

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Саратовский государственный аграрный университет

имени Н. И. Вавилова»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ГИДРОМЕТРИЯ

краткий курс лекций

для студентов II курса

Направление подготовки

20.03.02 Природообустройство и водопользование

Профиль подготовки

«Комплексное использование и охрана водных ресурсов»

Саратов 2016

УДК [551.5+556] (075.8)

ББК 26.22я73+26.23я73

Б81

Рецензенты:

кандидат с/х наук, доцент,

зав. лабораторией агрометеорологии ГНУ НИИСХ Юго-Востока

Россельхозакадемии

Н. Г. Левицкая

к. с/х. н., доцент кафедры «Природообустройство и водопользование»

ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»

А. Н. Никишинов

Теоретические основы водопользования. Гидрометрия:

Б81 краткий курс лекций для студентов II курса специальности
(направления подготовки) 20.03.02 «Природообустройство и
водопользование» / Сост.: Ю. В. Бондаренко, Ю. Ю. Киселева //
ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2016. - 77 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Теоретические основы водопользования. Гидрометрия» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Содержит основные теоретические сведения о методах количественного определения и учета элементов режима водных объектов – уровней воды, глубин, скоростей течения, расходов воды и наносов, а также изучение гидрологического режима озер и водохранилищ. Рассмотрены применение аэрометодов в гидрометрии, вопросы комплексной автоматизации и наблюдений и механизации обработки материалов наблюдений на гидрологической сети. Большое внимание уделено

современным приборам и методам измерений и наблюдений.

Основное внимание уделено обработке водомерных наблюдений и определению годового стока, необходимого при проектировании ГТС и других объектов водохозяйственного строительства.

© Бондаренко Ю. В., 201

ВЕДЕНИЕ

Настоящий краткий курс лекций составлен в соответствии с учебным планом по направлению 280100.62 «Природообустройство и водопользование» и учебной программой по курсу «Теоретические основы водопользования. Гидрометрия».

Краткий курс лекций включает следующие основные разделы:

1. Задачи гидрометрии и организация гидрометрических наблюдений.
2. Наблюдения за уровнями воды.
3. Измерение глубин.
4. Измерение скоростей течения воды.
5. Измерение расходов воды.
6. Определение зависимости между расходами и уровнями и подсчет стока воды.
7. Изучение твердого стока и донных отложений.
8. Специальные исследования и наблюдения.
9. Изучение гидрологического режима озер и водохранилищ.

Краткий курс лекций предназначен для студентов по профилю «Комплексное использование и охрана водных ресурсов». Материал излагается с учетом подготовки студентов. Гидрометрия изучается на втором курсе, когда студенты еще не проходили таких специальных дисциплин, как гидрология, гидравлика, динамика русловых потоков, гидрохимия и др. В связи с этим даны краткие сведения из указанных дисциплин, а отдельные вопросы изложены более

доступно. При этом имеется в виду, что более глубокие знания по теории предмета студенты могут получить при изучении перечисленных специальных дисциплин.

Все разделы изложены по следующему плану:

- сущность и задачи исследований;
- приборы и оборудование;
- организация полевых работ и наблюдений;
- обработка результатов наблюдений.

ЛЕКЦИЯ 1

ВВЕДЕНИЕ В КУРС «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ГИДРОМЕТРИЯ»

1. 1. Предмет гидрометрии и гидрометрический мониторинг

Прикладная часть гидрологии, в которой изучаются способы количественного определения гидрологических элементов, называется гидрометрией. Слово «гидрометрия» происходит от сочетания двух греческих слов и в буквальном переводе на русский язык обозначает «водомерие». К предмету гидрометрических наблюдений и измерений относятся высота уровня воды, уклон её поверхности, глубина, ширина и площадь живого сечения, скорость течения, расходы воды, расходы наносов и др.

Полное изучение гидрологических элементов, характеризующих режим рек, возможно лишь на основе гидрометрического мониторинга - длительных (многолетних) систематических наблюдений и измерений. Как и при изучении метеорологических факторов, это достигается путём организации стационарных гидрологических наблюдательных пунктов.

Основная сеть гидрологических наблюдательных пунктов сосредоточена в ведении Главного управления гидрометеорологической службы. Она состоит из

опорной сети и специальных станций. Наблюдения на опорной сети ведутся постоянно по утверждённым однородным программам. Результаты наблюдений на опорной сети являются основными исходными материалами для гидропрогнозов, гидроинформаций и расчётов. Специальные станции имеют своей целью обслуживание различных отраслей народного хозяйства.

На всех пунктах опорной сети и на специальных станциях ведутся наблюдения не только над гидрологическими, но и над некоторыми метеорологическими факторами. Поэтому они часто объединяются под общим названием гидрометеорологических станций.

Кроме гидрометеорологических станций, состоящих в ведении Гидрометслужбы, в Российской Федерации существуют ещё и так называемые ведомственные станции. К группе ведомственных станций относятся сети эксплуатационной гидрометрии, назначением которых является получение данных, позволяющих регулировать повседневную деятельность по использованию водных ресурсов. В качестве примеров сетей эксплуатационной гидрометрии могут служить наблюдательные пункты на оросительных системах для учёта оросительной воды, а также сети по обслуживанию потребностей гидроэнергетики, судоходства и т. д.

1. 2. Основные сведения о режиме уровней воды и сущность водомерных наблюдений

Уровнем воды называется высота поверхности воды, отсчитываемая относительно некоторой постоянной плоскости сравнения, называемой нулем графика поста.

Уровень воды является важным элементом гидрологического режима водных объектов. С высотой уровня связаны и другие гидрологические элементы: глубина и ширина реки, площадь водного сечения, уклоны, скорости течения, расходы воды и пр.

Сведения об уровнях воды используются многими отраслями народного хозяйства (водный транспорт, гидроэнергетика, лесосплав, гидротехническое и дорожное строительство).

Помимо непосредственного использования, сведения об уровнях воды необходимы для вычисления стока воды. Между количеством протекающей воды и уровнем в большинстве случаев существует однозначная зависимость, которая дает возможность по данным ежедневных уровней определить сток за каждый день.

Высота уровня воды в реке постоянно меняется. Характер этих колебаний определяется влиянием ряда факторов на количество протекающей в русле воды и обуславливающих многолетние, годовые, сезонные и суточные колебания.

Многолетние колебания уровней связаны с периодическими изменениями климата, а также обуславливаются геологическими причинами (поднятие или опускание дна водоема) и эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек.

Годовые колебания уровня воды определяются в основном метеорологическими условиями данного года.

Сезонные колебания уровня воды в реках, озерах, болотах вызваны, прежде всего, географическим расположением бассейна реки и, следовательно, климатическими условиями сезонов года, прежде всего распределением осадков внутри года (реки с весенним половодьем, с летним половодьем и т. п.).

Суточные колебания уровня воды могут определяться работой гидроузлов, в низовьях рек вызываются приливами, сгонно-нагонными явлениями, а на малых реках выпадением в их бассейнах дождей.

Характер влияния указанных выше факторов на высоту уровня воды чрезвычайно сложен и неустойчив во времени. Поэтому, чтобы с достаточной точностью изучить уровеньный режим, необходимы длительные и непрерывные наблюдения – гидрометрический мониторинг - с соблюдением единой методики выполнения водомерных работ.

В сущности, многолетние и непрерывные наблюдения за уровнем позволяют охарактеризовать режим уровней изучаемого водного объекта и, кроме того, по

зависимости между расходами и уровнями получить представление о расходах воды реки за различные по водности годы.

Наблюдения за уровнями воды на водомерных постах должны быть организованы таким образом, чтобы материалы наблюдений:

- по одному посту были сравнимы за весь период его действия;
- допускали возможность сопоставления результатов наблюдений по ряду постов.

Каждый водомерный пост должен состоять из: 1) водомерных устройств – приспособлений для измерения уровней (реек, свай, самописца) и 2) постоянных высотных знаков – реперов.

Уровни воды, наблюдаемые на водомерных постах, должны быть отнесены к *условной* плоскости **нуля графика** поста, высотная отметка которой остается постоянной для всего периода наблюдений. Высотное положение плоскости нуля графика поста определяется расстоянием по вертикали от репера поста.

Под **нулем наблюдений** понимают высотную плоскость, от которой производится отсчет уровня воды в момент наблюдения. На речном водомерном посту – это плоскость нуля рейки, а на свайном площадка (головка) сваи, по которой ведется наблюдение.

Следовательно, нуль наблюдения, в отличие от нуля графика является не условной, а вещественной плоскостью. Разность нуля графика поста и нулями наблюдений называется **приводкой**.

1. 3. Типы и устройство водомерных постов

По конструкции и способу устройства различают водомерные посты: 1) простые, на которых высота уровня измеряется водомерной рейкой (речный свайный, смешанный (речно-свайный)); 2) передаточные, на которых высота уровня измеряется и *передается* с помощью передаточных устройств; 3) автоматические, на которых колебания уровня воды непрерывно и автоматически воспринимаются датчиком (поплавком, манометром и т. п.).

Выбор того или иного вида водомерного устройства зависит от климатических и местных условий, а также требований к точности получаемых результатов наблюдений.

1. 3. 1. Простые водомерные посты

Речные водомерные посты наиболее просты по устройству и удобны для производства наблюдений. В конструктивном отношении они могут быть устроены с вертикальной или наклонной рейкой.

Посты с вертикальной рейкой состоят из одной или нескольких реек, прочно укрепленных на существующих гидротехнических сооружениях или на специально забитых сваях. Посты этого типа устраиваются преимущественно на участках рек с крутыми берегами при небольшой амплитуде колебаний уровня (до 2 – 3 м), в месте, где имеются условия, обеспечивающие полную сохранность рейки и неизменность ее высотного положения.

Постоянные водомерные рейки бывают деревянные, чугунные и металлические (эмалированные). Крепление реек в пункте наблюдений производится различными способами в зависимости от местных условий.

Нулевое деление рейки должно находиться на 0,2 – 0,5 метра ниже наинизшего уровня воды, а верхняя часть рейки – на 0,25 метра выше наивысшего уровня.

При наличии на участке водомерного поста гидротехнических сооружений (мостов, набережных, плотин) рекомендуется использовать их для устройства речного поста. Устанавливать рейку нужно в наиболее защищенном от ледохода и плавающих предметов месте – с низовой стороны устоев или на боковых стенках сооружений.

При отсутствии гидротехнических сооружений или при невозможности их использования водомерная рейка укрепляется на одиночной свае в случае устойчивого грунта и спокойного течения или на кусте свай при наличии на участке поста оживленного судоходства или интенсивного лесосплава. Сваи имеют диаметр 20 – 25 см; изготавливаются из прочных пород деревьев и забиваются на глубину не менее 2,0 метров. Для определения высоты уровня воды

по речному посту производится отсчет по ближайшей к берегу рейке, около которой установилась поверхность воды.

Посты с наклонной рейкой в некоторых случаях оказываются более удобными, т. к. они лучше защищены от повреждений, не создают подпора, более доступные для наблюдения, чем посты с вертикальной рейкой, но устройство их сложнее, поэтому устанавливаются они редко, преимущественно на участках рек с искусственно укрепленными откосами и интенсивным судоходством и лесосплавом.

Разметка рейки производится после ее установки; размер делений зависит от угла наклона рейки к горизонту α . Длина одного деления наклонной рейки, соответствующая 1 см вертикальной рейки, равна:

$$L = \frac{I}{\sin \alpha}.$$

(1)

Свайные водомерные посты устраиваются на участках рек с пологими берегами и значительной амплитудой колебаний уровня, где создание речного поста нецелесообразно. Свайный пост состоит из нескольких свай, установленных в одном створе, перпендикулярном течению реки. Количество свай и их расположение зависит от угла наклона берегового откоса и амплитуды колебаний уровня воды. Прежде чем приступить к установке свай, необходимо пронивелировать часть дна реки и берег по створу поста и на построенном по этим данным профиле наметить места для свай с соблюдением следующих правил:

1. Головка верхней сваи должна быть на 0,25 – 0,50 м выше наивысшего уровня воды, а головка нижней сваи – на 0,25 – 0,50 м ниже наинизшего уровня.
2. Превышение одной сваи над другой должно быть примерно 0,7 – 0,8 м, а при пологом берегу 0,2 – 0,4 м.
3. Расстояние между сваями (для удобства наблюдений) должно быть по возможности не более 2 метров.

Сваи могут быть деревянными или металлическими. В настоящее время свайные посты оборудуют стандартными металлическими винтовыми сваями

длиной 220 и диаметром 8 см. Способы установки свай в зависимости от характера грунта и типа свай могут быть разными: сваи забиваются, закапываются или завинчиваются. При установке свай необходимо следить за тем, чтобы они располагались вертикально в запроектированных местах и в одном створе. Для выполнения последнего условия перед установкой свай по линии створа натягивается шнур. Сваи поста нумеруются по порядку сверху вниз от ближайшей к реперу сваи, которая получает первый номер.

Для производства наблюдений за высотой уровня на водомерном устройстве свайного типа применяются переносная металлическая (ГР – 104) или деревянная рейки, а также рейки с успокоителем (ГР – 23). Рейка в момент наблюдений ставится вертикально наверх сваи и производится отсчет.

Водомерные устройства речечно-свайного типа (смешанного) устраивают на участках рек с резкими переломами поперечного профиля. Этот тип состоит из рейки в обрывистой части берега и свай в пологой части, расположенных в одном створе.

1. 3. 2. Передаточные водомерные посты

Передаточные водомерные посты устраиваются на участках рек с высокими крутыми берегами, где доступ к воде затруднен. Высота уровня воды на таких постах измеряется от точки, расположенной выше поверхности воды или в стороне на берегу. К передаточным постам относятся мостовой пост и пост со стрелой (тросовый пост).

Мостовые посты устраиваются обычно на мостах или других сооружениях, возвышающихся над водой. На сооружениях (например, на настиле моста) закрепляется постоянная точка, называемая **нулем наблюдений**, от которой измеряется вертикальное расстояние до поверхности воды. Высотное положение нуля наблюдений определяется нивелированием от ближайшего репера. Высота уровня воды измеряется размеченным тросом или рулеткой с грузом.

Передаточные посты со стрелкой устраиваются преимущественно на горных реках с обрывистыми берегами, когда отсутствуют гидротехнические сооружения. Передаточный пост состоит из металлической или деревянной

стрелы, укрепленной горизонтально на сваях. На стреле горизонтально закрепляется рейка, нулевым делением обращенная в сторону реки. На конце стрелы укреплен блок, через который пропускается трос с подвешенным грузом. Трос размечается через 1 м на длину, равную амплитуде колебаний уровня. Груз опускается до поверхности воды и в этом положении трос фиксируется (закрепляется). Вблизи уреза вровень с поверхностью воды забивается колышек и нивелированием от репера определяют высоту уровня воды над нулем графика. Горизонтальная рейка перемещается вдоль стрелы так, чтобы метка на тросе, соответствующая целым метрам уровня, пришлась против десятых и сотых долей метра на рейке, и в этом положении рейка прочно закрепляется на стреле.

Основным недостатком передаточных постов является невозможность их использования при ледяном покрове. Поэтому в зимнее время в дополнение к передаточным постам устраивается речной или свайный пост.

1. 3. 3. Автоматические водомерные посты

Принцип действия автоматического водомерного поста заключается в следующем: датчик непрерывно воспринимает колебания уровня воды и по линии связи передает их регистрирующему устройству. Датчиком в большинстве случаев служит поплавковое или манометрическое устройство. Для непрерывной записи высоты уровня воды автоматические посты оборудуются самопишущими приборами (самописцами уровня).

Основными частями самописца являются: поплавок, воспринимающий колебания уровня воды; барабан с бумагой для записи высоты уровня; пишущее приспособление (каретка с пером или карандашом) и часовой механизм, приводящий в движение барабан или пишущее приспособление. Действие самописца уровня заключается в следующем.

Поплавок, находящийся всегда на поверхности воды, воспринимает колебания уровня и посредством гибкого тросика, перекинутого через поплавковое колесо (блок), передает их прибору. Пишущее приспособление в определенном масштабе вычерчивает на ленте барабана график колебаний уровня.

Имеется много типов самописцев уровня воды, отличающихся друг от друга конструктивными особенностями. Наиболее распространены самописцы «Валдай» с суточным заводом часового механизма и самописцы ГР – 38, рассчитанные на непрерывную работу в течение 32-х суток.

В конструктивном отношении установки самописца уровня воды делятся на два типа:

1. Островной, когда самописец устанавливается в русле реки на специальном сооружении.
2. Береговой, когда самописец устанавливается на берегу над колодцем, соединенным с рекой при помощи трубы.

Выбор типа установки зависит от амплитуды колебаний уровня, интенсивности и продолжительности ледохода, количества наносов, формы берегов и состава слагающих грунтов, наличия на реке гидротехнических сооружений.

Островной тип установки самописца применяется при небольшой амплитуде колебаний уровня, при отсутствии ледохода и лесосплава, а также при пологих берегах, когда установка берегового типа нецелесообразна из-за большой длины соединительной трубы. Для установки самописца в русле реки сооружается специальная опора, к которой крепится приемный резервуар, а наверху устанавливается будка с самописцем.

Береговой тип установки самописца применяется на крутых берегах при большой амплитуде колебаний уровня воды, на участках рек с интенсивным ледоходом, лесосплавом, судоходством. Установка состоит из следующих основных частей: приемного колодца, соединительной трубы и будки с самописцем.

Для автоматизации гидрологических наблюдений в настоящее время созданы посты, оборудованные автоматическими регистрирующими устройствами, позволяющими систематически накапливать результаты измерений в виде, удобном для дальнейшей обработки на ЭВМ.

1. 3. 4. Реперы водомерных постов. Система отметок и отсчетов на водомерном посту

Для определения высотных отметок постовых устройств, нулей постоянных рек, головок свай, от которых производится отсчет уровня воды, и для последующих проверок их высотного положения на каждом водомерном посту устанавливаются два репера – основной и контрольный.

Основной репер служит для проверок высоты контрольного репера; устанавливается он в месте, гарантирующем его безопасность.

Контрольный репер устанавливается в створе поста недалеко от постовых устройств и служит для систематических проверок высоты нулей рек и головок свай.

Все постовые устройства (нули рек, головки свай) нивелированием связываются с основным репером и получают отметки в той системе высот, которая принята для этого репера.

Высота уровня воды на водомерном посту измеряется от нулевого деления стационарной рейки или от головки сваи. Плоскость, от которой производится отсчет уровня, называется **нулем наблюдений**. Таким образом, на речном посту нулем наблюдений служит нуль рейки, а на свайном - головка сваи. Чтобы можно было сопоставить уровни, измеренные по различным сваям (рейкам), и выяснить характер их колебаний за длительный период, все наблюденные значения высоты уровня приводятся к нулю графика поста.

Нулем графика поста называется горизонтальная плоскость, к которой как к нулевой поверхности приводятся отсчёт высоты уровня. Высотное положение нуля графика устанавливается при устройстве водомерного поста в такой системе высот, которая принята для основного репера, и не должно изменяться в течение всего периода работы поста. Для приведения отсчетов высоты уровня к нулю графика нужно для всех нулей наблюдений вычислить приводки. **Приводкой** называется превышение головки сваи или нуля рейки над нулем графика. Высота уровня воды над нулем графика равна сумме отсчёта по рейке над нулем наблюдений и приводки.

1. 3. 5. Измерение уровня воды

Измерение уровня воды на водомерном посту производится ежесуточно. Число сроков наблюдений зависит от характера колебаний уровня в течение суток, и должно быть таким, чтобы по результатам срочных наблюдений можно было с достаточной точностью определить высоту среднего суточного уровня и установить самые высокие и самые низкие его значения.

Основными сроками наблюдений являются 8 и 20 часов по местному времени. При незначительных и плавных колебаниях уровня в течение суток наблюдения проводятся один раз - в 8 часов. В периоды весеннего половодья, дождевых паводков, при заторно - зажорных явлениях, когда наблюдаются резкие колебания уровня, необходимо производить учащенные измерения высоты уровня воды - через каждые 2 - 4 часа, а в некоторых случаях и через 1 час. Высота уровня воды на простых постах измеряется с точностью до 1 см.

На свайном водомерном посту высота уровня воды измеряется переносной водомерной рейкой, которая ставится вертикально на головку ближайшей к берегу затопленной сваи.

Наблюдения по самописцу уровня заключаются в производстве отсчетов уровня по внешнему и внутреннему контрольным постам и в смене ленты самописца. При суточном заводе часового механизма лента меняется ежедневно в 8 часов, а в 20 часов наблюдатель производит контрольный отсчет по внешнему посту и на ленте прибора делает небольшой разрыв в записи, для чего кронштейн пера на несколько минут откидывается вверх.

1. 3. 6. Визуальные наблюдения

Одновременно с измерением высоты уровня воды ведутся визуальные (глазомерные) наблюдения за явлениями, влияющими на точность отсчёта уровня и режим реки.

Для оценки точности измерения уровня в каждый срок наблюдений глазомерно определяется сила и направление ветра, степень волнения и осадки.

Направление ветра оценивается по отношению к течению реки и обозначается в «Книжке водомерных наблюдений» стрелками; сила ветра отмечается числом

штрихов оперения стрелки. Результаты наблюдений заносятся в графу «Ветер и волнение» следующими знаками:



- ветер по течению слабый;



- ветер против течения умеренный;



- ветер с правого берега сильный.

Наблюдение за волнением ведется лишь на постах, расположенных на больших реках, озерах и водохранилищах. Волнение оценивается баллами от 0 до 3 и отмечается цифрами в той же графе полевой книжки, что и ветер:

0 - волнение отсутствует и наблюдается мелкая рябь;

1 - волнение слабое;

2 - волнение умеренное;

3 - волнение сильное.

Вид осадков отмечается буквами: Д - дождь; С - снег; Г - град, их интенсивность определяется цифрами: 1 - слабые; 2 - умеренные; 3 - сильные.

Важно фиксировать значительные изменения в водном режиме под влиянием ледяных образований, деформации русла, водной растительности, забора воды на орошение и т. д. Наблюдения за ледовой обстановкой ведутся как на участке гидрологического поста, так и за его пределами. Особое внимание должно быть уделено наблюдениям за явлениями, искажающими естественный режим уровня.

1. 4. Организация и производство наблюдений на водомерном посту

В состав основных работ при организации стационарных гидрологических наблюдений входит:

1. Выбор и съемка участка реки;
2. Устройство и оборудование водомерного поста.

1. 4. 1. Выбор и съемка участка реки

Участок реки для производства гидрологических наблюдений должен быть таким, чтобы режим реки в этом месте был характерным для достаточно большого района. На равнинных реках участок должен быть прямолинейным на протяжении примерно пятикратной ширины реки, с однозначными по длине реки шириной, глубиной и продольным уклоном водной поверхности. Берега и русло реки должны быть устойчивыми и свободными от водной растительности. На участке гидрологического поста, а также ниже его не должны впадать крупные притоки, находиться искусственные сооружения (плотины, мосты). Выбор участка реки для организации стационарных гидрологических наблюдений производится путем рекогносцировочного обследования.

Рекогносцировочное обследование, как правило, производится дважды – в летнее время (при низком стоянии уровня), когда съемку участка можно произвести с наибольшей подробностью, выяснить рельеф русла, поймы, растительность, грунты и т. п., и во время весеннего половодья. Второе обследование проводится с целью выяснения особенностей режима реки при высокой воде и больших скоростях течения.

При обследовании выполняются следующие работы:

1. Общий осмотр участка;
2. Глазомерная съемка участка с промерами глубин и измерениями скоростей течения и продольных уклонов водной поверхности;
3. Выяснение основных характеристик гидрологического режима путем опроса местных жителей и непосредственных наблюдений.

В процессе осмотра необходимо выяснить:

1. Очертание русла в плане (извилистое, прямолинейное);
2. Наличие поймы, протоков, рукавов, перекатов, островов и т. д.;
3. Степень устойчивости и зарастаемости русла и берегов;
4. Строение берегов, их высоту и крутизну;
5. Общий характер течения на участке;
6. Наличие источников переменного подпора и степень их влияния.

Очень важно при осмотре выявить возможные естественные и искусственные причины переменного подпора и определить дальность его распространения.

Переменный подпор нарушает естественный режим реки, и поэтому изменение уровня и продольного уклона водной поверхности в этом случае зависит не только от колебаний водности, но и от действия источника переменного подпора. Производство гидрометрических наблюдений и обработка полевого материала в условиях переменного подпора значительно усложняется, что особенно сказывается на учете стока вода

После выбора участка реки выполняется полуинструментальная съемка участка поста. На больших реках со сложным рельефом русла и поймы выполняется более точная инструментальная съемка.

Границы съемки по ширине определяются отметками на 0,5 метра превышающими высший уровень воды, а по длине – шириной реки. На реках шириной в межень до 100 метров длина участка съемки назначается равной пятикратной ширине реки (но не менее 100 м), а для более широких рек – не меньше двух - трехкратной ширины реки.

