

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ

Водный баланс и теоретическое моделирование

Методы измерения скорости течения и расхода потока

Простейший и аналитические методы

Гидрометрические водосливы и лотки

Гидравлический метод

Измерение водобалансовых параметров

Осадки

Испарение

Грунтовый сток

Комплексные системы автоматического мониторинга

Уравнение водного баланса в геосистемах

$$X_1 + X_2 + r = S_{\hat{A}} + S_{\hat{I}} + U + E + T + B_X \pm q \pm W;$$

$$Z = S_{\hat{A}} + S_{\hat{I}} + U$$

X_1 - жидкие атмосферные осадки, X_2 - атмосферные осадки в твердой фазе (снег), r - роса, S_B - поверхностный весенний сток, S_{II} - внутри почвенный сток, U - подземный сток, Z - суммарный русловой сток, или сток в замыкающем створе геосистемы, E - физическое испарение, T - транспирация, B_X - аккумуляция влаги в годовом приросте биомассы, W - изменение влагозапасов в почве за некоторый интервал времени, q - фильтрационный поток из геосистемы и поток напорных вод в геосистему.

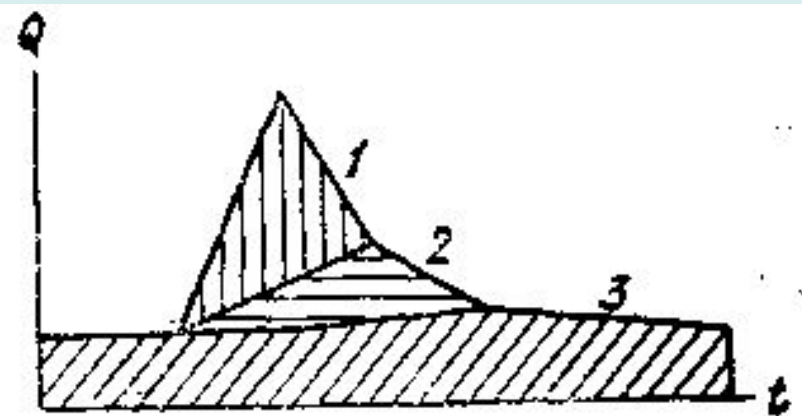


Схема видов стока в русло при половодье и паводках. 1 - поверхностный склоновый сток; 2 - промежуточный сток; 3 - подземный сток.

ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Для теоретического описания **речного стока** применяется система уравнений Сен-Венана:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uQ) + gF \frac{\partial h}{\partial x} - qu_q = gF(i_0 - i_f),$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial t} = q,$$

u, Q – скорость и расход руслового потока, F - площадь живого сечения,

u_q, q - скорость и расход бокового притока (грунтовый сток), i_f - уклон трения по формуле Шези, i_0 - уклон дна водотока, h – глубина потока

Поверхностный **ДОЖДЕВОЙ СКЛОНОВЫЙ СТОК** с площадки единичной ширины описывается одномерным уравнением кинематической волны

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\sqrt{i(x)}}{n(x)} h^{5/3} \right] = R - I$$

ОСНОВНЫЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Реки, ручьи

Измеряемые:

Уровень воды H , м

Скорости потока (эпюры), м/с

Расход воды Q , м³/с

Концентрация взвесей, г/л

Рассчитываемые:

Объем стока воды W , м³

Модуль стока воды q , л/(с км²)

Слой стока воды h , мм

Обеспеченность стока, %

Гидрографическая длина водотока
 L , км

Средневзвешенный уклон
водотока

Водосборы

Распределенные параметры в ЦММ:

Уклоны

Удельная площадь водосбора,

Горизонтальная кривизна,

Вертикальная кривизна,

Порядок водотоков и их длина

Параметры русел (тальвегов)

Структура растительности

Скорости стока на водосборах и
склонах

Средние рассчитываемые:

Площадь водосбора F , км²

Средние уклоны склонов

Средняя высота над уровнем моря

Лесистость водосбора f_l , %

Заболоченность f_b , %

Озерность $f_{оз}$, %

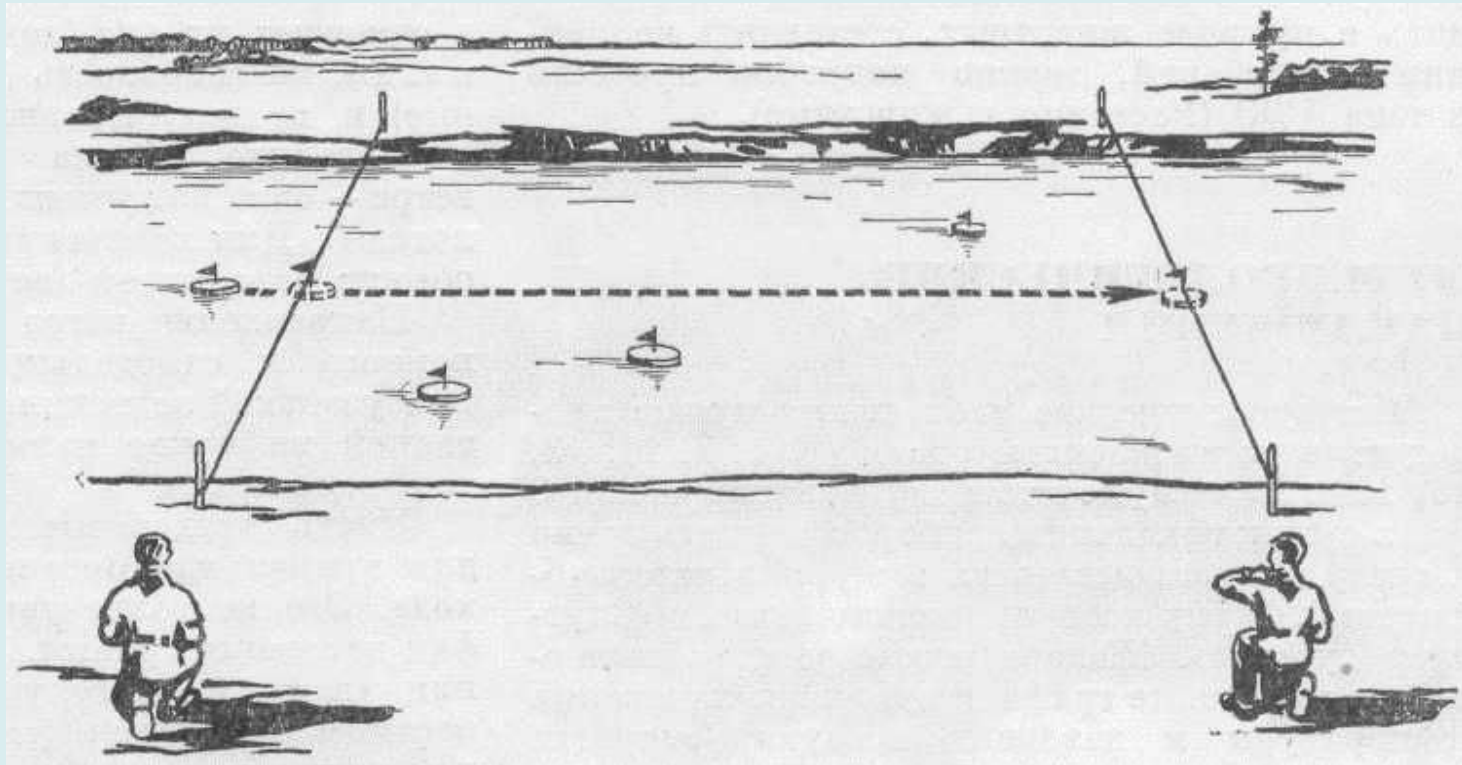
Закарстованность водосбора f_k , %

Относительная распаханность f_p , %

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ И РАСХОДА

1. Поверхностными поплавками (самый простой, но и самый неточный)
2. Аналитические методы с использованием приборов измерения скорости и расходов (наиболее точные)
3. Измерение расхода гидрометрическими водосливами и лотками (измерение расходов ручьев и малых рек)
4. Гидравлический метод (применяется, если нет возможности измерить скорости течения)

1. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПОПЛАВКАМИ

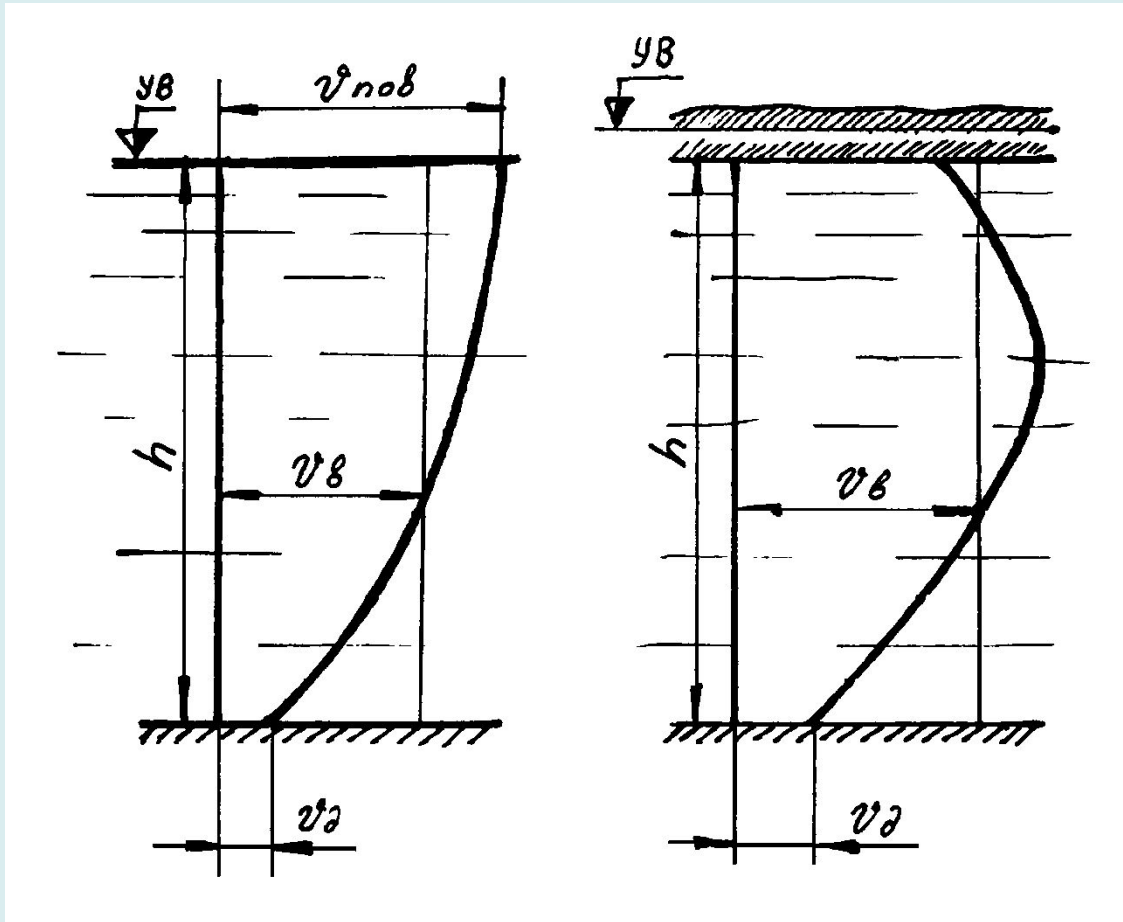


Для измерения поверхностных скоростей выбирают прямой участок длиной не менее $L=50V_{\text{макс}}$

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

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

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ГЛУБИНЫМИ ПОПЛАВКАМИ



Использование глубинных поплавков позволяет получить более достоверные результаты, в этом случае вводить поправочный коэффициент для расчета средней скорости не нужно

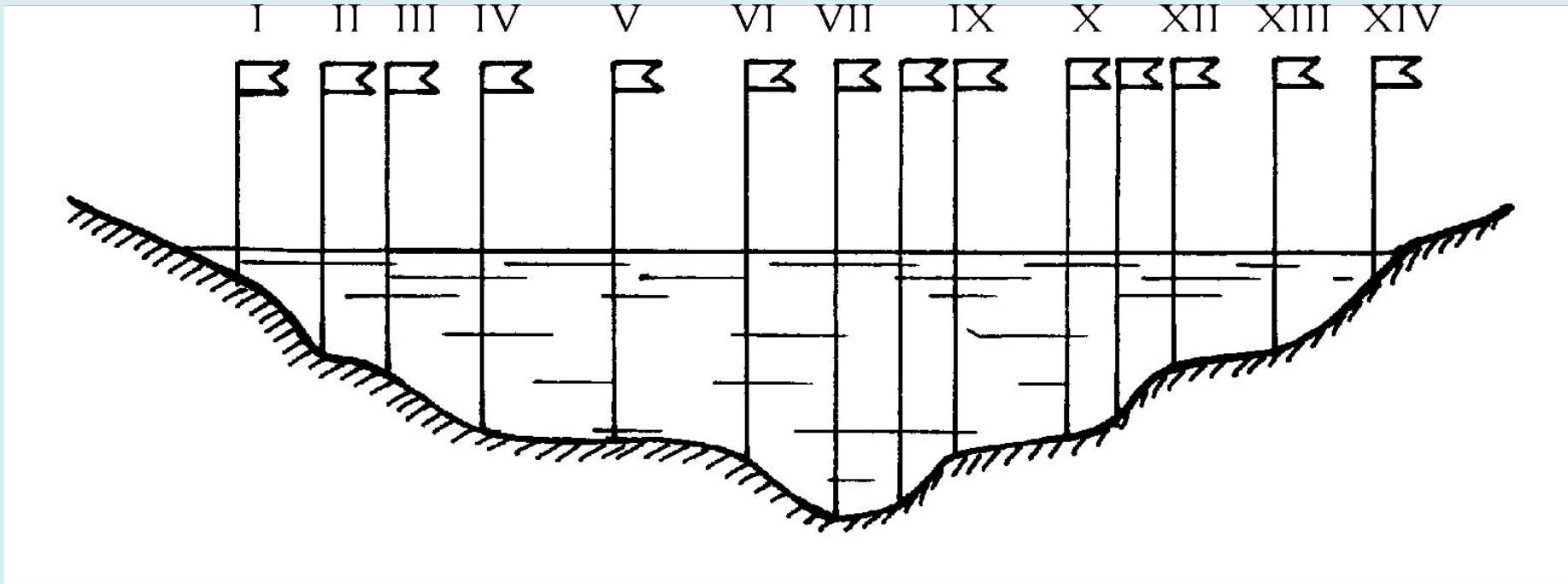
ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ПОПЛАВКАМИ

Поплавки применяют для измерения расхода воды в следующих случаях:

- для измерения малых скоростей течения на вертикали, когда они меньше предельной скорости вертушки – 0,08 м/с, например, при заросшем русле (глубинные поплавки);
- при интенсивном ледоходе в качестве поплавков используют отдельные льдины (поверхностные поплавки);
- при повреждениях вертушки, плавсредства или переправы (поверхностные поплавки);
- для разовых приближенных определений расхода воды на необорудованных створах и при рекогносцировке (поверхностные поплавки);
- в период половодья и паводков на больших реках (аэрогидрометрическим способом).

