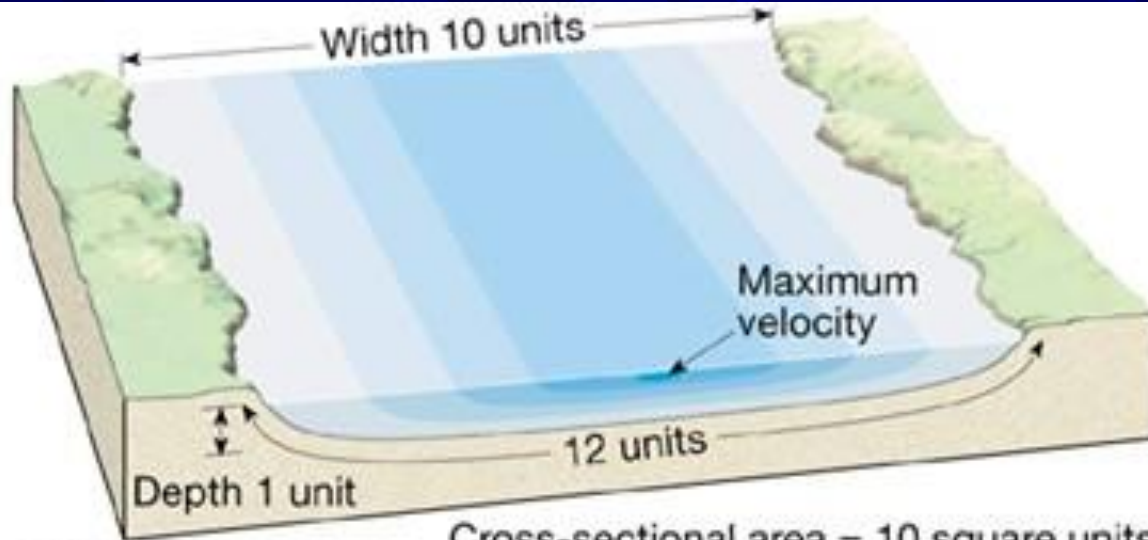


а — типичное, б — под ледяным покровом, в — под слоем внутриводного льда (шуги), г — при попутном и встречном ветре, д — при влиянии растительности, е — при влиянии неровностей дна, 1 — ледяной покров, 2 — слой шуги, W — направление ветра, $u_{\text{макс}}$ — максимальная скорость течения, $-u$ — обратное течение

1-лед, 2 -шуга

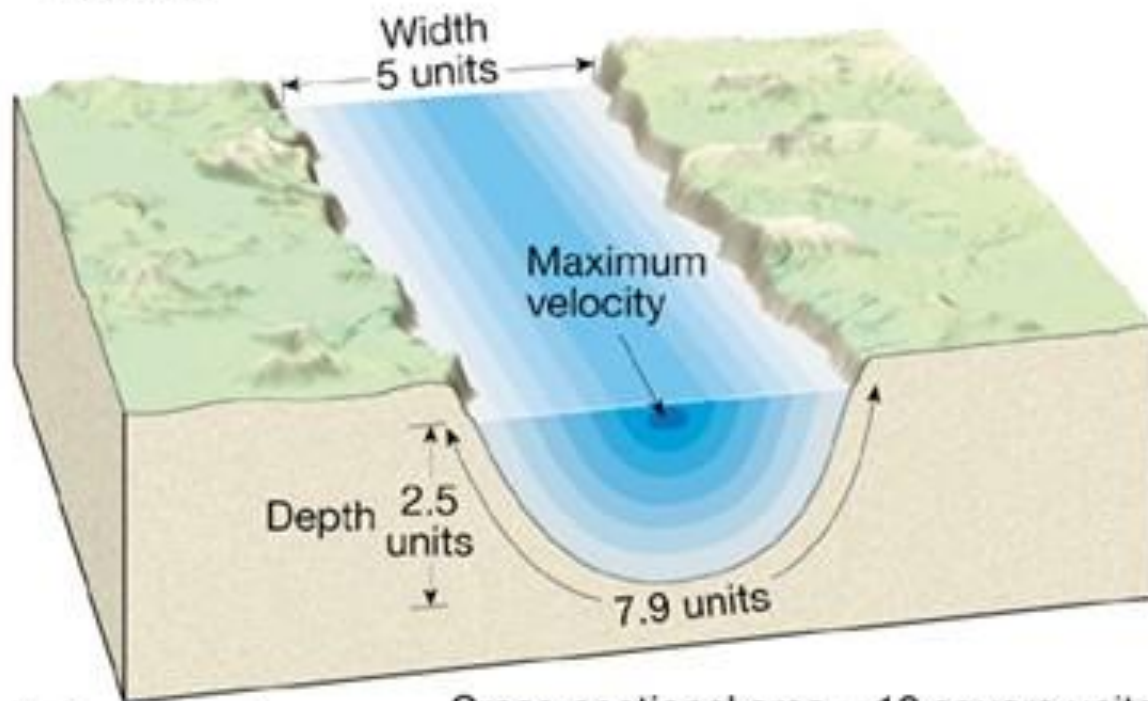
Изменение эпюры скоростей от плеса к перекату в меженъ





A. Wide, shallow channel

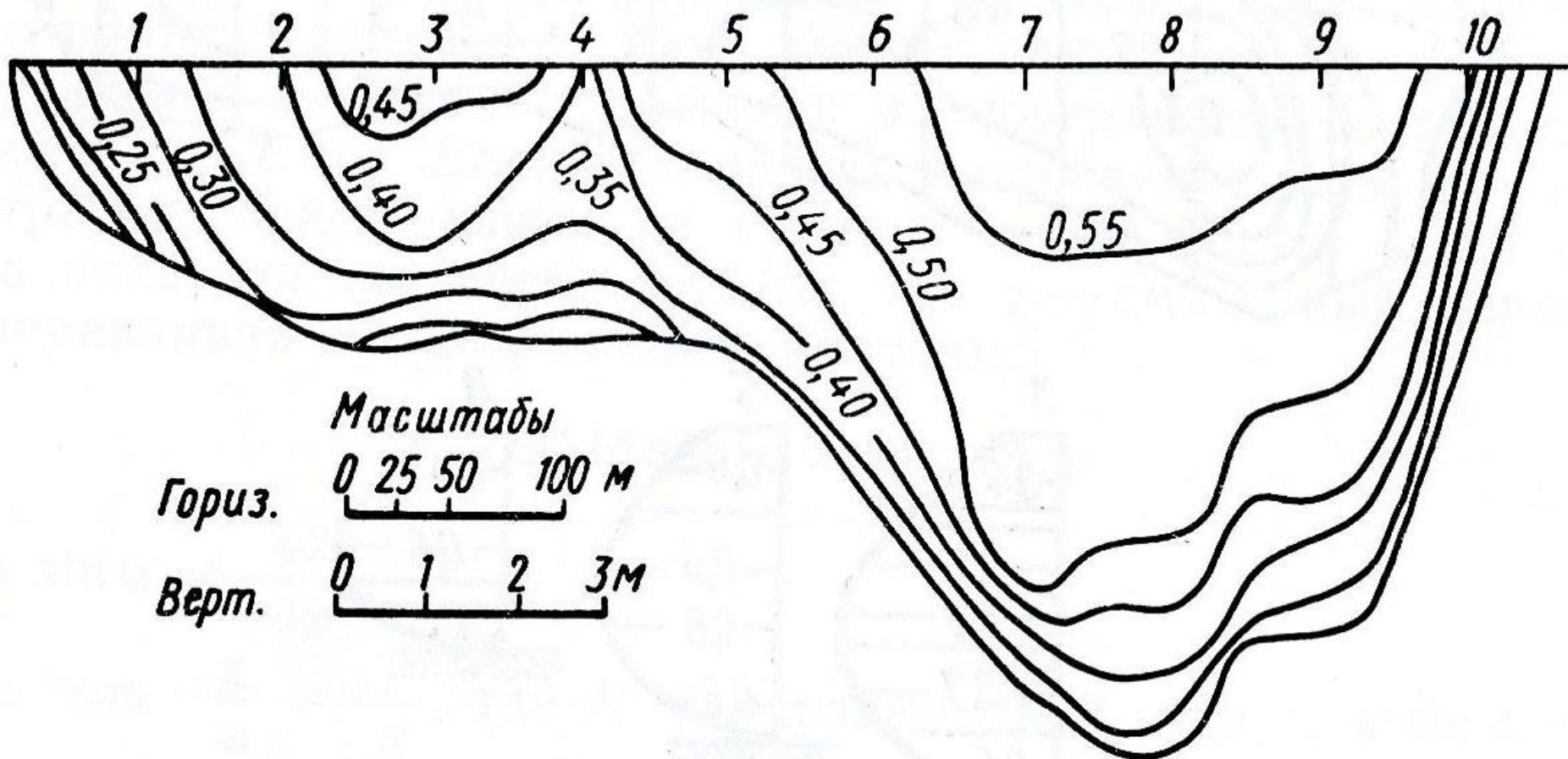
Cross-sectional area = 10 square units
Perimeter = 12 units



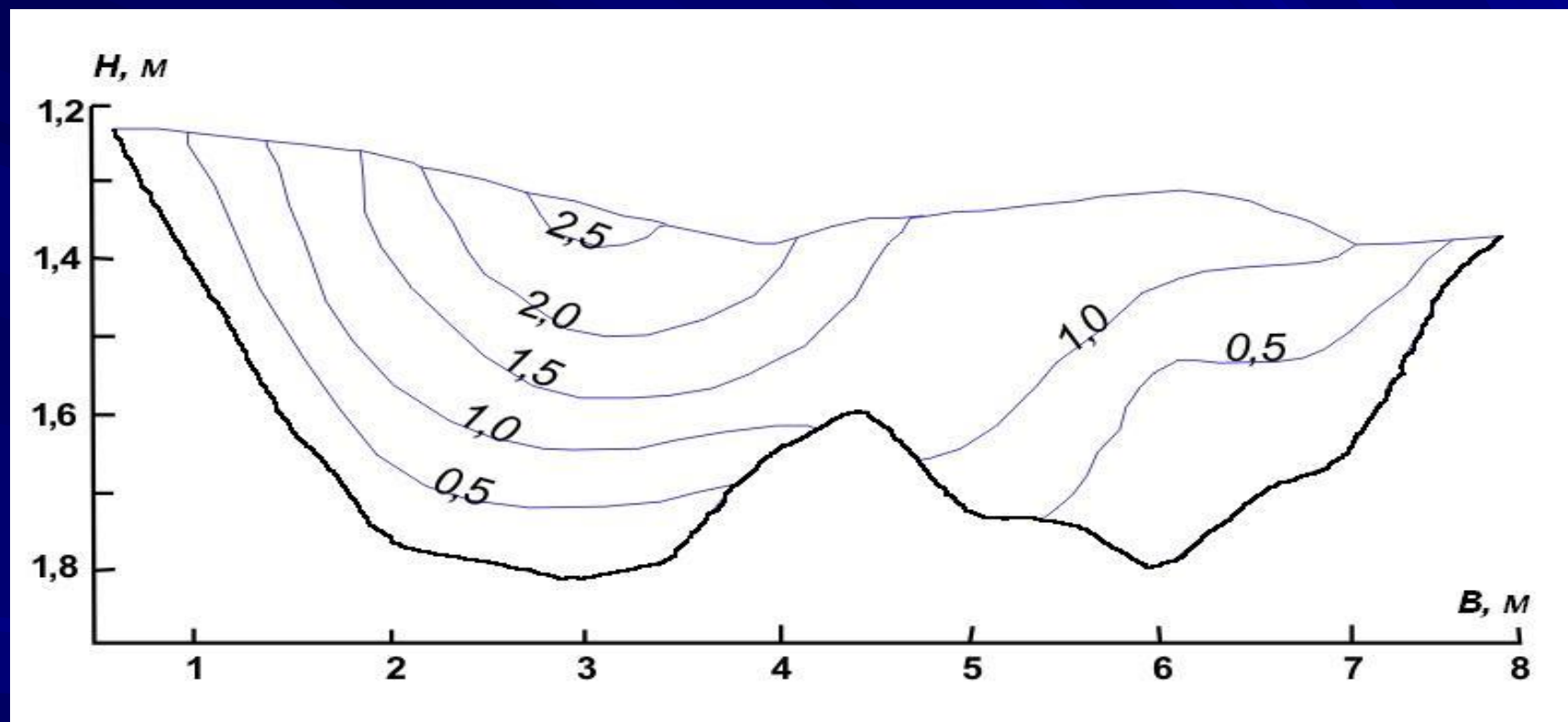
B. Semicircular channel

Cross-sectional area = 10 square units
Perimeter = 7.9 units

Профиль живого сечения реки с изотаксами (м/с)