В состав полуинструментальной съемки входят следующие работы:

1. Проложение магистрали и разбивка поперечных профилей;
2. Нивелирование магистрали и поперечных профилей;
3. Промеры глубин;
4. Нивелирование мгновенного продольного профиля водной поверхности;
5. Определение направления и величины скорости течения;
6. Съемка ситуации.

По материалам съемки составляется план участка поста, к которому прилагаются поперечные профили, вычерченные на миллиметровой бумаге и описание участка реки.

1. 4. 2. Устройство, оборудование и нивелирование водомерного поста

На основании материалов рекогносцировочного обследования участка реки устанавливается наиболее рациональный для данных условий тип поста (свайный, речной, передаточный и др.), составляется его проект, заготавливаются стройматериалы и выполняются работы по его устройству.

В состав работ по устройству водомерного поста входит:

1. Установка реперов и постовых устройств (свай, реек и др.) и оборудование поста;
2. Высотная привязка реперов поста к реперам государственной сети;
3. Нивелирование водомерного поста.

Чтобы правильно разместить постовые устройства на местности, необходимо предварительно спроектировать их на поперечном профиле, на который наносится значения высшего и низшего уровней. На профиле размещаются реперы и водомерные устройства, назначается отметка нуля графика. Местоположение постовых устройств, с профиля переносится на местность и закрепляется предварительно колышками. Затем в запроектированных местах устанавливаются сваи, рейки и т. д.

Высотная привязка реперов поста к государственной высотной сети при длине хода до 50 км выполняется нивелированием IV класса, а свыше 50 км – нивелированием III класса.

Нивелирование водомерного поста производится с целью определения высотного положения нулей наблюдений относительно реперов и нуля графика. Нивелирование при устройстве поста ведется от основного репера через контрольный. Нивелирование поста ведется в два хода, и, как правило, оба хода должны начинаться от репера. Одновременно с нивелированием постовых устройств нивелируется уровень воды в створе поста по колу, забитому вровень с поверхностью воды. Результаты нивелирования оформляются в виде профиля водомерного поста, на который наносятся реперы, сваи, рейки, отметки и даты высшего, низшего и рабочего уровней воды, положение нуля графика.

1. 5. Обработка результатов водомерных наблюдений

В состав обработки материалов водомерных наблюдений входит:

1. Обработка полевых книжек для записи водомерных наблюдений;

2. Построение комплексного графика результатов гидрометеорологических наблюдений и совмещенных графиков колебаний уровня воды по ряду постов и анализ графиков;

3. Составление таблиц «Ежедневные уровни воды», «Температура воды», «Толщина льда», помещаемых в гидрологические ежегодники;

4. Построение графиков повторяемости и продолжительности уровней.

«Книжка водомерных наблюдений» обрабатывается наблюдателем поста и по окончании месяца высылается им на гидрологическую станцию, где производится тщательный просмотр полевых записей с целью установления полноты и качества наблюдений и выполняется сплошная проверка произведенных наблюдателем вычислений. По вычисленным значениям уровней за отдельные сроки вычисляются средние суточные уровни воды. По значениям средних суточных уровней вычисляется средний уровень за месяц. Затем из всех суточных и дополнительных измерений уровня выбираются высший и низший уровни за месяц.

Комплексный график результатов гидрометеорологических наблюдений представляет собой графическое изображение хода элементов гидрологического режима (уровни, расходы воды и наносов и др.), температуры воздуха и осадков за календарный год.

При построении графика по горизонтальной оси откладывается время, а по вертикальной (сверху вниз) – температура воздуха, осадки и запас воды в снеге, высота снега на льду и толщина льда, температура воды и уровень.

Комплексный график строится постепенно, в течение всего года, по мере поступления с постов книжек водомерных наблюдений. Такое построение дает возможность своевременно выявить ошибки в наблюдениях и обработке материала и принять срочные меры к их устранению.

Материалами для составления таблиц «Ежедневные уровни воды», «Температура воды» и «Толщина льда» служат обработанные и проверенные полевые книжки для записи водомерных наблюдений. Оформленные таблицы публикуются в гидрологических ежегодниках. Таблица «Ежедневные уровни воды» содержит значения средних суточных уровней за календарный год.

Графики повторяемости и продолжительности уровней воды строят следующим образом: по горизонтальной оси откладывают время (дни), по вертикальной – соответствующие им значения уровней над нулем графика в см. Масштаб для оси уровней принимают в зависимости от годовой амплитуды.

Режим уровней воды в реке характеризуется повторяемостью (частотой) и продолжительностью (обеспеченностью) стояния.

Повторяемость уровня в году определяется числом дней, в которое наблюдается тот или иной уровень воды в течение года.

Продолжительность уровня определяется числом дней в году, в которые наблюдался уровень данной высоты и выше.

Для расчета и построения кривых повторяемости и продолжительности уровней воды следует воспользоваться таблицами ежедневных уровней воды, приводимых в гидрологических ежегодниках.

Прежде, чем строить кривые повторяемости и продолжительности, необходимо составить таблицу повторяемости и продолжительности стояния уровней воды. Для этого определяют амплитуду колебания уровня воды в течение года, как разность между высшим и низшим уровнем, и далее делят амплитуду колебаний на ряд интервалов (от 10 до 100 см в зависимости от требуемой подробности). Интервалы берутся одинаковыми, за исключением первого и последнего, где для удобства размер интервала берется выше или ниже общего интервала.

На основании полученных в таблице данных повторяемости и продолжительности стояния уровней воды за год строятся графики повторяемости и продолжительности стояния уровней воды. По вертикальной оси откладываются уровни воды в см над нулем графика, а по горизонтальной – дни и проценты. Шкала процентов строится под шкалой дней. При этом 0 и 100 шкалы процентов соответствуют точкам 0 и 366 шкалы дней.

При построении графиков значения повторяемости откладываются против середины интервалов уровней, а значения уровней продолжительности – против нижних их границ. Нанесенные таким образом точки, соединённые между собой отрезками прямых, дают кривые графиков повторяемости и продолжительности стояния уровней воды.

Вопросы для самоконтроля

1. Предмет гидрометрии.
2. Гидрометрический мониторинг.
3. Уровень воды.
4. Колебания уровня воды.
5. Понятие нуля наблюдений, нуля графика, приводка.
6. Типы водомерных постов.
7. Простые водомерные посты.
8. Свайные водомерные посты.
9. Передаточные водомерные посты.
10. Автоматические водомерные посты.
11. Реперы водомерных постов.
12. Измерение уровня воды.
13. Организация и производство наблюдений на водомерном посту.
14. Выбор и съемка участка реки.
15. Устройство, оборудование и нивелирование водомерного поста.
16. Обработка результатов водомерных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.:Гидрометеиздат,1977. – 448 с.
2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
3. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.:Гидрометеиздат,1985. - 384 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.
2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.
3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
 - научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
 - электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;
 - электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 2

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН ВОДЫ

2. 1. Глубина. Цель и задачи промеров глубин

Глубина реки (озера) – расстояние по вертикали от поверхности воды в реке, озере, водохранилище, любом водоеме до дна. Процесс измерения глубины называется промером.

Измерения глубин рек и водоемов производятся для составления поперечных и продольных профилей, планов участков рек, озер и водохранилищ. При большом объеме работ применяют термин «промерные работы». В состав промерных работ входит измерение глубин, определение плановых координат промерных точек (координирование) и измерение уровня воды. Координирование промеров необходимо как для построения поперечного и продольного профилей, так, особенно, для составления планов в горизонталях или изобатах. Наблюдения за уровнем воды проводятся при промерах непрерывно, так как отметки уровня изменяются, а значения глубины измеряется от поверхности воды до дна. При промерах обычно берут также пробы грунтов дна.

Измерение глубин является очень распространенным видом гидрометрических работ и проводится: 1) на гидрологических постах для составления поперечного профиля створа при измерении расхода воды и наносов и пр.; 2) при проведении

гидрографических исследований рек; 3) при изысканиях для речного судоходства и лесосплава; 4) при изысканиях для составления проектов гидротехнических сооружений, мостовых переходов, при проектировании трасс трубопроводов, линий электропередач и во многих других случаях.

Промерные работы удобнее проводить при низких (меженных) уровнях, когда обнажаются мели, косы, выступы скал и пр. При этом объем работ существенно сокращается.

2. 2. Методы и приборы для измерения глубин и профилей дна

Применяют разные методы промерных работ: 1) измерение глубин в отдельных точках – на промерных вертикалях; 2) путем непрерывной записи линии дна. В первом случае глубины измеряют промерными приборами, а координаты промерных точек определяют геодезическими способами. Во втором – применяют эхолоты, устанавливаемые на промерном судне, а координирование производят радиогеодезическими средствами. Применение эхолотов позволяет значительно ускорить выполнение промерных работ и повысить точность; для промеров глубин в отдельных точках применяют эхолоты со стрелочным указателем глубин, а для непрерывной записи профиля дна – эхолоты с самописцем.

Наметка представляет собой деревянный шест круглого сечения диаметром 4-5 см, длиной 5-7 м. Нижний конец заделывается в металлический башмак, который помогает своим весом (0,5 – 1,0 кг) погружать наметку в воду и предохраняет ее от раскалывания и истирания при ударах о дно. При илистых грунтах на нижнем конце башмака укрепляется поддон. Наметку размечают на десятые доли метра белой и красной масляной краской, нулевое деление должно совпадать с нижней поверхностью башмака.

При измерении глубин наметку выбрасывают нижним концом вперед по ходу промерного судна, а отсчет глубин по ней производят в тот момент, когда наметка будет стоять на дне водоема вертикально. Отсчеты глубин делают с точностью до 2 – 5 см. Точность измерения глубин наметкой зависит от скорости течения,

волнения и грунтов дна. При малых глубинах для промеров применяют рейки – нивелирные, водомерные, а также штанги от вертушек.

Лот ручной представляет собой металлический груз весом от 2 до 5 кг, на верхнем конце которого имеется ушко для прикрепления линя, в качестве которого употребляют предварительно растянутый пеньковый или капроновый шнур или же мягкий стальной трос. Лотлинь размечают марками на метры и дециметры.

Стандартный промерный ручной лот имеет вес 4,5 кг, диаметр 56 мм и длину 355 мм; он рассчитан на измерение глубин в реках до 25 м, а в водоемах без течения – до 100 м.

При измерении глубин лот забрасывают вперед против течения, а отсчет берут в момент, когда линь будет расположен (натянут) вертикально. Точность измерения глубин лотом меньше, чем наметкой, вследствие прогиба линя и отбоя лота течением; точность отсчета по линю 5 – 10 см.

Лот механический состоит из трех основных частей: 1) лебедки со счетчиком, служащей для опускания и подъема груза (лота) при измерении глубин; 2) троса, на котором опускается груз; 3) груза обтекаемой формы.

Грузы, применяемые в качестве лота, имеют обтекаемую (рыбовидную) форму, снабжены стабилизатором направления для устойчивого положения в потоке и имеют вертлюг, обеспечивающий свободное вращение груза в горизонтальной плоскости и установку его по направлению течения. Стандартные гидрометрические грузы (рис. 15) выпускаются весом от 5 до 100 кг.

Комплект эхолота состоит из центрального прибора, блока питания, магнитострикционных вибраторов, смонтированных на специальном кронштейне для погружения в воду на заданную глубину, а также вспомогательных принадлежностей.

Центральный прибор служит для автоматической записи глубин и управления посылкой и приемом ультразвуковых импульсов.

Блок питания служит для преобразования постоянного тока питания – аккумулятора – в переменный ток с последующим его выпрямлением в постоянные токи различных напряжений для питания электрических цепей.

2. 3. Состав работ и способы промеров

При промерах глубин определяются: положение промерных точек в плане; глубина в каждой промерной точке; отметки уровней воды; характер грунтов, слагающих дно реки.

Для определения планового положения промерных вертикалей используют геодезическую опору в виде магистрали или базиса. Желательно, чтобы магистраль в плане одним концом была привязана к какому-то постоянному объекту (дом, дерево, опора ЛЭП и т. п.).

Положение промерных точек определяют:

1. Измерением расстояний вдоль створа по натянутому тросу или мостику;
2. Засечками угломерными инструментами с берега или лодки.

Наблюдения за уровнем воды ведутся по водомерному посту, расположенному на участке промеров глубин, а при его отсутствии оборудуется временный водомерный пост.

Исследование грунтов дна проводится с помощью лотов путем отбора проб грунта, а при использовании наметок и штанг – на ощупь.

В зависимости от скорости течения воды, местных условий и желаемой точности промерных работ промерные ходы располагаются: по поперечным профилям, по косым галсам, по продольным профилям, а также смешанным способом.

2. 3. 1. Приведение промеров к срезочному (условному) уровню

Уровень воды во время промеров называется рабочим H_p . Если в период выполнения промерных работ уровень не менялся, то рабочий уровень принимают за расчетный $H_{расч}$, т. е. $H_{расч} = H_p$. При незначительных изменениях уровня во время промеров (до 0,1 м) за расчетный уровень принимают средний из наблюдений. В этих случаях поправки в измеренные глубины не вносят.

Если промеры глубин производятся в течение значительного промежутка времени, то высота рабочего уровня воды за время промеров может измениться и глубины, измеренные на разных профилях, галсах или продольниках будут

несравнимы между собой. Для получения сравнимых результатов необходимо значения всех измеренных глубин привести к одному уровню, называемому срезочным или условным H_c .

Определение срезочного уровня производится следующим образом.

Перед началом работ в створе всех поперечных профилей, вблизи уреза, вровень с поверхностью воды забивается кол, поверхность головки которого представляет собой H_p . По окончании работ рядом с забитыми кольями в створе поперечников забивают одновременно еще по одному колу вровень с поверхностью воды для получения H_c . Нивелированием от ближайшего репера определяются отметки верха кольев и, следовательно, отметки рабочего и срезочного уровней.

Разность между рабочим H_p и срезочным H_c уровнями называют срезкой:

$$\Delta H = H_p - H_c, \text{ м.} \quad (2)$$

На величину срезки исправляют измеренные глубины:

$$H_{\text{расч}} = H_c \pm \Delta H, \text{ м.} \quad (3)$$

Если промерные ходы располагают по косым галсам или продольникам, то определение H_p производится по наблюдениям на водомерном посту, расположенном на участке работ, перед каждым новым заездом лодки.

В качестве срезочного уровня в этом случае можно принимать наиболее низкий уровень, наблюдавшийся в период выполнения промерных работ, а расчетный уровень будет равен:

$$H_{\text{расч}} = H_p - \Delta H, \text{ м.} \quad (4)$$

2. 3. 2. Промеры по поперечным профилям

Этот вид промеров позволяет достаточно точно определить положение промерных точек в плане и выявить распределение глубин по заранее установленному направлению.

Промеры глубин по поперечникам удобно производить на реках при скоростях течения до 1,5 м/с. Перед производством работ путем обследования участка реки

намечают места для поперечных профилей. Поперечники разбивают перпендикулярно оси водотока и закрепляют вехами на линии магистрали и урезах берега.

Расстояние между поперечниками назначают в зависимости от ширины водотока, характера рельефа дна и требуемой точности промеров. На прямолинейных участках с однообразным рельефом дна профиль разбивают через $1/2 - 1/3$ ширины реки при общей ее ширине до 100 м и через $1/3 - 1/4$ ширины на более широких реках. При сложном рельефе дна число профилей увеличивается. Глубины измеряются через равные расстояния в 10 – 50 точках на каждом профиле. Количество промерных точек зависит от ширины реки, рельефа дна и требуемой точности промерных работ.

В зависимости от ширины реки и скорости течения промеры по поперечным профилям могут производиться: по размеченному тросу, мостику; засечками с берега одним или двумя угломерными инструментами.

Промеры по размеченному тросу и мостику. Промеры по размеченному тросу применяются на реках шириной до 200 м. Для определения расстояний до промерных точек поперек реки по линии профиля натягивается стальной трос диаметром 3 – 8 мм, размеченный марками через 1 – 5 м. Один конец троса закрепляется за столб, установленный на магистрали, а другой его конец переправляется на противоположный берег и тоже закрепляется.

При промерах лодка передвигается вдоль троса. Против соответствующих меток измеряется глубина и отмечается грунт дна. В промерную книжку КГ-63 записывают номера и местоположение промерных створов, расстояние до промерных точек, глубину измеренную, и с учетом срезки глубин.

Промеры с мостика применяются при измерении расходов воды и наносов на реках и магистральных каналах оросительных систем, для промеров глубин могут использоваться существующие мостики и мосты. В этом случае расстояния до промерных точек определяют по меткам, нанесенным на настиле моста. Результаты замеров также заносят в соответствующие журналы или в табл. 1.

Таблица 1. Журнал промера участка реки _____ по поперечникам

число, месяц, год

№ поперечника	Отметка уровня, м усл.		Срезка, м	№ промерной вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м		грунт
	рабочего	срезочного				измеренная	со срезкой	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Промеры засечками с берега. При ширине реки более 200 м положение промерных точек на профиле определяется засечками их с берега теодолитом или кипрегелем на мензуле. Положение поперечных профилей в этом случае закрепляется створными знаками. На реках шириной до 500 м устанавливается два знака на одном берегу, а на более широких реках – по два знака на каждом берегу. Для лучшей видимости створные знаки (деревянные шесты) окрашивают в белый и красный цвета.

При промерах с засечками одним угломерным инструментом, после выполнения подготовительных работ (прокладки магистрали и разбивки поперечников), на магистрали выбирается и на плане отмечается место стоянки угломерного инструмента с таким расчетом, чтобы из этой точки можно было выполнить засечки для нескольких профилей. Базис-расстояние по магистрали от поперечного профиля до стоянки инструмента назначается таким, чтобы углы α между направлением поперечника и лучом визирования были $\geq 30^\circ$.

Основное требование при выполнении работ одним инструментом – передвижение лодки строго по профилю, так как ее местоположение в момент промера фиксируется в месте пересечения створа профиля и луча визирования.

Если это требование нарушается (при волнении, сильном ветре и течении), засечки выполняются двумя угломерными инструментами, которые устанавливают на концах базиса.

Засечки могут производиться по сигналам с лодки в момент отсчета измеряемой глубины или по сигналам с берега. Во втором случае положение промерных точек намечается заранее и глубина измеряется в момент сигнала с берега, означающего, что лодка находится в намеченной промерной точке. Этот способ дает возможность более равномерно распределить положение промерных точек на профиле. Однако наиболее распространенным является первый способ, дающий возможность распределять промерные точки с учетом изменения глубин.

При мензульной съемке план участка реки, линии урезов воды и местоположения промерных точек получают непосредственно в поле. Съемщик имеет возможность сразу сравнить полученный план с местностью. Работу удобнее выполнять с одним инструментом при строгом выдерживании лодки в закрепленном створе в момент промеров.

2. 3. 3. Промеры по косым галсам, продольным профилям или смешанным способом

При значительной скорости течения (более 1,5 м/с), затрудняющей передвижение лодки по поперечному профилю, промеры выполняют по косым галсам, продольным профилям или смешанным способом.

Промеры по косым галсам. Косой галс – это траектория судна (лодки), движущегося под углом 15 – 45° к поперечнику. Положение промерных точек засекается двумя угломерными инструментами.

При промерах глубин по косым галсам лодка, сносимая течением, пересекает реку под углом 15 – 45°. При значительной ширине реки и при большой скорости течения для детализации съемки применяется система перекрестных косых галсов.

Промеры по продольникам. Промеры глубин по продольным профилям производятся при очень больших скоростях течения, когда трудно удерживать

лодку даже на косых галсах. При промерах лодка свободно плывет по течению и через равные промежутки времени или одинаковое число гребков, как и при промерах по косым галсам, измеряется глубина. Положение промерных точек на продольнике определяется засечками с базиса двумя угломерными инструментами. Закончив промеры по одному продольнику, лодку снова заводят вверх, иногда буксируя вдоль берега, для выполнения работ на следующем продольном профиле.

Продольные профили назначаются равномерно по ширине реки примерно через 0,05 – 0,10 ее ширины со сгущением к берегам.

Результаты промеров заносятся в промерную книжку КГ-63 или журнал.

Промеры глубин смешанным способом выполняются при сложном рельефе дна, когда одним способом не удастся достаточно подробно осветить все особенности строения русла реки. В этом случае промеры по поперечным профилям или косым галсам комбинируются с промерами по продольникам.

2. 3. 5. Промеры глубин эхолотами

Измерение глубин эхолотами выполняют теми же способами: по поперечным, продольным профилям и косым галсам.

Используют ультразвуковые эхолоты двух модификаций: с цифровой индикацией и с записью на ленту эхограммы.

При использовании приборов первой группы результаты измерений глубин получаются в дискретной форме, а при использовании приборов второй группы – в виде непрерывной линии глубин на ленте эхограммы.

2. 4. Обработка материалов промерных работ

2. 4. 1. Обработка записей в промерной книжке

Обработка записей включает:

1. Сличение и проверку количества и нумерации промерных точек по данным промерного журнала и засечек угломерными инструментами;
2. При промерах по поперечникам устанавливается расстояние от постоянного начала до урезов воды и до промерных точек;
3. Вычисляется средняя глубина, если промер велся в два хода;
4. Устанавливается отметка уровня воды в начале и конце промера и определяется расчетный уровень с учетом срезки глубин;
5. Для всех промерных точек вычисляют отметки дна.

Расстояния до промерных точек l при засечках одним теодолитом определяют графически или вычисляют по формуле:

$$l = b \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ м,}$$

(5)

где b – расстояние от стоянки инструмента до поперечного профиля (базис), м; α – угол между магистралью и направлением на промерную точку, град.

При графическом способе положение промерных точек предварительно наносят на план и с полученного плана, учитывая масштаб, снимают расстояния. При работе с мензулой расстояния снимают с планшета, на котором производились засечки. Отметку дна в каждой промерной точке вычисляют как разность между отметкой рабочего уровня воды и глубиной в данной точке с учетом срезки.

Результаты промеров используют:

1. Для построения поперечных профилей и вычисления морфометрических характеристик русла;
2. Для построения плана русла реки в горизонталях и изобатах;
3. Для составления продольного профиля русла.

2. 4. 2. Построение поперечных профилей и вычисление морфометрических характеристик водного сечения

При составлении профиля поперечного сечения по горизонтальной оси откладывают расстояния от постоянного начала до промерных точек, а по

вертикальной оси – глубины. Вертикальный масштаб назначается в 5 – 20 раз крупнее горизонтального. На профиль наносят положение рабочего уровня воды с указанием его отметки и даты. Под профилем выписывают: расстояние от постоянного начала, глубины, отметки дна, характер грунта.

Для каждого профиля вычисляют основные морфометрические характеристики, необходимые для гидрологических и гидравлических расчетов: площадь водного сечения ω ; ширину реки B ; среднюю глубину $\bar{h}_{cp}$, наибольшую глубину h_{max} , смоченный периметр χ , гидравлический радиус R .

Площадь водного сечения ω – площадь, ограниченная профилем дна и уровнем воды и нормально расположенная к среднему течению потока. Определяется планиметрированием профиля или аналитическим суммированием площадей, ограниченных промерными вертикалями и поверхностью воды.

Площади между урезами берегов и первой и последней вертикалями определяются как:

$$\omega_0 = \frac{h_1 b_0}{2} \quad \text{и} \quad \omega_n = \frac{h_n b_n}{2}, \text{ м}^2.$$

(6)

Для всех остальных участков площади, ограниченные промерными вертикалями, представляют трапеции и могут быть вычислены по формуле:

$$\omega_i = \frac{(h_i + h_{i+1}) b_i}{2}, \text{ м}^2.$$

(7)

Ширина реки B – расстояние между урезами по поверхности воды, равное разности расстояний от постоянного начала до урезов воды дальнего и ближнего берегов:

$$B = l_{н.б.} - l_{л.б.}, \text{ м}.$$

(8)

Средняя глубина h_{cp} равна частному от деления площади поперечного сечения на ширину реки:

$$h_{cp} = \frac{\omega}{B}, \text{ м}.$$

(9)

Наибольшая глубина $h_{\max}$ определяется выборкой из всех измеренных глубин.

Смоченный периметр χ – длина линии дна, заключенная между урезами воды.

Вычисляется аналитически.

Гидравлический радиус R вычисляется как частное от деления площади поперечного сечения на длину смоченного периметра:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \text{ м.}$$

(10)

Для широких и неглубоких рек величина гидравлического радиуса близка к значению средней глубины и в таких случаях принимается равной средней глубине:

$$R = h_{cp}.$$

(11)

Основные морфометрические характеристики русла выписываются слева от поперечного профиля.

2. 4. 3. Составление плана русла реки в изобатах и горизонталях

Для составления плана реки в горизонталях и изобатах, необходимо предварительно привести промеры к условному уровню и нанести на план урезы этого уровня. Если русло реки изображается в горизонталях, то линии урезом соответствуют отметкам условного уровня; если же план будет строиться в изобатах, то линиями урезом будут изобаты с нулевыми глубинами.