2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Расположение скоростных вертикалей в гидрометрическом створе

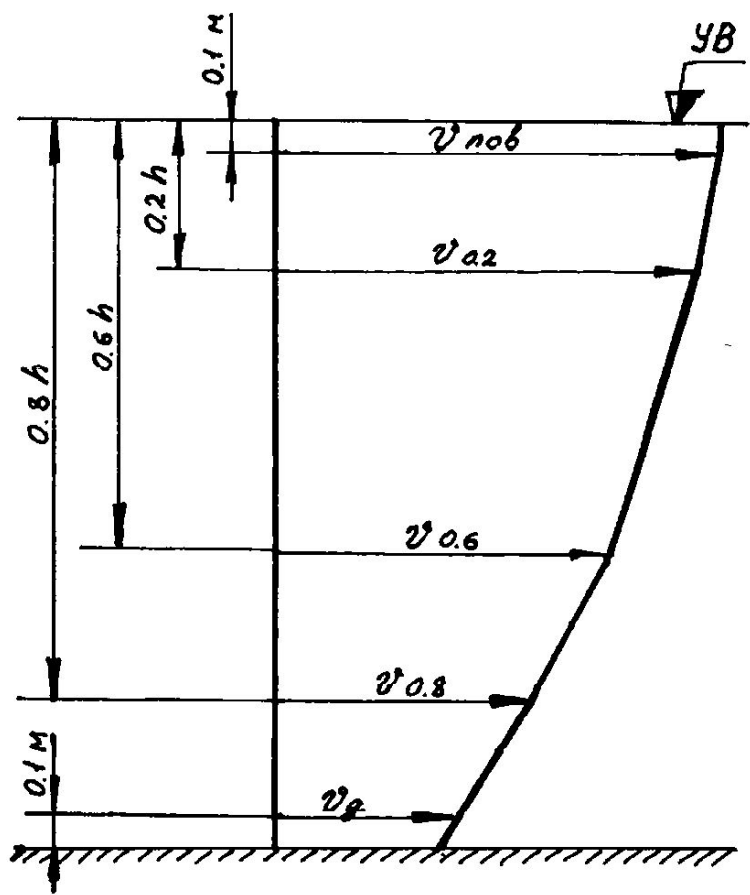


На первом этапе работ производится разбивка промерных (скоростных) вертикалей. Число таких вертикалей определяется необходимой точностью, изменчивостью рельефа дна русла, шириной русла реки

Расположение створов отбора проб, в зависимости от типа водного объекта и источника загрязнений (ГОСТ 17.1.1.03-86 , СанПиН 2.1.5.980-00)

Тип объекта	Характеристика	Число створов	Расположение створов
Водоём	Отсутствие организованного сброса сточных вод	Не менее 3-х по водоему в целом	Створы равномерно расположены по акватории (с учётом геоморфологии берегов и др. факторов)
Водоём	Организованный сброс сточных вод	Не менее 3-х на водоёме с интенсивным водообменом	1 створ (фоновый) - выше источника загрязнения - примерно на расстоянии 1км (вне влияния сточных вод); Ниже источника загрязнения - не менее 2-х: -на расстоянии 0,5 км от сброса сточных вод;
Водоём	Организованный сброс сточных вод	Не менее 6-ти на водоёме с умеренным и замедленным водообменом	1 створ (фоновый) - в неподверженной загрязнению части водоёма; 1 створ - совмещают с местом сброса сточных вод; не менее 2-х - по обе стороны от сброса сточных вод; 1 створ - на расстоянии 0,5 км от места сброса; 1 створ - непосредственно за границей
Водоток	Отсутствие организованного сброса сточных вод	Один	С учётом гидрометеорологических и морфометрических особенностей водотока и интересов водопользователей
Водоток	Организованный сброс сточных вод	Не менее двух	1 створ (фоновый) - выше источника загрязнения на 1км (вне влияния сточных вод); 1 створ - ниже источника загрязнения,-или в створе полного (не менее 80%) смешивания сточных вод с водой водотока; -или в створе с учётом интересов водопользователей, но не далее 0,5км от сброса сточных вод;

Расположение точек измерения скоростей на вертикали



$$V=0,1(V_{пов}+3V_{0,2h}+3V_{0,6h}+2V_{0,8h}+V_{д})$$

$$V=0,25(V_{0,2h}+2V_{0,6h}+V_{0,8h})$$

$$V=0,5(V_{0,2h}+V_{0,8h})$$

$$V=V_{0,6h}$$

В зависимости от необходимой точности и глубины реки выбирается метод измерения средней скорости на вертикали (одно-, двух-, трех- или пятиточечный).

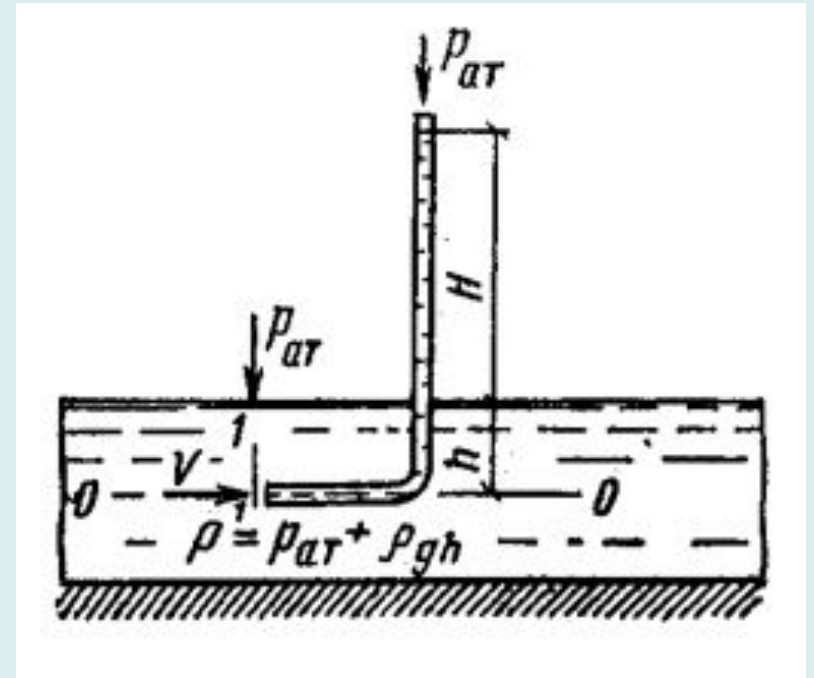
При глубинах менее 1 м рекомендуется измерять скорость течения в одной точке (на глубине $0,6h$)

Приборы для измерения скоростей течения

1. Гидрометрическая вертушка -
электронный измеритель скорости



2. Гидродинамическое давление -
трубка Пито



$$V = \sqrt{2gH}$$

Приборы для измерения скоростей течения

3. Акустические доплеровские расходомеры и профилографы

С 2009 года на гидрологическую сеть в рамках проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений Росгидромета» поступают акустические доплеровские профилографы «Stream Pro» и «Rio Grande» (Teledyne RD Instruments, США).

Короткий ультразвуковой сигнал фиксированной частоты подается расходомером в воду. Отражатели (частицы), имеющиеся в воде, возвращают сигнал к датчику. Отраженный импульс имеет сдвиг в частоте, пропорциональный скорости потока. Ультразвуковой сигнал профилографа делит водный столб по вертикали на множество дискретных, сегментов, называемых «ячейками глубины». Для получения вертикального профиля скоростей отраженный импульс обрабатывается для каждой «ячейки глубины». Отраженный сигнал оцифровывается в массив точек. На основании полученных данных вычисляются характеристики водного потока в локальной точке и по всей глубине.

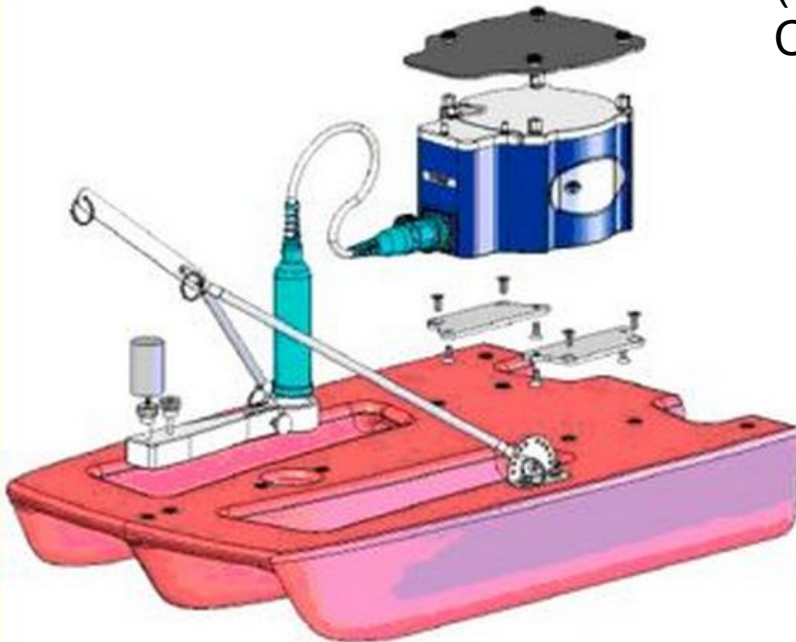
Аналогичные приборы выпускают и другие фирмы: **SonTek** (серия акустических доплеровских расходомеров Argonaut и доплеровских профилографов RiverSurveyor, ADP/ADCP Acoustic Doppler Profiler и др.