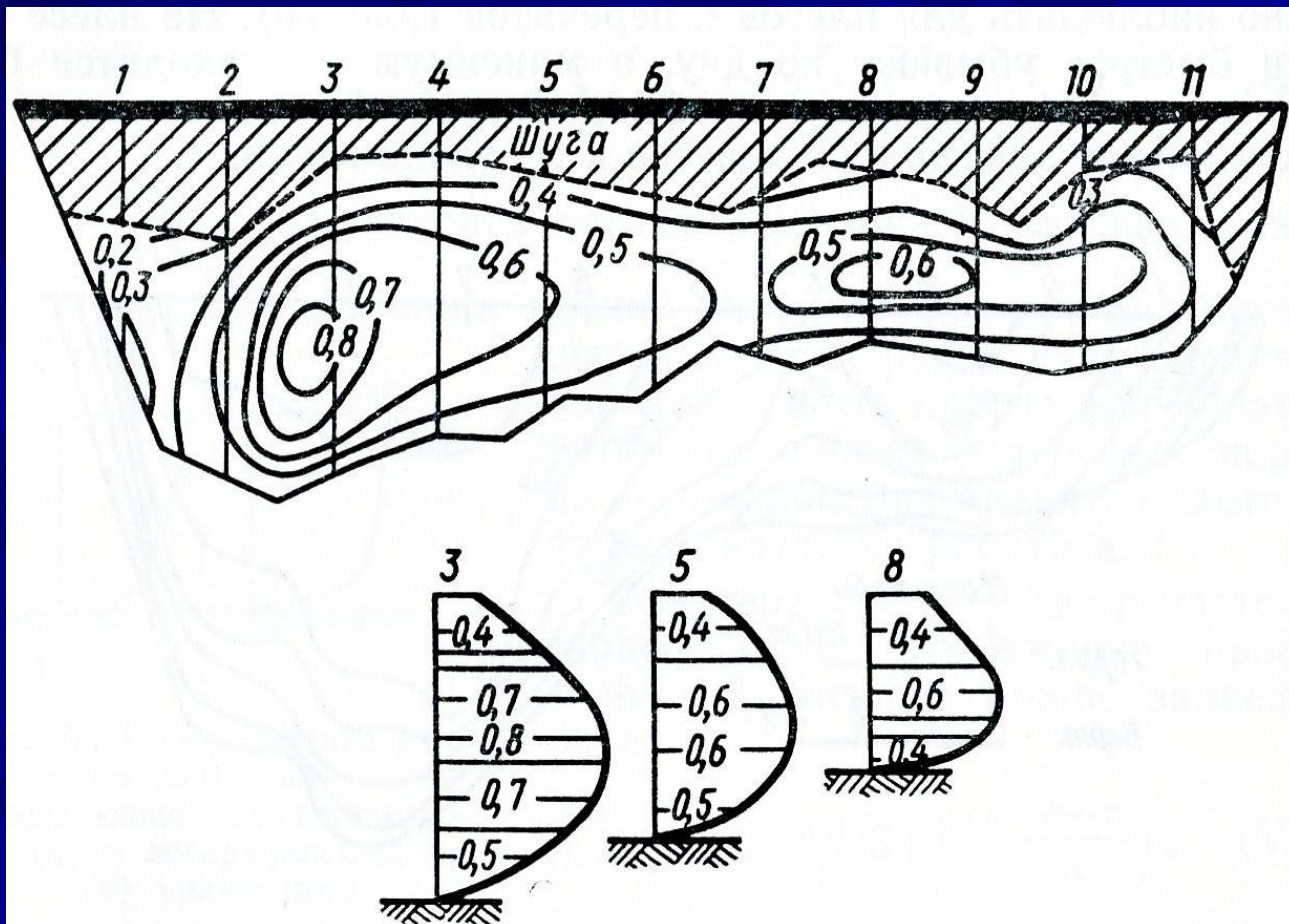
Распределение местных скоростей в поперечном сечении русла горной реки



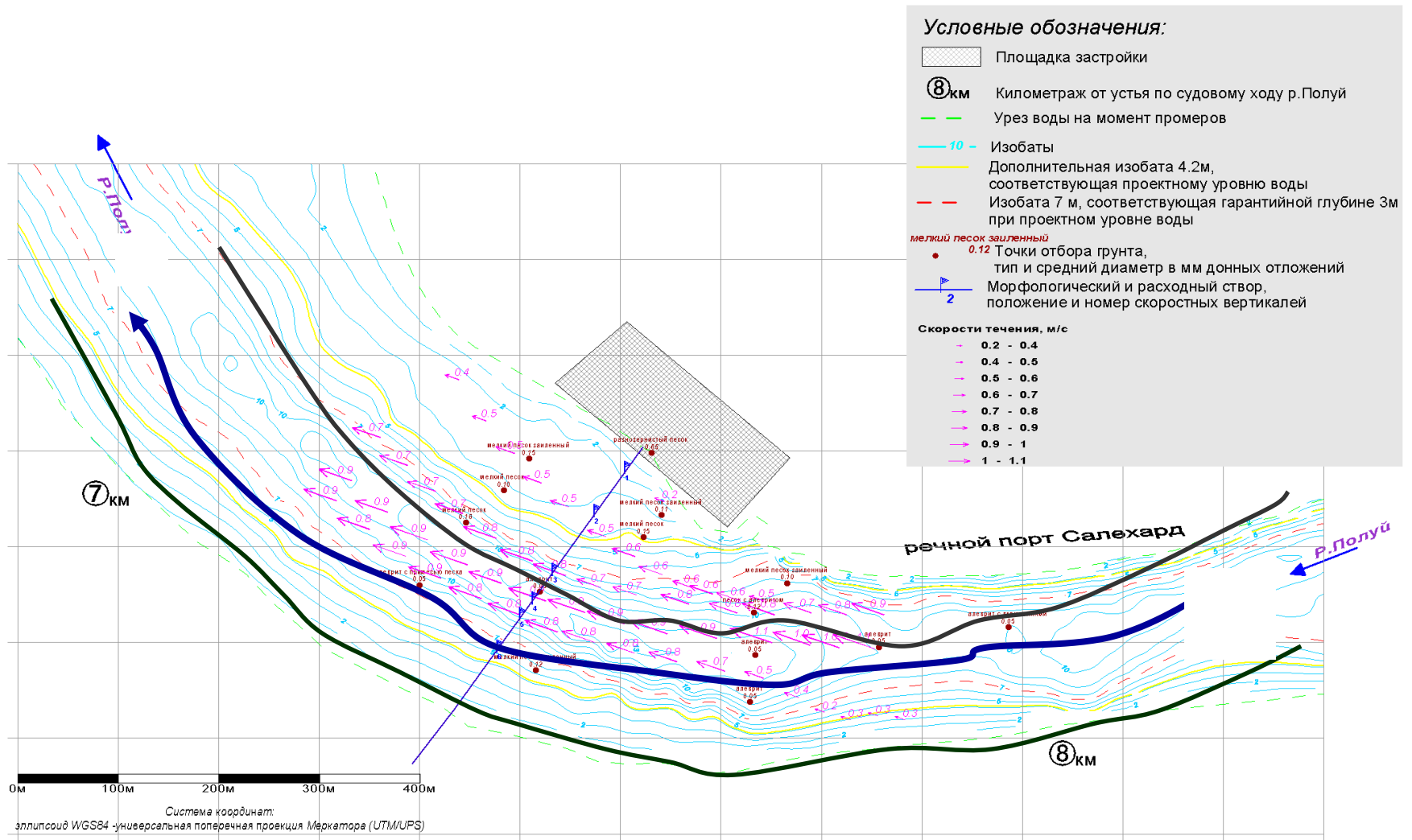
Изотахи – линии равных скоростей

Распределение скоростей в живом сечении при ледоставе

Ледяной покров
вносит
значительные
изменения
в естественный
режим рек и
гидрологические
характеристики
потока. Поскольку
ледяной покров
служит
дополнительной
поверхностью
сопротивления,
происходит
перераспределение
скоростей в потоке.



Линия максимальных скоростей течения (стрелжень) в русле р.Полуй



Изобаты проведены через 1м;
с дополнительной изобатой 4.2м,
соответствующей проектному уровню воды

Отметка уровня воды при промерах: 5.75 м абс.
Отметка проектного уровня : 1.58 м абс.

промеры выполнены:
23.06.2004г.

					Скорости течения и тип донных отложений р.Полуй в половодье у проектируемых сооружений	Лист	Листов
						1	1
					Схема М 1:5000		

