



ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО

А.Г. Ходзинская

ГИДРОМЕТРИЯ

Курс лекций

ISBN 978-5-7264-1192-7



9 785726 411927



Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.Г. Ходзинская

ГИДРОМЕТРИЯ

Курс лекций

Москва 2015

Лекция 1

ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ЗАДАЧИ

1.1. ЗАДАЧИ ГИДРОМЕТРИИ

Гидрометрия — раздел гидрологии, в котором рассматриваются методы измерений и наблюдений за гидрологическими характеристиками водных объектов.

Главные задачи гидрометрии: 1) систематическое изучение гидрологического режима водных объектов для получения многолетних характеристик элементов водного режима; 2) разработка методов и приборов для получения этих характеристик.

В зависимости от вида водного объекта различают морскую и речную гидрометрию. В морской гидрометрии изучают гидрологические характеристики морей и океанов, в речной — вод суши (рек, озер и водохранилищ).

Гидрометеорология — гидрометрия атмосферных вод, которую изучают в метеорологии, а гидрометрию подземных вод — в гидрогеологии.

1.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В Российской Федерации деятельностью в области гидрометеорологии руководит Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), которая входит в состав Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Главные задачи этой службы в части гидрологии и гидрометрии заключаются в государственном учете поверхностных вод; ведении водного реестра в части поверхностных вод и водных объектов (сборе информации о характеристиках водных объектов, ее анализе, хранении); составлении прогнозов гидрологических явлений; научно-прикладных работах по проблемам гидрологии и гидрометрии; модернизации наблюдательной сети.

Росгидромет организует работу по созданию и ведению Единого государственного фонда данных (ЕГФД), главным исполнителем которой является Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) в г. Обнинске. Наблюдения ведутся в соответствии с разрабатываемыми там правилами и инструкциями. Полученные данные обрабатываются и используются, в том числе, и при проектировании водохозяйственных объектов.

В субъектах Российской Федерации деятельностью гидрологических и гидрометеорологических станций и постов руководят территориальные органы Росгидромета.

Объем и состав гидрометрических работ зависят от их цели. Систематические наблюдения ведутся на основных гидрологических постах и станциях с целью получения многолетних рядов уровней, скоростей и расходов воды и наблюдения за термическим и ледовым режимами; химическим составом воды, параметрами волн, расходами взвешенных и донных наносов, их гранулометрическим составом.

На реках и каналах оборудуют постоянно действующие гидрологические станции и посты, а на озерах и водохранилищах — гидрометеорологические, на которых проводят, кроме гидрологических, и метеорологические наблюдения.

Основные и специальные гидрометеорологические станции и посты образуют постоянно действующую гидрометеорологическую сеть, на которой наблюдения ведутся длительное время с целью гидрометеорологического обслуживания страны и ее геофизического изучения.

Специальные посты и станции, которых значительно меньше, предназначены для изучения гидрометеорологических режимов под влиянием местных условий и располагаются, например, на берегах водохранилищ и озер, в устьях крупных рек для изучения их режима. На стоковых станциях изучают процессы формирования водного баланса на водосборах.

Кроме государственной гидрометеорологической сети станций и постов, функционируют и ведомственные (например, для обеспечения работы водного транспорта, гидроэнергетики, рыбного и сельского хозяйства). Ведомственные станции и посты осуществляют свою деятельность на основании лицензий, которые получают от Росгидромета, и должны соблюдать требования его нормативных документов. Росгидромет и его территориальные органы оказывают им необходимую техническую и методическую помощь.

Гидрологические станции подразделяют на I и II разряды, гидрологические посты — на I, II и III разряды.

На гидрологических станциях I разряда изучают гидрологический режим водных объектов на своей территории, руководят прикрепленными станциями II разряда и гидрологическими постами.

Гидрологический пост — это место, специально оборудованное для проведения наблюдений, при выборе которого следует руководствоваться определенными правилами.

На гидрологических постах I разряда наблюдения ведутся за следующими элементами: уровнем воды, расходом воды, ледовым режимом, толщиной льда, снега на льду, шуги, глубиной русла и рельефом дна, уклонами водной поверхности, а также метеорологическими элементами (скоростью и направлением ветра,

температурой воздуха, влажностью воздуха, волнением, осадками). Кроме этого на них измеряют расходы взвешенных и донных наносов и их механический состав, берут пробы на химический анализ, делают снегомерные съемки, обобщают материалы исследований. На постах II разряда ведут те же наблюдения, что и на постах I разряда, за исключением измерений расходов воды и наносов, на постах III разряда измеряют только уровни, температуру и наблюдают за ледовыми явлениями.