Использование акустических измерителей скорости

в ГУ «Московский ЦГМС-Р»

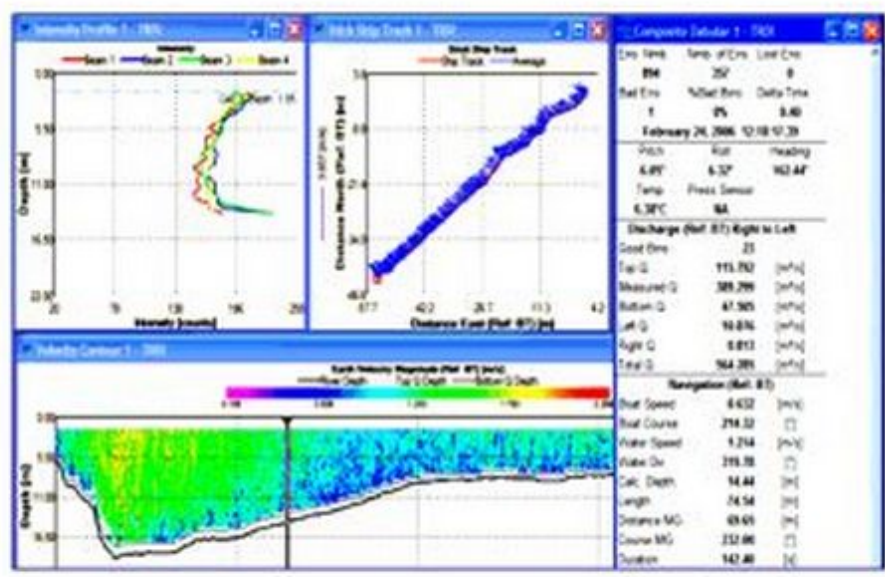
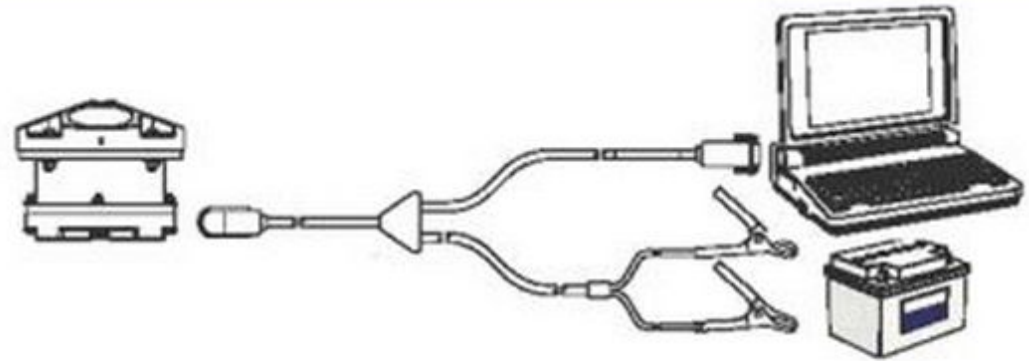
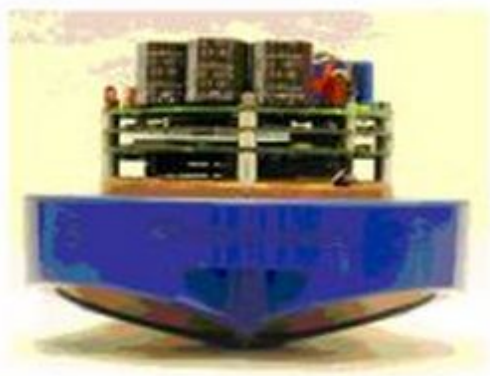
Доплеровский измеритель скорости потока для малых рек и ручьев имеет датчик глубины измерений (Фирма OTT, Германия)

Акустический доплеровский профилограф для малых рек (Stream Pro, Teledyne RD Instruments, США)



Акустический доплеровский профилограф «Rio Grande»

Использование специалистами ГУ «Московский ЦГМС-Р», www.ecomos.ru

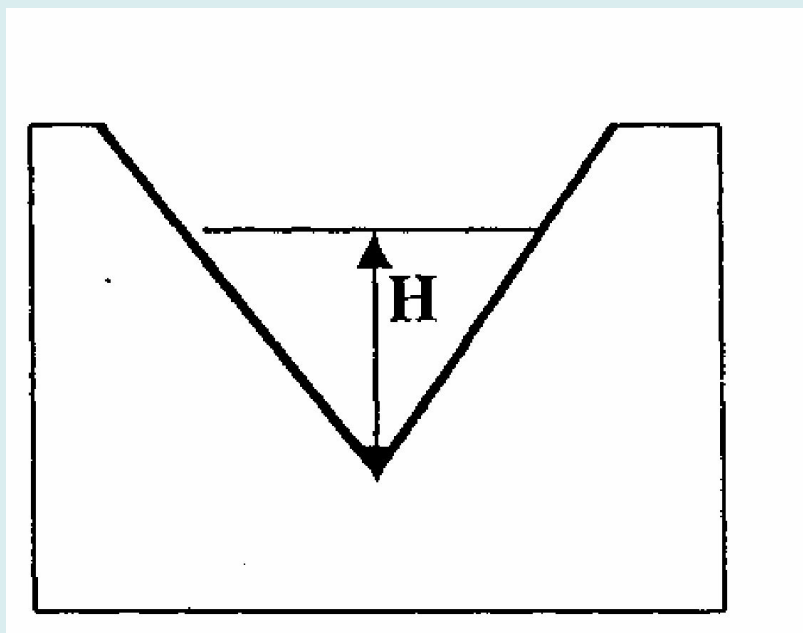


Характеристики профилографов «Stream Pro», «Rio Grande 1200 kHz» и «Rio Grande 600 kHz» (Teledyne RD Instruments, США)

Наименование параметра	Stream Pro»		«Rio Grande 1200 kHz»		«Rio Grande 600 kHz»	
	Значение	Пределы погрешности, %	Значение	Пределы погрешности, %	Значение	Пределы погрешности, %
Макс. глубина, м	До 4,0	±0,5	До 21,0	±0,25	До 75,0	±0,1
Диапазон скорости потока, м/с	0,03-5,0	±5	0,03 - 5,0	±5	0,03 - 5,0	±5
Кол-во «ячеек глубины», шт	От 1 до 20	-	От 1 до 128	-	От 1 до 128	-
Минимальный размер «ячейки глубины», м	0,01	–	0,05	–	0,1	–
Рабочая частота датчика, МГц	2,0	–	1,2	–	0,6	–
Число лучей датчика, шт.	4	–	4	–	4	–

3. ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА НА ВОДОСЛИВАХ И ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ЛОТКАХ