Определение расходов воды

**Непосредственное
измерение
расхода**

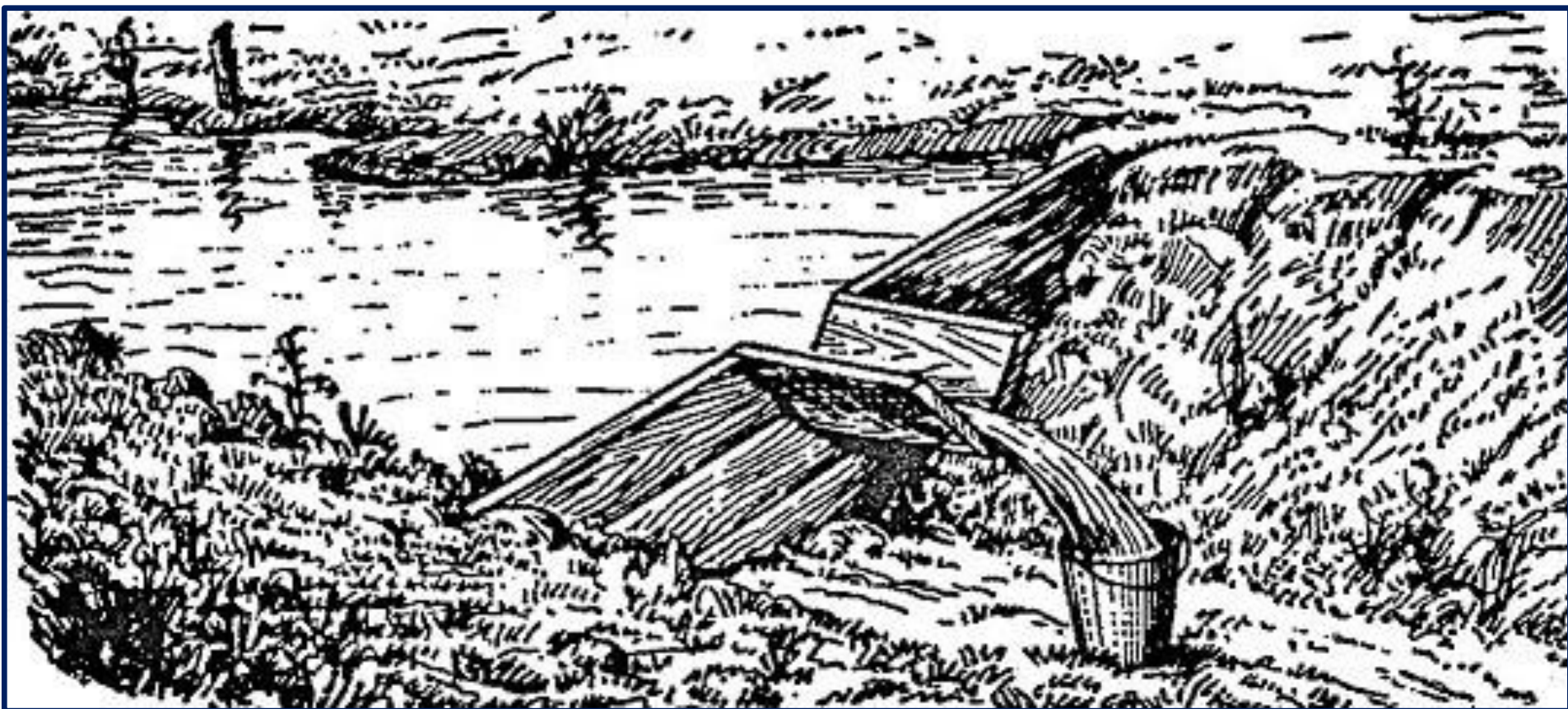
Косвенное определение расхода

**Объемный метод
– определение
времени
наполнения
мерного сосуда**

**Определение количественных
показателей элементов потока:**

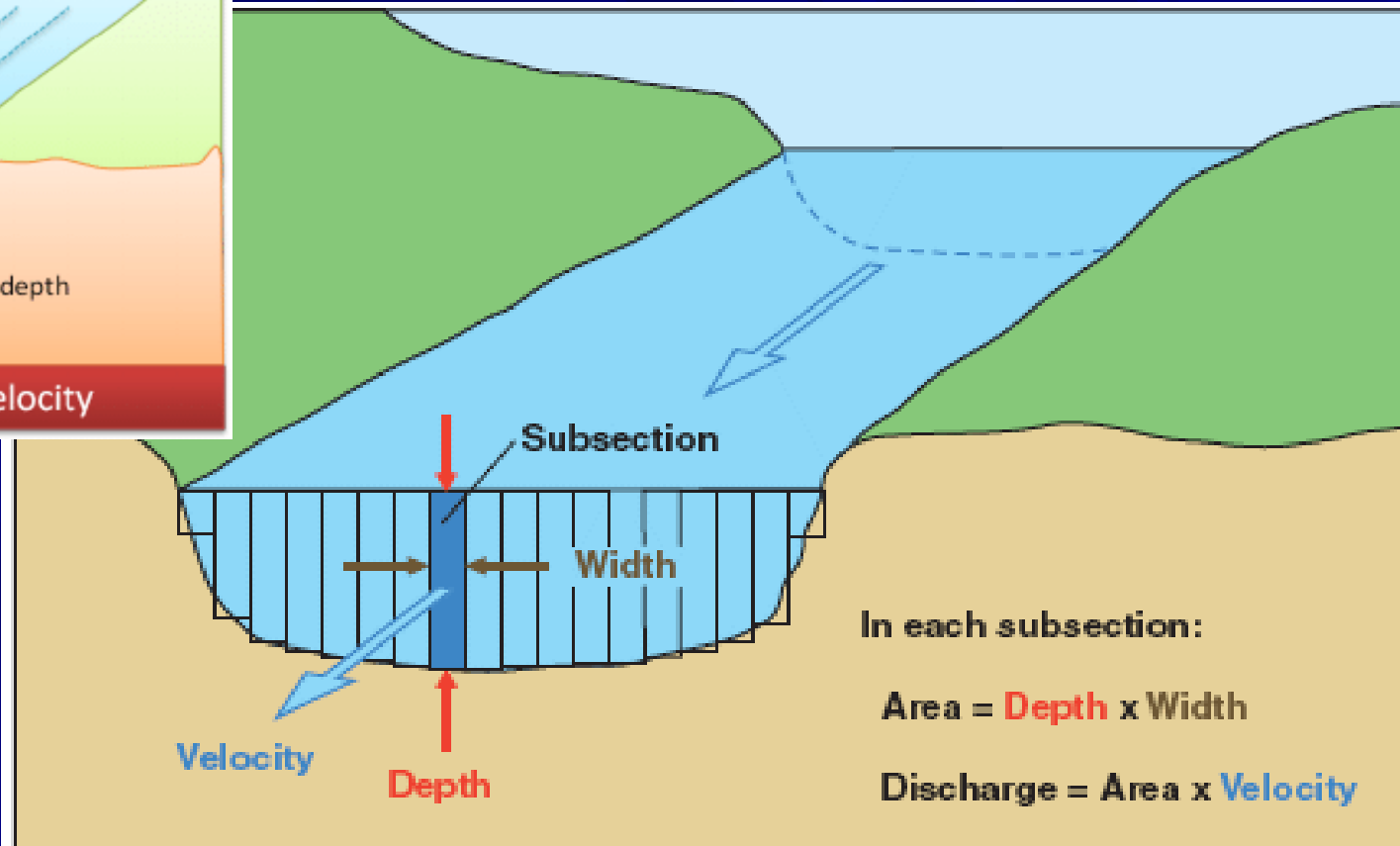
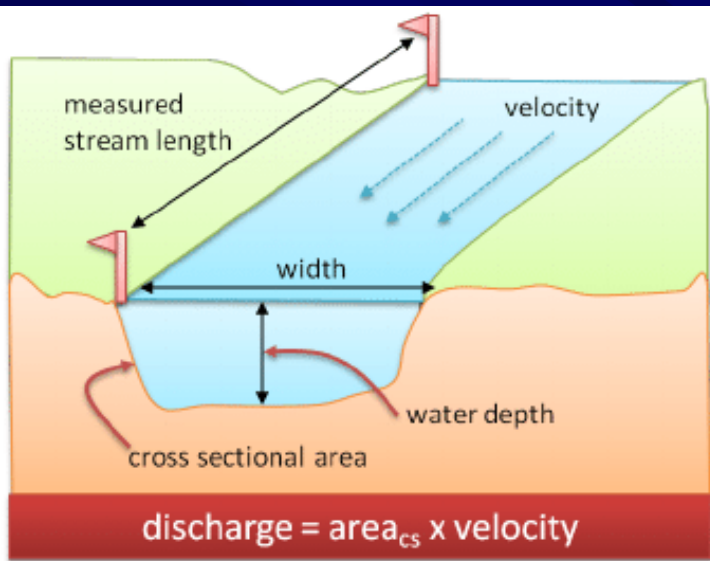
- **Скорость+площадь**
- **Напор перед лотком или водосливом**
- **Изменение электропроводности раствора**

Измерение расхода воды объемным методом



$$Q=V/t$$

Схема определения расходов воды



Current-meter discharge measurements are made by determining the discharge in each subsection of a channel cross section and summing the subsection discharges to obtain a total discharge.

Полевые оценки площади поперечного сечения русла

а



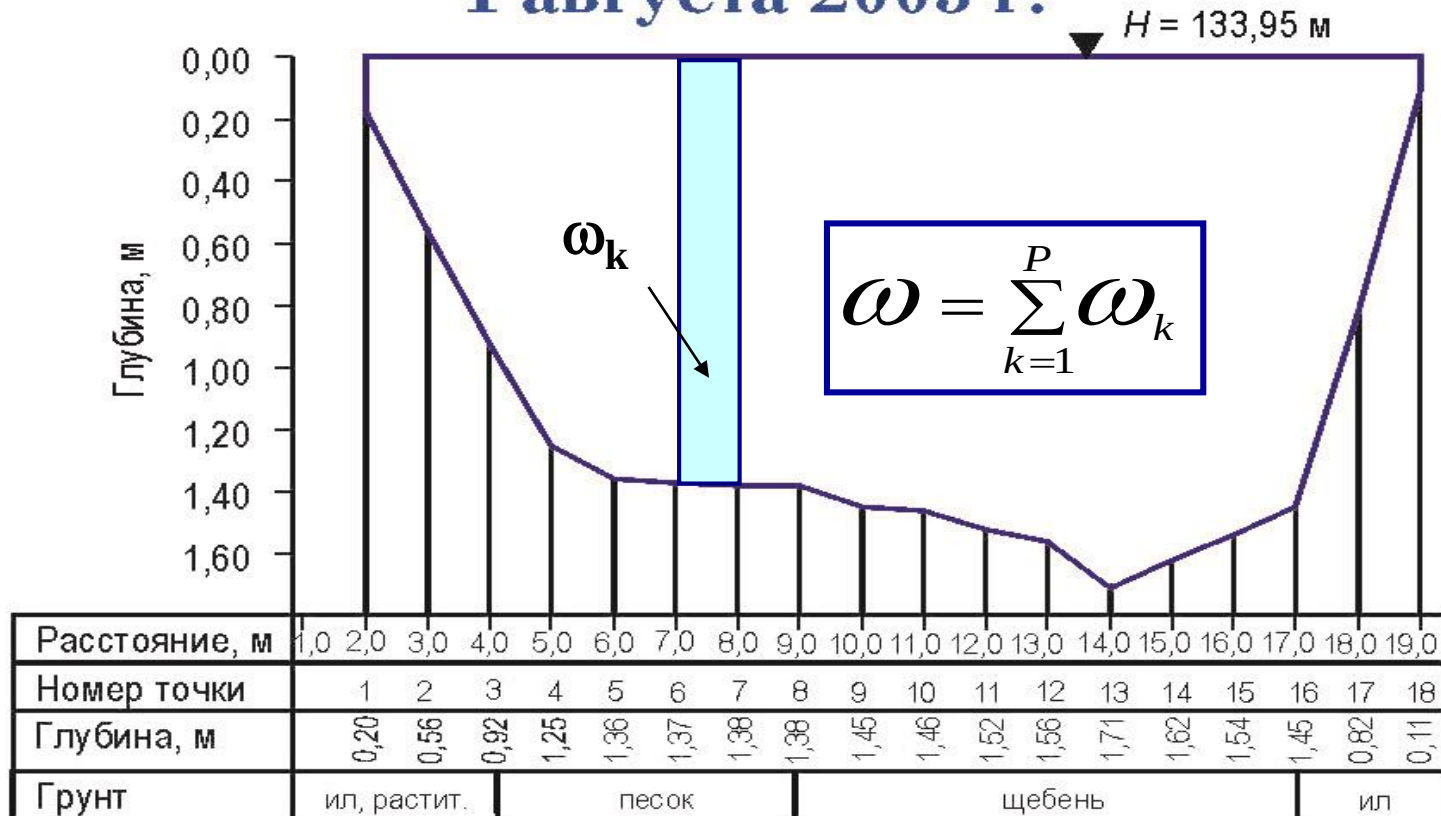
б



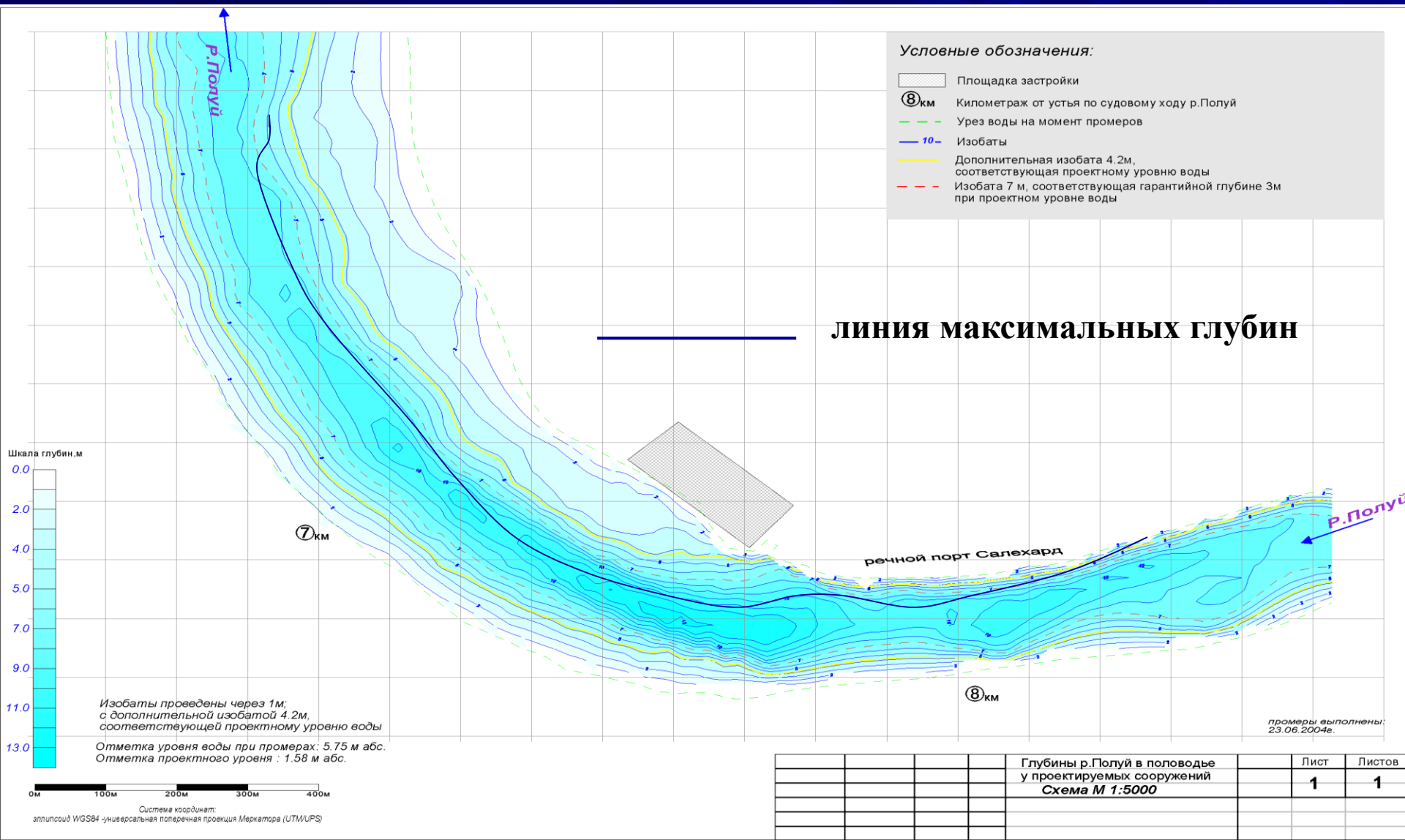
Промерные работы с помощью наметки (а)
и эхолота (б)