Сроки наблюдений устанавливаются в зависимости от режима водного объекта, но за основные сроки наблюдений на постах государственной сети приняты 8 и 20 часов по местному времени.

Научным изучением гидрологических проблем, разработкой новых методов и приборов, а также их внедрением занимаются Государственный гидрологический институт (ГУ «ГГИ») и гидрометеорологические обсерватории (ГМО) (Валдайская обсерватория и на крупных водохранилищах).

На водосборах для определения поверхностного и подземного стока и других элементов водного баланса применяются водно-балансовые площадки. На них проводятся исследования влажности почвы, испарения и просачивания воды в почву и грунты с помощью влагомеров, испарителей и лизиметров.

При проектировании крупных сооружений (плотин, мостов) дополнительно проводят полевые экспедиционные исследования по специальным программам. При проведении исследований в экспедициях часто используются приборы, устанавливаемые на гидрометрическом судне, автомашине и др. По способу взаимодействия с объектом наблюдения подразделяются на контактные и неконтактные. К контактными средствам для измерения расхода воды относятся: ультразвуковая система, система определения по степени разбавления в потоке введенного вещества, а также комплекс аппаратуры для измерения расхода воды с движущегося судна; к неконтактным — аппаратура для аэрокосмических методов изучения состояния водных объектов и запасов воды в снежном покрове.

По характеру процесса измерений приборы разделяют на неавтоматические (с участием человека) и автоматические, к которым относятся самописцы уровня воды, фиксирующие результаты наблюдений в графической форме. С конца 1970-х гг. начали использовать автоматические комплексы (автоматические гидрологические посты), осуществляющие измерение нескольких гидрологических характеристик, регистрирующие полученные результаты в цифровой форме и передающие их в центры сбора информации. В настоящее время автоматические

приборы и электронные формы обобщения и представления информации приобрели большое значение на практике.

К числу гидрологических приборов, которыми оснащаются гидрологические станции и посты, относятся приборы для измерения уровня воды, глубины, скорости и направления течения, расхода воды, температуры воды, толщины шуги и ледяного покрова и различные приборы для взятия проб на химический анализ или с целью определения концентрации и состава наносов (батометры).

Гидрометрия моря базируется главным образом на данных судовых измерений, а также автоматических буйковых и гидрологических станций. Эхолотный промер глубин делается одновременно с определением места судна астрономическими методами с помощью радио- и специальных навигационных спутников Земли. Температура воды измеряется на различных глубинах, берутся пробы воды для определения ее солености и других химических, а также оптических характеристик (прозрачности). Течения на глубинах определяются с помощью вертушек, подвешиваемых к заякоренным буйам, и поплавков нейтральной плавучести с акустическим прослеживанием. Проводятся измерения высоты волн и специальные гидроакустические измерения; определяются характеристики льдов; берутся пробы грунтов и биологических образцов. Ряд измерений производится на береговых и островных станциях (уровень моря, приливы, волнение, температура и др.).

В настоящее время происходит модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета, основная цель которых — повышение качества и объема информации о текущих гидрологических условиях с целью увеличения точности прогнозов и обеспечения международных обязательств о предоставлении информации о состоянии окружающей среды. Для реализации указанных целей осуществляется следующее:

- внедрение на гидрологических постах и станциях автоматизированных гидрологических комплексов (АГК), акустических профилографов для определения скорости течения и расхода воды;
- распространение для измерений глубин эхолотов;
- широкое использование навигационного оборудования для привязки к государственной геодезической сети;
- переход на технологию получения, обработки и использования данных наблюдений не на бумажных, а на технических носителях;
- широкое внедрение для быстрой передачи информации из пунктов наблюдений современных средств связи;
- переход на современное оборудование энергообеспечения;

- обучение персонала гидрологических постов новым методам проведения работ и эксплуатации современных приборов;
- расширение использования мобильных гидрологических лабораторий.

1.3. ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Гидрометрические изыскания проводят в три этапа (периода): подготовительный, полевой и камеральный.

Подготовительный период заключается в сборе исходных данных по району будущего строительства: сведений о бассейне реки и ее системе из карт, материалов гидрологических пунктов наблюдений и метеорологических станций и др.; данных об условиях эксплуатации существующих поблизости мостов и гидротехнических сооружений. На основе изучения полученных данных составляется план проведения гидрометрических работ.