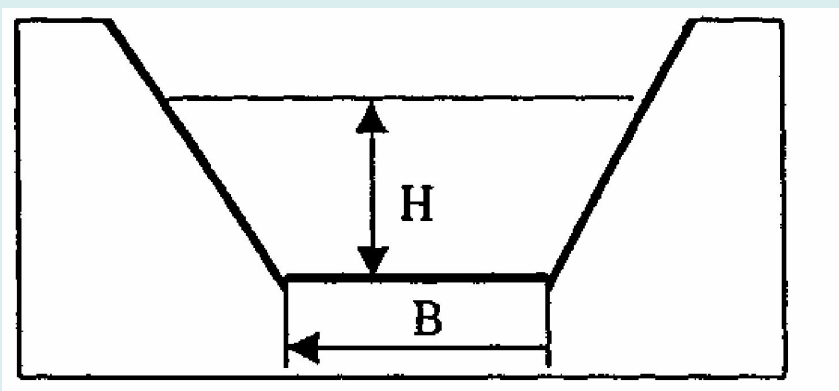
Треугольный водослив
Томпсона



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

$$\alpha=90^\circ$$

Трапецеидальный водослив
Чиполетти



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

$$tq\alpha=0.25$$

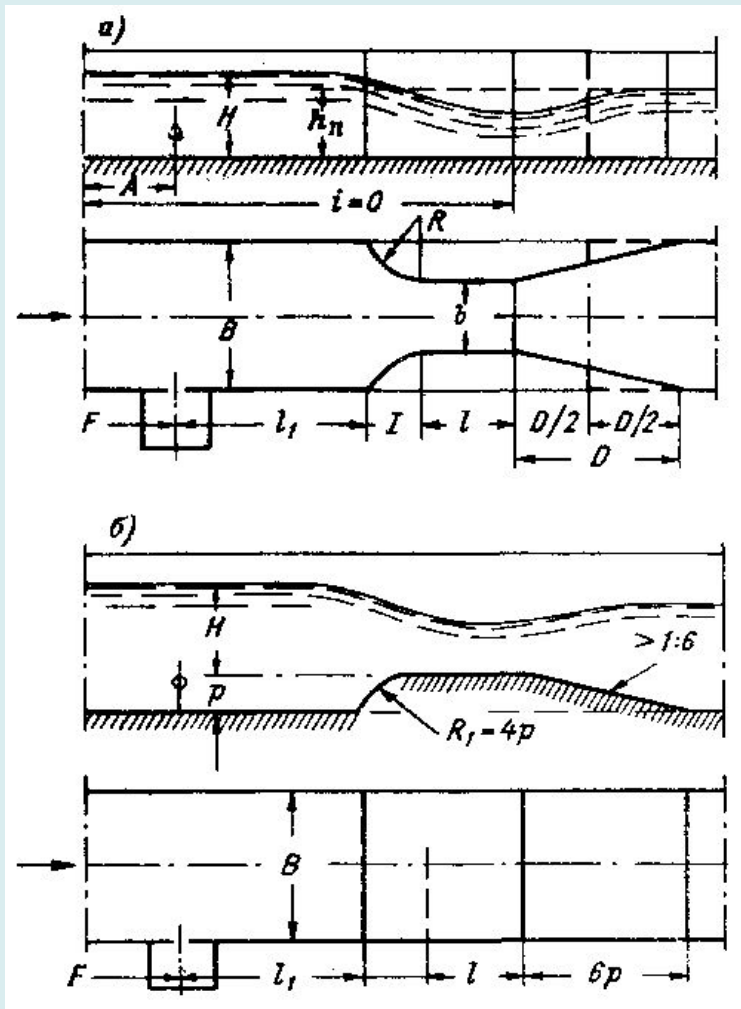
Водослив «Таежный лог» Валдайского филиала ГГИ.

Капитальное сооружение действует с 1949 г. В павильоне справа – колодец и самописец уровня

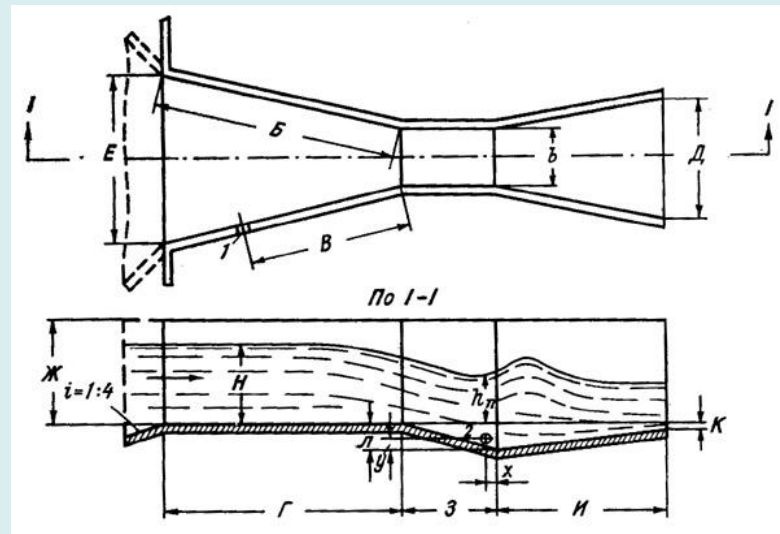


ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА НА ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ЛОТКАХ

1. Лотки Вентури



2. Лоток Паршала



3. Гидрометрический лоток RBC (Eijkelkamp, Нидерланды) для небольших потоков (оросительные каналы и стоки, канавы, ручьи и т.п.). Стандартные лотки с диапазонами измерений 0.1-8.7 л/сек и 2.0-145 л/сек. Скорость потока рассчитывается по стандартным формулам по высоте подъема воды в измерительной трубке в конце лотка. Для **автоматического измерения** вместо измерительных трубок устанавливается **датчик давления, подключенный к регистратору**.



ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ УРОВНЯ ВОДЫ *N*

Четыре основных типа гидрологических датчиков применяются для получения данных об уровне воды.

1. **ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК** – устанавливается ниже поверхности вод, измеряет гидростатическое давление.
2. **ПОПЛАВКОВЫЙ ДАТЧИК** – основан на принципе поплавкового механизма, который включает поплавок (плавающий на поверхности воды) и противовес, а также цифровой контроллер уровня поверхности воды.
3. **БАРБОТАЖНЫЙ ДАТЧИК** – пузырьковая система которая измеряет соответствующее гидростатическое давление через трубку давлению и очень чувствительный сенсор
4. **РАДАРНЫЙ ДАТЧИК** – представляет собой бесконтактный, независимый от состояния поверхности воды измеритель уровня воды основанный на времени отражения радарного импульса

1. Гидростатический датчик



Принцип действия – измерение давления вышележащего слоя жидкости

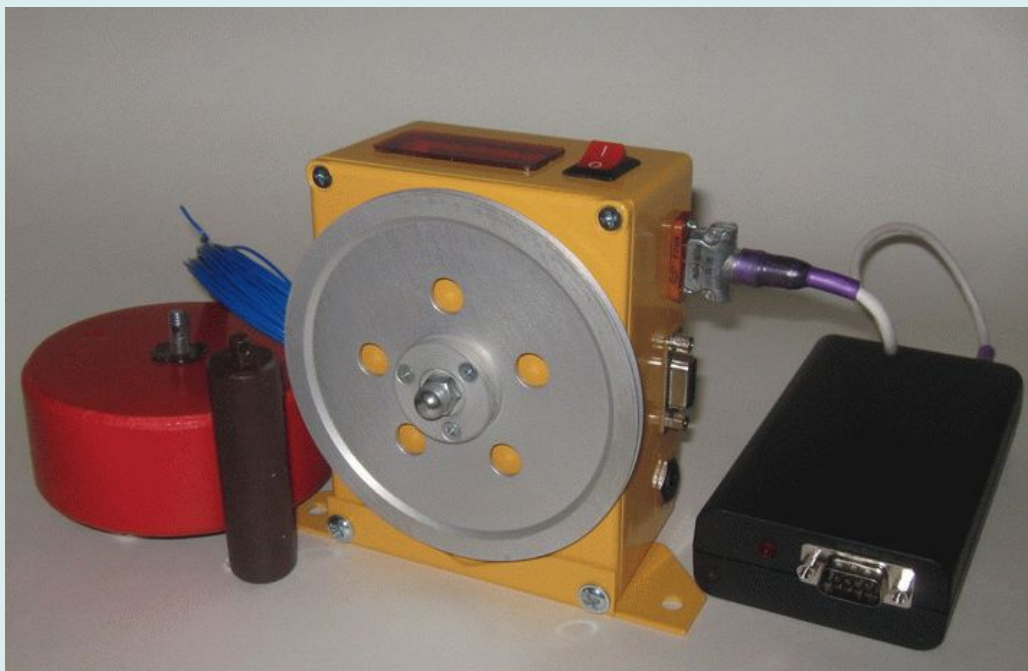
Погружные гидростатические уровнемеры надежно работают в труднодоступных местах и скважинах в т.ч.на большой глубине.

Гидростатические погружные уровнемеры часто имеют датчик температуры и др. функции, и наиболее экономичны.