Поперечное сечение русла и его площадь

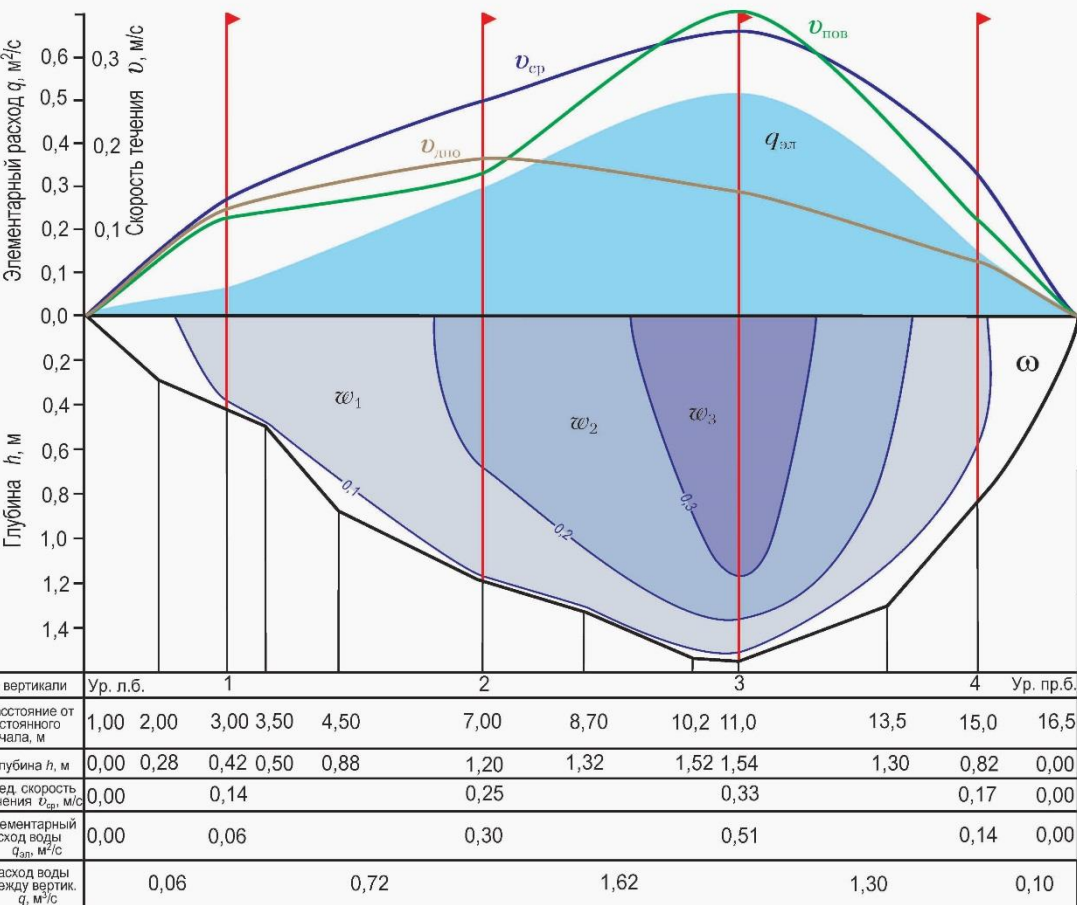
График поперечного профиля русла р. Протвы по данным измерений 1 августа 2005 г.



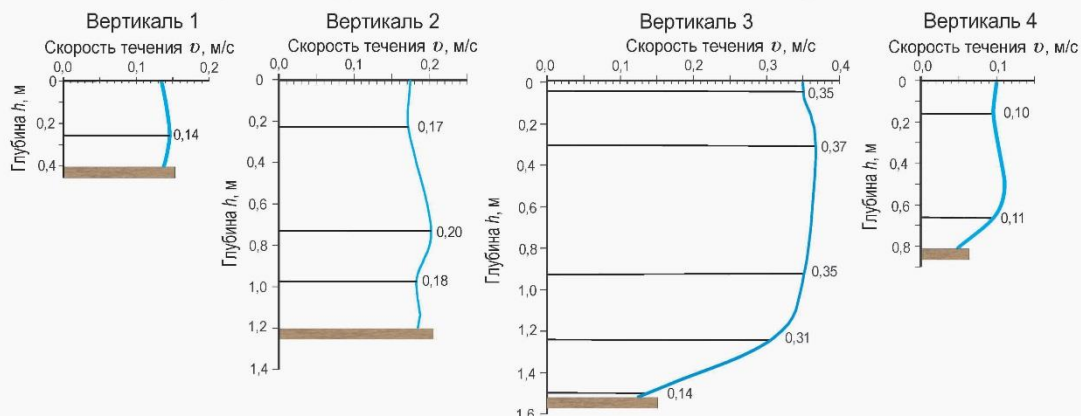
План участка р. Полуй в изобатах



Вычисление расхода воды графическим способом



Этюры скоростей течения воды на вертикалях



**Вычисление
средней
скорости
течения**

**Частные расходы
воды $q_i = \omega_i v_i$**

**Общий расход
воды $Q = \sum q_i$**

**Средняя скорость
потока $V = \sum q_i / \sum \omega_i$**

Расчет расхода воды

$$Q = kv_1\omega_0 + \frac{v_1 + v_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{v_{n-1} + v_n}{2}\omega_{n-1} + kv_n\omega_n,$$

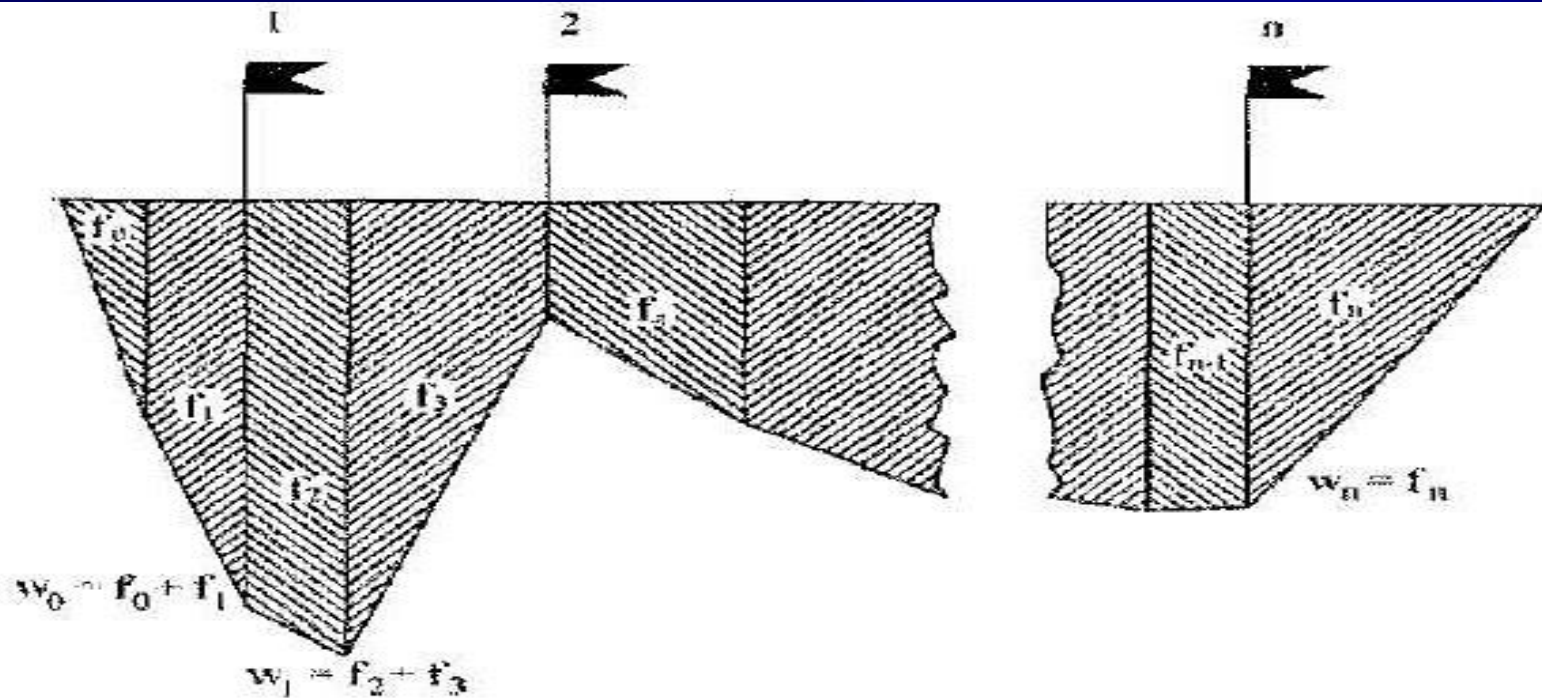
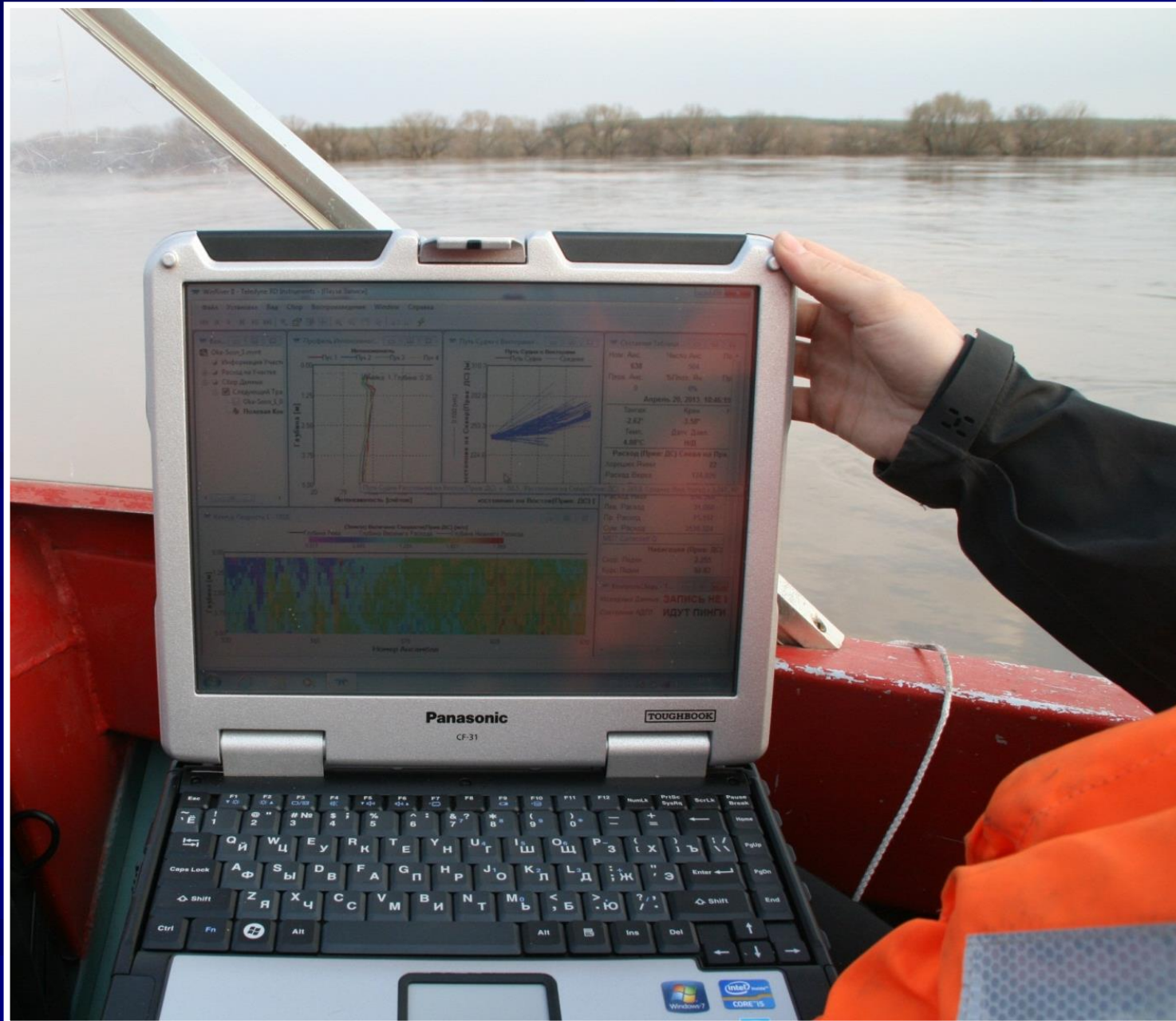


Схема вычисления частичных площадей живого сечения

Акустический доплеровский профилограф «Rio Grande»

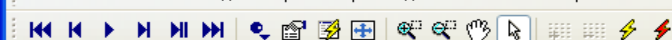


Прибор измеряет одновременно скорость и направление течения, глубину водного объекта до твердого грунта, профиль, определяет толщину слоя подвижного грунта (наносов), измеряет температуру воды. По результатам измерения автоматически указывается площадь водного сечения и суммарный расход воды.