Полевой период включает изыскательские работы по исследованию участка реки, разбивке гидрометрических створов, а также определение уровня воды; подводную съемку русла; съемку продольного профиля и определение уклона реки; наблюдения за направлением течения воды, траекториями движения льдин, определение скоростей течения и расходов воды.

Участок для наблюдений целесообразно выбирать в месте створа проектируемого сооружения. Так как обработка результатов наблюдений базируется на использовании уравнений для равномерного и плавно-изменяющегося движения, участок должен быть прямолинейным, без отклонений струй и водоворотов, с постоянной формой и размерами поперечного сечения, продольным уклоном и шероховатостью поверхности. С целью упрощения измерений и экономии времени сечения для проведения измерений назначают в местах с минимальной шириной русла и пойм.

Гидрометрические работы нужно проводить во время паводка и в период между паводками. Первый вариант дает необходимые данные и обязательно применяется при строительстве на больших реках со сложными условиями (при наличии протоков, неустойчивого русла и т.п.). При втором варианте работы более экономичны, еще и потому, что часто проводятся одновременно с другими полевыми инженерными изысканиями.

Камеральный период предназначен для обработки материалов изысканий, составления и выпуска отчетных документов.

Лекция 2 НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЯМИ ВОДЫ

2.1. УРОВЕНЬ ВОДЫ

Изучение изменений уровня воды на водных объектах необходимо для оценки их гидрометеорологического режима, а также при строительстве на прибрежных территориях рек гидротехнических сооружений разного назначения.

Наиболее ценную информацию можно получить на длительно и непрерывно работающих водомерных постах. Наблюдения на посту должны быть сопоставимы за весь период наблюдений между собой и с наблюдениями по другим постам.

Уровень воды — это высота водной поверхности над условной горизонтальной плоскостью сравнения, неизменной по высоте, принимаемой за «0» графика гидрологического поста. Отметка «0» графика должна быть ниже самого низкого уровня воды на 0,5 м. На рис. 1 высотное положение этой плоскости равно h_0 .

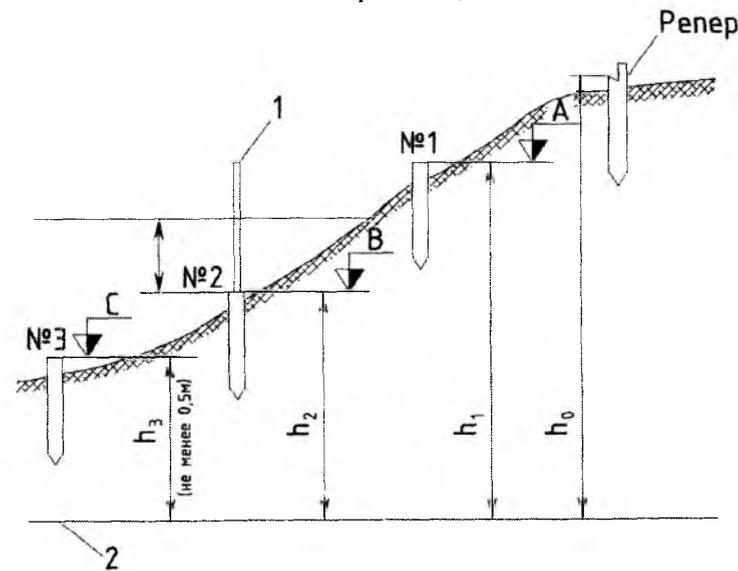


Рис. 1. Схема вычисления отметок на свайном посту:
1 — рейка; 2 — плоскость нуля водомерного поста

Наблюдения на гидрологическом посту производятся два раза в день в 8 и 20 ч для определения среднесуточных значений или чаще (по специальной программе) во время резкого изменения уровней для получения мгновенных значений.

2.2. МЕСТО РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДОМЕРНОГО ПОСТА

Выбранное место расположения водомерного поста должно быть недалеко от населенного пункта и удовлетворять следующим условиям:

- Режим уровней воды в месте наблюдений должен быть характерным для данного участка водного объекта.
- Участок реки должен быть прямым, не должен иметь рукавов, островов и отмелей на протяжении пяти ширин меженного русла, ширина, глубина и продольные уклоны водной поверхности на участке не должны меняться. Желательно, чтобы пойма отсутствовала или была узкой. Русло не должно подвергаться размыву, заилению и зарастать.
- Расстояние от притоков, расположенных ниже по течению, должно составлять более пяти ширин русла.
- Пост должен находиться далеко от зоны распространения подпора от притоков или искусственных сооружений, заторов или зажоров льда.
- На участке и непосредственно выше его должны отсутствовать сбросы канализационных вод, которые могут исказить естественный режим водотока.