Фирмы РусАвтоматизация (Москва) <http://rusautomation.ru/gidrostaticheskie> , НПО «РИЗУР» (Рязань) и др. предлагают широкий спектр гидростатических уровнемеров диаметром от 19 мм

2. Уровнемер поплавковый цифровой (УПЦ, ООО "ГГИ Прибор", СПб.) предназначен для измерения уровня воды в автоматическом режиме.



Обеспечивает измерение уровня воды; передачу информации в регистратор-накопитель и внешние устройства через последовательный порт RS-232. Диапазон измерения $0 \div 8$ м, дискретность 0,002 м, погрешность измерения не более 0,3%. Минимальный диаметр трубы 110 мм. Сменный электронный регистратор привязывает информацию к реальному времени. Продолжительность автономной работы без смены регистратора 6 месяцев (при интервале измерений 15 минут). Регистратор комплектуется программным обеспечением для работы с компьютером.

3. Барботажный датчик давления (серия PS, СЕБА, Германия)

Принцип измерения основывается на пузырьковом способе.

Встроенный мини компрессор, с возможностью изменения интервалов, качает пузырьки через трубку в воду. Давление в трубке соответствует гидростатическому давлению над соплом. Это давление измеряется высокоточным сенсором давления встроенным в прибор.

Жидкокристаллический дисплей цифровой индикации измеряемых данных, позволяет настраивать прибор в процессе измерения.



PS-Light-2 с GSM модемом и антенной



Барботажный датчик

Погрешность <math><0.05\%</math> диапазона (<math><1\text{ см}</math> при $0\div 20\text{ м}$)

Измеряемый диапазон $0\div 10\text{ м}$, ..., $0\div 70\text{ м}$

Рабочая температура: $-20\div 50^{\circ}\text{C}$

Выход аналоговый и/или цифровой, RS232

Интервал измерений свободно перепрограммируется с помощью контроллера СЕ

Все системы PS могут быть укомплектованы модемами для мобильной или проводной передачи данных

4. Радарный датчик (серия SEBAPULS, SEBA, Германия)



Принцип измерений – импульсная бесконтактная технология. Излучается коротковолновый импульс 2 ГГц. Затем датчик не действует короткое время, отраженный от воды сигнал принимается и передается на встроенную систему регистрации. Пробег импульса соответствует расстоянию до поверхности воды. Погрешность ± 3 мм.

Цифровая передача данных на компьютер GSM/GPRS, либо телефонный модем.

Питание: аккумулятор 12В или 24В, солнечная панель с зарядкой и аккумулятором или сеть с адаптером 220В/12В

Не подвержен влиянию грязи, плавающих веток, листьев, ледяной шуги, льда, агрессивной среды (стоки, соленая вода и пр.); не зависим от гидравлики процессов, от влажности и колебаний температуры

4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

применяется, если нет возможности измерить скорости течения, реализован в ряде ГИС, имеющих функции расчета параметров водосборов, в частности в ГИС SAGA

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}$$

Формула Шези

Q – расход, м³/с;

ω - площадь живого сечения, м²;

R – гидравлический радиус, м, **R=ω/χ**;

χ - смоченный периметр, м;

c – коэффициент Шези;

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

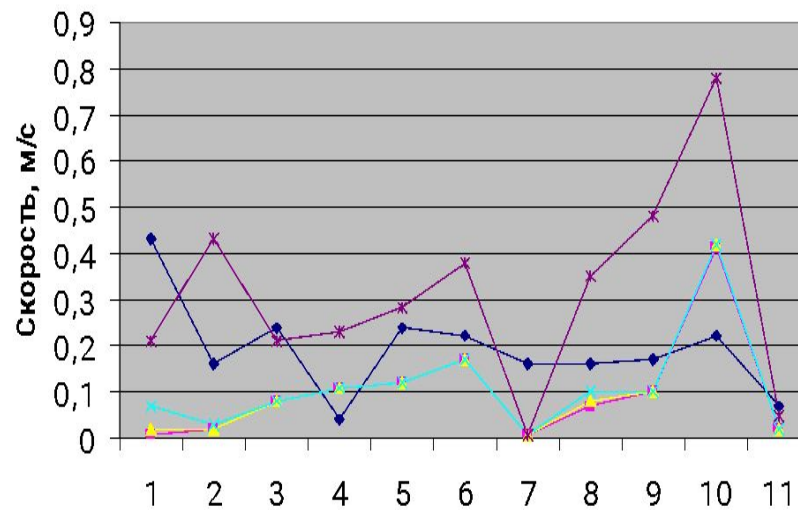
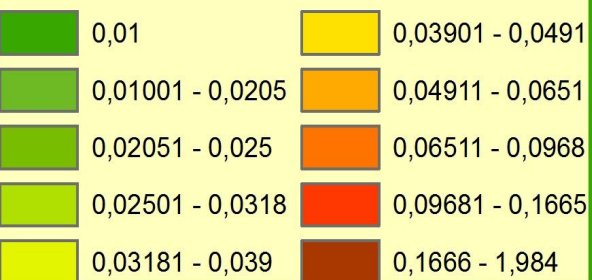
n – коэффициент шероховатости русла (принимается по справочникам в зависимости от состояния русла);

i – уклон свободной поверхности (для большинства равнинных рек 0,001...0,005)

Расчет скорости стока поверхностных вод по формуле Шези (ГИС SAGA). Бассейн р. Лонинка, интенсивность осадков 10 мм/ч



Скорость, м/с



№ створа

- ◆ Измерения
- ◆ Расчет, 0.0 мм/час
- ◆ Расчет, 0.66 мм/час
- ◆ Расчет, 10 мм/час
- ◆ Расчет, 100 мм/час

ИЗМЕРЕНИЕ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ВОДОСБОРАХ



Осадкомер Третьякова

ВНИИГЛ, «Таежный лог»



Снегомерная рейка

ВНИИГЛ, «Таежный лог»

Автоматический датчик осадков, e+ RAIN

фирмы Eijkelkamp (Нидерланды).



Объем памяти: 60 000 измерений;
интервал измерений: 10 ... 60 сек, 1 ...
60 минут, 1 ... 24 часа. Регистрации
данных за фиксированный интервал
времени, диапазон интенсивности
осадков: 0 ... 100 мм в заданном
интервале измерения.

Диапазон осадков: 0 ... 500 мм в
интервале измерения

Сигнализация уровня (регулируемое):
низкий и/или высокий - сигнал тревоги
для всех параметров измерения.

Индикация состояния аккумулятора.
Выходной сигнал 0-20 мА.

Переносной испаритель для измерения испаряемости

(Eijkelkamp, Нидерланды)



Измерения скорости испарения с открытой воды. Бассейн $d=1206$ мм и $h=254$ мм, площадь испарения $1,15$ м². Корпус из нержавеющей стали. Измерения проводится в измерительном колодце высокоточным датчиком уровня воды. Диапазон измерения испарения 100 мм. Точность $0,02$ мм. Для более точного измерения используют измеритель ветра.

Датчиком уровня - чувствительный датчик давления в диапазоне $0-20$ мбар. Точность $0,25\%$. Выходной сигнал $0-20$ мА. Датчик поставляется с 5 -метровым кабелем. Данные с датчика считывают, записывают и обрабатывают с помощью регистратора со специальным программным обеспечением испарителя.