Эффект Доплера — изменение частоты и длины волн, регистрируемых приёмником, вызванное движением их источника и/или движением приёмника.

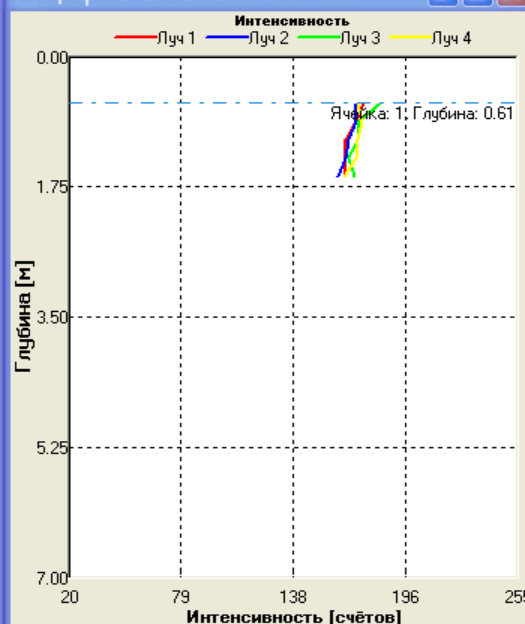




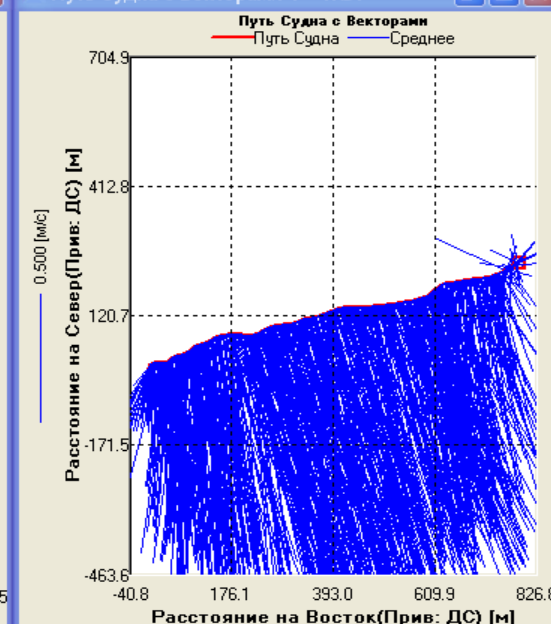
КонтрольИзме...

- kama 24 mai.mmt
- Информация Участка
- Расход на Участке
- ☒ Трансект 000
 - kama 24 mai_0_000.PDO
 - Полевая Конфигурация
 - Конфигурация Воспро
- Сводка Расхода
- QA/QC
- Сбор Данных

Профиль Интенсивности 1 - TRDI



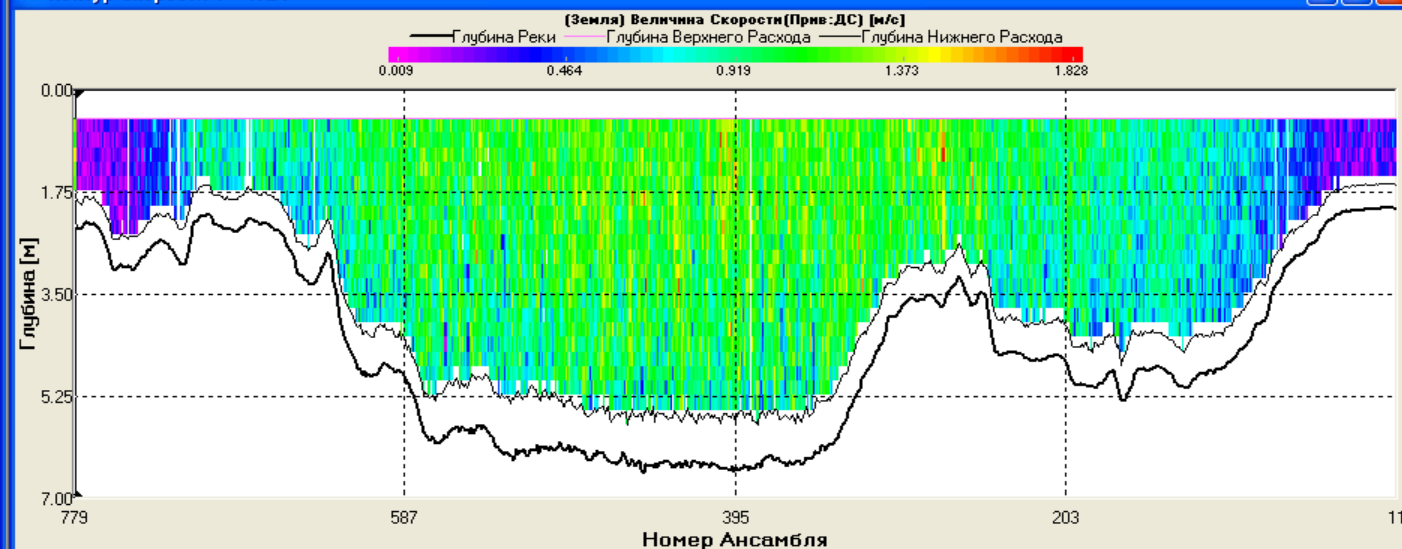
Путь Судна с Векторами 1 - TRDI



Составная Таблица 1 - TRDI

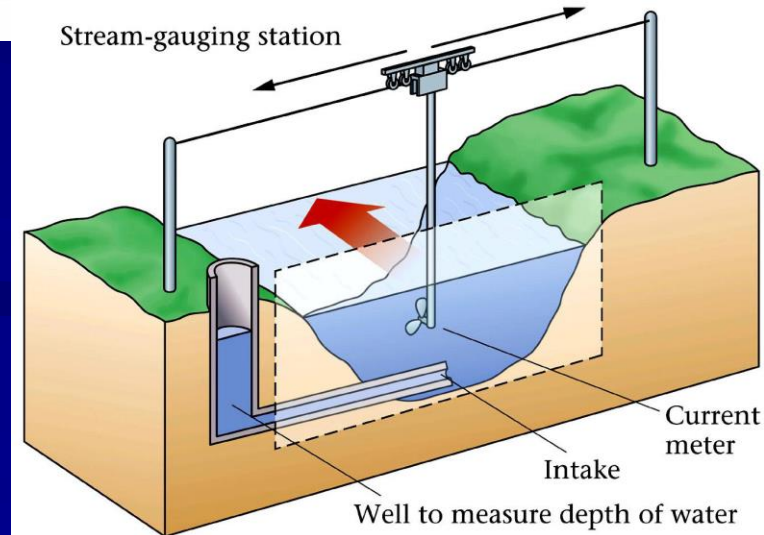
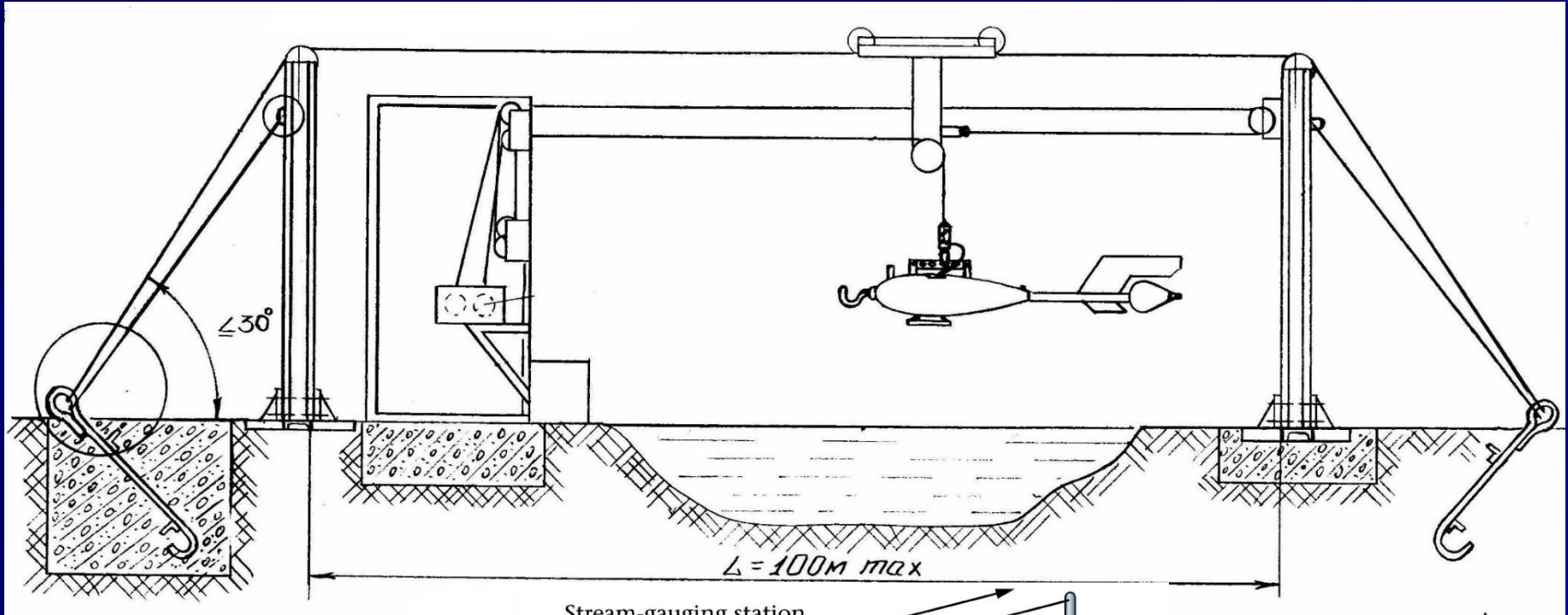
Ном. Анс.	Число Анс.	Потерян.Анс.
779	769	0
Плох. Анс.	%Плох. Яч.	Промежуток
10	0%	0.77
Май 24, 2008 23:01:50.39		
Тангаж	Крен	Направление
-5.37°	0.70°	349.14°
Темп.	Датч. Давл.	
11.70°C	Н/Д	
Расход (Прив: ДС) Справа на Лево		
Хороших Ячеек	5	
Расход Верха	375.815	[м³/с]
Измер. Расход	2501.543	[м³/с]
Расход Низа	414.746	[м³/с]
Лев. Расход	-0.234	[м³/с]
Пр. Расход	0.870	[м³/с]
Сум. Расход	3292.739	[м³/с]
MBT Corrected Q	3292.739	[м³/с]
Навигация (Прив: ДС)		
Скор. Лодки	1.312	[м/с]
Курс Лодки	62.03	[°]
Скор. Воды	0.020	[м/с]
Напр. Воды	134.96	[°]
Выч. Глубина	2.359	[м]
Расстояние	852.39	[м]
Факт. Расст.	823.54	[м]
Факт. Курс	72.96	[°]
Длительность	592.36	[с]
Широта	НЕТ ДАННЫХ	
Долгота	НЕТ ДАННЫХ	