Выписав на плане отметки дна (для плана в горизонталях) или глубины (для плана в изобатах) по всем промерным профилям, проводят горизонталы или изобаты. Сечение горизонталей (изобат) выбирают исходя из масштаба съемки (при масштабе 1 : 1000 и 1 : 2000 через 0,25 или 0,50 м; при масштабе 1 : 5000 через 0,5 м; при масштабе 1 : 10000 через 1 м).

Точки наибольших глубин на профилях соединяют линией, называемой линией наибольших глубин. В некоторых случаях для наглядности на плане вычерчивают поперечные профили русла.

2. 4. 4. Составление продольного профиля реки

Продольный профиль реки позволяет судить об изменении глубин, падений и уклонов реки на отдельных ее участках, а также о высоте берегов, границах их затопления высокими водами.

Продольный профиль составляют на основании данных нивелировок и промеров, сделанных на участке реки. Результаты промеров должны быть приведены к условному уровню.

На продольном профиле по горизонтальной оси откладывают расстояния до поперечников, на которых делались промеры и нивелировки, а по вертикальной оси откладывают отметки дна реки, уровень условный и уровень высоких вод, а также отметки бровок правого и левого берега реки.

Под профилем помещают таблицу, в которой дают числовые значения характеристик, положенных в основу построения профиля. Масштабы для профиля подбирают с таким расчетом, чтобы изменения характеристик были отчетливо видны на чертеже.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется глубиной реки, озера, водоема.
2. Цель промеров глубин.
3. Задачи промерных работ.
4. Методы промерных работ.
5. Приборы для измерения глубин и продольного профиля.
6. Состав работ по измерению глубин.
7. Способы промеров глубин.
8. Приведение промеров к срезочному (условному) уровню.
9. Промеры глубин по поперечным профилям.
10. Промеры глубин по размеченному тросу и мостику.
11. Промеры засечками с берега.

12. Промеры по косым галсам, продольному профилю и смешанным способом.
13. Обработка записей в промерной книжке.
14. Основные морфометрические характеристики водоемов и их расчет.
15. Составление плана русла реки в изобатах и горизонталях.
16. Составление продольного профиля реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.
2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.
2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.
3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
 - научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
 - электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;
 - электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 3

СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ

3. 1. Скорости течения воды и ее характеристики

Измерение скорости течения производится для различных целей: для определения расходов воды, исследования скоростного поля потока, анализа русловых деформаций, составления эпюр скоростей течений и т. д.

В русловых потоках – реках, каналах, водохранилищах, в которых производятся измерения скоростей течения методами гидрометрии, наблюдается турбулентный режим движения воды, который характеризуется перемешиванием водных масс, вызывающим пульсацию скоростей, как по величине, так и по направлению.

В связи с наличием пульсации скоростей различают мгновенную скорость и местную скорость в точке потока.

Мгновенной скоростью (u) называется скорость в данной точке потока в данное мгновение. Мгновенная скорость изменяется во времени по величине и по направлению.

В практической гидрометрии, как правило, приходится иметь дело со скоростями течения, осредненными во времени. Скорость течения в точке потока, осредненная за достаточно продолжительный период времени, называется **местной скоростью**, и определяется выражением:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_T u dt,$$

(12)

где $\int_T u dt$ - площадь графика пульсации скорости в пределах периода времени T .

Как показали наблюдения, при установившемся движении воды всегда можно определить такую величину T , которая будет удовлетворять условию:

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2 = \bar{u}_3 = \dots = const.,$$

(13)

Период времени, соответствующий этому условию, называется **периодом осреднения**. Величина периода осреднения зависит от степени турбулентности потока: чем больше турбулентность, тем больше период осреднения. При измерении скоростей течения очень важно, чтобы продолжительность отдельного

измерения была бы не менее периода осреднения. В противном случае величина местной скорости будет определена неверно.

3. 2. Распределение скоростей в речном потоке

Распределение скоростей течения воды в речном потоке может быть весьма разнообразным в зависимости от типа реки (равнинная, горная и др.), морфологических особенностей, шероховатости русла, уклона водной поверхности. При всем разнообразии указанных выше факторов существуют некоторые общие закономерности в распределении скоростей по глубине и ширине реки

Рассмотрим распределение продольных скоростей на различных глубинах по вертикали. Если от направления вертикали отложить величины скоростей и соединить их концы плавной линией, то эта линия будет представлять собой профиль скоростей. Фигура, ограниченная профилем скоростей, направлением вертикали, линиями поверхности воды и дна, называется эпюрой скоростей (рис. 1). В открытом потоке наибольшая скорость наблюдается обычно на поверхности. Скорость у дна потока имеет определенное конечное значение и называется донной скоростью.

Для математического выражения линии профиля скоростей в различное время разными авторами были предложены многочисленные формулы, в частности предлагались уравнения параболы, гиперболы, логарифмической кривой и др.

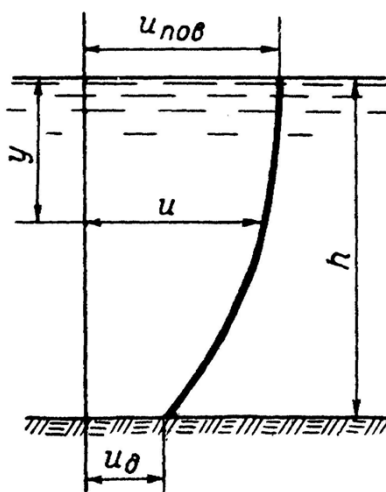


Рис. 1. Эпюра скоростей течения на вертикали.

Нормальный вид профиля скоростей, показанный на рис. 1 в условиях естественных водотоков может искажаться воздействием различных факторов, например неровностями дна, водной растительностью, ветром, ледяными образованиями и др.

При ветре по течению поверхностные скорости могут увеличиваться, а уровень воды несколько понижаться; при ветре против течения наблюдается обратная картина.

Подобно эпюрам скоростей на вертикалях можно построить эпюру скоростей по ширине реки, например поверхностных или средних скоростей на вертикалях. Очертания эпюры обычно следуют очертаниям дна; местоположение наибольшей скорости приближенно совпадает с положением наибольшей глубины.

Представление о распределении скоростей в живом сечении дают линии равных скоростей – изотакси, которые вычерчиваются по данным измерениям скоростей в отдельных точках.

Характер изотакс для открытого потока и при наличии ледяного покрова показан на рис. 2. Для открытого потока изотакси обычно имеют вид плавных кривых, не замыкающихся в пределах живого сечения; по мере приближения ко дну расстояния между изотаксами уменьшаются. При ледяном покрове часть изотакс образует замкнутые кривые.

Средняя скорость течения на вертикали. При вычислении расходов воды по измеренным скоростям, требуется знать среднюю скорость течения на отдельных вертикалях. Это позволяет определить частные расходы для площадок, примыкающих к вертикалям. Путем сложения частных расходов получают затем величину общего расхода для всего живого сечения. Средняя скорость на вертикали представляет среднюю арифметическую из скоростей во всех её точках.

Для определения средней скорости на вертикали достаточно ограничиться измерением скоростей в следующих пяти точках: 1) на поверхности; 2) на $0,2H$; 3) на $0,6H$; 4) на $0,8H$; 5) у дна. Здесь H обозначает полную глубину на вертикали.

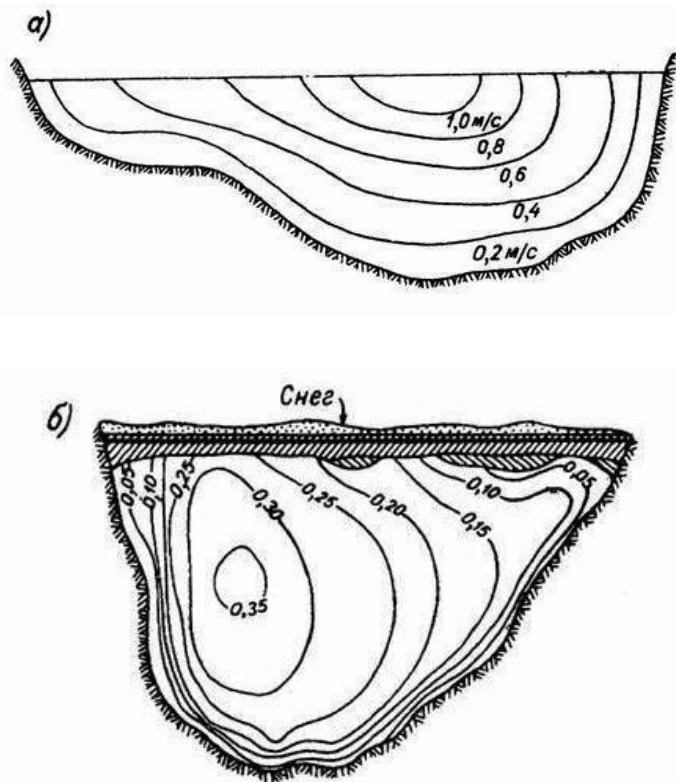


Рис. 2. Изотахи
(а) и подо льдом

в открытом русле
(б) по ширине

реки.

При пятиточечном способе средняя скорость на вертикали вычисляется по формуле:

$$g_{cp} = \frac{g_{пов} + 3g_{0,2H} + 3g_{0,6H} + 2g_{0,8H} + g_{дон}}{10}. \quad (14)$$

Удовлетворительные результаты получаются также при трехточечном способе по формуле:

$$g_{cp} = \frac{g_{0,2H} + 2g_{0,6H} + g_{0,8H}}{4}, \quad (15)$$

или при двух точечном способе по формуле

$$g_{cp} = \frac{g_{0,2H} + g_{0,8H}}{2}, \quad (16)$$

где v_{cp} - средняя скорость на вертикали; $v_{0,2H}$; $v_{0,6H}$; $v_{0,8H}$ - скорости в точках на соответствующих глубинах от поверхности; $v_{пов}$ - поверхностная скорость; $v_{дон}$ - скорость вблизи дна

На основании многочисленных наблюдений установлено, что в открытом потоке скорость в точке, расположенной на расстоянии 0,6 глубины от

поверхности воды ($0,6H$), приближенно равна средней скорости на вертикали, т. е.

$$v_{cp} = v_{0,6H}.$$

Этот вывод имеет большое практическое значение, так как для определения средней скорости на вертикали достаточно ограничиться изменением скорости в одной лишь точке. Например, при глубине в 1,5 м средняя скорость на вертикали может быть получена путем измерения скорости в точке на глубине 0,9 м от поверхности воды.

3. 3. Методы и приборы для измерения скоростей течения воды

Существует большое количество методов для измерения скоростей течения воды и приборов, действие которых основано на различных физических принципах. Здесь остановимся только на тех из них, которые применяются или могут использоваться в гидрометрических работах.

Метод, основанный на регистрации числа оборотов лопастного винта (ротора). Скорость течения измеряется наиболее распространенными приборами - гидрометрическими вертушками. При измерении скорости регистрируется общее число оборотов лопастного винта и продолжительность измерения. Величина скорости определяется по тарифовочному графику в зависимости от числа оборотов в секунду. Посредством гидрометрических вертушек обычно определяется местная скорость течения в отдельных точках потока, хотя вертушки могут также применяться для интеграционного определения средней скорости на вертикали или, например, средней поверхностной скорости потока.

Гидрометрическая вертушка (рис. 3) является наиболее совершенным и распространённым прибором для измерения скоростей течения воды. Принцип действия гидрометрической вертушки заключается в следующем: если к горизонтальной оси, могущей вращаться на неподвижных опорах, приделать крылья, подобные тем, что у ветряных мельниц, или имеющие винтообразную форму, и поместить такую конструкцию в движущийся поток так, чтобы струи давили на плоскость крыльев под углом, то последние начнут вращаться с некоторой скоростью. Скорость вращения оси с крыльями зависит от скорости

течении воды. Следовательно, по числу оборотов крыльев можно судить о скорости течения. Отсюда вертушки и получили своё название.



Рис. 3. Гидрометрическая вертушка.

Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела. Для измерения скорости используются различного рода поплавки, которые могут запускаться как на поверхность потока, так и на требуемую глубину. Скорость течения принимается равной скорости движения поплавка, которая определяется по времени прохождения поплавком определенного расстояния. Отсюда видно, что при поплавоочных измерениях получаем величину скорости, осредненную для участка потока по траектории движения поплавка.

Глубинные поплавки. Поплавки, дающие скорость течения для точек на заданной глубине, называются глубинными. Глубинный поплавок состоит из двух поплавков – одного поверхностного и второго, присоединяемого к нему бечевой или тросиком и погружаемого в воду на нужную глубину (рис. 4). Глубиной погружения считается длина бечевы или тросика, которая может меняться; обычно она делается равной $0,6H$ для вертикали, где измеряется скорость. Это позволяет получить сразу среднюю скорость на вертикали. Лучшие результаты дают так называемые двойные поплавки, состоящие из двух равных по объему и весу частей.

Метод, основанный на регистрации величины скоростного напора. Для измерения скорости используются гидрометрические трубки различной конструкции, прообразом которых является трубка Пито. Скорость определяется в зависимости от величины скоростного напора, трубка вводится в поток отверстием навстречу течению. Величина скоростного напора измеряется

непосредственно по высоте подъема уровня в трубке. Гидрометрические трубки дают местную скорость в отдельных точках потока.

Метод, основанный на регистрации величины силового воздействия потока. Для измерения скорости используются приборы, в которых имеется чувствительный элемент, воспринимающий силовое воздействие потока. В настоящее время подобные приборы применяются главным образом для научно-исследовательских работ с целью измерения и осциллографической записи мгновенных скоростей в отдельных точках потока. Они позволяют исследовать пульсацию скоростей.

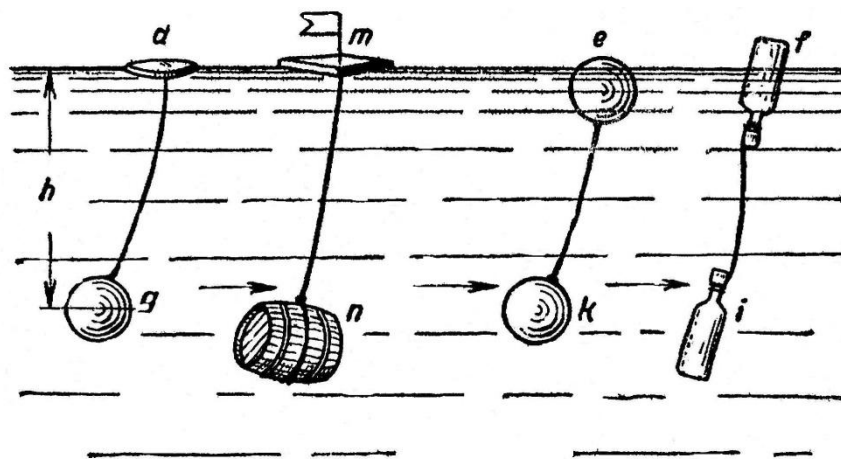


Рис. 4. Глубинные поплавки.

Гидрометрические вертушки, принцип их действия и основные части. Наиболее распространенным прибором для измерения скорости течения являются гидрометрические вертушки.

Ходовой частью вертушки, воспринимающей скорость движущейся воды, является рабочее колесо (лопастной винт). Между скоростью течения V и числом оборотов n лопастного винта вертушки в одну секунду существует зависимость $V = f(n)$, устанавливаемая для каждой вертушки тарированием в специальных тарировочных бассейнах.

Для измерения скорости течения вертушка опускается в поток на определённую глубину и измеряется число оборотов N лопастного винта за

промежуток времени t . Чтобы получить величину скорости, вычисляется число оборотов лопастного винта в одну секунду (об/с): $n = N/t$.

Скорость течения определяется в зависимости от полученного значения n по тарифовочной таблице вертушки. Основные части вертушки следующие:

1. Рабочее колесо.
2. Ось.
3. Корпус.
4. Счётно-контактный механизм.
5. Хвостовое оперение.

Для того чтобы вертушка начала вращаться необходима некоторая минимальная скорость течения, которая называется начальной скоростью или чувствительностью вертушки. Величина начальной скорости определяется на тарифовочной кривой отрезком от начала координат до пересечения кривой с вертикальной осью. Тарировка вертушек производится в специальных тарифовочных бассейнах. Существует 2 типа тарифовочных бассейнов: с прямолинейным и с круговым движением.

При каждой вертушке должно всегда храниться тарифовочное свидетельство (или сертификат), в котором указываются: сведения о тарифовочной лаборатории (бассейне), номер и тип вертушки, дата последнего её тарирования, производилось ли тарировка до или после ремонта, уравнения тарифовочной кривой.

Вопросы для самоконтроля

1. Цели и задачи измерения скоростей течения.
2. Мгновенная скорость потока.
3. Местная скорость.
4. Распределение скоростей в речном потоке.
5. Вычисление средней скорости на вертикали.
6. Методы и приборы для измерения скоростей течения воды.
7. Гидрометрические вертушки. Принципы их действия и основные части.

8. Тарирование гидрометрических вертушек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.
2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
4. **Винников, С. Д.** Гидрофизика. [Текст] / С. Д. Винников, Б. В. Проскуряков. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 239 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.
2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева.- Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.
3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
 - научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
 - электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>.

ЛЕКЦИЯ 4

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ

4. 1. Методы определения расходов воды

Расходом воды называется объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени. Обычно расход выражается в кубических метрах в секунду ($\text{м}^3/\text{с}$), для малых водотоков (ручьи, родники) – в литрах в секунду (л/с). Расход воды определяет собой в основном режим стока данной реки, так как с изменением количества протекающей воды изменяется высота уровня, скорости течения, глубины, продольный уклон. Расходы, измеренные в различные фазы гидрологического режима, служат основой для вычисления объемов стока воды за определенные интервалы времени (сутки, месяц, сезон, год и т. д.). При проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений сток воды является одним из основных расчетных элементов. Сведения о стоке воды используются при составлении проектов его регулирования, водоснабжения, оросительных и осушительных мероприятий и решении ряда других водохозяйственных проблем.

В связи с этим определение расходов воды составляет одну из основных задач гидрометрии.

Существуют 2 группы методов определения расходов:

- непосредственное (объемный);
- косвенное (через другие характеристики потока).

Косвенные методы измерения расхода включают:

1. «Площадь – скорость»;
2. Гидравлический;
3. Смещения.

1. Способ «площадь – скорость» основан на измерении площади живого сечения и скорости течения. Площадь живого сечения определяется путем произведения промеров глубин, а скорости течения измеряются различными приборами: гидрометрическими вертушками, поплавками и др.

2. Гидравлический способ основан на использовании формул гидравлики. В этом случае измеряется не скорость течения, а другие элементы, входящие в расчетные формулы, - высота уровня (напор на водосливах), продольный уклон водной поверхности, площадь живого сечения и т. д. Гидравлический способ применяется в основном при измерении расходов воды через водосливы и

отверстия в гидротехнических сооружениях, а также при определении максимальных расходов пересохших водотоков и расходов малых рек.

3. Способ смешения основан на смешении растворимого вещества с водой потока. В поток пускается раствор какого-либо индикатора (например, поваренной соли), и после его перемешивания с речной водой определяется электропроводность воды или концентрация этого индикатора. Способ смешения применяется преимущественно на горных реках, где измерение расхода воды методом «площадь-скорость» затруднено вследствие загромождения русла камнями и бурного течения.

4. 2. Метод «площадь – скорость». Модель расхода

Наиболее распространенным способом измерения расхода воды является способ «площадь - скорость». Применение этого способа основано на следующем.

Если в плоскости живого сечения потока выделить элементарную площадку, то расход воды q через нее будет зависеть от величины скорости течения и выразится объемом призмы, у которой основанием является площадь элементарной площадки $\Delta\omega$, а высотой – величина вектора скорости v :

$$q = \Delta\omega \cdot v.$$

(17)

Так как скорости течения по ширине реки и глубине потока неодинаковы, то и расходы воды через элементарные площадки, расположенные в разных частях живого сечения, будут различны. Общий расход воды через всю площадь живого сечения потока будет равен сумме расходов через отдельные площадки:

$$Q = \sum q.$$

(18)

Формула (17) действительна при условии, что скорость течения нормальна к площадке ω . Если же направление течения не перпендикулярно плоскости живого сечения, то формула (17) будет иметь вид:

$$q = \Delta\omega \cdot v \cdot \cos\alpha, \quad (19)$$

где α – угол между направлением течения и линией, перпендикулярной плоскости живого сечения.

Таким образом, истинное значение расхода воды можно получить при условии, что направление течения будет перпендикулярным плоскости живого сечения. Поэтому в косоструйных потоках, помимо величины скорости, необходимо измерять и направление течения.

Если скорости течения изобразить в виде векторов, нормальных к плоскости живого сечения, то расход воды выражает объем водяного тела, заключенного между двумя плоскостями (вертикальной и горизонтальной) и криволинейной поверхностью. Вертикальная плоскость представляет собой площадь живого сечения, горизонтальная плоскость – эпюру поверхностных скоростей течения, а криволинейная поверхность характеризует распределение скоростей по ширине и глубине $V = f(b, h)$. Это водяное тело, равное по объему расходу воды, называется моделью расхода.

Остановимся на некоторых свойствах модели расхода.

Если модель расхода рассечь плоскостями, перпендикулярными поверхности воды, то площади сечений будут представлять собой эпюры распределения скоростей течения по ширине реки на соответствующих глубинах.

Если рассечь модель расхода вертикальными плоскостями, перпендикулярными плоскости живого сечения, то площади сечения будут представлять собой эпюры распределения скоростей на вертикалях.

Если рассечь модель расхода вертикальными плоскостями, параллельными плоскости живого сечения, то линии пересечения будут представлять собой линии равных скоростей, т. е. изотакхи.

4. 3. Измерение расходов воды с помощью гидрометрической вертушки

Измерение расходов воды вертушкой в зависимости от способа определения скоростей течения может быть выполнено точечным и интеграционным способами.

Точечный способ является основным и принят в качестве стандартного на сети гидрологических станций и постов. В зависимости от числа скоростных вертикалей и количества точек на вертикали различают следующие варианты точечного способа: детальный, основной и сокращенный.

При детальном способе расход воды измеряется по увеличенному числу скоростных вертикалей с многоточечным измерением скоростей на каждой вертикали. Детальный способ применяется при изучении распределения скоростей течения в потоке и выяснении возможности перехода на основной способ измерения. Расходы воды детальным способом измеряются в первые два – три года наблюдений.

Основной способ предусматривает измерение расхода воды по такому наименьшему (не менее трех – пяти) числу скоростных вертикалей, при котором значение расхода воды в большинстве случаев отличаются от измеренных детальным способом не более чем на $\pm 3\%$. В зависимости от состояния реки измерение скорости течения производится в двух или трех точках на каждой вертикали. Переход на основной способ измерения осуществляется в результате анализа расходов, измеренных детальным способом.

При сокращенном способе измерение расхода воды производится на одной – двух вертикалях в двух – трех точках на вертикали. Сокращенный способ применяется на реках с устойчивым руслом и лишь в тех случаях, когда требуются частые измерения расходов, например при переменном подпоре, ледоходе, неустойчивом режиме расходов и уровней вследствие прохождения паводков и пропусков воды из вышерасположенных водохранилищ. Переход на сокращенный способ измерения возможен лишь в результате анализа расходов воды, измеренных детальным и основным способами.

Интеграционный способ измерения расхода воды заключается в определении средней скорости течения в какой-то части потока или во всем его живом

сечении. В зависимости от участка живого сечения, охватываемого интеграцией, известны следующие варианты этого способа:

1. Интеграция скорости по вертикали;
2. Интеграция скорости по горизонтали;
3. Интеграция по всему живому сечению.

Интеграция скорости по вертикали заключается в измерении средней скорости течения по глубине вертикали. Для этого вертушку на скоростной вертикали непрерывно и равномерно опускают от поверхности до дна. При этом регистрируется суммарное число оборотов лопастного винта и общая продолжительность наблюдений. Поскольку вертушка проходит слои потока с различными скоростями, то среднее число оборотов лопастного винта за одну секунду будет соответствовать средней скорости на вертикали.

Значение средней скорости, измеренной этим способом, получается несколько завышенным, так как при опускании вертушки лопастной винт не доходит до дна и измерениями не освещается придонная зона малых скоростей.

Интеграция по горизонтали заключается в измерении средней скорости по ширине реки в поверхностном слое или на какой-либо глубине. Этот способ распространения еще не получил, но в ряде случаев применение его целесообразно, когда требуется значительно сократить продолжительность измерения (например, при ледоходе), либо когда опускание вертушки в придонные слои опасно (например, при интенсивном перемещении камней по дну на горных реках).

Третий вариант интеграционного способа предусматривает измерение средней скорости во всем живом сечении потока. Вертушка при этом перемещается по створу от одного берега к другому и одновременно опускается до дна и поднимается до поверхности, совершая движение по зигзагообразной линии.

Применяемые способы вычисления расходов воды, измеренных гидрометрической вертушкой, основываются на приближенных решениях формул.