Для выбранного участка выполняется топографическая съемка, как правило, полуинструментальная. Ширина участка определяется отметками самого высокого уровня с запасом 1,0 м. Длина участка при ширине реки в межень до 100 м должна быть равна пятикратной ширине реки, а для более широких рек — двух-трехкратной ширине меженного русла.

2.3. ТИПЫ ВОДОМЕРНЫХ ПОСТОВ

Водомерные посты бывают постоянные и временные, по конструкции они делятся на непосредственные (реечные, свайные, реечно-свайные) и передаточные (тросовые, автоматические дистанционные и с непрерывной регистрацией).

На водомерных постах, кроме приспособлений для непосредственного измерения уровней, имеются два постоянных высотных знака (реперы), основной и контрольный, установленных вне зоны затопления высокими водами. Основной репер нужен для проверок контрольного и привязывается к ближайшему высотному реперу государственной нивелирной сети. Контрольный репер служит для систематических проверок высотного положения измерительных устройств и располагается близко, например, в створе свайного поста. Закладывается репер на глубину не менее, чем на 0,5 м ниже границы промерзания грунта. Основные и контрольные реперы гидрологических постов должны быть привязаны к реперам государственной нивелирной сети.

Уровни на водомерном посту отсчитываются от условной горизонтальной плоскости, которая называется *нулем водомерного поста* и назначается ниже самого низкого уровня воды на 0,5 м с тем, чтобы исключить отрицательные отсчеты.

Реечный пост получил широкое распространение на водных объектах с небольшими колебаниями годовой амплитуды уровня (до 3 м). Реечный пост представляет одну или несколько вертикальных или наклонных реек с делениями через 2 см, которые прикрепляют к устоям мостов, плотин и к набережным, а в случае отсутствия этих сооружений — к специальной свае. Для обеспечения сохранности и надежности устройств в течение длительного периода наблюдений они должны быть защищены от повреждений ледоходом, плавающими бревнами и другими предметами.

Высоту уровня воды измеряют от нуля рейки (абсолютного или условного), который устанавливается нивелированием. Расстояние от нуля графика поста до нуля рейки называется *приводкой к нулю графика поста*. При недостаточной защищенности водомерного пункта от действия ветровых волн постоянную водомерную рейку необходимо оборудовать успокоителем. Установка постоянной рейки с успокоителем, рассчитанной на применение при небольшой амплитуде колебаний уровня (не более 1,5 м), приведена на рис. 2. Труба 5 является успокоителем, вместе с водомерной рейкой 4 она крепится при помощи хомутиков 6 к свае 1. Нижний конец этой трубы забивается деревянной пробкой 9, рядом имеется отверстие 8. Водомерная рейка крепится таким образом, чтобы при любом стоянии уровня и максимальном волнении место отсчета на рейке находилось над поверхностью воды и не захлестывалось волнами.

Для измерений служит металлический поплавок 7, к которому прикреплен коленчатый шток 3 из легкого металла, скользящий по рейке и проходящий через отверстие в крышке 2. Высотная отметка нуля рейки определяется нивелированием.

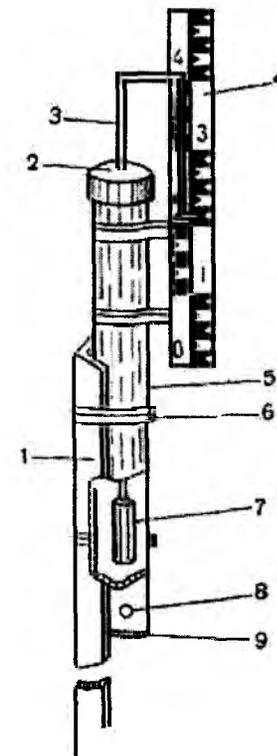


Рис. 2. Постоянная водомерная рейка с успокоителем

Периодичность наблюдений на постах часто не позволяет зафиксировать наибольший уровень. Это можно сделать с помощью рейки максимального уровня, которая имеет зубчатые кромки и снабжена поплавком с плоскими пружинами, предотвращающими опускание поплавка при снижении уровня. Эта же рейка будет фиксировать минимальный уровень, если поплавок перевернуть. Другая конструкция рейки максимального уровня представляет собой стержень с сантиметровыми делениями, покрытый мелом и вставленный в вертикальную трубу. Максимальный уровень указывает граница смытого мела.