Контур Скорости 1 - TRDI





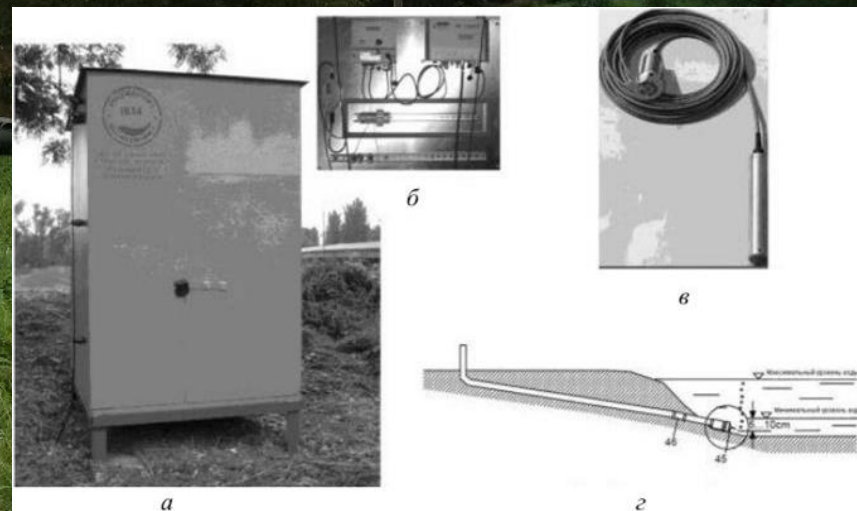
Гидрометрическая дистанционная установка







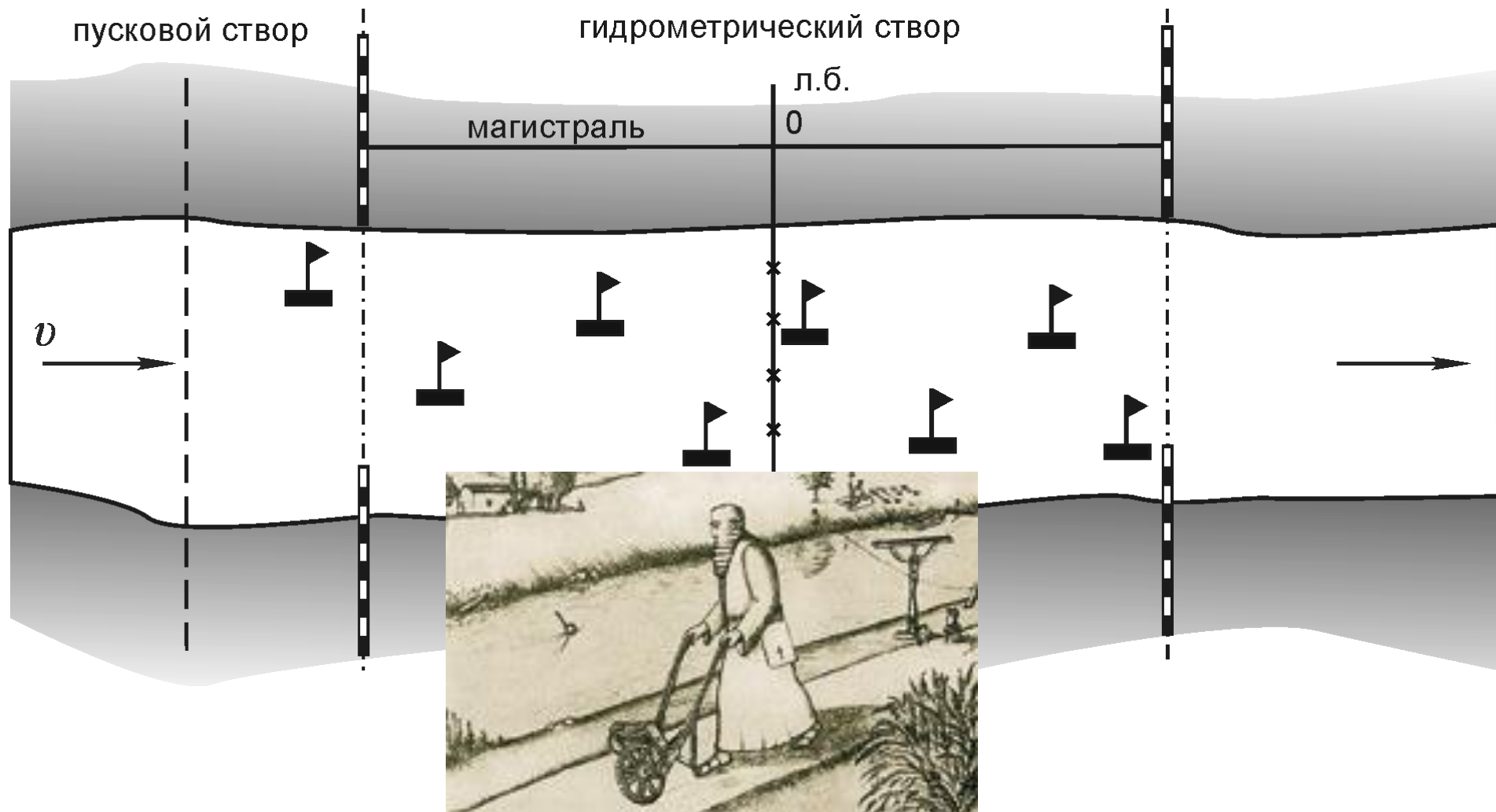
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС



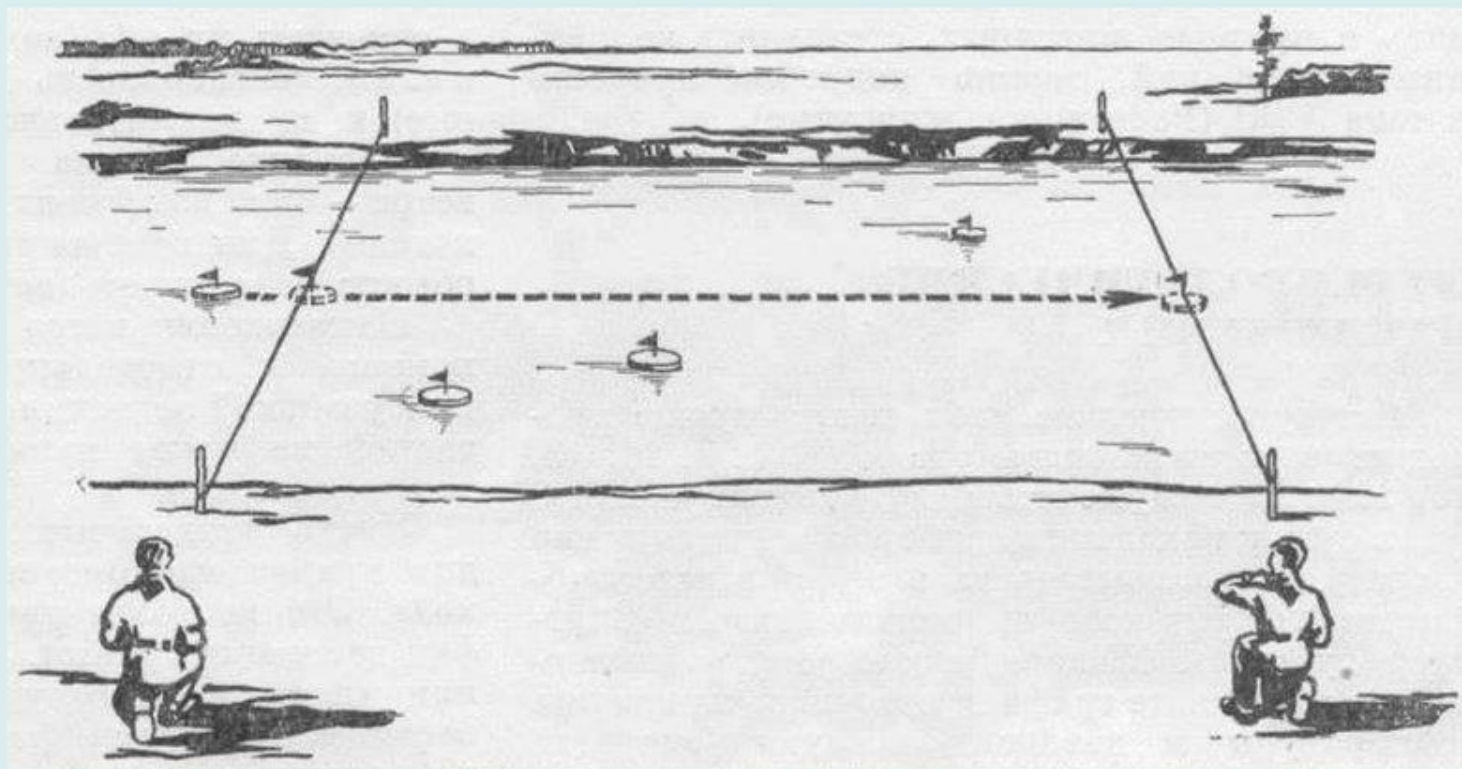




Измерение расхода воды с помощью поплавков



ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПОПЛАВКАМИ



Для измерения поверхностных скоростей выбирают прямой участок длиной не менее $L=50V_{\text{макс}}$.

Поверхностная скорость $V_{\text{п}}=L/t$.

Средняя скорость $V_{\text{ср}}=KV_{\text{п}}$, где K – поправочный коэффициент от поверхностной скорости к средней, приблизительно $K=0,7...0,9$

Продолжительность хода поплавков



Измерение расхода воды с помощью водосливов



$$Q = 2,14 * b * H^{1.55}, \text{ м}^3/\text{с}$$

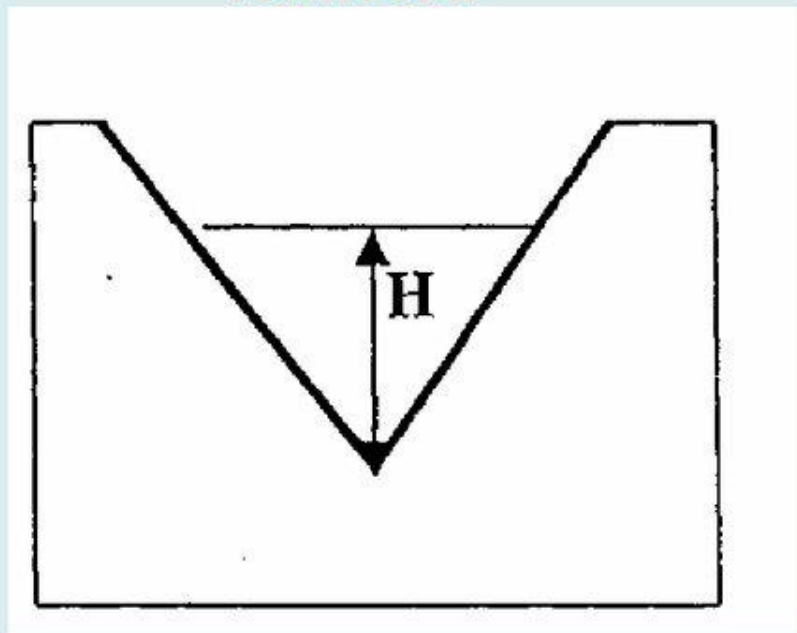
где: b – ширина выходной части горловины лотка (м);

H – глубина воды над порогом лотка в верхнем бьефе (м);



ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДОСЛИВАМИ

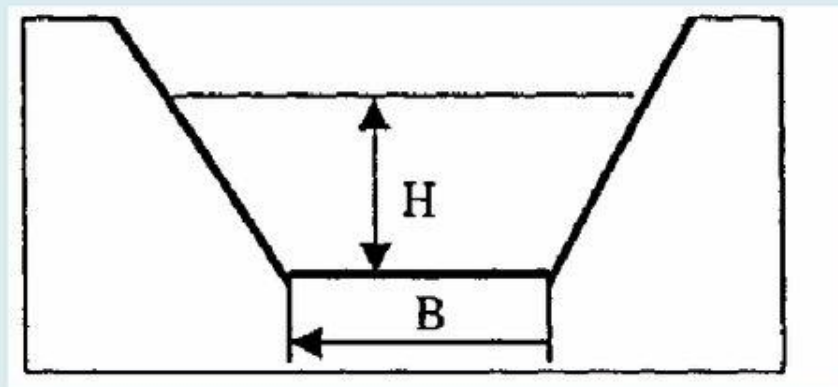
Треугольный водослив
Томпсона



$$Q = 1,4H^{5/2}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

Трапецеидальный водослив
Чиполетти



$$Q = 1,86BH^{3/2}$$

$$\text{tg}\alpha = 0.25$$



***Определение
расхода воды
с помощью
ионного
паводка***

измерительный створ

Измерения расхода воды при помощи ионного паводка



Измерения расхода воды при помощи ионного паводка





Измерения расхода воды при помощи ионного паводка



Измерения расхода воды при помощи ионного паводка



$$Q = \frac{V_p C_p}{F}$$



Измерения расхода воды при помощи ионного паводка в Сатино

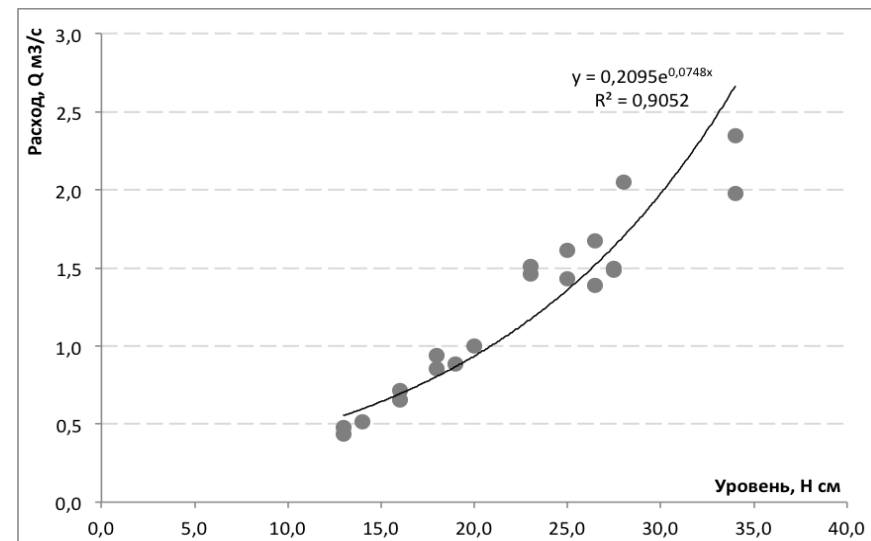


Измерения расхода воды горных рек при помощи ионного паводка



Измерение расходов воды на г/п Джанкуат, сентябрь
2015 год

Зависимость $Q=f(H)$ для конца периода
абляции, сентябрь 2015 г.



Измерения расхода воды при помощи родаминового паводка

- Родамин — флуоресцентный раствор (органический краситель)
- Объём раствора – всего 50 мл
- Измерение концентрации в воде родамина проводилось с помощью полевого флуориметра



Измерения расхода воды при помощи родаминового паводка



Измерения расхода воды при помощи родминового паводка









Расчет расхода воды

GGUN-FL Field fluorometer Vers. 28.0

Uranine

RhodaminWT

AminoGacid

Turbidity

GGUN-FL30#631

Russian test.m.v

ppb max

150

ppb min

0

Vert. scale

100



station

Location

Station

Site

Gauging

N° gauging

Measured on

Date

Height

Water height

Name of stream

Stream name

Expected Q (m3/s)

0.2

Operators

Field operators

Processing operators

Data operators

Mixing coefficient

1.00

Injection time

19 46

Observations

Calibrating solution (ppb)

100

Type 0 here to change

RESULTS

Noise

19.67

r.m.s.

0.00

Calibration ppb

100.00

r.m.s.

0.00

Flowrate (m3/s)

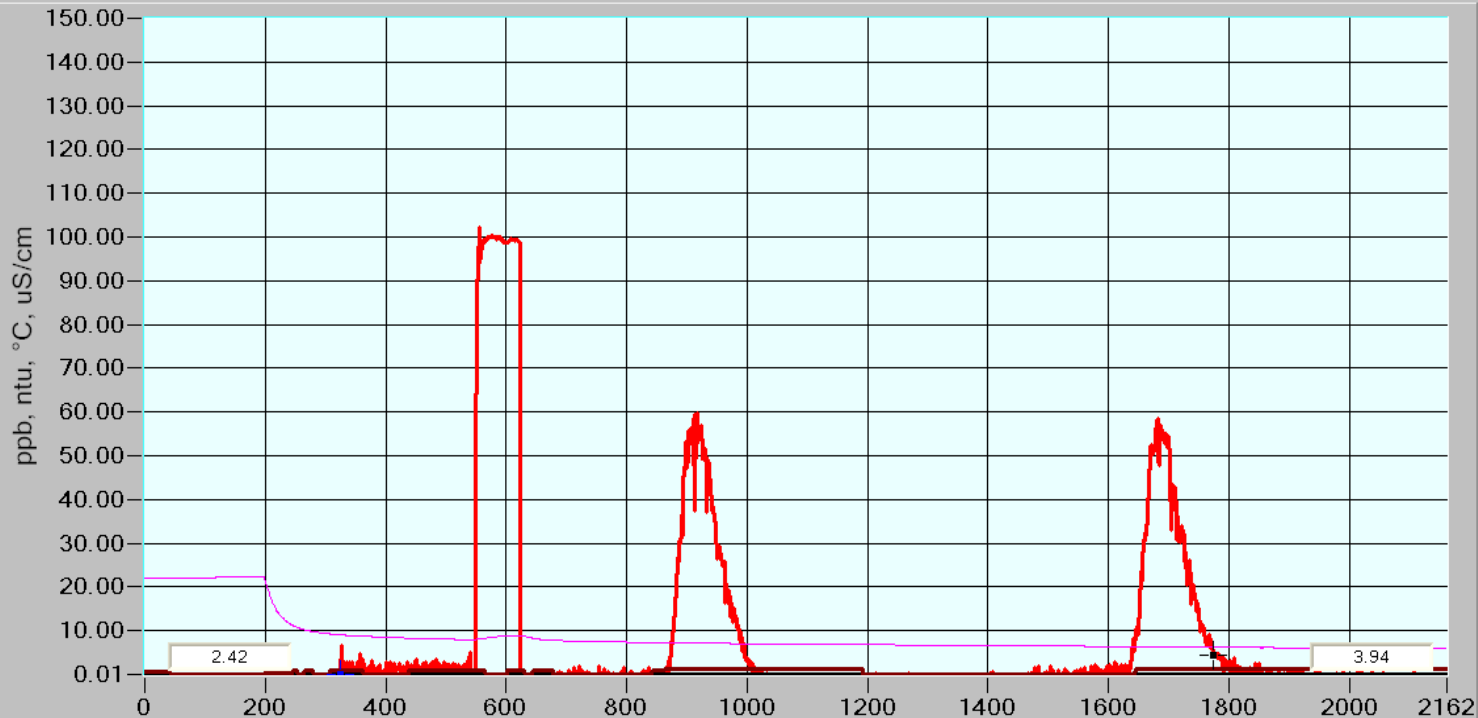
6.23410

+/- %

2.5

% of expected Q

3017.05



Gauging by Tracer dilution

Report

6.278

6.190

m (grams)

56.15

volume (ml)

50.00

mass/flow injected

temperature °C correction

7.15

Flowrate

Select data segments with the 2 cursors. In turn, enter following segments:

- baseline
 - calibration
 - breakthrough
- max. 5 segments of each

ZOOM: click with right-hand mouse button.

Method

global

constant

Sample

Exit

Print

Lin Log

100 ppb Auto

Setup New acquisition Process mV Read FlashCard Calibration GPRS



Схема к выводу уравнения квазиправномерного движения руслового потока:

а – продольный, б – поперечный разрезы



Закон изменения количества движения (импульса), значений действующих сил в проекции на направление движения (ось x) позволяет получить следующее выражение:

$$m \frac{dv}{dt} = F'_g - T_{\text{дно}} - \Delta P + T_{\text{ветр}}$$

Перед ΔP поставлен отрицательный знак, поскольку положительное ускорение ($dv/dt > 0$) объем воды может приобрести лишь при уменьшении давления вдоль потока, т.е. когда $\Delta P < 0$. Трение на дне всегда направлено навстречу движению и поэтому $T_{\text{дно}}$ также имеет отрицательный знак.

Закон изменения количества движения (импульса), значений действующих сил в проекции на направление движения (ось x) позволяет получить следующее выражение:

$$m \frac{dv}{dt} = F'_g - T_{\text{дно}} - \Delta P + T_{\text{ветр}}$$

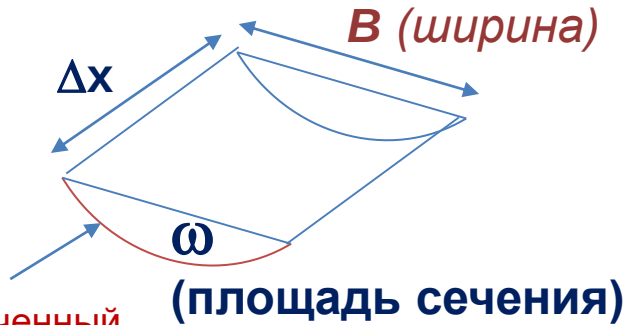
При равномерном движении $dV/dt = 0$, т.е. имеем $\Sigma F = 0$.

Если действуют лишь силы F'_g и $T_{\text{дно}}$, то получим простое соотношение:

$$F'_g = T_{\text{дно}}.$$

m – **масса воды в отсеке**, равная $\rho \Delta x \omega$

$$m = \rho V; V = \Delta x \omega; m = \rho \Delta x \omega$$



Сила тяжести, действующая вертикально вниз, равна $F_g = mg$, а ее продольная составляющая, действующая вдоль уклона водной поверхности, равна $F'_g = mg \sin \alpha = mgI$,

где α — угол между горизонтальной плоскостью и поверхностью воды, $\sin \alpha = \Delta H / \Delta x = I$ — **уклон водной поверхности** (величина безразмерная), ΔH — **падение уровня** вдоль участка Δx .

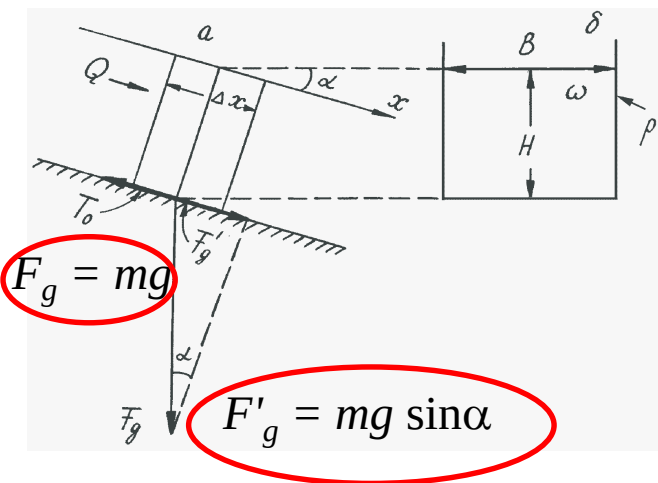
Трение на дне $T_{\text{дно}}$ равно $T_{\text{дно}} = S_{\text{дно}} \tau_{\text{дно}}$,

где $S_{\text{дно}} = \Delta x \rho$, а

$\tau_{\text{дно}}$ - **удельное трение** (касательное напряжение) согласно законам гидродинамики может быть выражено следующим образом:

$$\tau_{\text{дно}} = f_{\text{дно}} \rho v^2,$$

где $f_{\text{дно}}$ — коэффициент гидравлического сопротивления.



Вывод формулы Шези

$$m \frac{dV}{dt} = \sum F$$

m – масса воды в отсеке, равная $\rho \Delta x \omega$, dV/dt – ускорение движения, $\sum F$ – сумма действующих на отсек воды внешних сил (**продольная составляющая силы тяжести**, равная $F_g = mg \sin \alpha = \rho g \Delta x \omega I$, где I – уклон водной поверхности

и противоположно направленная **сила трения у дна** $T_{\text{дно}}$, равная $\tau_{\text{дно}} \Delta x p$, где $\tau_{\text{дно}}$ – **удельное трение** (трение на единицу поверхности дна) или так называемое касательное напряжение с размерностью Н/м², а p – смоченный периметр.