Одна из этих формул выражает аналитический способ, вторая - графический и третья - способ вычисления расхода по изотаксам:

1. Аналитический способ:

$$Q = K \cdot V_1 \cdot \omega_0 + \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot \omega_1 \dots K \cdot V_n \omega_n. \quad (20)$$

2. Графический способ наиболее распространен. При этом способе интегрирование заменяется измерением площади эпюры элементарных расходов планиметром или палеткой. Тогда, элементарный расход определяется по формулам:

$$\begin{aligned} q &= \Delta \omega \cdot V; \\ q &= \Delta \omega \cdot V \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \quad (21)$$

Графически элементарный расход представляет собой площадь эпюры скоростей на вертикали.

Последовательность выполнения работы:

1. На листе миллиметровки вычерчивают профиль поперечного сечения реки и наносят расчетный уровень.

2. На том же листе вычерчивают эпюры скоростей для каждой вертикали в том же масштабе.

3. Вычисляют средние скорости течения на вертикалях делением площади эпюры скоростей на рабочую глубину вертикали (площади эпюр определяют планиметром).

4. Строят эпюру средних скоростей; для этого над профилем по линиям соответствующих скоростных вертикалей откладывают от линии уровня воды значения средних скоростей.

5. Строят эпюру элементарных расходов (последние получаются умножением средних скоростей на вертикали глубины).

6. Вычисляют по площади расход воды.

3. Способ вычисления расхода воды по изотаксам. Площади (Р), ограниченные изотаксами определяют планиметром или палеткой, a - сечение изотакс:

$$Q = \frac{P_0 + P_1}{2} \cdot a_1 + \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot a_2 + \dots \frac{2}{3} \cdot P_n \cdot (V_{\max} - V_n). \quad (22)$$

**4. 4. Определение расхода воды по скоростям, измеренным
поверхностными поплавками**

В некоторых случаях (при рекогносцировочных исследованиях, отсутствии или повреждении гидрометрической вертушки, интенсивном ледоходе и т.д.) расходы воды измеряют с помощью поверхностных поплавков. Для этого выполняют следующие гидрометрические работы: наблюдения за уровнем воды, промеры глубин по гидрометрическому створу, измерения поверхностных скоростей течения воды по ширине потока.

Гидрометрический створ должен быть перпендикулярен среднему направлению течения воды на выбранном участке реки.

Запись и обработку результатов измерения расходов воды поверхностными поплавками ведут в книжке КГ-7М(н).

Расход воды вычисляется в следующей последовательности:

1. На клетчатке в книжке для записи измерения расхода воды поплавками строят эпюру средней продолжительности хода поплавков по ширине реки (рис. 5). Для этого в выбранном масштабе по оси ординат откладывают продолжительность хода поплавков между верхним и нижним створами, а по оси абсцисс – расстояния от постоянного начала до места прохождения поплавков среднего створа; около точек указывают номера поплавков. По нанесенным точкам проводят плавную кривую – эпюру средней продолжительности хода поплавков по ширине реки; поправки, отклоняющиеся от общей закономерности более чем на 10%, не учитывают.

Через равные расстояния, обязательно совмещая с промерными, намечают скоростные вертикали. Поверхностные скорости на них вычисляют по формуле:

$$U_{nos} = \frac{l}{t_i}, \quad (23)$$

где l – расстояние между верхним и нижним створами, то есть путь, пройденный поплавком, м; t_i – средняя продолжительность (с) хода поплавка, определяют с помощью эпюры средней продолжительности.

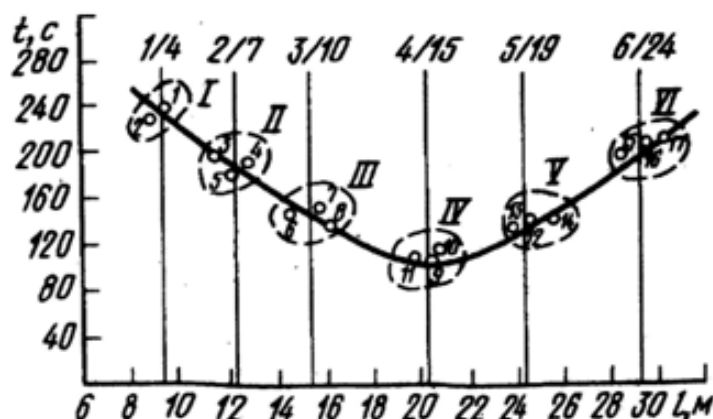


Рис. 5. Эпюра средней продолжительности хода поплавков.

По данным промеров глубин путем суммирования соответствующих площадей между промерными вертикалями вычисляют площади водного сечения между скоростными вертикалями. Фиктивные расходы воды между скоростными вертикалями рассчитываются по формуле:

$$Q_{\phi} = 0,5 \cdot (U_{novi} + U_{novi+1}) \cdot \omega_i, \quad (24)$$

где u_{novi} и u_{novi+1} — поверхностные скорости на двух смежных скоростных вертикалях, м/с; w_i — площадь водного сечения между этими скоростными вертикалями, м².

Для береговых участков фиктивные расходы равны:

$$\Delta Q_{\phi 0} = k u_{nov0} \cdot \omega_0, \quad \Delta Q_{\phi n} = k u_{novn} \cdot n \cdot \omega_n, \quad (25)$$

где k — коэффициент, зависящий от крутизны берега; w_i и w_n — площади соответственно водного сечения между первой и последней скоростными вертикалями и урезами левого и правого берегов.

Общий фиктивный расход воды, равен сумме частичных расходов:

$$Q_{\phi} = \sum_{\phi i}^n \Delta Q_{\phi i}. \quad (26)$$

Действительный расход воды определяется по формуле:

$$Q_d = k_1 \cdot Q_\phi, \quad (27)$$

где k переходный коэффициент от фиктивного расхода к действительному.

Коэффициент k_1 можно подсчитать различными способами. Наиболее точный способ - определение k_1 по данным детальных вертушечных измерений расхода воды в конкретном створе. В этом случае:

$$k_1 = \frac{Q}{Q_\phi}, \quad (28)$$

где Q - расход, найденный по данным вертушечных измерений; Q_ϕ - фиктивный расход по результатам измерений поверхностными поплавками.

Для приближенных расчетов в случае отсутствия необходимых данных коэффициент k_1 можно принимать по таблице в зависимости от средней глубины и характеристики русла.

Приближенно расход воды можно определить и по наибольшей поверхностной скорости, измеренной с помощью поплавков, запущенных только на стрежень реки. В этом случае фиктивный расход:

$$Q'_\phi = v_{\max} \cdot \omega, \quad (30)$$

где $v_{\max}$ - наибольшая поверхностная скорость; ω - площадь живого сечения потока по данным промеров. Действительный расход определяется по формуле:

$$Q = k_2 \cdot Q'_\phi, \quad (31)$$

где k_2 - переходный коэффициент от максимальной скорости к средней.

Таблица 2. Приближенные переходные коэффициенты по Г. В. Железнякову

Характеристика русла и поймы	Средняя глубина,					
	меньше 1		1 ... 5		больше 5	
	k_1	k_2	k_1	k_2	k_1	k_2
Русло прямое, чистое земляное (глина, песок), галечное, гравийное	0,80	0,64	0,84	0,66	0,86	0,67

Русло извилистое, частично заросшее травой, каменистое. Пойма, сравнительно разработанная с растительностью (травы, редкий кустарник)	0,76	0,60	0,80	0,63	0,83	0,65
Русло и пойма, значительно заросшие, с глубокими промоинами. Русло извилистое с наличием крупных валунов	0,6	0,55	0,74	0,59	0,80	0,62
Пойма сплошь лесная таежного типа	0,57	0,46	0,69	0,56	0,75	0,60

4. 5. Измерение расходов воды на гидроузлах и каналах

Определение расходов воды с помощью гидрометрических лотков.

Гидрометрические лотки применяются для измерения расходов воды на небольших водотоках, периодически действующих логах и т. п. Широко используются гидрометрические лотки для учета количества воды на оросительных каналах.

В гидравлическом отношении работа гидрометрического лотка подобна работе водослива с широким порогом. Поднятие порога отсутствует; при этом перепад уровня воды получается за счет сужения потока боковыми стенками сотка. Для измерения расхода используется зависимость между величиной напора и расходом воды.

Более точное определение расхода возможно в случае незатопленного режима истечения, при этом расход определяется в зависимости от высоты уровня воды в верхнем бьефе, т. е. $Q = f(H)$, где H - напор над порогом водослива со стороны верхнего бьефа.

При затопленном режиме истечения точность измерения расхода понижается, при этом расход зависит от положения уровня воды в верхнем и нижнем бьефах. $Q = f(H, h)$, где h - превышение уровня нижнего бьефа над порогом, или глубина подтопления

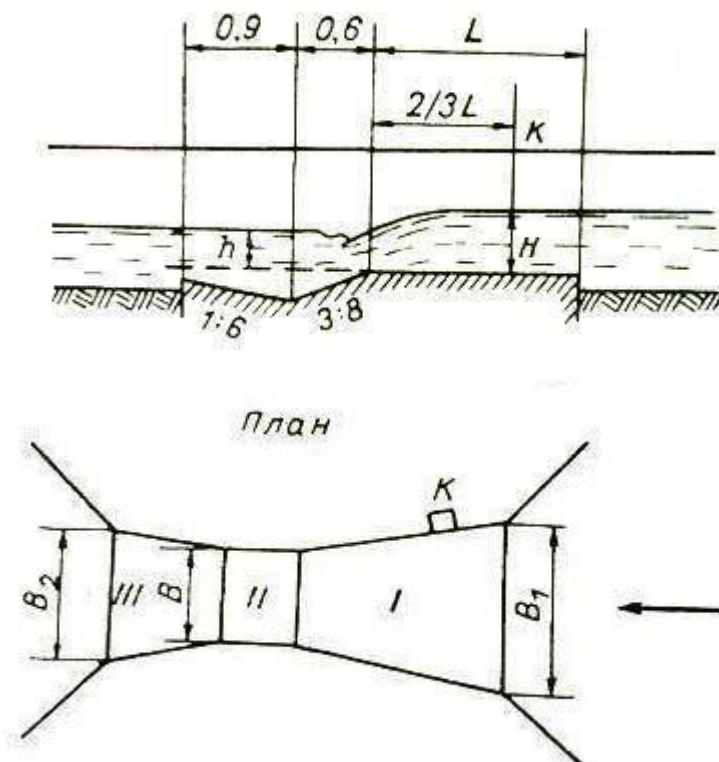


Рис. 6. Схема гидрометрического лотка стандартного типа.

Точность определения расходов воды гидрометрическими лотками несколько меньше, чем мерными водосливами, однако они имеют ряд преимуществ, к числу которых относятся: во-первых, свободный пропуск донных наносов, в связи, с чем лотки применяют преимущественно на реках, водотоках и каналах с большим содержанием донных наносов; во вторых, незначительный подпор воды в верхнем бьефе, благодаря чему лотки не нарушают естественного режима стока и установившегося соотношения между расходами (поверхностного и подруслового (аллювиального) потоков).

Гидрометрические лотки устанавливают на прямолинейном участке водотока длиной, равной примерно шести — восьмикратной ширине.

Для измерения расходов воды обычно применяют гидрометрические лотки стандартного типа, состоящие из трех основных частей: приемного раструба 1, горловины 2 и отводящего раструба 3 (см. рис. 6). Размеры стандартных лотков определяются шириной горловины В:

$$\text{Длина приемного раструба по продольной оси } L = 0,53 + 1,2B$$

$$\text{Ширина входа } B_1 = 1,2B + 0,48 \text{ м}$$

Ширина выхода $B_2 — B + 0,30$ м

На реках с большим уклоном дна ($I=0,01$ и более) гидрометрические лотки устраивают только с одним приемным раструбом (рис. 7), без горловины и отводящего раструба; за лотком делается перепад не менее 0,2 м, а дно за ним укрепляют камнем. Расход определяется в зависимости от уровня воды в приемном раструбе, причем зависимость $Q=f(H)$ устанавливают тарированием.

Водомерный порог САНИИРИ (Среднеазиатский научно - исследовательский институт ирригации) предназначается для определения расходов воды в каналах и водотоках, находящихся в зоне переменного подпора, а также на участках с неустойчивым руслом основным свойством и преимуществом водомерного порога является то, что он имеет режим незатопленного истечения при значительном подтоплении с нижнего бьефа, до $h=0,82H$.

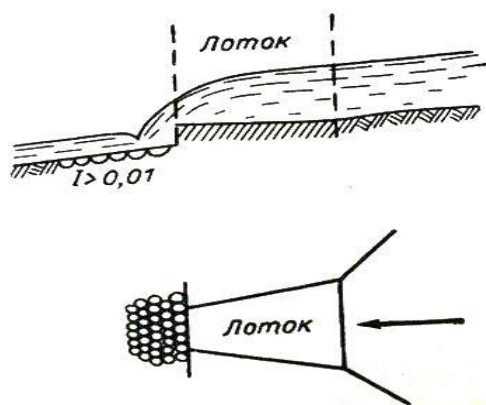


Рис. 7 .Гидрометрический лоток для рек с большим уклоном дна.

Наличие большого количества донных наносов в потоке не влияет на работу порога; выполаживание дна верхнего бьефа наносами не сказывается на

зависимости $Q = f(H)$, большая же часть наносов проходит через порог. Расход воды определяется в зависимости от высоты уровня в верхнем бьефе по кривой $Q = f(H)$ или по расчетной таблице, составленной по зависимости $Q = f(H)$. Регистрация уровня производится в верхнем бьефе в начале наклонной части порога. Конструкция и размеры порога показаны на рис.

Зависимость $Q = f(H)$ для водомерного порога САНИИРИ устанавливается расчетом по формуле или путем тарирования — измерения расходов вертушкой. Водомерный порог применяется для измерения расходов от 1,5 до 15–20 м³/с.

Для измерения расходов воды применяются водосливы с тонкой стенкой; вычисление расходов воды производится по формулам по величине напора. Гидрометрические водосливы должны работать при незатопленном режиме.

Водосливами обычно измеряют расходы от 0,0005 до 10 м³/с. Как измерительная установка водосливы очень удобны, когда требуется частое и точное определение расхода для учета стока малых рек, распределения воды по ирригационной системе и при исследовательских работах, связанных с изучением расхода и стока. Они также широко применяются в гидравлических лабораториях.

Рассмотрим типы водосливов, принятые для измерения расходов воды.

Прямоугольный водослив без бокового сжатия имеет горизонтальное водосливное ребро во всю ширину канала. Такой водослив устраивается в каналах прямоугольного сечения длиной, равной семи-восьмикратному наибольшему напору. Ребро водослива должно возвышаться над дном канала не менее чем на 0,2 м, а уровень воды в нижнем бьефе должен находиться не менее чем на 0,1 м ниже отметки ребра. Наибольший напор $H_{\text{макс}}$ должен быть не более 1,00 м. Наименьший напор, обеспечивающий достаточно точное определение расхода, не должен быть менее 0,05 м.

Расход воды через водослив определяется по формуле:

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H^{2/3},$$

(32)

где m_0 — коэффициент расхода, учитывающий скорость подхода, определяемый по формуле:

$$m_0 = \left(0,405 + \frac{0,0027}{H}\right) \left[1 + 0,55 \frac{H^2}{(H+P)^2}\right], \quad (33)$$

где b — ширина отверстия водослива; H — напор на водосливе, т. е. разность отметок уровня верхнего бьефа и гребня водослива; отметка уровня верхнего бьефа определяется вне влияния кривой спада, на расстоянии не менее $2H$ от ребра водослива; P — высота порога водослива со стороны верхнего бьефа; g — ускорение силы тяжести.

Практически расходы воды через водослив определяются с помощью таблиц в зависимости от напора, высоты порога и ширины отверстия. Подобные таблицы имеются в справочниках по гидравлике.

Прямоугольный водослив с боковым сжатием имеет ширину порога, меньшую, чем ширина подводящего канала, поэтому при переливе воды через отверстие струя водослива испытывает сжатие со всех сторон, что вызывает некоторое уменьшение расхода по сравнению с аналогичным водосливом без бокового сжатия.

Расход воды через прямоугольный водослив с боковым сжатием определяется по формуле с той разницей, что коэффициент расхода находится по зависимости:

$$m_0 = \left(0,405 + \frac{0,0027}{H} - 0,03 \frac{B-b}{B}\right) \left[1 + 0,55 \frac{b^2}{B^2} \frac{H^2}{(H+P)^2}\right], \quad (34)$$

где B — ширина канала в верхнем бьефе (остальные обозначения те же).

Практически расход через водослив определяют с помощью таблиц. Напор на водосливе рекомендуется принимать в пределах 0,05—1,00 м.

Трапецеидальный водослив имеет водосливное отверстие в форме равнобедренной трапеции. Наиболее распространенным является трапецеидальный водослив с коэффициентом откоса боковых стенок $m=0,25$ и шириной порога, равной $(3 - 4)H$. Высоту порога со стороны верхнего бьефа рекомендуется принимать не менее 0,5 м. Величина напора на водосливе должна быть в пределах 0,05—1,0 м.

Расход вод через такой водослив определяется по формуле:

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

(35)

где b — ширина порога (ребра) водослива; H — напор. Практически расход вычисляют с помощью таблиц.

Треугольный водослив устраивается с разными углами треугольного выреза, в пределах 20° — 120° , в зависимости от величины учитываемых расходов. Наиболее распространен треугольный водослив с углом выреза, $\alpha = 90^\circ$. Достаточно точно измерить расход можно при величине напора не менее $0,05$ м. Наибольший напор для водослизов с $\alpha = 20^\circ$ не должен превышать $0,5$ м, а при большей величине угла выреза наибольший расчетный напор рекомендуется принимать не более 1 м.

Расход воды через треугольный водослив определяется по формуле:

$$Q = \frac{8}{5} \mu \sqrt{2g} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} H^{5/2}.$$

(36)

Зависимость между расходами и уровнями выражается графически кривой расходов, которая строится для определения стока воды.

В гидрометрии принято определять зависимость расходов от уровней, хотя физически независимым переменным является расход воды, а уровень — функцией.

Так принято потому, что измерения уровней на гидрологических постах производятся ежедневно в стандартные сроки, а измерения расходов вследствие большой трудоемкости делаются значительно реже.

Для построения кривой расходов в координатной системе (x, y) наносят на график точки измеренных расходов, в которые обычно располагаются узкой полосой. Кривую расходов проводят на глаз плавной линией, по середине полосы рассеивания точек расходов.

На том же чертеже строят кривые площадей живого сечения $\omega=f(H)$ и средних скоростей $v=f(H)$. Кривые площадей и ср. скоростей необходимы для экстраполяции кривой расходов и для анализа надежности измеренных расходов; все три кривые должны быть увязаны между собой по уравнению.

Сверка производится при определенных значениях уровня через равные промежутки путем умножения соответствующих значений на среднее. При этом

руководствуются правилом, что если полученный расход отличается от снятого с кривой больше чем на 1% , то надо выяснить причины этого и внести исправления.

После сверки и исправления кривые обводят тушью. Затем, пользуясь построенной кривой расходов, составляют расчетную таблицу расходов. Промежуточные значения уровней вычисляют интерполяцией.

Значения средних суточных расходов воды, вычисленные по средним суточным уровням, записывают в таблицу «Ежедневные расходы воды». Таблицы «Ежедневные расходы воды» публикуются в гидрологическом ежегоднике (с указанием расходов за сутки, декады, месяцы, год).

Вопросы для самоконтроля

1. Определение расхода воды.
2. Методы определения расхода воды.
3. Способы измерения расхода воды.
4. Модель расхода воды.
5. Свойства модели расхода.
6. Измерение расходов воды с помощью гидрометрической вертушки.
7. Точечный способ.
8. Интеграционный способ.
9. Определение расходов воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками.
10. Измерение расходов воды на гидроузлах и каналах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.

2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.:Гидрометеиздат,1977. – 448 с.

4. **Винников, С. Д.** Гидрофизика. [Текст] / С. Д. Винников, Б. В. Проскуряков. - Л.:Гидрометеиздат,1988. - 239 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат,1978. - 308 с.

2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева.- Л.:Гидрометеиздат,1983. - 424 с.

3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;

- научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;

- электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>.

ЛЕКЦИЯ 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ РАСХОДАМИ И УРОВНЯМИ ВОДЫ И ПОДСЧЕТ СТОКА ВОДЫ

5. 1. Определение зависимости между расходами и уровнями воды

Расход – одна из главных характеристик потока воды, определяющая другие его параметры: уровни расхода воды, скорости течения, уклон свободной поверхности, движение воды, движения наносов и т. д.

Расходом воды называется объем воды, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. Выражается в кубических метрах в секунду ($\text{м}^3/\text{с}$) или в литрах в секунду ($\text{л}/\text{с}$) и обозначается Q . Значительно чаще и проще ведутся наблюдения за уровнем воды. Между уровнем воды и расходом существует гидравлическая связь. Имея ряд расходов воды, измеренных при различных уровнях, можно установить эту связь для соответствующего течения водотока. Обычно она выражается графически в виде кривой $Q=f(H)$ и называется кривой расходов, которая строится для определения стока воды. Стоком называется количество воды, протекшей через поперечное сечение водотока за определенное время. Вычисление стока производится, как правило, ежегодно за прошедший год. Внутри годового цикла обычно выделяют отдельные периоды, для которых величина стока вычисляется различными методами, например период ледостава, период развития водной растительности и др.

Для построения кривой расходов служат величины измеренных расходов и соответствующие им уровни воды. Эти материалы за годовой цикл сводятся в таблицу, носящую название «Измеренные расходы воды». Следовательно, для построения кривой расходов используется столько точек, сколько было измерено в течение года расходов воды.

Кривая расходов строится в прямоугольной системе координат; на том же чертеже проводятся кривые площадей живого сечения $\omega=f(H)$ и средних скоростей $v=f(H)$.

Зависимость $Q=f(H)$ может выражаться графически в виде одной плавной кривой. В этом случае определенному значению уровня соответствует одно определенное значение расхода воды. Такая зависимость называется однозначной. Следует иметь в виду, что в данном случае мы имеем дело с приближенной однозначной зависимостью, так как она не является функциональной: точки измеренных расходов всегда ложатся на графике с некоторым разбросом, что связано как с погрешностями измерений расходов и уровней, так и влиянием целого ряда причин, нарушающих связь расходов и уровней.

Однозначная связь охватывает нередко только ограниченный период времени. Для некоторых рек она может сохраняться в течение года или нескольких лет. Однозначная кривая расходов всегда направлена выпуклостью вверх.

Во многих случаях зависимость $Q=f(H)$ приобретает весьма сложный вид. Это объясняется влиянием различных причин, искажающих эту зависимость. К их числу относятся: 1) неустановившееся движения воды, 2) ледяные образования в русле, 3) зарастание русла водной растительностью, 4) неустойчивость русла - размывы и аккумуляция наносов, 5) переменный подпор. В подобных случаях однозначная зависимость нарушается: одному и тому же уровню соответствуют разные величины расходов воды. Например, при ледяном покрове при одном и том же уровне расход меньше, чем в открытом русле; при прохождении паводка при одном и том же уровне расход на подъеме больше, чем на спаде. Такая связь уровней и расходов называется неоднозначной. Определение зависимости $Q=f(H)$ при этом бывает сопряжено с большими трудностями.

Построение кривой расходов $Q=f(H)$ и кривых $\omega=f(H)$ и $v_{cp}=f(H)$. Пользуясь ведомостью измеренных расходов воды из гидрологического ежегодника т. 2 вып. 7 - 9 1960 г. В прямоугольной системе координат строят кривые зависимости $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и $v_{cp}=f(H)$. По вертикальной оси откладывают уровни над подъем графика, а по горизонтальной оси расходы Q ($\text{м}^3/\text{с}$), скорости v_{cp} ($\text{м}/\text{с}$), площади живого сечения ω (м^2). (рис. 8)

Взяв из таблицы измеренных расходов воды уровень и измеренный при этом уровне расход Q , нанести к этим данным на график точку и написать около нее порядковый номер расхода. Таким образом нанести точки для всех мереных расходов, помещенных в таблице. По полученным точкам провести определенную кривую так, чтобы точки, совпадающие с кривой, расположились около нее симметрично. При разбросанности точек кривая $Q=f(H)$ строится к центрам «тяжести» групп точек. Кривая должна быть плавной без изломов и резких перегибов.

На этом же графике, аналогично кривой расходов, построить кривые площади живого (водного) сечения $\omega=f(H)$ и средних скоростей $v_{cp}=f(H)$. Они вычерчиваются с некоторым смещением нуля по оси абсцисс. Точки всех

строящихся кривых с одинаковыми порядковыми номерами должны лежать непременно на одном уровне. Для удобного чтения точки кривой расходов обозначить кружком О, кривая площади сечения – квадратом □, кривой скорости – треугольником Δ. Масштабы для кривых выбирают в зависимости от величины уровней, расходов, площадей живого сечения и средней скорости с учетом формата миллиметровой бумаги. Окончательное закрепление кривых производится только после их увязки.