Свайный водомерный пост (см. рис. 1) представляет собой группу свай (металлических или железобетонных), забитых в берег или дно реки в одном створе, перпендикулярном среднему направлению течения реки. Такой пост наиболее удобен на реках с высокими и пологими берегами.

Количество свай зависит от поперечного профиля берега и амплитуды колебаний уровня. Отметка головки верхней сваи должна быть на 0,5 м выше наивысшего исторического уровня, а головка нижней сваи на 0,5 м ниже возможного низшего уровня. Разность отметок головок соседних свай, как правило, не должна превышать 0,8 м. Расстояние между сваями определяется условиями удобства подхода к ним при проведении наблюдений, а глубина их забивки устанавливается в зависимости от вида грунта и глубины его промерзания.

Уровни отсчитывают по переносной рейке с делениями через 1 см, которую ставят на ближайшую к берегу сваю. Отметки головок свай определяют нивелированием и «привязывают» к отметке репера водомерного поста, который имеет отметку государственной сети.

Нивелирование гидрологического поста производят для определения высот водомерных устройств, относительно которых производят наблюдения за уровнем воды в реке. Такими устройствами для речных гидрологических постов является «0» водомерной рейки, а для свайного поста — головка свай.

Смешанные (речечно-свайные) водомерные посты устанавливают на реках с резкими переломами поперечного профиля (широкой затопляемой поймой). Они состоят из рейки, установленной на крутой части берега, и свайного поста — на пологой его части.

На реках с отвесными берегами, когда подход к воде затруднен, а также при наличии гидротехнических сооружений для наблюдения за колебаниями уровня используют передаточные устройства неавтоматические или с автоматическими счетчиками. Основная часть *тросового поста* — выносная стрела, которая устанавливается на

крутом берегу на прочной опоре. На конце стрелы со стороны реки устанавливается блок, а на береговой части — горизонтальная рейка с делениями. Рейка тарируется при различных положениях уровня воды. Через блок пропускается трос, к которому со стороны реки прикрепляется тяжелый груз в виде конуса. В момент касания иглы груза уровня воды на рейке отмечают значение уровня.

При наличии моста или другого сооружения, расположенного над рекой, на мосту закрепляется постоянная точка, высотная отметка которой определяется. Наблюдения производятся путем измерения расстояния от точки до поверхности воды путем опускания размеченного троса с грузом на конце.

2.4. САМОПИСЦЫ УРОВНЯ ВОДЫ

Самописцы уровня воды (лимниграфы) — приборы, непрерывно регистрирующие колебания уровня. Приборы устанавливают в измерительных павильонах для защиты от внешних воздействий. Поплавок или датчик уровня размещают в специальном успокоительном колодце, который сообщается с водоемом с помощью трубы. Колодец исключает влияние горизонтальных движений воды и благодаря размеру своего входного отверстия существенно уменьшает влияние резких изменений уровня, подобных тем, которые вызываются ветровыми волнами. Поплавок самописца (рис. 3) следует за изменяющимся уровнем, перемещаясь вертикально вверх при подъеме или вниз при понижении уровня. Вертикальные движения поплавка *б* и связанного с ним троса *8* приводят в действие червячную передачу, связанную с пером *3*, которое вычерчивает на диаграммной ленте, расположенной на вращающемся вокруг горизонтальной или вертикальной оси барабане *2*, кривую, соответствующую движению поплавка. Часовой механизм *5* протягивает бумажную разграфленную ленту с постоянной скоростью. Благодаря совместному движению пера и диаграммной ленты вычерчивается непрерывная кривая подъема и понижения уровня. Самописец типа «Валдай» регистрирует амплитуду колебаний уровня (6 м), имеет четыре масштаба записи уровня 1 : 1; 1 : 2; 1 : 5 и 1 : 10.