Если принять движение воды квазиравномерным, т.е. близким к равномерному, то имеем $dV/dt \sim 0$, и левая часть уравнения, описывающего второй закон механики, превращается в нуль. В этом случае и $\sum F = 0$.

$$\sum F = F'_g - T_{\text{дно}} = \rho g \Delta x \omega I - \tau_{\text{дно}} \Delta x p$$

$$\sum F = 0.$$

Для турбулентного движения:

Обозначим:

$$\rho g \Delta x \omega I = \tau_{\text{дно}} \Delta x p$$

$$\tau_o = \rho f_{\text{дно}} v^2$$

$$C^2 = g / f_{\text{дно}}$$

Динамика речного потока. Формула Шези-Маннинга

$$V = C \sqrt{hI}$$

$$C = \frac{1}{n} h^{1/6}$$

C – коэффициент
Шези

($C=30-80 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$),

n – коэффициент
шероховатости

($n=0,02-0,03$),

h - глубина
потока (м),

I – уклон водной
поверхности

($I = 0,00003-0,001$)

Коэффициент шероховатости русла

- Коэффициент шероховатости речного русла ***n*** находят по специальным таблицам.
- Например, для ровных незаросших русел с песчаным дном $n = 0,020 \div 0,023$; для извилистых русел с неровным дном $n = 0,023 \div 0,033$; для пойм, заросших кустарником, $n = 0,033 \div 0,045$ и т. д.

Коэффициент шероховатости

- Коэффициент шероховатости определяется по специальным таблицам



извилистое не заросшее русло

$n = 0,023 - 0,033$



пойма, заросшая кустарником

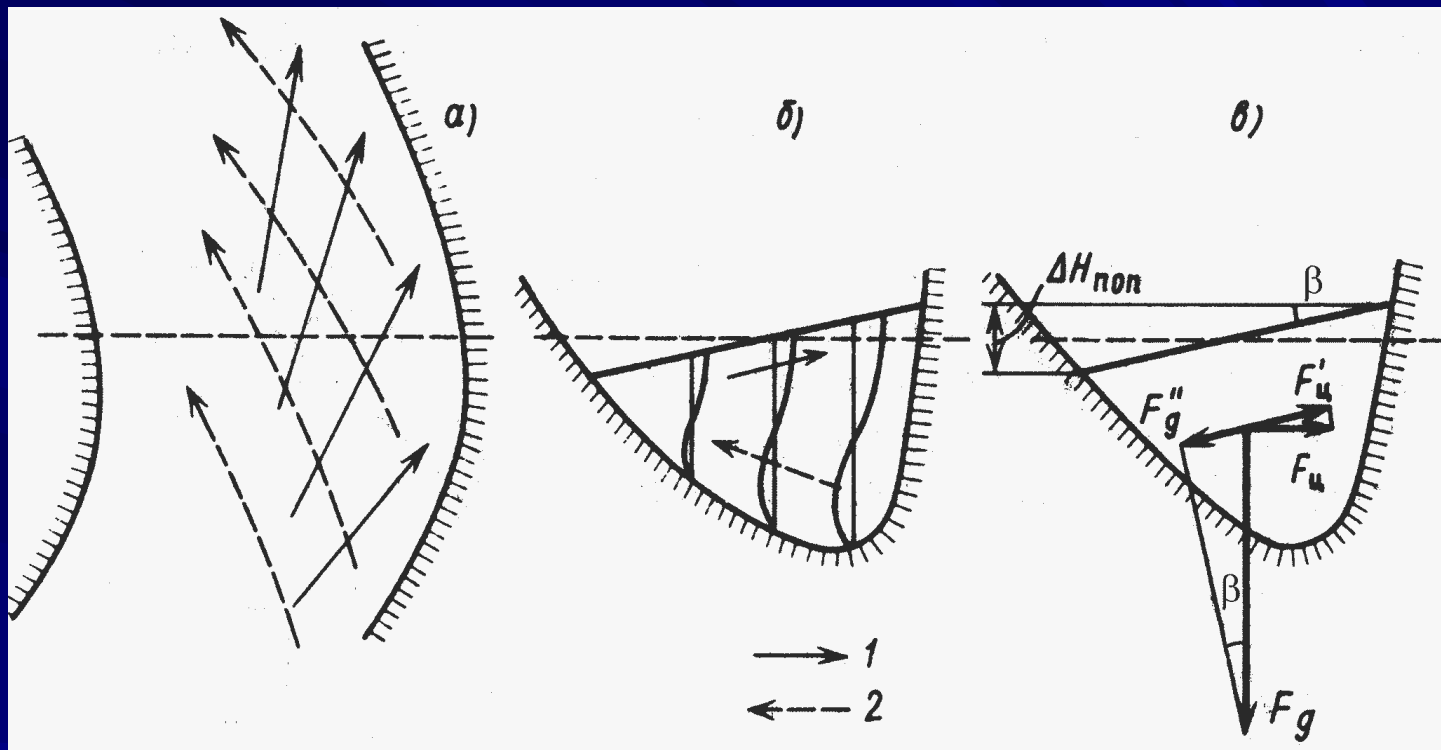
$n = 0,033 - 0,045$

При заданных расходе воды Q , ширине и шероховатости русла B и n , уклоне дна i_o , равном уклону водной поверхности I (это справедливо при равномерном движении воды), в потоке сформируется вполне определенная глубина

$$h_{\text{ср}} = \left(\frac{Qn}{B\sqrt{i_o}} \right)^{3/5}$$

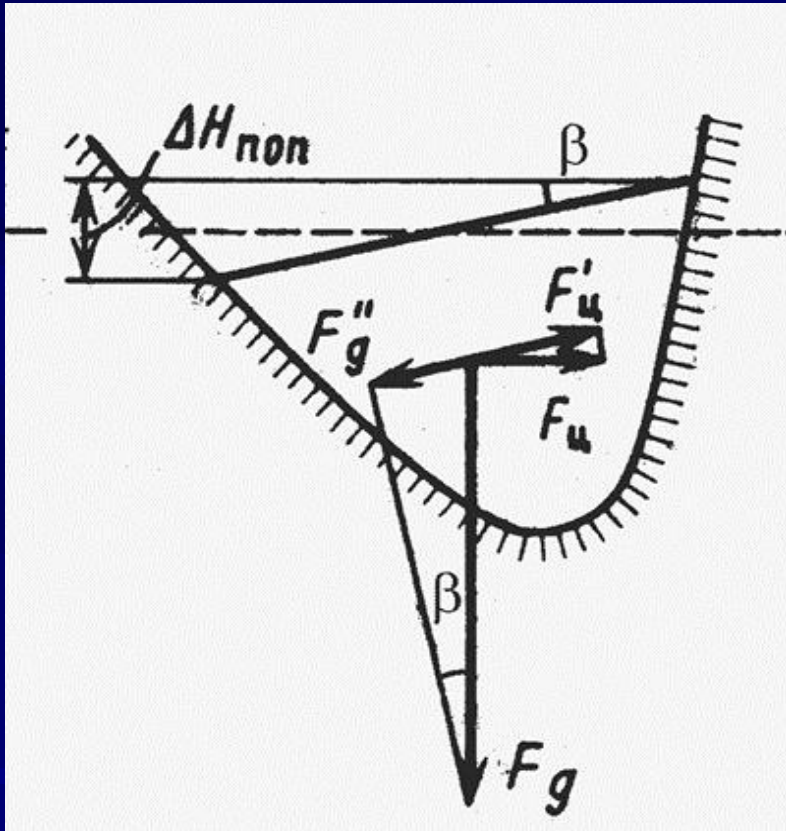
Схема поперечной циркуляции на изгибе речного потока в плане (а) и поперечном разрезе (б) и схема действующих сил (в):

1 — поверхностные струи 2 — придонные струи



- На изгибе речного русла центробежная сила приводит к отклонению течения в поверхностных слоях в сторону вогнутого берега, что создает поперечный перекося уровня воды.
- В результате избытка гидростатического давления у вогнутого берега в придонных слоях возникает течение, направленное в сторону выпуклого берега.
- Складываясь с основным продольным переносом воды в реке, разнонаправленные течения на поверхности и у дна создают спиралевидное движение воды на изгибе речного русла — поперечную циркуляцию.

Определение поперечного уклона



Проекция центробежной силы F'_u на линию, проходящую через центр тяжести поперечного сечения русла параллельно водной поверхности, будет равна поперечной составляющей силы тяжести F''_g , обусловленной поперечным уклоном.

$$F'_u = F_u \cos \beta \text{ и}$$

$$F''_g = F'_g \sin \beta = F_g I_{\text{поп.}}$$

$$I_{\text{поп.}} = \sin \beta$$

Определение поперечного уклона

В приведенных выражениях $I_{\text{поп}}$ — поперечный уклон водной поверхности, u — средняя скорость течения, r — радиус изгиба русла, β — угол наклона уровня в поперечном направлении.

Подставляя эти выражения в уравнение $F'_{\text{ц}} = F''_g$, получим

$$mu^2 \cos \beta / r = mgl_{\text{поп}}.$$

Считая, что при малой величине угла β $\cos \beta \sim 1$, и решим полученное уравнение относительно $I_{\text{поп}}$

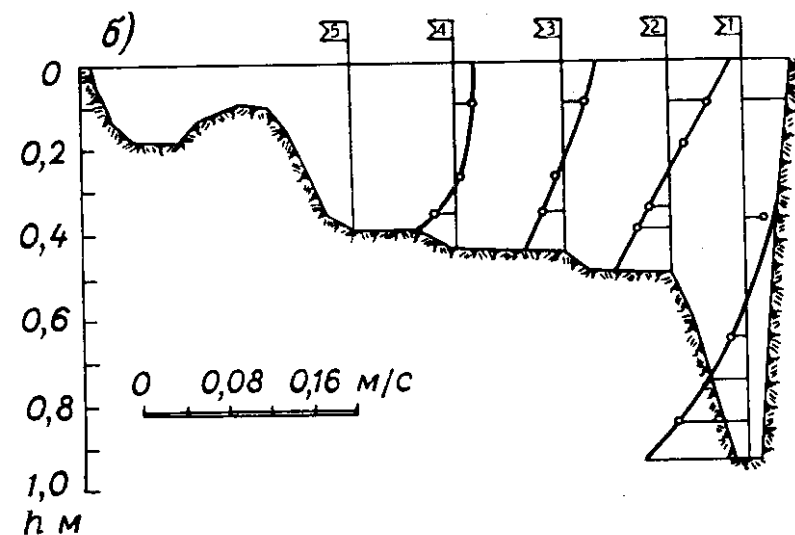
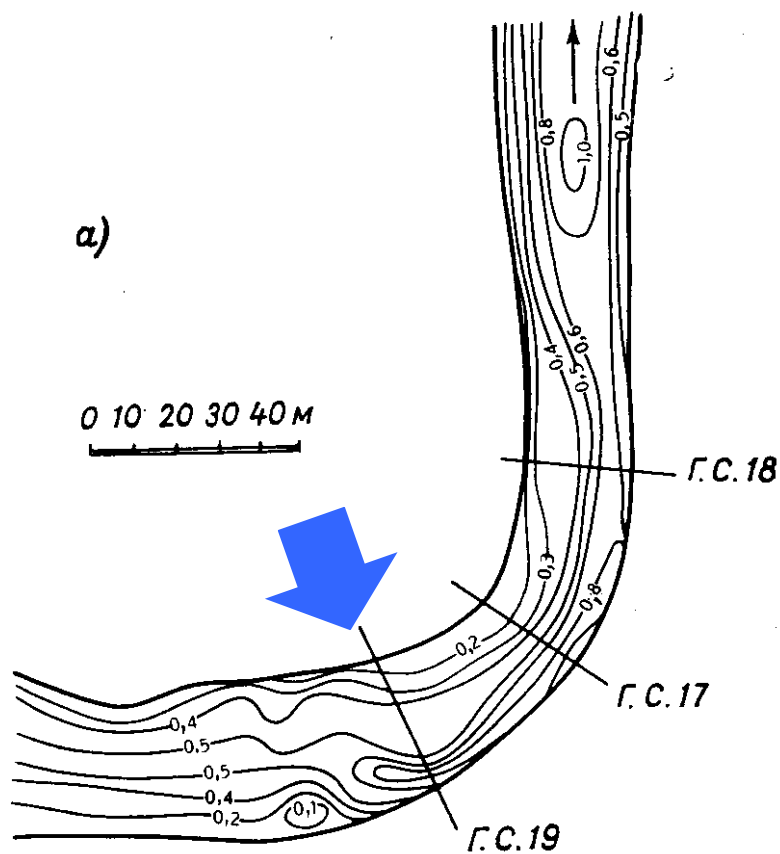
Напомним, что центробежная сила равна $F_{\text{ц}} = mu^2/r$, а $F_g = mg$.

$$I_{\text{поп}} = \frac{u^2}{gr}$$

$\Delta H = B I_{\text{поп}}$ — перекося водной поверхности

B — ширина русла

Исследования кинематики потока на изгибе естественного русла



План изгиба р. Снов (а) и эпюры
поперечных скоростей (б) на
гидростворе №19