Увязка построенных кривых. Кривые $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и $v_{cp}=f(H)$ связаны между собой равенством: $Q=\omega v_{cp}$.

Поэтому расход, снятый с кривой расходов для какого-либо уровня, должен быть равен расходу, получаемому в результате умножения соответствующих данному же уровню значения площади и средней скорости, снятых с кривой площадей скоростей. Увязку производят в табл.2, в которую помещены значения ω , v_{cp} , Q снятые с кривых через равные интервалы (20,50, 100 см и т. д.) при условии, что число увязок не должно быть меньше 8-10. Если расхождения составляют 2 %, то следует провебрять кривые в рассматриваемом интервале уровня и исправить их.

Видно из табл.2 расхождение не превышают 2 % , поэтому кривые закрепляются окончательно.

Составление расчетной таблицы кривой расходов. В тех случаях, когда при помощи кривой расходов приходится определять большие значения расходов, целесообразно составлять расчетную таблицу.

При составлении таблицы с кривой снимаются значения через интервалы уровня от 5 до 20 см, а промежуточные значения расходов (через 1 см) определяются прямолинейной интерполяцией между расходами, снятыми с кривой сопоставления интервалов.

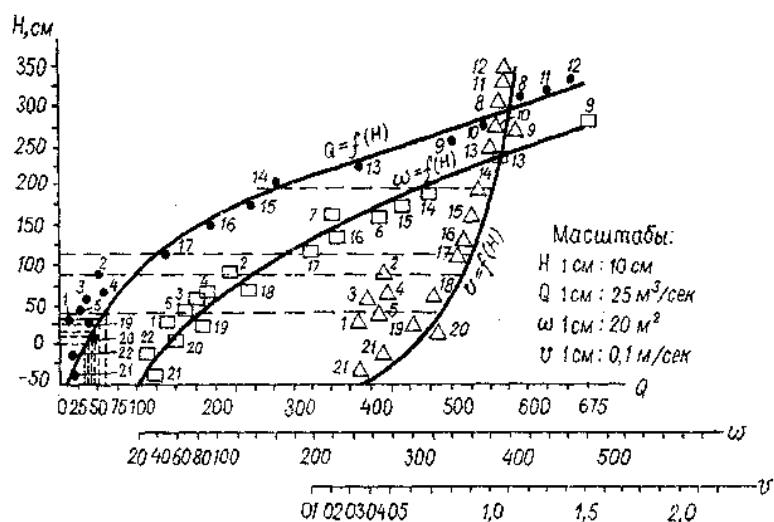


Рис. 8. Кривые расходов Q , площади сечения ω и средней скорости v_{cp}
р. Медведицы ст. Арчадинская за 2010 г.

Таблица 3. Увязки построенных кривых.

Интегралы уровней H , см	Значения площадей живого сечения, снятые с кривой, m^2	Значения средних скоростей, снятые с кривой, m/c	Расходы, снятые с кривой, m/c^3	$Q = \omega v_{cp}$, m^3/c	Расхождение в
-25	35,2	0,34	12	11,97	0,25
0	56	0,49	27	27,44	0,44
25	78	0,58	45	45,24	0,53
50	102	0,64	67,5	66,95	0,80
75	129	0,71	92,5	91,59	1,30
100	160	0,77	125	123,2	1,40
125	196	0,82	162,5	161	0,90
175	276	0,89	243	245,6	1,06

Методика составления таблицы сводится к следующему. На кривой расходов выбирают отрезок уровня 100 см (например, от 0 до 100 см). Для получения

величины расхода необходимо провести горизонтальную линию отметки требуемого уровня на вертикальной оси до пересечения с кривой $Q=f(H)$. Из точки пересечения опускается перпендикуляр на горизонтальную ось, где и отсчитывают величину расхода. Например, значение величины расхода при нулевом уровне равно $32,5 \text{ м}^3/\text{с}$, а при уровне 10 см - $40 \text{ м}^3/\text{с}$. Отсюда 10 см уровня приходится разность расходов $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ($40 \text{ м}^3/\text{с} - 32,5 \text{ м}^3/\text{с} = 7,5 \text{ м}^3/\text{с}$), а на 1 см – $0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ ($\Delta q = 7,5/10 = 0,75 \text{ м}^3/\text{с}$). Прибавляя затем на каждый см высоты уровня $\Delta q = 0,75 \text{ м}^3/\text{с}$, получаем координаты Q на данном участке первую строку в табл. 3. Аналогично при уровне 20 см расход воды соответствует $45 \text{ м}^3/\text{с}$. Разность расходов на 10 см уровня будет.... $\text{м}^3/\text{с}$, а каждому см высоты уровней будет соответствовать $\Delta q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Прибавляя это значение, получим координаты следующего участка и т. д. Таблицу координат можно составить по следующей форме.

Таблица 4. Расчетная таблица координат $Q=f(H)$

Δq	Уровень воды $H, \text{см}$	Расход воды на каждый см уровня									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7.5	0	32.5	33.25	34	34.75	35.5	36.25	37	37.75	38.5	39.25
5	10	40	40.5	41	41.5	42	42.5	43	43.5	44	44.5
7.5	20	45	45.75	46.5	47.25	48	48.5	49.5	50.25	51	51.75
	30	52.5									

5. 2. Подсчет стока воды

Ежедневные (средние, суточные) расходы воды определяют по средним суточным уровням. В случае очень резких суточных колебаний стока вычисление средних суточных расходов производят как среднее арифметическое, взвешенное во времени, из срочных значений расходов воды, вычисленных для моментов, когда измерялся уровень воды. Такой порядок вычисления средних суточных расходов воды

применяют, в частности, при подсчете стока с малых водосборов, оборудованных самописцами уровней, например на стоковых станциях.

Полученные значения средних суточных расходов воды записывают в таблицу «Ежедневные расходы воды», сокращенно ЕРВ. В ней помещают значения расходов за весь год, при этом указывают значения средних расходов за сутки, декады, месяцы, год, кроме того, указывают значения наименьшего и наибольшего расходов за месяцы и за год; экстремальные значения расходов за каждый месяц вычисляют по срочным измерениям уровня.

Таблицы ЕРВ публикуются в гидрологических ежегодниках. Они служат основой для определения стока воды за требуемые периоды времени.

Учет стока воды на гидроузлах. Суточный суммарный расход воды через гидроузел определяется сложением всех средних суточных расходов через турбины, водосливную плотину, шлюзы и другие водопропускные отверстия, а также утечек и фильтрации. Таким путем вычисляют средние суточные расходы за каждый день года. Учет стока воды на крупных ГЭС, а также на головных сооружениях оросительных систем выполняют имеющихся на них специальные подразделения, в обязанность которых входит организация и проведение измерений расходов воды через турбины и все водопропускные отверстия, эксплуатация водомерных устройств и вычисление стока. Сведения о средних суточных расходах воды через створ сооружений гидроузла ежемесячно передаются управлениям. Гидрометслужбы, где они анализируются и подготавливаются к опубликованию в гидрологических ежегодниках.

5. 3. Экстраполяция кривых расходов

Экстраполяцией кривых расходов называют продление её вверх и вниз за пределы измеренных расходов воды. Экстраполяция необходима для подсчета стока воды. Расходы воды обычно бывают измерены не при всех наблюдавшихся уровнях. Это особенно относится к высоким уровням при прохождении паводков и половодий; измерение расходов в этих условиях связано с техническими

трудностями, а также часто бывает невозможно из – за кратковременности периода цикла паводка.

Принято считать кривую расходов надежной, если она обоснована измерениями расходов при 80% амплитуды уровней или более. При этом в остальной части амплитуды, не обоснованной измерениями расходов вверх. Если не обоснованная измерениями расходов часть амплитуды уровней мала, то экстраполяция не вызывает затруднений. Кроме того, для гидрометрических створов без пойм, где движение воды при высоких уровнях близко к равномерному, для экстраполяции вверх разработаны достаточно простые и надежные способы. Наибольшие затруднения при экстраполяции встречаются в условиях пойменных створов, в которых при высоких уровнях происходит изменение и существенное усложнение скоростного поля потока; при этом, как правило, наблюдается неравномерное движение воды, картина которого бывает весьма сложна при наличии на пойме протоков, участков с различной шероховатостью и др.

Экстраполяция кривой расходов вниз обычно не вызывает затруднений. Способов экстраполяции кривых расходов разработано много. Рассмотрим только основные, наиболее часто применяемые способы.

Экстраполяция кривых расходов для беспойменных створов. Беспойменным створом называется створ, в котором отсутствует пойма, т.е. при высоких положениях уровня воды поток остается в главном русле. С точки зрения методики экстраполяции кривой расходов сюда же можно отнести створы с неширокой ровной поймой, если гидравлические условия движения потока не претерпевают существенных изменений при выходе воды из главного русла.

Экстраполяция кривой расхода непосредственным продолжением. Этот способ применяют в случаях, если не обоснованная измерениями часть кривой расходов не превышает 10% амплитуды уровней и профиль поперечного сечения реки в пределах этой зоны не имеет резких переломов, а шероховатость русла существенно не изменяется.

В этом случае кривую расходов продолжают в том же направлении на глаз до отметки наивысшего уровня осредненно ко всем точкам измеренных наибольших расходов. Экстраполированный участок кривой показывают обычно пунктиром.

Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода. Этот способ заключается в том, что отдельно экстраполируют кривые $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и $v_{cp}=f(H)$. Экстраполированные участки этих кривых используют для продления кривой расходов до высшего уровня. Кривую $\omega=f(H)$ продолжают вверх, определяя величины площадей живого сечения по поперечному профилю створа при заданных уровнях. Кривую средних скоростей экстраполируют непосредственным продолжением на глаз. Расход воды определяют умножением площади живого сечения на среднюю скорость течения. Чаще всего ограничиваются только определением наибольшего расхода; обоснованную измерениями расходов часть кривой $Q=f(H)$ продлевают вверх до полученного значения наибольшего расхода. Рассмотренный способ применяется при тех же условиях, что и способ непосредственного продолжения.

Если не обоснованная измерениями расходов часть амплитуды уровней превышает указанную величину и составляет 15-20%, а русло реки при высоких уровнях имеет более сложную конфигурацию и к тому же переменную шероховатость, то применяют другие способы экстраполяции. В этих условиях для успешной экстраполяции большое значение имеет наличие измеренных уклонов водной поверхности; при этом экстраполяция выполняется с помощью формулы Шези.

При отсутствии измеренных уклонов применяют другой прием, основанный на эмпирически установленном факте, что зависимость $Q = f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ во многих случаях в верхней зоне амплитуды уровней принимает вид прямой линии, экстраполяция которой не представляет затруднений. На этом основан известный очень давно способ Дж. Стивенса (1907 г.). Возможность применения способа Стивенса в последнее время подтверждена работами Д. Е. Шестаковой, при этом даже расширены пределы его применения.

Следует отметить, что в некоторых случаях возникает необходимость экстраполяции кривых расходов вверх до отметок, значительно превышающих

положение наблюдаемых высоких уровней. Это бывает в частности, необходимо для расчета кривых подпора при проектировании крупных гидроузлов. При этом от точности расчета положения кривых подпора зависит правильное определение границ затопления территории создаваемым водохранилищем. Методы экстраполяции кривых расходов для подобных случаев разработаны еще недостаточно; обычно экстраполируют « по тенденции».

5. 4. Построение кривой расходов и подсчет стока воды при отсутствии однозначной зависимости между расходами и уровнями

Неустановившееся движение воды. Неустановившееся движение воды наблюдается в реках при прохождении весеннего половодья и паводков, а так же на участках рек ниже гидротехнических сооружений при резком увеличении расхода воды - при пропусках (т.е. сбросах воды через отверстия плотины) и регулировании сброса воды через турбины ГЭС в соответствии с заданной нагрузкой.

Неустановившееся движение воды проявляется в форме волны, перемещающейся по руслу и имеющей пологий фронт и еще более пологую тыловую часть. При прохождении волны паводка через гидроствор сначала уровень воды повышается, а затем падает. Величина уклона водной поверхности на подъеме больше, чем на спаде.

Паводочные волны бывают наиболее резко выражены на длинных бесприточных участках равнинных рек. На гидростворах, расположенных на таких участках, расход быстро изменяется во времени, т. е. наблюдается резко выраженное неустановившееся движение воды. При большом количестве притоков паводочные волны выражены значительно слабее и даже могут совсем не проявляться.

На реках, имеющих большие уклоны, например на горных, паводочные волны выражены значительно слабее.

При выраженном неустановившемся движении воды для кривой расходов характерно наличие нескольких ветвей: подъему и спаду соответствуют

отдельные ветви, при этом ветвь подъема располагается правее ветви спада. То же наблюдается и при построении кривой скоростей $v=f(H)$, так как скорость зависит от уклона. Вид кривой площади $\omega=f(H)$ при этом не меняется, так как величина площади водного сечения зависит только от высоты уровня воды (при недеформирующемся русле). (см рис. 9).

Рассмотрим более подробно петлеобразную кривую расходов, так называемую паводочную петлю. На рис. 9 изображена в схематизированном виде паводочная петля и хронологический график хода уровня за период паводка. При начале интенсивного подъёма уровня кривая расходов отходит вправо от основной кривой расходов установившегося движения. Начальный участок кривой подъёма часто бывает, необоснован измерениями расходов ввиду ледохода, поэтому на рис. он проведён пунктиром. Наибольшая величина расхода воды наблюдается несколько раньше момента наступления наивысшего уровня, поэтому кривая подъёма, достигнув наибольшего значения по абсциссе, поворачивает влево. Достигнув максимума по ординате, она переходит в кривую спада. Точка примыкания кривой спада к основной кривой соответствует концу ясно выраженного спада паводка и наступлению установившегося движения воды в русле. Кривая расходов установившегося движения проводится между кривыми подъёма и спада пунктиром, в верхней части она доводится до наивысшего уровня; направление этой части кривой может быть определено путём экстраполяции.

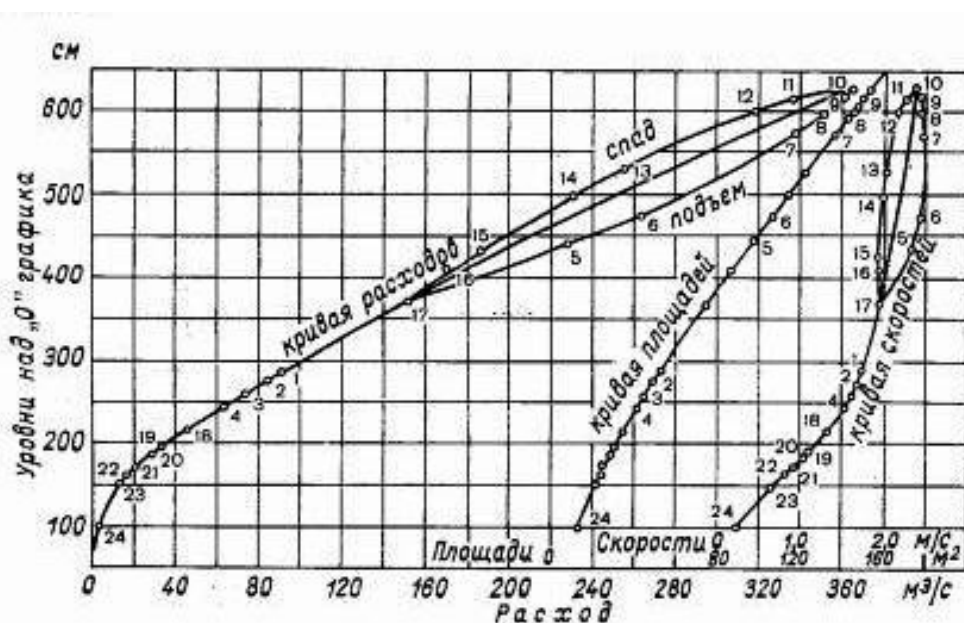


Рис. 9. Кривая расходов при неустановившемся движении воды.

Чем больше интенсивность изменения уровня во времени, тем больше отклонение по абсциссе кривых подъёма и спада от основной кривой установившегося движения. Наибольшее изменение уровня во времени наблюдается на подъёме паводка, поэтому кривая подъёма отклоняется по абсциссе больше, чем кривая спада.

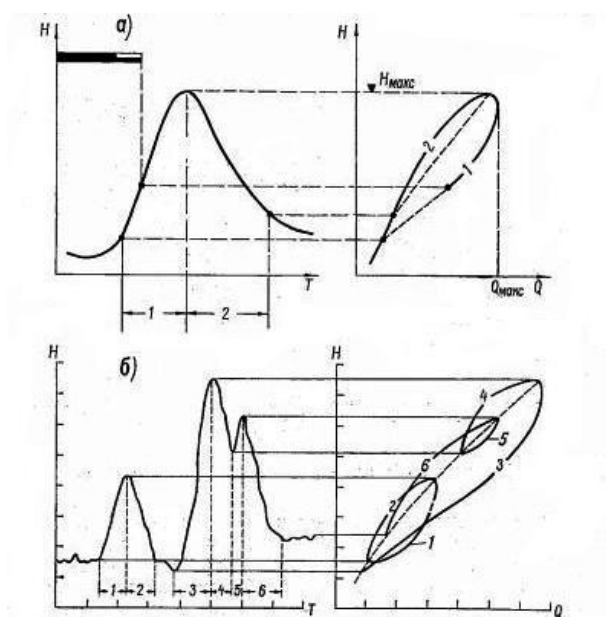


Рис. 10. Петли кривых расходов воды при подъёме и спаде уровня.

На рис. 10а показан наиболее простой вид кривой расходов с одной паводочной петлёй. Если при прохождении паводка наблюдалось несколько подъёмов и спадов, то кривая расходов принимает более сложный вид. Для правильного построения кривой расходов, при таком неоднотактном паводке, требуется осветить её достаточным количеством измеренных расходов. На рис.43б показана кривая расходов паводка с более сложным ходом уровня. Каждому пику соответствует своя петля, состоящая из кривой подъёма отвечающий периоду подъёма уровня и кривой спада, отвечающий периоду спада уровня.

Рассмотренная закономерность в очертании паводочных петель бывает хорошо выражена при недеформируемом русле. В размываемых руслах вид кривых расходов существенно меняется, о чём говорится ниже.

Подсчёт стока воды за период паводка производят по кривым и подъёма и спада. Расходы определяют по средним суточным уровням по той ветви петлеобразной кривой, которая соответствует данному периоду.

Паводочные петли не редко бывают не обоснованы измерениями расходов до наивысшего уровня. В этих случаях выполняют их экстраполяцию; при этом необходимо предварительно провести кривую расходов установившегося движения и на ней наметить точку при наивысшем уровне, в которой происходит смыкание ветвей паводочной петли. Предварительная экстраполяция кривой установившегося движения может быть выполнена по элементам расхода, причём кривую $v=f(H)$ экстраполируют непосредственным продолжением, а кривую $\omega=f(H)$ – по профилю створа. Экстраполяция кривой с паводочной петлёй может быть выполнено и по способу Стивенса при наличии измеренных расходов воды на подъёме и спаде паводка и прямолинейной зависимости $Q = f(\omega\sqrt{h_{cp}})$. Эти приёмы экстраполяции применимы при отсутствии переменного подпора и деформации русла. При наличии указанных явлений ветви паводочной петли экстраполируют приближённо продолжением их на глаз по направлению

обоснованной измерениями расходов части с учётом конфигурации других петель, обоснованных измеренными расходами.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение расхода и связанные с ним параметры речного потока.
2. Расход воды, как характеристика стока.
3. Кривые расходов воды.
4. Кривые зависимости Q , ω и v_{cp} от одних и тех же уровней.
5. Увязка построенных кривых зависимости $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и $v_{cp}=f(H)$.
6. Расчётная таблица кривой расходов.
7. Экстраполяция кривых расходов.
8. Основные применяемые способы экстраполяции кривых расходов.
9. Кривые расходов при неустановившемся движении воды.
10. Подсчёт стока при отсутствии однозначной зависимости между расходами и уровнями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.
2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
4. **Винников, С. Д.** Гидрофизика. [Текст] / С. Д. Винников, Б. В. Проскуряков. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 239 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.

2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.

3. **Авакян, А. Б.** Рациональное использование и охрана водных ресурсов. [Текст] / А. Б. Авакян, В. М. Широков. – Екатеринбург.: Изд-во «Виктор», 1994. - 319 с.

4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
- научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
- электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;
- электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 6

ИЗУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО СТОКА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

6. 1. Общие сведения о твердом стоке

Воды рек и других водотоков всегда содержат в себе то или иное количество твёрдых частиц и растворённых веществ. Общее количество этих продуктов, проносимое водотоком за определенный период, например за год, называется твердым стоком. Твердые частицы, транспортируемые водой, принято называть наносами. Наносы состоят из минеральных зерен различной крупности; в состав наносов могут входить также частицы органического происхождения.

Наличие твёрдого стока обуславливается процессами механической и химической эрозии. Механическая эрозия – размыв – производится в основном поверхностными водами, а химическая – главным образом грунтовыми. Основная масса наносов поступает в реки с их водосборных бассейнов, но некоторая часть их образуется за счёт размыва русла.

Транспортируемые водным потоком наносы принято разделять на взвешенные, перемещающиеся в толще потока во взвешенном состоянии, и донные (их иногда называют влекомыми), перемещающиеся по дну.

Твердый сток реки может быть определен в полном объёме только в результате учета всех указанных категорий наносов и растворённых веществ. При

гидрометрических измерениях отдельно учитывают расход взвешенных наносов R кг/с, расход донных наносов G кг/с и расход растворённых веществ S кг/с (более подробно будет рассмотрено ниже).

Образование наносов. Вода, выпадающая на землю в виде осадков и стекающая по склонам бассейнов, производит размыв поверхности суши. Силой течения каждая струйка воды увлекает мелкие частицы. Передвижение разрыхлённого грунта под влиянием силы текущей воды и собственной тяжести называется смыванием в отличие от явления размывания, характеризующего работу реки в её русле и на пойме. Смывание приурочено ко всей поверхности бассейна, размывание – только к ложу реки.

Продукты смыва переносятся поверхностным стоком и в конечном счете попадают в реку. Здесь они смешиваются с частицами от размыва дна и берегом русла.

Чем больше уклон реки и бассейна, тем, при прочих равных условиях, значительнее размывающая и влекущая сила воды, и тем, следовательно, больше наносов поступает в реку. Поэтому горные реки всегда несут большее количество наносов, чем равнинные. Часто горные реки под влиянием мути приобретают специфическую окраску.

Степень размываемости поверхности бассейна определяется рядом факторов: наличием на поверхности бассейна готового рыхлого материала, характером растительного покрова, почвами и их физическим состоянием.

При благоприятных условиях выветривания на склонах бассейнов может накапливаться много рыхлых и обломочных материалов, которые увлекаются стекающими атмосферными водами и переносятся ими в реки. Снос продуктов выветривания принимает иногда очень большие размеры. Так, в гористых и горных районах ливневые воды часто захватывают легко подвижные материалы выветривания в таком изобилии, что водные потоки превращаются в грязи, каменные потоки «сели». Интенсивные ливни смывают поверхность бассейна сильнее, чем более продолжительные, но менее интенсивные. В некоторых случаях сильные ливни могут дать больше наносов, чем талые снеговые воды, особенно если весенний сток проходит по мерзлому грунту, так как ливни более

часто наблюдается в южных районах страны, то мутность южных рек больше мутности северных.

В общем балансе наносов главную роль играют продукты смыва поверхности бассейна; доля же продуктов размыва дна и берегов мала даже в тех случаях, когда размыв достигает больших размеров. По подсчетам В. Н. Гончарова, доля наносов, получающихся в результате размыва дна и берегов реки Терек, составляет около 1,5-2,5% от общего количества перемещаемых рекой наносов.

Величине смыва поверхности бассейнов можно судить по размерам среднего годовичного их понижения.

Таблица 5. Среднее годовичное понижение поверхностей бассейнов под влиянием смывания

Бассейн	Годичное понижение (в микрорайонах)
Дон у Калача	20
Волга у Куйбышева	18
Терек у Казбека	330
Сулак у Миатлы	1840
Б.Иргиз у Клебенки	18
Еруслан у Красного Кута	50

Классификация наносов. По характеру своего передвижения речные наносы делятся на следующие виды:

- а) взвешенные наносы, т.е. наносы, поднятые водой и переносимые во взвешенном состоянии;
- б) донные (или влекомые) наносы, перекатываемые или передвигаемые по дну;
- в) растворенные наносы, представляющие собой вещества, химически растворенные в воде.