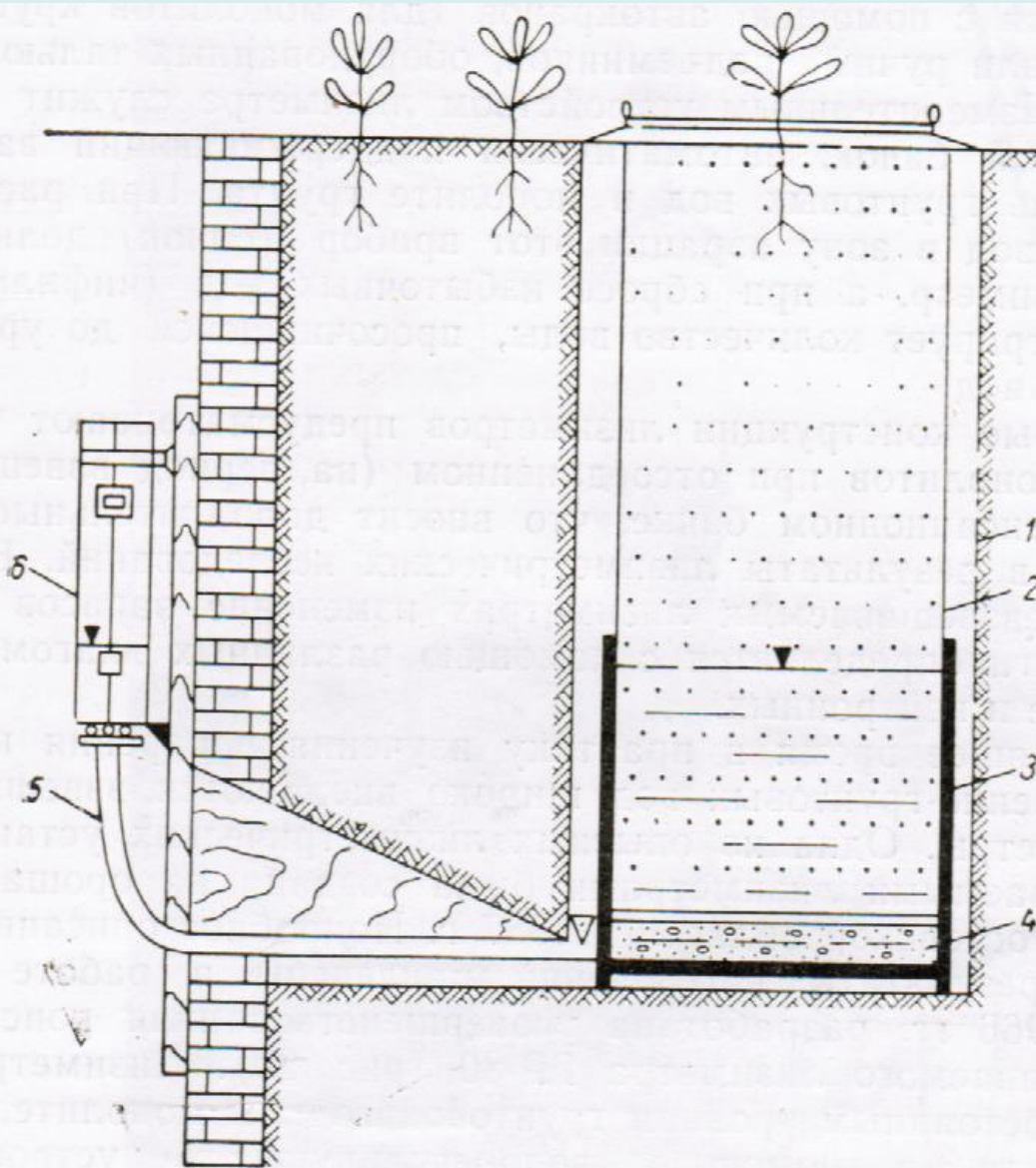
Почвенный испаритель ГГИ-500-50

применяются для измерения испарения с поверхности оголенной и покрытой растительностью почвы, а также измерения суммарного испарения. Слева лебедка для взвешивания испарителей.



Гидрологические лизиметры

Лизиметры состоят из двух цилиндров: внутреннего с сетчатым дном заправленного почвенным монолитом и внешнего со специальной трубкой для заливки воды с целью моделирования горизонта грунтовых вод и наблюдения за ним в процессе испарения и поступления влаги на поверхность почвенного монолита. Автоматическая система подачи и слива фильтрующейся влаги разработана по принципу сосудов Мариотта.



Система автоматического мониторинга «САМ»

(ООО «ИнФлай», Томск, ТГУ)

предназначена для мобильных и стационарных долговременных **автоматических измерений и регистрации основных параметров атмосферы и почвы**. Датчики монтируются на треноге 2 м и дюралево-пластиковой мачте 10 м

Регистрация данных: Микроконтроллер через цифровой интерфейс (1-Wire) опрашивает температурные датчики, аналоговые входы и сохраняет данные в памяти (Flash) с привязкой ко времени измерения (часы). В памяти логгера также фиксируется напряжение питания, при заполнения памяти измерения останавливаются. Интерфейс USB обеспечивает формат и считывание данных.

В модификации с установленным GSM-модемом возможна дистанционная передача данных на сервер.

Датчик атмосферного давления MPL115A1 с цифровым интерфейсом.

Температурный зонд Датчики DS18B20, точность в диапазоне $-55+50^{\circ}\text{C}$ до $0,2^{\circ}\text{C}$

Датчик температуры и влажности воздуха Защищён от среды защитой.

Датчик скорости и направления ветра Применяется переменный резистор, подвижный контакт соединён с АЦП. Каждому обороту крыльчатки скорости ветра соответствует одно замыкание-размыкание контактов.

Датчик количества жидких осадков Осадки собираемые воронкой наливаются в одну из чашек коромысла, которое после наполнения чашки (0,2 мм осадков) опрокидывается, подставляя по воронку другую шашку, при этом магнит, закреплённый на коромысле проходит мимо геркона, вызывая его замыкание.

Датчик суммарной солнечной радиации Поток излучения проходя через фторопластовый защитно-рассеивающий фильтр попадает на 2-а зачернённых и 2-а блестящих алюминиевых сектора, нагревая их и прикреплённые к ним с обратной стороны платиновые резисторы, по разнице сопротивлений которых рассчитывается плотность потока солнечной радиации.

Датчик влажности грунта - объёмное содержание воды измеряется по удельной диэлектрической проницаемости.

Датчик уровня воды. Используется дифференциальный датчик давления. Сигнал с датчика (4...20 мА) соответствует разнице давлений столба воды совместно с атмосферным давлением и атмосферным давлением. Встроенный датчик температуры служит для компенсации температурной зависимости давления.

Датчик проводимости воды Проводимость измеряется по мостовой схеме на ультранизкой частоте переменного тока. Электроды из нержавеющей стали.

Датчик высоты снежного покрова Уровень рассчитывается по перепаду температуры на границе сред воздух-снег.



ПОЗИЦИЯ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ОПИСАНИЕ	К-ВО
1	Угол_90x20x1.2		3
2	Пережид_40x20	Затв. D20xУгол20	1
3	Муфта_резьбовая		3
4	Труба25_нога	L=950мм	3
5	Труба_20_L100	L=100мм	3
6	Каб_ввод_PG13		1
7	Тройник 40x25		3

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ КОНТРОЛИРУЮЩИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

[Земцов, Копысов, Ерофеев, Новиков (ТГУ), 2014]



Лиственничный лес и проталина – ручей

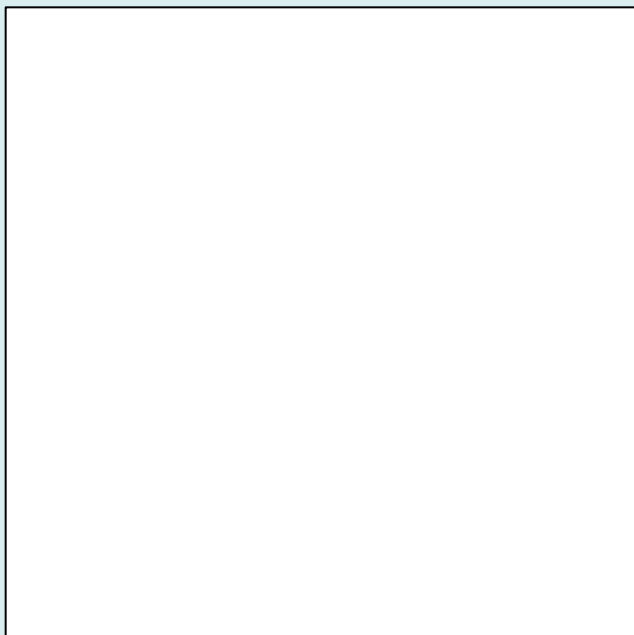
Имя: САМ_153

Координаты: N65°51'06,97" E75°22'38,72"