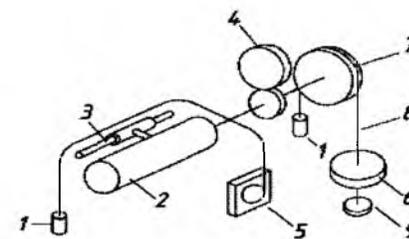


Рис. 3. Схема устройства самописца уровня воды «Валдай»:

1 — гиря; 2 — барабан; 3 — каретка с пером; 4 — редуктор; 5 — часовой механизм; 6 — поплавок; 7 — колесо; 8 — трос; 9 — груз

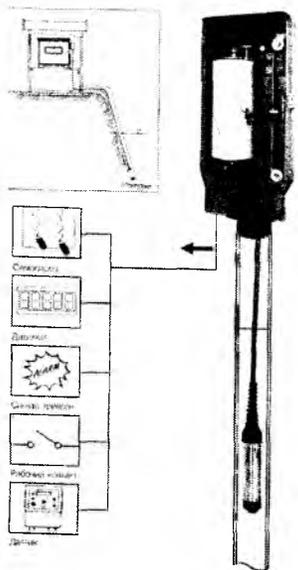


Рис. 4. Уровнемер с зондом давления и самописцем

На рис. 4 показан ленточный самописец с вертикальной осью и с электрическим приводом. Вместо поплавковой системы для измерения уровня использован зонд давления.

Средний суточный уровень при записи измерения уровня на ленте самописца определяют по площади, ограниченной линией записи, делением ее на длину записи.

Для измерений в море предназначен *мареограф* — прибор, аналогичный лимниграфу. Принципиальные схемы устройства у этих приборов сходны. У мареографа, предназначенного для измерения уровней с большой амплитудой, в зависимости от величины изменения уровня моря в данном месте, применяют большой масштаб записи: не только 1 : 10, как у лимниграфа, но и 1 : 20, 1 : 40.

В настоящее время электронные телеметрические системы позволяют автоматически передавать информацию от лимниграфов, установленных как на прибрежных станциях, так и в открытом водоеме, прямо на центральные регистраторы. Для передачи показаний на расстояния (по проводам или радио) имеются дополнительные устройства, в которых вертикальные перемещения поплавка преобразуются в электрические импульсы. В открытом море и в прибрежной зоне используются лимниграфы (мареографы) и датчики уровня, принцип действия которых основан на изменении гидростатического давления столба воды. Датчик уровня устанавливается на дно при глубинах до 250 м или крепится у подводной части гидротехнического сооружения.

2.5. ДАТЧИКИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Автоматические дистанционные уровнемеры, которые устанавливают для гидрологических наблюдений, могут иметь разное устройство. Уровнемеры можно разделить на действующие непрерывно и дискретные, используемые для контроля положения уровня с заданным интервалом. По принципу действия уровнемеры разделяются на механические, гидростатические, радарные, пневматические, электрические, акустические и радиоактивные. Сигнал, передаваемый

уровнемером, попадает или на самописец, или на регистратор-накопитель информации. Затем полученные данные обрабатываются с помощью специальных программ на ЭВМ.

Механические поплавковые уровнемеры имеют чувствительный элемент в виде поплавка, плавающего на поверхности жидкости. Действие буйковых уровнемеров основано на измерении выталкивающей силы, действующей на буюк. Перемещение поплавка или буйка сообщается через механические связи или систему дистанционной передачи измерительной системе прибора.

Поплавковый уровнемер SE 200 (рис. 5) устанавливается на гидрологических постах и станциях. При изменении положения уровня воды меняется положение поплавка. Через трос, прикрепленный к поплавку, усилие передается на шкив, который начинает вращаться. Возникающее в этом случае вращательное движение преобразуется в электрический сигнал, обрабатываемый встроенным контроллером, и передающийся через интерфейс потребителю. Многоканальный логический контроллер осуществляет сбор данных от нескольких уровнемеров. С помощью специальной программы можно задавать диапазон измерений, вводить поправку при использовании поплавков разного диаметра, что позволяет получать более точные результаты.

В гидростатическом уровнемере давление столба жидкости в точке измерения уравнивается давлением столба жидкости, заполняющей измерительный прибор.

Датчик уровня OTT PLS (рис. 6) представляет собой встроенный датчик давления высокой точности, выполненный из керамического материала. Значение уровня определяется на основе разницы давлений на глубине погружения датчика и атмосферного. Кроме того, прибор осуществляет сбор данных о температуре и относительной плотности воды. На основе полученных данных определяется актуальный уровень воды в водоеме.