Некоторая часть наносов, находящихся в придонном слое, перемещается то во взвешенном, то во влекомом состоянии. Такие наносы называются придонными

В группу взвешенных наносов входит большая часть очень мелких илистых и глинистых частиц. Более крупные частицы влекутся водой по дну. Горные реки в состоянии передвигать большие камни. Вообще, чем больше скорость, тем более крупные частицы (фракции) могут находиться во взвешенном состоянии, наоборот, при уменьшении скорости воды часть взвешенных частиц осаждается. Состав растворенных в воде наносов зависит от грунтов, через которые проходят воды, поступающие в реку, в особенности, воды подземного питания. Наиболее часто встречаются примеси из углекислого кальция, хлористого натрия и др. В реках, выходящих из болот и лесистых местностей, содержится много растворенных гумусовых кислот, придающих воде черный оттенок («черные» реки).

Количество наносов, проносимых рекой через живое сечение в одну секунду, называется твердым расходом.

Он выражается в весовых или объемных единицах (кг/сек или м³/сек).

Общее количество наносов, проносимых через сечение за определенный период, называется твердым стоком.

Количественный учет твердого стока на равнинных реках, в основном, сводится к установлению величины стока, взвешенных наносов. На горных же реках доля влекомых наносов в твердом стоке достаточно велика.

Допуская, что количество донных наносов составляет до 10% от объема взвешенных наносов, а количество наносов, которое образуется вследствие обрушения берегов, тоже составляет примерно 10, объем отложений наносов W_T за год будет равен:

$$W_T = 10^{-6} \rho_0 \omega_0 (1 + m - \delta) = \frac{10^{-6} * 600 * 1224 * 10^6 (1 + 0,1 - 0,3)}{0,2} = 0,918 \text{ млн. м}^3, \quad (37)$$

$$\gamma_{отл} - 0,8 \quad 0,2$$

где ρ_0 - норма годовой мутности, г/м³; ω_0 - норма годового стока м³; $\gamma_{отл}$ - объемный вес наносов, г/м³; $\delta = 0,3$ - транзитная часть наносов, сбрасываемых из водохранилища в нижний бьеф; $m = 10\%$ - количество донных наносов в % от взвешенных..

6. 2. Мутность рек

Количество взвешенных наносов в реке характеризуются относительной мутностью воды и расходом взвешенных наносов в живом сечении.

Относительной мутностью воды называется весовое количество наносов, содержащееся в единице объема воды она выражается формулой:

$$p=P/A, \text{ кг/м}^3,$$

(38)

где p - относительная мутность в кг/м^3 ; P - общий вес взвешенных частиц в некотором объеме воды (в кг или л); A – объем воды, в котором содержатся взвешенные частицы общим весом P (в м^3 или л).

Иногда мутность выражают в процентах по объему:

$$p\% = \frac{M}{A} * 100\%,$$

(39)

где $p\%$ - мутность в %; M – объем отстоявшихся влажных наносов содержащихся в каком – либо объеме воды; A – объем воды, соответствующий данному количеству отстоявшихся наносов.

Мутность неравномерна по глубине: она возрастает от поверхности ко дну. Кроме того, мутность меняется во времени. В равнинных реках наибольшая мутность наблюдается весной и при ливнях; на горных реках ледникового питания - летом, при половодье; на других горных реках – при паводках от ливней.

Таблица 6. Относительная мутность и количество взвешенных наносов в некоторых реках страны

Бассейн	Относительная мутность (в кг/м^3)	Сток взвешенных наносов (в млн. тонн в год)
Волга у Ярославля	Ср. годов. 0,042	1,97
.>> >>Куйбышева	>> >> 0.019	22,4

>> >>Камышина	>> >> 0.084	17,0
Кама у Молотова	>> >> 0.019- 0.044	3,13-7,34
Дон у Калача	>> >> 0.229- 0.280	5,83-9,34
Кубань ниже Краснодара	>> >> 0.280- 0.340	4,0-4,2
Енисей у Означенной	от 0.005 до 0.22 в разные месяцы года	4,2

6. 3. Изучение стока взвешенных наносов

Приборы для взятия проб воды со взвешенными наносами. Для учета взвешенных наносов берут пробы воды приборами, называемыми батометрами. Различают батометры мгновенного и длительного наполнения. При отборе проб батометрами мгновенного наполнения необходимо брать пробы воды в каждой точке с некоторой повторностью. Из приборов этого типа наиболее известен батометр Н. Н. Жуковского. В настоящее время батометры мгновенного наполнения на сети Гидрометслужбы не применяются. Батометры Жуковского могут использоваться при проведении научных исследований для определения мгновенных значений мутности (рис. 11).

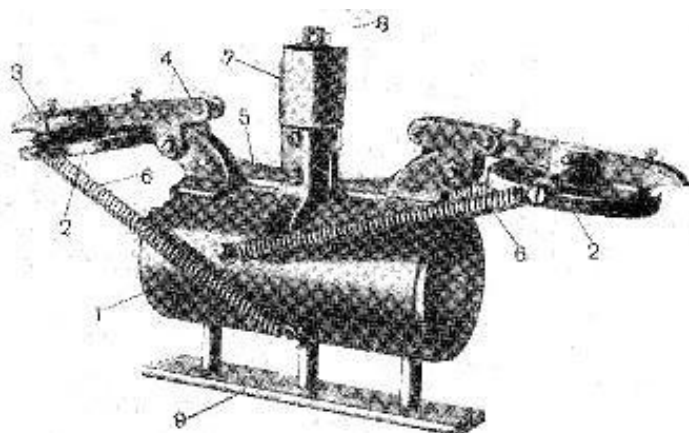


Рис. 11. Батометр Н. Н. Жуковского (штанговый): 1 – полый цилиндр; 2 – крышка с резиновыми прокладками; 3, 4, 5 – элементы спускового устройства; 6 – пружины; 7 – муфты для штанги; 8 – спусковой рычаг; 9 – поддон.

Батометры длительного наполнения при взятии пробы воды выдерживают в каждой точке в течение времени, необходимого для наполнения прибора водой, следовательно, в той или иной степени учитывают пульсацию мутности. В настоящее время применяют батометры длительного наполнения следующих типов: а) батометр - бутылка на штанге и в грузе, б) вакуумный батометр. Кроме того, в отдельных случаях применяют обыкновенную бутылку из прозрачного стекла на штанге или в грузе.

В последние годы получает развитие фотометрический метод определения мутности, однако широкого распространения он пока не имеет в виду недостаточно разработанной методики и аппаратуры.

Батометр – бутылка на штанге. В настоящее время на сети Гидрометслужбы и в изыскательских организациях применяют два типа таких батометров.

Батометр – бутылка старого типа Гр-16 (рис. 12) состоит из литровой широкогорлой бутылки, укрепляемой на штанге при помощи специальной обоймы. При вертикальном положении штанги продольная ось бутылки образует угол с горизонтальной линией, равный 25° . такое наклонное положение бутылки улучшает условия входа воды в нее и выхода воздуха через воздухоотводящую трубку. Бутылка снабжена металлической головкой, через которую проходят водозаборная и воздухоотводящая трубки. Наконечники 9 (насадки) этих трубок подбираю с различными диаметрами отверстий в соответствии со скоростью течения воды. Пробы воды на мутность берут батометром - бутылкой на штанге интеграционным или точечным способом. Интеграционное взятие проб воды рекомендуется при глубинах не менее 2 м. Это вызвано тем, что водозаборная

трубка при наклонном положении бутылки не доходит до дна на 20 см и в нижнем слое потока проба воды не забирается. При небольших глубинах это существенно сказывается на точности определения мутности. Точечный способ взятия проб применяют при глубинах от 0,5 до 2,0 м. При больших глубинах, попадающая в батометр вода при его опускании, может существенно повлиять на точность определения мутности в нижних точках вертикали.

Батометр - бутылка модернизированный Гр-16М (рис. 13) отличается наличием стабилизатора, обеспечивающего установку прибора по течению. Кроме того, батометру придается горизонтальное положение при закреплении его на штанге, что позволяет брать пробы в придонных слоях потока, на расстоянии 10 см от дна. При таком устройстве прибор может применяться при больших скоростях течения по сравнению с батометром старого образца. Однако при небольших скоростях, менее 0,5 м/с, лучшие результаты при взятии проб воды получают батометром старого образца, так как при горизонтальном положении бутылки заполнение её водой при таких скоростях затруднено. В комплект модернизированного батометра-бутылки на штанге входят насадки.

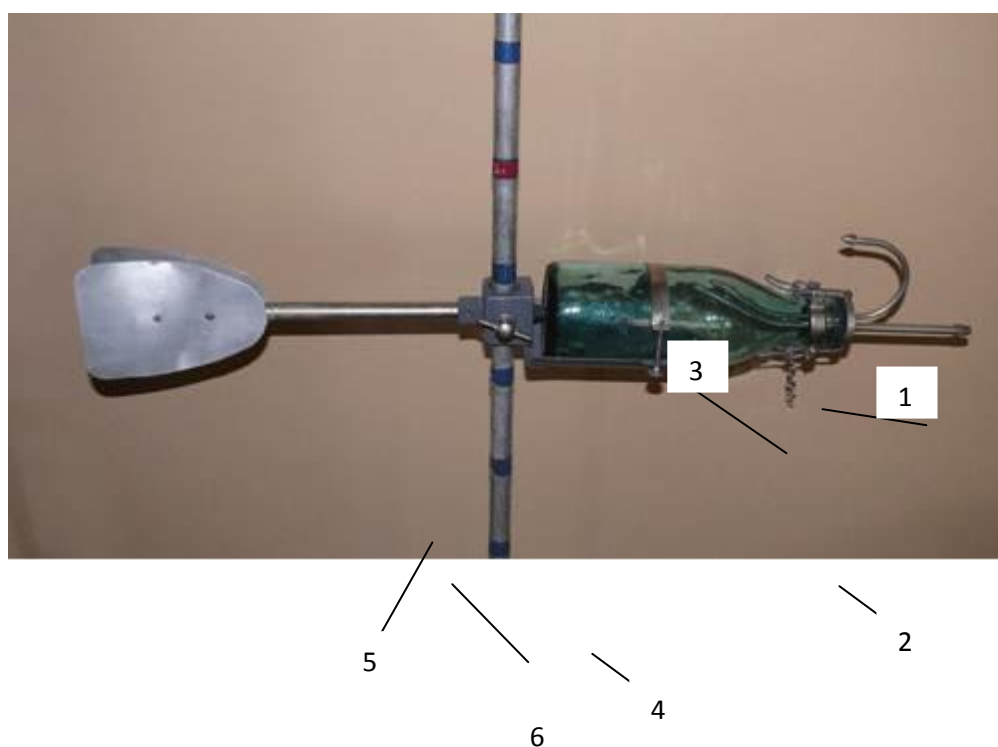


Рис. 12. Батометр-бутылка на штанге: 1 – воздухоотводящая трубка; 2 – водозаборная трубка; 3 – металлическая головка; 4 – обойма; 5 – муфта для штанги; 6 – зажимной винт.

Определение величины стока взвешенных наносов. Фактическое наблюдение над стоком взвешенных наносов, особенно для средних и малых рек, имеются лишь для весьма ограниченного числа бассейнов. Поэтому чаще всего определение по эмпирическим формулам или методу аналогии.

Время выдержки батометра - бутылки при точечном, а также и при интеграционном способе подбирается опытным путем из расчета, объем бутылки был заполнен не полностью. При точечном способе это свидетельствует, что проба собрана за все время выдержки прибора в точке, а при интеграционном - что собрана со всей глубины вертикали.

Б. В. Поляковым предложена следующая формула для определения величины годового стока взвешенных наносов:

$$R=0,01\alpha W*\sqrt{I} \text{ м/год,} \\ (40)$$

R-средний сток наносов в тоннах в год; α -коэффициент смыва (эрозионный коэффициент), определяемый по карте, составленной автором формулы для Европейской части страны и Кавказа; W - среднегодовой сток воды в м³; I - средний уклон реки.

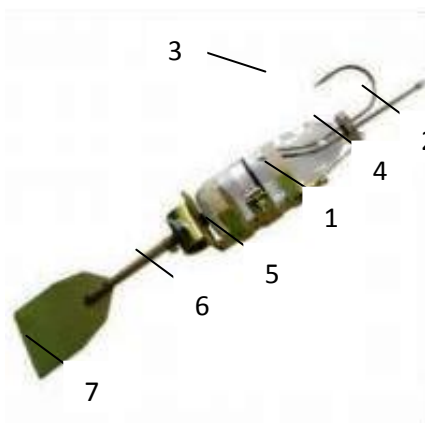


Рис. 13. Модернизированный батометр-бутылка на штанге: 1 – бутылка; 2 – металлическая головка; 3 – воздухоотводящая трубка; 4 – водозаборная трубка; 5 – обойма; 6 – зажимной вимуфта для штанги и зажимной винт; 7 – хвост.

Средние значения α приближенно равны 6 для бассейнов сильно размываемых 8 - 6, средней размываемости 6 - 4, слабо размываемых 2 - 1, очень слабо размываемых 1 - 0,5.

При определении количества наносов методом аналогии следует при выборе аналога убедиться в достаточном сходстве физико-географических условий неисследованного бассейна и бассейна - аналога. Главное внимание должно быть обращено на однообразие климатических факторов и состояние поверхности бассейна. Влияние уклонов данной реки и реки-аналога может быть учтено, исходя из пропорциональности количества наносов корню квадратному из уклона. Уточнение величины стока наносов может быть сделано на основе измерений объема заиления соседних водохранилищ с учетом срока их службы и, следовательно, объема ежегодных отложений.

Расход взвешенных наносов при учете их по весу выражается формулой:

$$P = p_{\text{ср}} * Q \text{ кг/сек,}$$

(41)

где P -расход взвешенных наносов в кг/сек; $p_{\text{ср}}$ - средняя для живого сечения относительная мутность в кг/м³; Q - расход воды в живом сечении в м³/сек.

Для учета взвешенных наносов по объему применяют формулу:

$$P_1 = p * Q / 100 \text{ м}^3/\text{сек,}$$

(42)

где P_1 -расход взвешенных наносов по объему; p - средняя мутность в процентах; Q - расход воды в м³/сек.

Расход взвешенных наносов, приходящихся на единицу площади живого сечения, называется наносностью.

Расход донных наносов определяется весьма приближенно по формуле:

$$P_{\text{дон}} = p_{(\text{ср.дон.})} * B,$$

(43)

где $P_{\text{дон}}$ — количество донных наносов в весовых или объемных единицах; $p_{(\text{ср.дон.})}$ — среднее количество донных наносов на 1 м ширины живого сечения; B — ширина живого сечения в м.

При проектировании водохранилища необходимо предусматривать запасную емкость, рассчитанную на заполнение ее наносами в течение заранее устанавливаемого периода («мертвый» объем).

При расчете заиления водохранилища определяют ожидаемый суммарный объем взвешенных и донных наносов и находят срок возможного заиления водохранилища с учетом, разумеется, активных мер воздействия на уменьшение твердого стока в бассейне.

Пусть требуется определить срок службы пруда, устроенного на балке в районе средней полосы России, имеющий бассейн площадью $F = 50 \text{ км}^2$, уклон $I = 0,001$, среднегодовой модуль стока $3,5 \text{ л/сек/км}^2$. Принимаем эрозионный коэффициент $\alpha = 2,05$. Тогда по формуле получим:

$$R = 0,01 \alpha W \sqrt{I} \text{ м/год} = 0,01 \alpha (31,5 \cdot 10^8 \cdot M_0 F) \sqrt{I} = 3503 \text{ м/год.}$$

Считая объемный вес 1 м^3 наносов $0,5 \text{ т}$, определяем объем наносов в $3503 : 0,5 = 7006 \text{ м}^3/\text{год}$. Количество донных наносов принимаем в размере 5% от взвешенных. Общий среднегодовой твердый сток составит $7006 \cdot 1,05 = 7356 \text{ м}^3$.

Если объем пруда для рассматриваемого случая равен 109000 м^3 , то срок службы пруда определится: $T = 109000 / 7356 = 15 \text{ лет}$.

6. 4. Минерализация сточных вод и сток растворенных веществ

Растворенные в воде вещества транспортируются потоком во всей толще. Благодаря турбулентному перемешиванию наблюдается сравнительно равномерное распределение минерализации в живом сечении потока.

Поступление растворенных веществ в реки происходит главным образом с грунтовыми водами, имеющими высокую минерализацию. Поэтому наиболее высокая минерализация речных вод наблюдается в период зимней межени, когда грунтовое питание играет преобладающую роль. Высокая минерализация бывает также в летнюю межень. Наименьшая минерализация наблюдается в периоды

паводков и особенно весенних снеговых половодий, когда в реки поступают большие количества дождевых или талых вод, характеризующихся незначительным содержанием растворенных веществ.

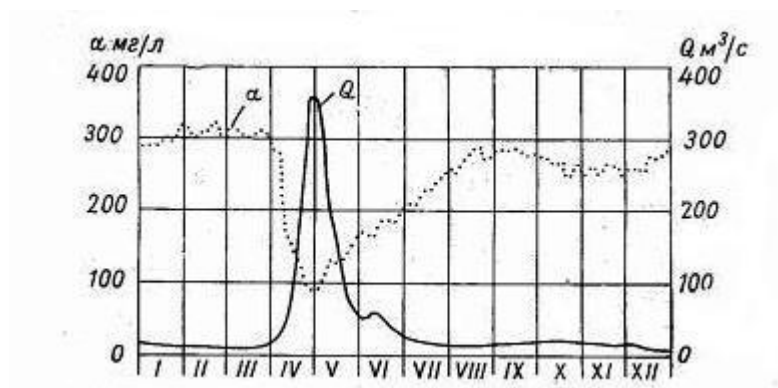


Рис. 14. Изменение минерализации воды α р. Медведицы ст. Арчадинская

Несмотря на уменьшение минерализации воды в периоды половодий и паводков, общее количество выносимых рекой солей, т.е. сток растворенных веществ, в эти периоды, как правило, увеличивается (см. рис. 14).

Величина годового стока растворенных веществ различных рек весьма различна.

Величина стока растворенных веществ зависит от водности; на нее оказывают также значительное влияние почвенно-геологические условия водосборного бассейна.

В настоящее время на состав и величину стока растворенных веществ в реках оказывает большое влияние сброс сточных вод промышленных предприятий. Это влияние в наибольшей степени сказывается на реках, протекающих в густонаселенных районах с развитой промышленностью. В некоторых районах

загрязнение водных объектов проводится по специальным программам и специальными методами.

Вопросы для самоконтроля

1. Твердый сток и процессы их обуславливающие.
2. Наносы и их классификация и учет.
3. Мутность рек, её определение.
4. Изменение мутности по глубине и во времени.
5. Приборы для взятия проб со взвешенными наносами.
6. Определение стока взвешенных наносов.
7. Приближенный расчет донных наносов.
8. Учет взвешенных и донных наносов при проектировании водохранилищ.
9. Учет минерализации, её распределение в речной воде по временам года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.
2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
4. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии. [Текст] / О. А. Алекин. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 442 с.
5. **Алексеевский, Н. И.** Формирование и движение речных наносов. [Текст] / Н. И. Алексеевский. - М.: МГУ, 1988. - 202 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.

2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.

3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;

- научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;

- электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;

- электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 7

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

7. 1. Измерение направлений течения

Изучение направлений течений в реках имеет важное значение, при исследовании русловых процессов, проектировании выправительных работ для улучшения судоходных условий, строительстве мостов и гидротехнических сооружений. Большое научное и практическое значение имеет изучение течений в озерах и водохранилищах.

Направления и скорости течения измеряются в поверхностных и глубинных слоях воды.

В зависимости от поставленных задач и местных условий направление течения может измеряться в отдельных точках, на отдельных вертикалях, на одном или целом ряде створов.

Изучение направления поверхностных течений можно проводить с помощью поверхностных поплавков; направление глубинных течений - при помощи двойных привязанных и глубинных поплавков; направления течения в отдельных точках живого сечения – при помощи специальных приборов: измерителя течений ГР-42, морской вертушки ВМ-М, печатающего самописца течений БПВ-2р и др.

Измерение направлений и скоростей течений поплавками. Направление поверхностных течений достаточно точно (в условиях безветренной погоды) может быть определено посредством поверхностных поплавков.

Вдоль участка, предназначенного для изучения течений, на наиболее открытом и удобном для работ берегу разбивают магистраль и перпендикулярно к ней (с помощью теодолита) - поперечные створы.

Расстояние l между створами назначают из соотношения $l = (20/50)u_{\text{макс}}$, где $u_{\text{макс}}$ - максимальная скорость течения на участке.

Створы закрепляют на магистральном берегу двумя вехами, а на противоположном – одной вехой.

На реках шириной до 50 м рекомендуется для упрощения работы иметь на створах тросы, размеченные через 1 м.

Для определения направлений течения производят следующие работы:

- 1) в 5-10 м выше пускового створа равномерно по ширине реки забрасывают последовательно 15-30 поплавков;
- 2) по сигналам наблюдателей определяют засечками на мензуге (или отсчетами по размеченным тросам) место пересечения поплавками каждого створа;
- 3) Отсчитывают по секундомеру время в секундах, затраченное каждым поплавком на прохождение пути между первым (верхним) и последним (нижним) створами, а также записывают время пересечения поплавком каждого створа.

Если наблюдения за поплавками велись посредством мензуги с кипрегелем, то обработка состоит в следующем:

1. на план участка реки наносят траектории движения поплавков согласно произведенным засечкам их на створах;
2. вычисляют скорости движения отдельных поплавков на исследуемом участке и наносят на план.

Если съемку участка реки и засечки поплавков производили теодолитом, то составляют план участка реки и вычисляют по измеренным углам и расстояниям положения точек пересечения поплавками линий створов. Дальнейшая обработка ведется, как указано выше.

Для отдельных створов при надобности строят векторы скоростей течения. Длина вектора определяется величиной скорости движения поплавка и относится к точке пересечения им створа. Направление вектора устанавливается по касательной к траектории поплавка на данном участке.

Применяют так называемый однотоочечный способ засечки поплавков с помощью теодолита, устанавливаемый в одной точке на высоком берегу или на вышке, откуда виден весь участок. Теодолитом засекают последовательно запускаемые поплавки на всем пути движения их на исследуемом участке реки. При каждой засечке поплавка измеряют горизонтальный и вертикальный углы и берут отсчет по секундомеру. Затем вычисляют горизонтальное расстояние l от вышки до поплавка по формуле:

$$l = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha \pm I \sin \varphi},$$

(44)

где h -высота теодолита над уровнем воды; α - вертикальный угол; I - продольный уклон водной поверхности; φ -горизонтальный угол между створом и направлением на поплавок. При нормальных уклонах ($I < 0,0005$) величину $I \sin \varphi$ не учитывают. Накладку на план точек засечек поплавков делают в полярных координатах по горизонтальному углу φ и расстоянию l . По наложенным точкам проводят траектории поплавков, у каждой засечки проводят траектории поплавков, у каждой засечки проставляют время – отсчет по секундомеру.

Для измерения направлений и скоростей течений в морях на глубинах до 200 м, на крупных водохранилищах и озерах, может применяться Радиоизмеритель течений ГМ-33.(см. рис. 15)

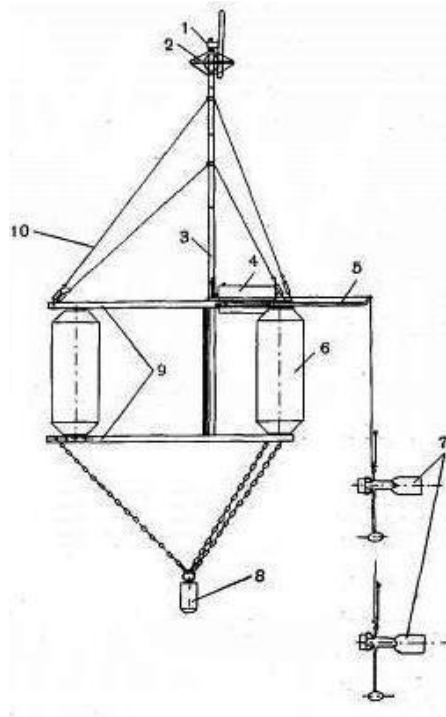


Рис. 15. Радиоизмеритель течений ГМ-33: 1 – передатчик; 2 – защитное устройство; 3 – мачта; 4 – контейнер; 5 – подвеска датчиков; 6 – поплавки; 7 – датчики (вертушки); 8 – груз; 9 – рама; 10 – растяжки.

Устанавливается на специальном автономном заякоренном радиобуе. Для измерений направлений и скоростей течений применена вертушка с магнитной системой, устанавливающейся по магнитному меридиану. Вращение ротора вертушки и изменения направления продольной оси вертушки относительно магнитной рамки под действием течения преобразуется в электрические импульсы с последующим преобразованием их в сигналы радиопередатчика. К бую подвешиваются две вертушки на различных глубинах. Скорость течения измеряется в диапазоне от 0,03 до 3,00 м/с точностью $\pm(2 \text{ см /с} + 3\% \text{измеряемой величины})$; направление течения регистрируется с точностью до $\pm 10^\circ$. дальность действия радиосистемы до 30 км.