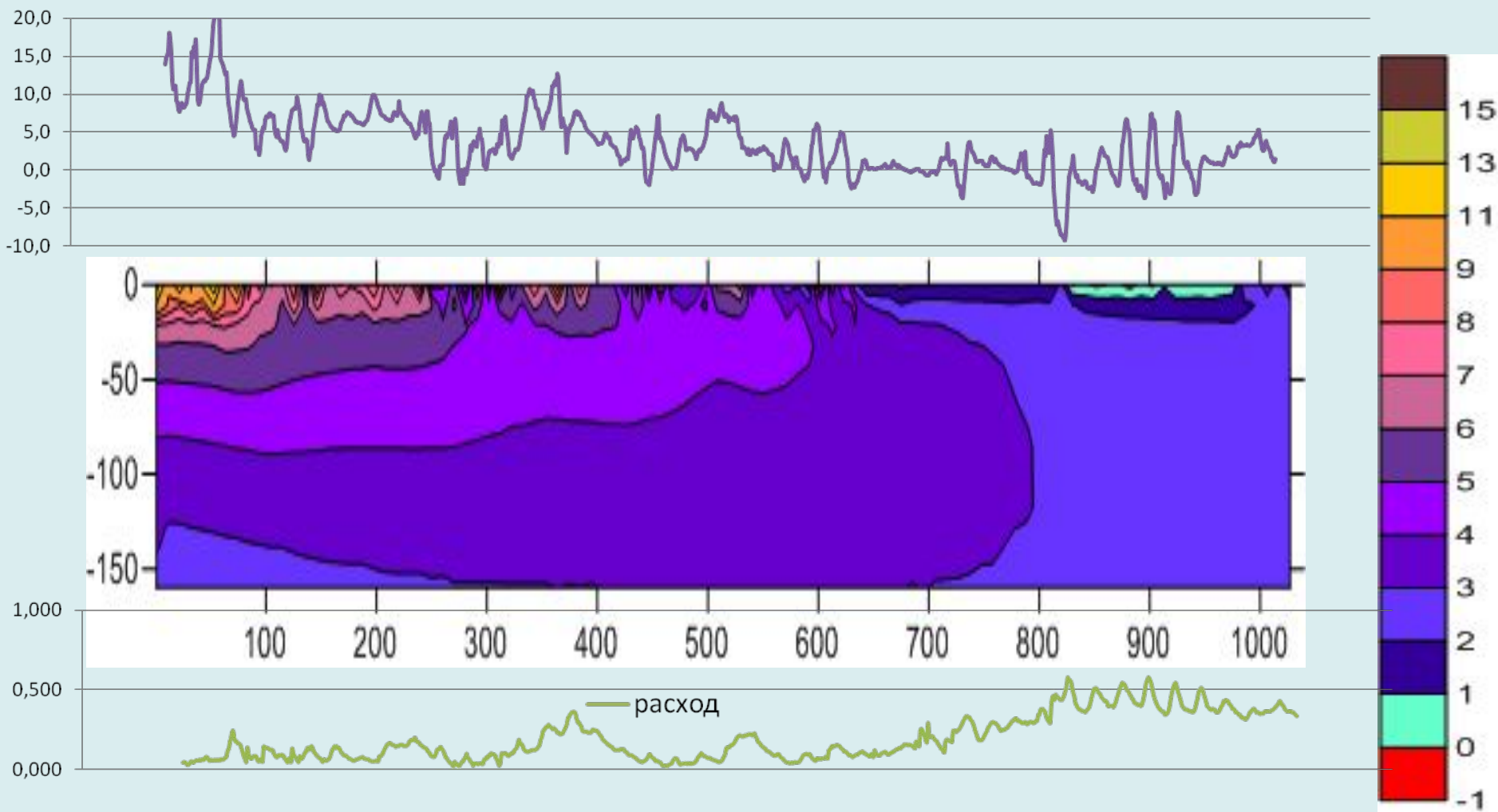
(уровень, температура и электропроводность воды, температура слоя почвы до 1,6 м с разрешением 10 см, температура и влажность воздуха на высоте 2 м)

Динамика температуры

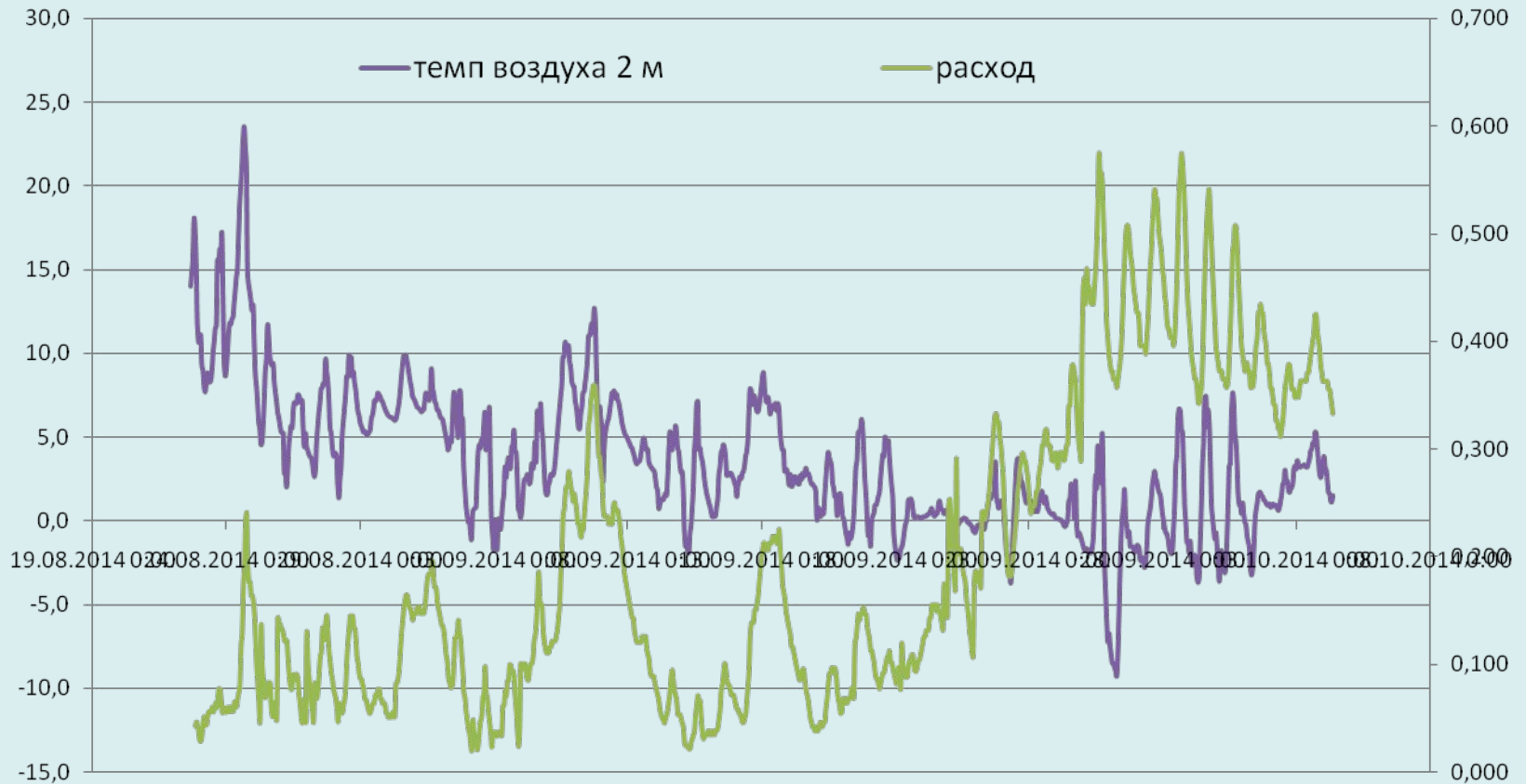
за период с 22 августа по 3 октября 2014 года



Динамика температуры воздуха на высоте 2м и почвенного слоя (160 см) в лиственничнике за период с 22 августа по 3 октября 2014 года



Расход воды и температура воздуха за период с 22 августа по 3 октября 2014 года



Скачок электропроводности в озере