Рис. 5. Поплавковый уровнемер SE 200

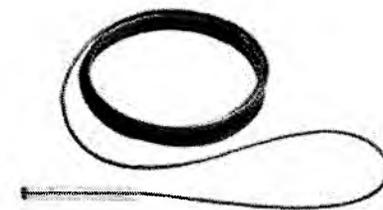


Рис. 6. Гидростатический датчик уровня OTT PLS

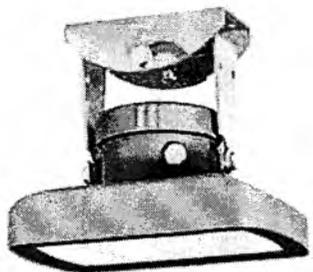


Рис. 7. Радарный датчик уровня RLS

В радарных уровнемерах используются датчики электромагнитных волн СВЧ диапазона, которые, достигая поверхности воды, отражаются от нее и фиксируются.

Радарный датчик RLS (рис. 7) устанавливается над поверхностью воды, например, на мостовых конструкциях или на Г-образных штангах (опорах). Так как прибор устанавливается высоко, зарастание водоема травяной растительностью и ледоход не сказываются на

показаниях измерений и не могут повредить прибор. Диапазон измерения радарным датчиком составляет от 0,8 до 35 м. Предусмотрено сообщение с контроллером и с системой передачи данных (модемом).

Пневматический (пузырьковый или барботажный) уровнемер работает при нагнетании с помощью компрессора сжатого воздуха, давление на выходе из трубки изменяется при изменении уровня воды. Измерение уровня воды с помощью пневматического уровнемера на постоянно действующем посту показано на рис. 8.

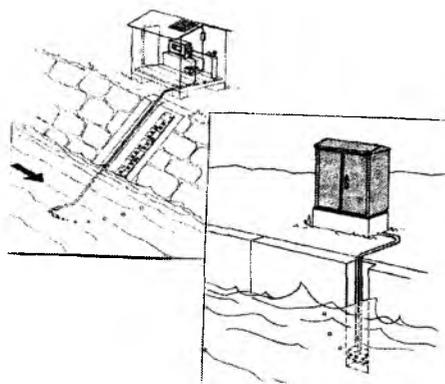


Рис. 8. Измерение уровня с помощью пневматического (барботажного) уровнемера

Компактный переносной барботажный уровнемер ОТТ CBS для измерения уровня поверхностных вод имеет диапазон измерения от 0 до 30 м (рис. 9). Принцип действия прибора такой же: он основан на пропускании воздуха, накачиваемого встроенным поршневым насосом, через барботажную трубку, нижний конец которой погружен в воду. Давление воздуха, создаваемое на выходе из трубки, равно гидростатическому давлению столба жидкости на глубине ее погружения. По величине этого давления определяется глубина погружения

конца трубки и уровень воды. Измерения производятся через определенные промежутки времени, которые можно задавать в настройках прибора. После того как ОТТ CBS произвел измерение, он

выключается до следующего измерительного цикла. Это позволяет снизить энергопотребление прибора.

Электрические уровнемеры делятся на емкостные и кондуктометрические. В емкостных уровнемерах чувствительным элементом является керамический элемент (конденсатор), емкость которого изменяется пропорционально изменению давления. Действие кондуктометрического уровнемера основано на измерении сопротивления между электродами, помещенными в жидкость.

В акустических или ультразвуковых уровнемерах используется явление отражения акустических колебаний от плоскости раздела сред с различным акустическим сопротивлением (жидкость — газ).

В радиоактивных уровнемерах используется просвечивание жидкости гамма-лучами радиоактивных элементов, интенсивность которых зависит от объема жидкости.