Передатчик радиобуя работает в ультракоротковолновом диапазоне. Сигналы принимаются приемным устройством с поворотной антенной и регистрируются на телеграфной ленте. Величины скоростей и направлений течений определяются по частоте и взаиморасположению записанных на ленте сигналов. Длительность автономной работы радиобуя до 30 суток.

7. 2. Наблюдение за температурой, цветом и прозрачностью воды

Изучение термического режима водоемов имеет большое практическое значение при изучении испарения с водной поверхности, исследования замерзания и вскрытия водоемов, условий образования в них льда, шуги, полыней и других сопутствующих им явлений, а также необходимо при изучении ледового режима для проектирования и эксплуатации гидростанций и водозаборных сооружений систем водоснабжения. Знать термический режим, цвет и прозрачность вод озер и водохранилищ необходимо, при исследовании их ледового режима и изучении перемешивания их водных масс, химического и газового режимов вод этих водоемов и развития в них биологических процессов.

Наблюдения за температурой. Наблюдения за температурой воды проводятся на всех гидрологических станциях и постах, на которых ведутся наблюдения за уровнем, и включают:

1) систематические ежедневные измерения температуры воды, в постоянном месте - в прибрежной зоне или на стрежне реки;

2) временные эпизодические параллельные измерения температуры воды в нескольких точках по длине и ширине реки с целью выявления типичности постоянного места измерений.

Место для измерения температуры воды в реках выбирается в створе или вблизи водомерного поста прибрежной части на проточном месте с глубиной по возможности не менее 0,3-0,5 м. К месту измерений не должны подходить струи родниковых или сбросы промышленных вод. Температура воды в месте измерения должна мало отличаться от средней температуры воды во всем водном сечении и по длине реки на участке поста. Соблюдение этого условия проверяют путем организации эпизодических исследований.

При ширине реки менее 10 м измерения температуры воды производят на стержне, а при малых глубинах – в самом глубоком проточном месте реки.

Температуру воды измеряют водным термометром с точностью до 0,1°C. (рис. 16)

На шугоносных реках переходные периоды, осенью и весной, при температуре воды, близкой к 0° , для измерений применяют микротермометр, позволяющий отсчитывать значения температуры воды с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от $-0,8$ до $+1,2^{\circ}\text{C}$.

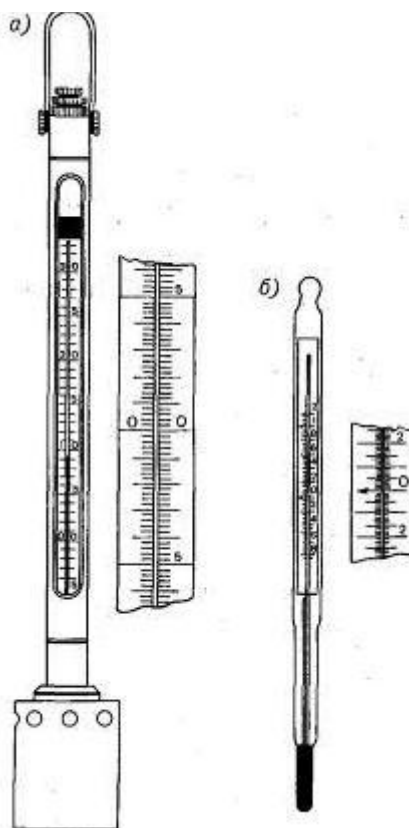


Рис. 16. Ртутные термометры для измерения температуры воды. а - водные термометр в оправе; б-микротермометр (без оправы).

Для измерения температуры воды с повышенной точностью в настоящее время применяют преимущественно микротермометр ГР-51, имеющий диапазон измерения от $-0,2$ до $+1,60^{\circ}\text{C}$ и точность отсчета на шкале $0,01^{\circ}\text{C}$.

Прибор состоит из датчика, укрепленного на конце трехжильного кабеля длиной 12 м, и основного прибора с измерительной частью. Датчик состоит из двух сопротивлений – медной и манганиновой проволок, намотанных бифилярно и заключенный в тонкостенный металлический кожух. Медная проволока используется в качестве термочувствительного элемента, манганиновая проволока имеет приблизительно постоянное сопротивление. Основной прибор состоит из деревянного ящика, на панели которого находятся кнопка включения питания, ручка реохорда с указателем, шкала реохорда, клеммы для подключения кабеля и наушников. На внутренней стороне панели выполнен монтаж измерительной части прибора (рис. 17).

Для измерения температуры датчик погружают в воду на заданную глубину и выдерживают в течение 4-5 минут. Затем, вращая ручку реохорда, добиваются исчезновения звука в наушниках и берут отсчет значения температуры по тарировочной таблице. В состав первичной обработки входят:

1. введение в отсчеты инструментальных поправок;
2. вычисление средних суточных значений температуры воды по данным измерений в 8 и 20 часов (для систематических ежедневных измерений);
3. вычисление средних декадных и выборка наибольших за месяц значений температуры воды.

На гидрологической станции ежемесячно проверяют первичную обработку результатов наблюдений и дополнительно выполняют:

- 1) построение хронологического графика хода изменения средних, суточных температур воды на комплексном графике;
- 2) анализ результатов наблюдений;
- 3) составление таблицы «Температура воды» для гидрологического ежегодника.

По данным измерений температуры может быть вычислен тепловой сток, т.е. количество тепла переносимого рекой через створ количество тепла T в

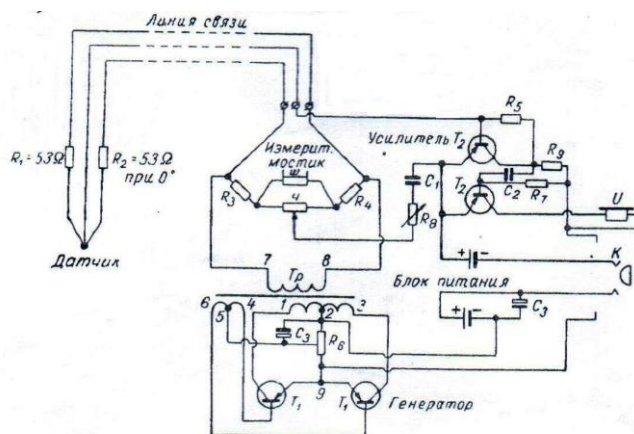
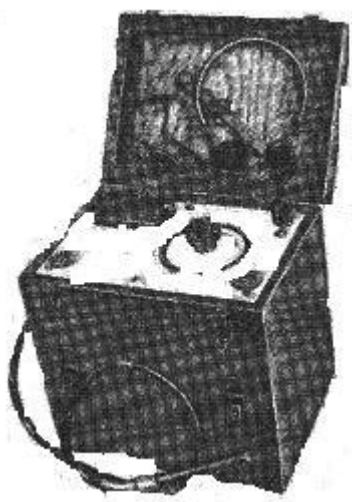
килокалориях, приносимое в 1 с через створ при расходе воды $Q \text{ м}^3/\text{с}$ и при t° , воды (тепловой расход) равно:

$$T = C * \text{tg} Q,$$

(45)

где C -удельная объемная теплоемкость воды равная $100 \text{ ккал}/(\text{м}^3 * \text{град})$.

В системе СИ удельная теплоемкость воды принимается равной $4190 \text{ Дж}/(\text{кг} * \text{Н})$.



а)

б)

Рис. 17. Микроэлектротермометр ГР-51: а) внешний вид; б) электрическая схема

Определение прозрачности и цвета воды. Прозрачность воды определяют по погружаемому в воду стандартному белому диску (диск Секки), который представляет собой металлический круг диаметром 300 мм, в центре которого вставлена втулка с пропущенным через нее линем и грузом, расположенным на нижней поверхности диска. Диск окрашен в ярко-белый цвет. Линь длиной 20-50 м размечается марками.

Прозрачность воды определяется с теневого борта судна. Диск медленно опускают в воду и, когда он перестанет быть видимым, замечают по линю глубину его погружения. Затем травят линь еще на 1 - 2 м и, выждав 10 - 15 секунд, чтобы исчезло зрительное впечатление от диска, медленно выбирают линь до момента появления диска.

Отсчеты глубины погружения диска при исчезновении и появлении его производят с точностью до 0,1 м. Если разница между глубинами исчезновения и появления превосходит 0,5 м, то наблюдения необходимо повторить.

В книжке записи наблюдений необходимо указать высоту глаза наблюдателя над водой. Эта высота при рейдовых наблюдениях должна оставаться по возможности постоянной.

Цвет воды. Изучение цвета, как и прозрачности воды, в стационарных условиях ведется на постоянной вертикали, положение которой закрепляется буйком.

Цвет воды определяют сравнением его с набором стандартных растворов шкалы цветности воды. Шкала представляет собой набор из 21 пронумерованной и запаянной пробирки, наполненной цветными растворами. Эти растворы подобраны так, что создается постепенный переход между основными окрасками воды в озерах и водохранилищах - синей, зеленой и коричневой.

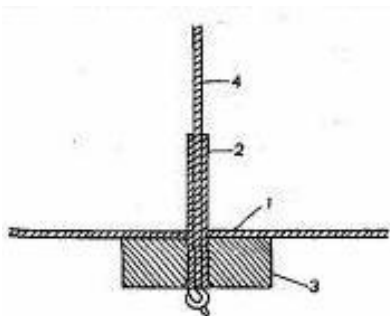


Рис. 18. Белый диск для определения прозрачности воды: 1 – металлический круг с диаметром 300 мм; 2 – втулка; 3 – груз; 4 – линь, длиной 20 – 50 мм.

Пробирки с растворами заключены в две рамки, по 11 каждой. Рамки вложены в ящик. В левой половине находятся пробирки с оттенками от синего(I) до зеленого (XI), а в правой-с оттенками от зеленого(XI) до коричневого (XXI).

Пробирка XI для удобства сопоставления повторяется дважды.

Растворы для шкалы приготавливают, смешивая в разных пропорциях растворы медного купороса и хромовокислого калия и прибавляя в определенных количествах сернокислый кобальт и аммиак. Шкала снабжается сертификатом, в котором указывается время проверки.

Цветные растворы шкалы через два - три года обесцвечиваются. Поэтому рекомендуется иметь две шкалы: одну - рабочую, по которой производят наблюдения, и вторую – эталон, которую употребляют для сравнения с рабочей шкалой и особенно тщательно защищают от света. Проверка рабочей шкалы заключается в сопоставлении ее со шкалой – эталоном. Наблюдения за цветом воды проводят одновременно с измерением ее прозрачности.

Для определения цвета воды белый диск поднимают на половину измерений перед этим глубины прозрачности воды и сравнивают цвет воды над диском с цветом жидкости в пробирках, при этом шкала должна находиться в тени, а под пробирки следует положить лист белой бумаги. Номер пробирки с оттенком цвета, наиболее близко подходящим к цвету воды, записывают в книжку. Точное совпадение оттенков наблюдается не всегда.

Если цвет воды подходит к двум соседним оттенкам шкалы, то записывают номера обеих пробирок.

Обработка материалов наблюдений за цветом и прозрачностью воды заключается в составлении месячных и годовых таблиц, а также в построении графиков водного хода этих элементов.

7. 3. Наблюдения за ледовым режимом

Для изучения ледового режима гидрологические станции посты проводят следующие наблюдения:

1. За ледовой обстановкой и условиями образования и разрушения льда в периоды замерзания и вскрытия водоема;
2. За ростом толщины ледяного покрова, характером его поверхности и ледовыми явлениями в период ледостава.
3. За образованием внутриводного льда, шуги и за шугоходом.

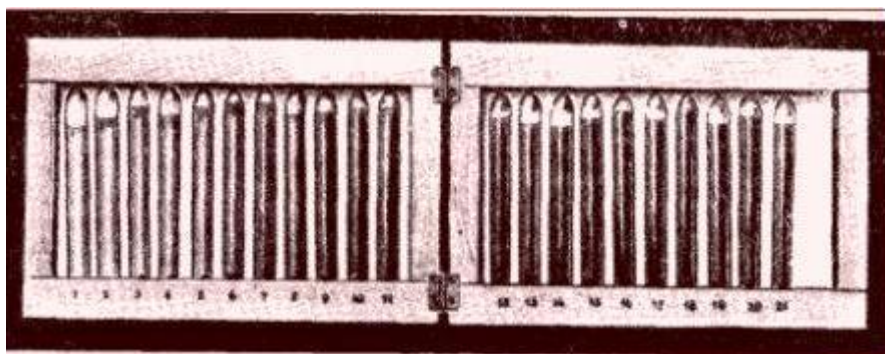


Рис. 19. Шкала для определения цвета воды.

Кроме перечисленных, в программу могут включаться специальные исследования и наблюдения: исследования строения льда и его физических свойств, изучение влияния ледяных образований (зажоров, заторов и др.) на режим протекания воды в реках и вытекания воды из озер и водохранилищ,

изучение режима полыней в нижних бьефах ГЭС и т.д. Программы и методики подобных исследований разрабатывают в каждом случае с учетом местных условий и технических возможностей.

Наблюдения за ледовой обстановкой ведут на гидрологических станциях и постах в течение всего зимнего периода. Участок наблюдений назначают в зависимости от ширины реки протяженностью от 0,2 до 2 км. Желательно, чтобы на выбранном участке имелся плес и перекат (для промерзающих рек это условие обязательно).

В зависимости от интенсивности развития ледяных образований и степени их изменчивости наблюдения ведут ежедневно или же раз в 3-5 дней. В переходные периоды осеннего и весеннего ледоходов наблюдения за ледовой обстановкой проводят как в основные, так и в дополнительные сроки водомерных наблюдений, а в случае быстрой смены гидрометеорологических условий и ледовой обстановки – учащенно.

В состав наблюдений за ледовой обстановкой входит визуальная оценка ледовой обстановки и ее развития, а также картирование.

Вопросы для самоконтроля

1. Цель изучения направлений течений.
2. Способы определения направления течений.
3. Значение термического режима водоемов.
4. Место измерения температуры воды и приборы для измерения.
5. Определение количества тепла приносимого рекой через створ.
6. Определение прозрачности воды.
7. Изучение цвета воды.
8. Наблюдение за ледовым режимом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.
2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
4. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии. [Текст] / О. А. Алекин. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 442 с.
5. **Алексеевский, Н. И.** Формирование и движение речных наносов. [Текст] / Н. И. Алексеевский. - М.: МГУ, 1988. - 202 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.
2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.
3. **Авакян, А. Б.** Рациональное использование и охрана водных ресурсов. [Текст] / А. Б. Авакян, В. М. Широков. – Екатеринбург.: Изд-во «Виктор», 1994. - 319 с.
4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
 - научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
 - электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;
 - электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 8

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ

8. 1. Гидрометеорологическая сеть на озерах и водохранилищах.

Наблюдения за уровнем воды

Все гидрометеорологические станции и посты гидрометслужбы РФ подразделяются по видам и разрядам. Вид станции и поста определяет область их деятельности, а разряд - объем выполняемых наблюдений и работ.

По видам станции и посты подразделяются на метеорологические, гидрологические, аэрологические, морские береговые и судовые гидрометеорологические и специализированные.

Гидрологические станции – это учреждения, имеющие определенный штат сотрудников. Они бывают I и II разрядов.

Гидрологический пост – это место на озере или водохранилище, выбранное с соблюдением определенных требований и оборудованное для проведения наблюдений. На гидрологическом посту имеется наблюдатель.

Озерные гидрометеорологические посты I и II разрядов ведут наблюдения за гидрометеорологическим режимом озер и водохранилищ: уровнем и температурой воды, ледовыми явлениями, толщиной льда и снега на льду, ветром, волнением и др.

Уровенный режим озер подвержен многолетним, годовым, сезонным и суточным колебаниям и обусловлен целым рядом физико-географических факторов. Изучение его часто имеет воднобалансовую направленность (по связи уровней воды с объемами воды в озере).

На уровенный режим водохранилищ существенное влияние оказывает режим работы гидроузлов, в связи, с чем изучение режима уровней необходимо как для планирования деятельности гидроэнергетики, судоходства, так и для оценки экологического состояния водохранилищ (ухудшения качества воды при низких уровнях и слабой проточности, нарушение условий нереста рыб и т.п.)

8. 2. Изучение термического режима озер и водохранилищ

На территории нашей страны имеется огромное количество озер, хозяйственное значение которых очень велико, а кроме того, в связи с интенсивным развитием гидроэнергетики на многих реках созданы водохранилища, по размерам не уступающие озерам.

Для изучения гидрометеорологического режима озер и водохранилищ на них организуется гидрометеорологические станции, озерные посты, а также

гидрологические посты в устьевых участках рек, впадающих в озеро (водохранилище).

Задачами системы гидрологических наблюдений на озерах и водохранилищах являются: изучение их режима, водного баланса и качества воды, информационное обеспечение службы прогнозов и народного хозяйства.

Специальные наблюдения чаще всего предусматривают производство термических съемок, изучение испарения с водной поверхности, сгонно-нагонных явлений, переформирования берегов и заиления водохранилищ, авиаразведку ледовой обстановки и т. п.

Прежде чем изложить суть простейшей термической классификации озер, предложенной еще в 19 веке швейцарским озероведом Ф. А. Форелем, остановимся на типах термической стратификации в водоемах.

Увеличение температуры воды от дна к поверхности называется прямой температурной стратификации; уменьшение температуры воды от дна к поверхности носит название обратной температурной стратификации; наконец, равномерное распределение температуры воды по глубине называется гомотермией

Ф. А. Форель подразделяет все пресноводные водоемы мира на три группы: 1) полярные (или холодные) с температурой в течение всего года ниже 4°C и с преобладанием обратной температурной стратификации, 2) тропические (или теплые) в течение всего года выше 4°C и с преобладанием прямой температурной стратификации, 3) озера в условиях умеренного климата с температурой выше 4°C и прямой температурной стратификации летом и температурой ниже 4°C и обратной температурной стратификацией зимой.

Основной источник поступления тепла в озеро - прямая солнечная радиация. Кроме этого, на нагревание озерной воды влияют: теплота слоев воздуха, лежащих над поверхностью воды; теплоотдача берегов озера и озерной котловины; теплота, освобождающаяся при образовании льда и конденсации водяных паров на поверхности озера; более высокая температура воды впадающих в озеро рек и подземного притока.

Потеря тепла происходит при излучении его в атмосферу. В значительно меньшей степени на охлаждение озера влияет потеря тепла при испарении воды и таянии льда, при впадении в озеро холодных притоков и т.д.

Соотношение количества тепла, получаемого и отдаваемого озером, называется тепловым балансом. Для анализа термического режима озера необходимо учитывать следующие термические свойства воды:

- чрезвычайно малую теплопроводность (передача тепла по глубине под влиянием одной лишь физической теплопроводности происходит очень медленно);
- большую теплоемкость (поэтому водоемы представляют собой мощные аккумуляторы тепловой энергии, сохраняющие ее значительно дольше, чем почва);
- увеличение плотности воды при понижении температуры до 4°C (наибольшая плотность пресной воды при температуре 4°C).

Дальнейшее понижение температуры (ниже 4°C) снижает плотность до точки замерзания, а с переходом воды в лед плотность резко падает.

Перераспределение тепла по глубине озера происходит главным образом благодаря конвекции, течениям и волнениям.

Конвекцией называется вертикальное перемещение частиц из-за различной плотности. Конвекция - основная причина неравномерного распределения температуры воды по глубине. В этом отношении выделяется два основных случая.

Если температура всей массы озера от поверхности до дна выражается 4°C, у поверхности располагаются теплые слои воды, а ниже все более и более холодные, имеющие большую плотность, то есть с глубиной температуры воды понижается. Такое послойное распределение температуры воды по глубине называется прямой стратификацией.

Прямая стратификация наблюдается в теплое время года и усиливается при нагревании воды, при этом на некоторой глубине образуется обычно слой температурного скачка. Наиболее высокую температуру приобретает поверхностный слой воды - эпилимнион. Ниже этого слоя лежит так называемый

слой температурного скачка - металимнион. Основная же толща озерных вод сохраняет относительную невысокую температуру. Этот слой называется гиполимнион. В эпилимнионе температура воды может повышаться до 20-25 °С, в гиполимнионе температура может сохраняться равной 5-6 °С. Таким образом, в слое скачка температура может изменяться на величину до 20°С, при этом вертикальные градиенты температуры иногда достигают 8 -10°С на 1 м).

Если температура всей массы озера находится в пределах 0-4°С, у поверхности находятся слои с более низкой температурой, а ниже в соответствии с изменением плотности располагаются слои с постепенно увеличивающейся температурой, все более приближающейся к 4° С. Такое явление называется обратной термической стратификацией.

Процесс замерзания озер происходит следующим образом. При похолодании, когда температура на поверхности озера падает ниже 4°С, в озере устанавливается обратная стратификация. Дальнейшее понижение температуры воздуха вызывает охлаждение поверхностного слоя воды до 0°С. Этот слой остается на поверхности, переохлаждается и превращается в лед. Если озеро спокойно, в первую же ясную холодную ночь поверхностный слой воды превращается в тонкую сплошную ледяную пленку. В дальнейшем эта пленка постепенно утолщается, превращаясь в ровный, гладкий покров из прозрачного кристаллического льда.

При сильном ветре образование льда на самой поверхности из-за волнения становится невозможным, но переохлаждение воды распространяется на некоторую глубину и способствует образованию внутривидового льда. В этом случае замерзание озера происходит аналогично замерзанию реки.

Замерзание озера начинается только тогда, когда температура поверхностного слоя понизится до 0°С, то есть, при охлаждении нижних слоев до 4°С. Поэтому всегда проходит какое – то время от даты перехода температуры воздуха через 0°С до даты замерзания озера.

В период весеннего нагревания температура воды в поверхностном слое повышается. Этот процесс начинается, когда озеро еще покрыто льдом, и продолжается после схода ледяного покрова. Когда температура поверхностного слоя станет несколько выше температуры нижерасположенных слоев, нарушится

вертикальная плотностная устойчивость вод: более теплая и более плотная вода начинает опускаться, а менее теплая и менее плотная – подниматься к поверхности. Возникшее интенсивное вертикальное конвективное перемешивание приведет к выравниванию температуры по вертикали, наступает весенняя гомотермия (обычно при температуре от 2 до 4°C). В это время создаются благоприятные предпосылки и для вертикального динамического (ветрового) перемешивания. Вода в толще озера может обновиться.

В период осеннего охлаждения температура в поверхностном слое понижается. После того как она станет несколько ниже температуры нижерасположенных слоев, более плотные воды начинают опускаться вниз, возникает активное конвективное перемешивание. В результате устанавливается осенняя гомотермия. Как и во время весенней гомотермии, создаются благоприятные условия и для вертикального динамического перемешивания. Вода в природных слоях обновляется. Гомотермия обычно устанавливается при температуре около 4 °C, а иногда (при сильном ветровом воздействии на поверхность озера) и при несколько большей температуре (5 - 6 °C).

8. 3. Изучение ветрового волнения водоемов

Материалы наблюдений за волнением необходимы для обеспечения судоходства и лесосплава, для проектирования и эксплуатации гидротехнических и портовых сооружений, для изучения процесса переформирования берегов и т.д. Волнение оказывает большое влияние на перемешивание водных масс, что способствует выравниванию температуры, ускорению разбавления промышленных и других загрязняющих стоков, а также ведет к обогащению воды кислородом.

Основной причиной образования волн на поверхности водоема является ветер. Степень развития волнения зависит от ряда факторов, основными из которых

являются скорость ветра, продолжительность его действия, длина разгона волн и глубина водоема.

Степень воздействия этих факторов не остается постоянной, поэтому в пределах одного водоема на различных его участках при одновременных наблюдениях размеры волн и характер волнения различны.

Для характеристики волн при наблюдениях за волнением пользуются следующими основными понятиями и терминами.

Высота волны h - это разность уровней соседних гребня (вершины) и ложбины (подошвы) волны, измеренная в фиксированной точке.

Длина волны λ - кратчайшее горизонтальное расстояние между двумя последовательными гребнями или ложбинами двух соседних волн.

Период волны τ - промежуток времени между прохождением через неподвижный створ (точку наблюдений) двух гребней последовательно идущих волн. Обычно эта величина осредняется из N гребней, проходящих за время T , т. е.

$$\tau = T/N.$$

(46)

Скорость распространения волны c – расстояние, которое проходит волна за 1 с; определяется по времени прохождения гребнем фиксированного расстояния в направлении, совпадающем с направлением распространения волнения. Последние три характеристики связаны между собой зависимостью:

$$c = \lambda/T.$$

(47)

Крутизна волны α - угол наклона к горизонту линии, соединяющей вершину волны с ее подошвой. Обычно крутизна волны характеризуется параметром m , который равен отношению высоты волны к ее длине ($m = h/\lambda$).

Направление распространения волнения – румб, от которого идет видимое перемещение гребней волн. Для достаточно полной характеристики волнового режима наблюдения за волнением производятся в прибрежной зоне и в открытой части водоема путем проведения стандартных специальных наблюдений.

На крупных озерах максимальная высота волн может достигать 3 - 4 , иногда 5 - 6 м. На Каспийском море максимальная высота волн еще больше. На малых озерах

высота волн обычно не превышает 0,5 м. Крутизна волн на озерах в среднем около 0,1.

Параметры волн на озерах (высота h_b и длина λ) зависят от скорости ветра W и длины разгона волн D и, согласно формулам В. Г. Андреянова, равны:

$$h_b = 0,0208 W^{5/4} D^{1/3}; \lambda = 0,304 W D^{1/2},$$

(46)

где h_b и λ выражены в м, W -в м/с, D -в км. Скорость распространения волны c на мелководье может быть приближенно определена по формуле Лагранжа-Эри: $c \sim \sqrt{gh}$, где h - глубина места. Тогда период волны легко рассчитать по соотношению $\tau = \lambda / c$.

Для определения параметров волн на озерах разработаны специальные номограммы, позволяющие рассчитывать h_b, λ ит по данным о скорости ветра W и времени его действия t , длине разгона D и глубине h .

В открытой части водоема обычно устанавливаются волномерные и одна максимально - минимальная вехи. Наблюдения вдали от берега можно проводить с судна, закрепленного на якорю, или по ходу; методы таких наблюдений подробно рассматриваются в курсе морской гидрометрии.

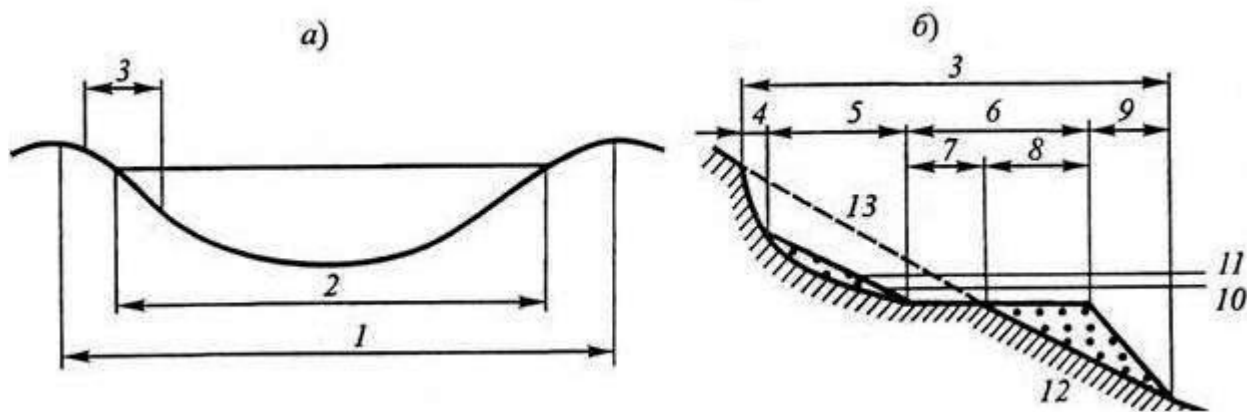
Аэрофотосъемка волнения. Для исследования волнового режима в открытой части водоемов применяют различные виды аэрофотосъемок. Ввиду трудоемкости этого метода его используют обычно только при научных исследованиях.

При одиночных плановых аэроснимках определяются длины волн и их протяженность по гребню. Кроме того, оценивают общий характер взволнованной поверхности и направление распространения волн. Если же производится маршрутная аэрофотосъемка, то в зонах перекрытия аэроснимков можно дополнительно определить и скорость распространения волн.

Специальные наблюдения за волнением. Специальные наблюдения за волнением производятся для более детального изучения режима волнения, что не редко требуется при научных исследованиях. Они осуществляются по специальным программам, разрабатываемым ГМО. При производстве специальных наблюдений в первую очередь должны освещаться районы, в

которых не проводятся систематические наблюдения. Особое место занимают при этом инструментальные наблюдения за элементами волн с помощью самописцев волнения (волнографов). Волнографов для береговых наблюдений имеется довольно много, однако стандартного пока нет.

Морфология и морфометрия озер. Во всех озерах более или менее четко выделяют основные морфологические элементы: котловину, т. е. естественное



понижение земной поверхности самого различного происхождения, в пределах которого и расположено озеро; ложе (или чашу) озера, непосредственно занятое водой (рис. 20).

Рис. 20. Схема озерной котловины (а) и ее береговой области (б): 1 – котловина; 2 – ложе (чаща); 3 – береговая область; 4 – береговой уступ; 5 – побережье; 6 – береговая отмель; 7, 8 – абразионная и аккумулятивная части береговой отмели; 9 – подводный откос; 10, 11 – низший и высший уровни воды; 12 – коренные породы; 13 – начальный профиль берега.

Важным элементом озерной котловины является береговая область, которая при абразионном характере берега включает береговой уступ (4), побережье (5) и береговую отмель (6). Последние два элемента озерной котловины часто называют литоралью, к характерным чертам которой относятся мелководность и воздействие волнения. За пределами литорали находится подводный откос (или сублитораль (9)). Глубоководная часть озера – это пелагиаль; дно озера называют профундалью.

Развитие высшей растительности (макрофитов), как правило, ограничено литоралью. В пределах озера выделяют также такие морфологические элементы,

как плесы, заливы, бухты. Основными морфометрическими характеристиками озера служат: площадь озера $F_{оз}$; объем воды в озере $V_{оз}$; длина береговой линии $L_{бер.л.}$, проведенной по урезу воды; длина озера $L_{оз}$ - кратчайшее расстояние по поверхности воды вдоль оси озера между наиболее удаленными очками береговой линии; ширина озера $B_{оз}$ – расстояние между противоположными берегами озера, измеренное по линии, перпендикулярной оси озера в любой его части (рис. 21) Наибольшее значение последней величины называют максимальной шириной озера $B_{оз. макс.}$. Среднюю ширину озера вычисляют по формуле:

$$B_{оз. ср} = F_{оз} / L_{оз}. \quad (47)$$

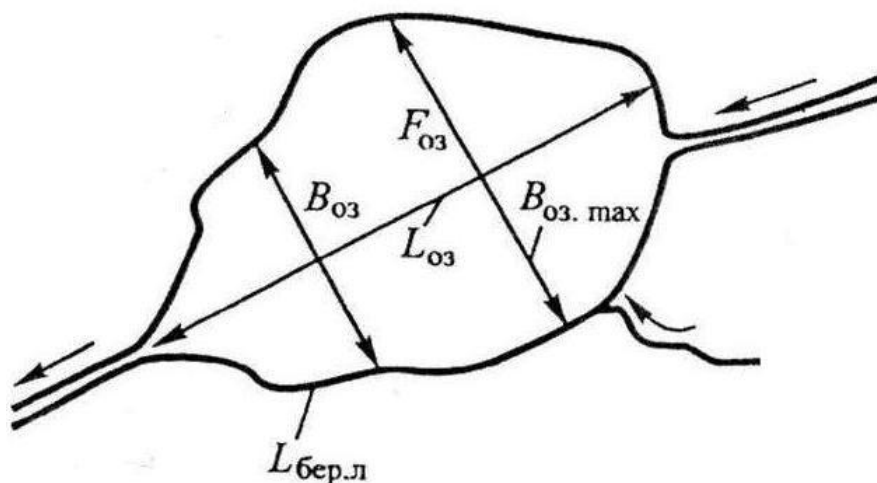


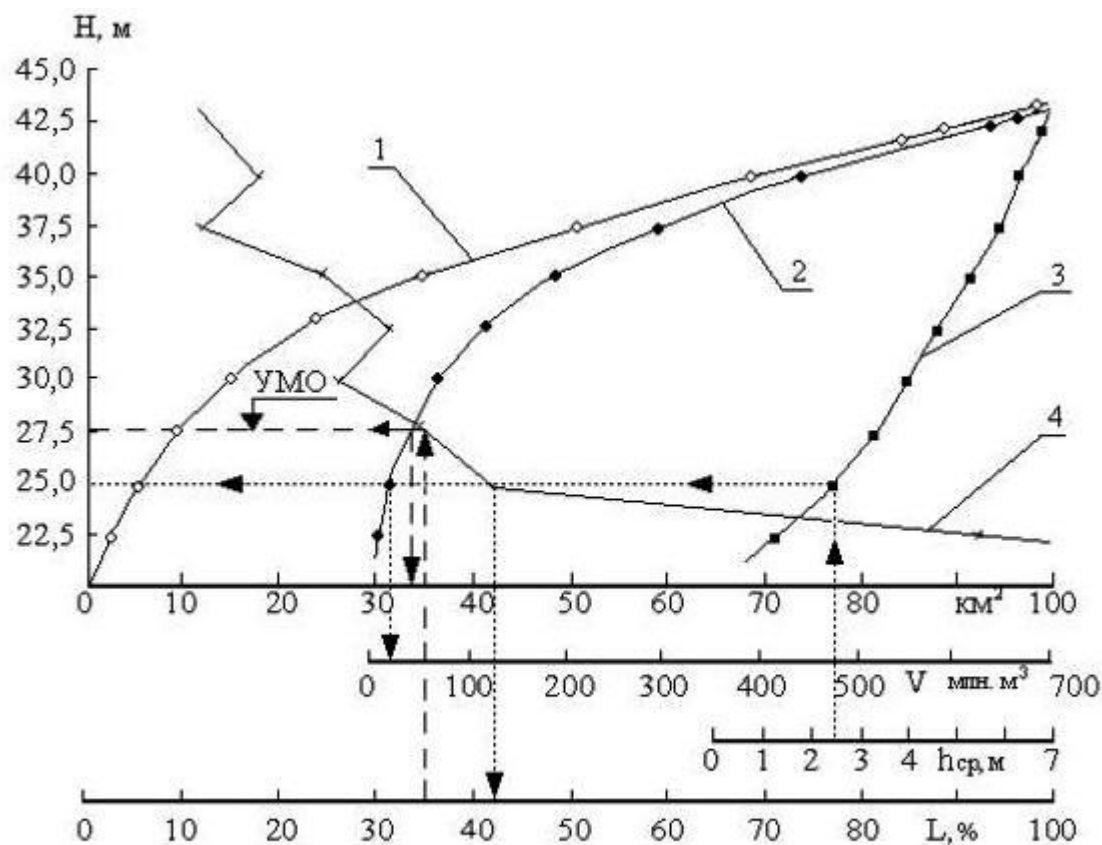
Рис. 21. Морфометрические характеристики озера.

Важными морфометрическими характеристиками озера являются его глубина $h_{\text{оз}}$ (в разных частях озера она различна), максимальная глубина $h_{\text{оз max}}$, средняя глубина $h_{\text{оз. ср.}}$, определяется по формуле:

$$h_{\text{оз. ср.}} = V_{\text{оз}} / F_{\text{оз.}} \quad (48)$$

Все перечисленные выше морфометрические характеристики озера зависят от высоты стояния уровня воды отсчетного горизонта (или глубины). Наиболее важно знать, как изменяются с изменением уровня (или глубины) такие характеристики, как площадь озера, объем воды в нем, средняя и максимальная глубина. Связи соответствующих характеристик с уровнем (глубиной) называют кривой площадей, кривой объемов и кривой средних глубин или батиграфической характеристикой (рис. 22), где кривая $\alpha_{\omega} = f(H)$ -кривая критерия литорали.

Кривая площадей показывает, какая площадь поверхности озера соответствует данной высоте стояния уровня или глубине, кривая объемов показывает, какой объем воды находится ниже любого заданного уровня (или глубины). Эти две кривые широко используют при расчетах многих гидрологических процессов, происходящих в озерах и зависящих от высоты стояния уровня воды, - элементов водного баланса озера и, в частности, потерь воды на испарение с поверхности озера, характеристик водообмена, регулирующей роли водоема, и т. д.



1) $\Omega = \Omega(H)$; 2) $V = V(H)$; 3) $h_{cp} = h_{cp}(H)$; 4) $L_{\Omega} = L_{\Omega}(H)$

Рис. 44. Батиграфическая кривая (пример).

8. 4. Понятие о переработке берегов водохранилищ

Процессы размыва и обрушения берегов водохранилищ, продолжаются до образования устойчивой береговой отмели, называют переработкой или переформированием берега. В результате переработки крутые берега водохранилища делаются более пологими, при этом отмывается некоторая полоса прибрежной территории.

Водохранилища, как и озера, являются аккумуляторами наносов. Отложение в водохранилище мелких взвешенных наносов называют заилением, крупных (влекомых) - занесением. Если не удастся различить мелкие и крупные наносы, то процесс аккумуляции всей совокупности в водохранилище называют заилением. В результате заиления формируется толща донных отложений водохранилища. При равномерном отложении наносов период заиления мертвого объема водохранилища $\tau_{зл}$ можно приближенно определить по формуле:

$$\tau_{\text{зл}} = V_{\text{мо}} / W_{\text{R}}(1 - \sigma),$$

(49)

где $V_{\text{мо}}$ - мертвый объем водохранилища, м³; W_{R} – средний годовой сток наносов реки, м³; σ - доля стока наносов, проходящая через водохранилище транзитом (для равнинных водохранилищ σ может достигать 0,3 - 0,4, для глубоких горных водохранилищ практически весь сток наносов реки задерживается в водохранилище и σ приближается к 0). Сток наносов реки, в свою очередь, определяют по формуле:

$$W_{\text{R}} = \bar{R} * 31,5 * 10^6 / \rho_{\text{отл}},$$

(50)

где $\bar{R}$ - средний годовой расход наносов, кг/с; $31,5 * 10^6$ – количество секунд в году; $\rho_{\text{отл}}$ - плотность донных отложений, равная 700 - 900 кг/ м³ для илистых отложений, 1900-1300 кг/м³ для песчанистого ила и илистого песка, 1500-2200 кг/м³ для песка и гравия с галькой.

После сооружения водохранилища и повышения уровня воды зону волновой переработки (абразии) попадают берега водохранилища – бывшие склоны долины. В результате абразии, как и на озерах, формируется береговой уступ и абразионная отмель в верхней части берегового склона.

Наиболее интенсивно разрушаются сложенные лёсовидными грунтами берега водохранилищ в степной, полупустынной и пустынной зонах. За первые 10 лет существования водохранилища берег может отступить на 200 м и более.

Переработка берегов имеет большое значение на крупных водохранилищах с большой протяженностью береговой полосы. На интенсивность переформирования берегов, кроме ветрового волнения, оказывают влияние колебание уровней при сработке и заполнении емкости, грунты, слагающие берег, гидрогеологические условия; скорость течения вдоль берега, режим движения влекомых по дну наносов, глубины воды.

При вычислении суммарного объема наносов, аккумулируемых в водохранилище, необходимо учитывать переработку берегов. Размытый грунт перемещается под воздействием вдоль береговых течений, вызванных волнением, в более глубокие зоны водохранилища и там отлагается, уменьшая емкость.

По Н. Е. Кондратьеву, в результате переработки берега формируется устойчивый профиль береговой отмели, достаточно широкий и пологий, чтобы защитить берег от дальнейшего размыва. Устойчивое равновесие отмели достигается при снижении скорости или установлении баланса вкатывающихся и скатывающихся с откоса частиц грунта. Н. Е. Кондратьев рекомендует для песчаных грунтов прогнозировать наиболее вероятные береговые переформирования на заданный срок.

Положение прогнозируемого профиля береговой линии относительно профиля берега в естественных условиях находят совмещением профилей до тех пор, пока призма размыва не будет равна призме отложений.

Схема переработки берегов по Н. Е. Кондратьеву дана на рисунке 45.

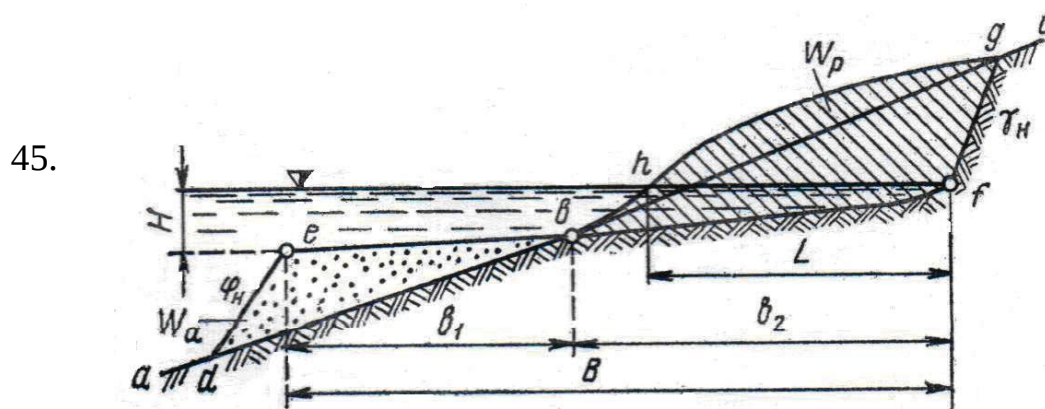


Рис.
Схема

переработки берегов: W_p -призма размыва, W_a - призма отложений

Как заиление водохранилищ, так и переработка берегов оказывают влияние на затопление и подтопление, а также на фильтрационные потери. Влияние заиления на окружающую среду изучено недостаточно, так как процесс переформирования берегов достаточно длительный, а факторы влияющие на него, многочисленны.

Для сокращения объема заиления водохранилища рекомендуется: уменьшать и предотвращать ветровое волнение и водную эрозию на водосборе (почвозащитные севообороты, прерывистые борозды, полосное размещение культур, залужение крутых склонов, облесение и закрепление оврагов, балок, берегов водохранилища, культуртехнические мероприятия, террасирование крутых склонов).

Вопросы для самоконтроля

1. Гидрометеорологическая сеть на озерах и водохранилищах.
2. Наблюдения за уровнем воды.
3. Типы термической стратификации по Ф. А. Форелю.
4. Факторы,обуславливающие тепловой баланс озер.
5. Основная причина неравномерного распределения температуры воды по глубине в озере.
6. Термические свойства воды.
7. Явление прямой температурной стратификации, чем оно характеризуется.
8. Процесс замерзания озера и как оно характеризуется.
9. Что такое весенняя и осенняя гомотермия и процесс установления.
10. Причины образования волн на водоемах.
11. Основные элементы ветровой волны.
12. Определение параметров волн на озерах.Наблюдение за волнением
13. Морфологическое строение озера.
14. Морфометрические характеристики озера.
15. Что такое переформирование или переработка берегов.
16. Аккумуляция наносов в озерах и водохранилищах.
17. Процесс переформирования берегов по Н.Е.Кондратьеву.
18. Влияние заиления на окружающую среду и мероприятия по сокращению объема заиления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.:Гидрометеиздат,1985. - 384 с.

2. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

3. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.:Гидрометеиздат,1977. – 448 с.

Дополнительная

1. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат,1978. - 308 с.

2. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева.- Л.:Гидрометеиздат,1983. - 424 с.

3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
- научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
- электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;
- электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Авакян, А. Б.** Рациональное использование и охрана водных ресурсов. [Текст] / А. Б. Авакян, В. М. Широков. – Екатеринбург.: Изд-во «Виктор», 1994. – 319 с.
2. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии. [Текст] / О. А. Алекин. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 442 с.
3. **Алексеевский, Н. И.** Формирование и движение речных наносов. [Текст] / Н. И. Алексеевский. - М.: МГУ, 1988. - 202 с.
4. **Бондаренко, Ю. В.** Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований. [Текст]: учеб. пособие / Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов.: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
5. **Быков, В. Д.** Гидрометрия. [Текст] / В. Д. Быков, Васильев А. В.- Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 448 с.
6. **Винников, С. Д.** Гидрофизика. [Текст] / С. Д. Винников, Б. В. Проскуряков. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 239 с.
7. **Карасев, И. Ф.** Гидрометрия. [Текст] / И. Ф. Карасев, И. Г. Шумков. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 384 с.
8. **Кожемяченко, И. В.** Гидрометрия. [Текст]: учеб. пособие / И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»; Саратов, 2010. – 160 с. - ISBN 978-5-7011-0603-9.
9. **Лучшева, А. А.** Практическая гидрометрия. [Текст] / А. А. Лучшева.- Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 424 с.
10. **Михайлов, В. Н.** Гидрология. [Текст]: учеб. для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.
11. **СП 11-103-97.** Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства [Текст]. – М.: Госстрой РФ, 1997 г.
12. **СП 33-101-2003.** Определение основных гидрологических характеристик [Текст]. – М.: Госстрой РФ, 2004 г.
13. **Чеботарев, А. И.** Гидрологический словарь. [Текст] / А. И. Чеботарев. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 308 с.
14. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- электронная библиотека СГАУ - <http://library.sgau.ru>;
- научная электронная библиотека - <http://elibrary.sgau.ru/>;
- электронные данные Росгидромета: <http://meteorf.ru>;
- электронные данные Государственного гидрологического института - <http://www.hydrology.ru>.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
.....	
....	
Лекция 1. Введение в курс «Теоретические основы водопользования.	4
Гидрометрия	
».....	
1. 1. Предмет гидрометрии и гидрометрический мониторинг	4
.....	
1. 2. Основные сведения о режиме уровней воды и сущность водомерных наблюдений	4
.....	
1. 3. Типы и устройство водомерных постов	6
.....	
1. 3. 1. Простые водомерные посты	6
.....	
1. 3. 2. Передаточные водомерные посты	7

.....	
1. 3. 2. Автоматические водомерные посты	8
.....	
1. 3. 4. Реперы водомерных постов. Система отметок и отсчетов на водомерном посту	9
.....	
1. 3. 5. Измерение уровня воды	9
.....	
1. 3. 6. Визуальные наблюдения	10
.....	
1. 4. Организация и производство наблюдений на водомерном посту	10
.....	
1. 4. 1. Выбор и съемка участка реки	11
.....	
1. 4. 2. Устройство, оборудование и нивелирование водомерного поста	12
.....	
1. 5. Обработка результатов водомерных наблюдений	12
.....	
Лекция 2. Измерение глубин воды	16
.....	
2. 1. Глубина. Цель и задачи промеров глубин	16
.....	
2. 2. Методы и приборы для измерения глубин и профилей дна	16
.....	
2. 3. Состав работ и способы промеров	17
.....	
2. 3. 1. Приведение промеров к срезочному (условному) уровню	18
.....	
2. 3. 2. Промеры по поперечным профилям	18
.....	

2. 3. 3. Промеры по косым галсам, продольным профилям или смешанным	способом	20
.....		
2. 3. 4. Промеры глубин	эхолотами	21
.....		
2. 4. 1. Обработка материалов промерных работ		21
.....		
2. 4. 2. Обработка записей в промерной книжке		21
.....		
2. 4. 3. Построение поперечных профилей и вычисление морфометрических характеристик водного сечения		22
.....		
2. 4. 4. Составление плана русла реки в изобатах и горизонталях		22
.....		
2. 4. 5. Составление продольного профиля реки		23
.....		
Лекция 3. Скорости течения. Измерение скоростей течения воды		25
3. 1. Скорость течения и ее характеристики		25
.....		
3. 2. Распределение скоростей в речном потоке		25
.....		
3. 3. Методы и приборы для измерения скоростей течения воды		27
.....		
Лекция 4. Измерение расходов воды		31
.....		
4. 1. Методы его определения расходов воды		31
.....		
4. 2. Метод «скорость — площадь»		32

.....	
4. 3. Измерение расходов воды с помощью гидрометрической вертушки	32
4. 4. Определение расходов воды по скоростям, измеренным поверхностными поплавками	34
.....	
4. 5. Измерение расходов воды на гидроузлах и каналах	36
.....	
Лекция 5. Определение зависимости между расходами и уровнями воды и подсчет стока воды.....	42
5. 1. Определение зависимости между расходами и уровнями воды	42
.....	
5. 2. Подсчет стока воды	45
.....	
5. 3. Экстраполяция кривых расходов	45
.....	
5. 4. Построение кривой расходов и подсчет стока воды при отсутствии однозначной зависимости между расходами и уровнями	47
Лекция 6. Изучение твердого стока и донных отложений	51
.....	
6. 1. Общие сведения о твердом стоке	51
.....	
6. 2. Мутность рек	53
.....	
6. 3. Изучение стока взвешенных наносов.....	53
.....	
6. 4. Минерализация сточных вод и сток растворенных веществ	57
.....	

Лекция 7. Специальные исследования и наблюдения	59
.....	
7. 1. Измерение направлений течения	59
.....	
7. 2. Наблюдение за температурой, цветом и прозрачностью	61
.....	
7. 3. Наблюдение за ледовым режимом	64
.....	
Лекция 8. Изучение гидрологического режима озер и водохранилищ	66
8. 1. Гидрометеорологическая сеть на озерах и водохранилищах.	
Наблюдения за уровнем воды	66
.....	
8. 2. Изучение термического режима озер и водохранилищ	66
.....	
8. 3. Изучение ветрового волнения водоемов	69
.....	
8. 4. Понятие о переработке берегов водохранилищ.	72
.....	
Библиографический список	75
Содержание	76