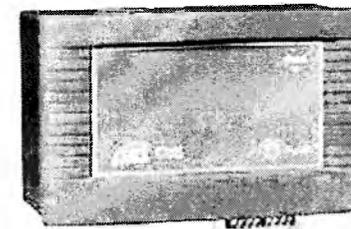


Рис. 9. Компактный барботажный уровнемер ОТТ CBS

2.6. КРИВЫЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УРОВНЯ

Обработка измерений уровня заключается в том, что полученные данные приводят к нулю графика, вычисляют среднесуточные значения и составляют таблицы ежедневных уровней. Чтобы получить уровни заданной обеспеченности, значения уровней (365 для года) располагаются в убывающем порядке, разбиваются на интервалы (10–15) и подсчитывается число попаданий значений в интервал m . Уровни откладываются по вертикали, а по горизонтали — число попаданий в интервал в проценты и получают график повторяемости (частоты) уровня (кривая 1 на рис. 10), который показывает число суток появления уровня в пределах какого-либо заданного интервала значений. Суммируя число попаданий, получают график обеспеченности (интегральную кривую распределения продолжительности) стояния уровня (кривая 2 на рис. 10), показывающий число суток или лет, когда наблюдались уровни выше или равные уровню заданной обеспеченности. Продолжительность, выраженная в процентах от общей длительности наблюдений, называется обеспеченностью уровня.

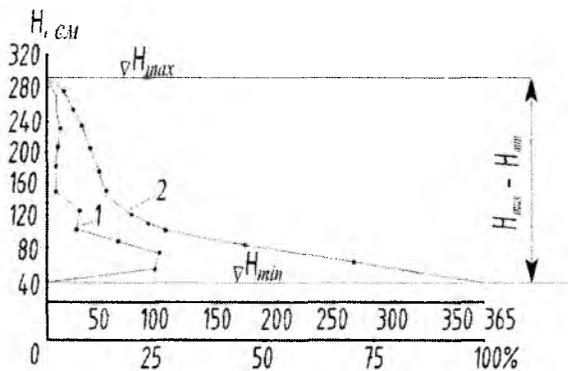


Рис. 10. Кривые повторяемости (1) и обеспеченности (2) уровня воды

2.7. УКЛОННЫЕ ПОСТЫ

Уклонные посты служат для определения перепадов и продольных уклонов водной поверхности на исследуемом участке. Значения уклона используются при переносе на створ проектируемого сооружения расчетных уровней реки с ближайшего постоянного водпоста для экстраполяции кривой $Q = Q(H)$, для определения коэффициента шероховатости русла и пойм, расходов редкой повторяемости. Особенно важно знать уклон при неустановившемся движении, когда расход определяется не только уровнем, но и уклоном, т.е. при $Q = Q(H, i)$. Однозначная связь между расходом и уровнем нарушается также при

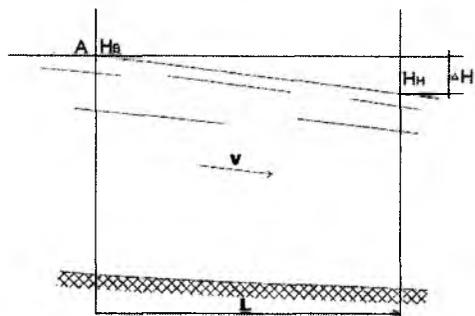


Рис. 11. Схема определения уклона воды: H_v, H_n — высота уровня на верхнем и нижнем уклонных постах; L — расстояние между ними; $\Delta H, i$ — соответственно падение уровня и уклон водной поверхности

наличии на реке явлений переменного подпора перед искусственным сооружением, при половодье, заторах и зарастании русла.

Систематически действующие уклонные посты представляют собой обычные водпосты (чаще речные), расположенные на концах исследуемого участка. Расстояние L между постами может измеряться вдоль линии берега и принимается от 0,1 до 8 км в зависимости от величины

самого уклона водной поверхности и допускаемой погрешности его измерения. Для получения погрешности менее 10 % нужно принять расстояние, обеспечивающее падение водной поверхности на исследуемом участке более 20 см. Отметки нуля графика уклонных постов и основного поста следует назначать одинаковыми.

Для определения уклона одновременно по часам или по звуковому сигналу регистрируют уровни в верхнем H_v и нижнем H_n створах (рис. 11), вычисляют падение водной поверхности $\Delta H = H_v - H_n$, а затем и ее уклон $i = \Delta H/L$. При расстоянии между уклонными постами до 2 км уровни может измерять один наблюдатель. Если переход между постами занимает более 10 мин, то измерения по первому посту повторяют; в расчет принимают среднее значение из двух наблюдений.

2.8. СВЯЗЬ УРОВНЕЙ ВОДОМЕРНЫХ ПОСТОВ

Если два водомерных поста находятся на схожих участках реки и между ними нет значительных притоков, то можно построить график связи уровней таких постов. Для этого сначала по данным синхронных (одновременных) наблюдений на постах строят совмещенные графики колебаний уровней верхнего H_v и нижнего H_n постов (рис. 12), которые в значительной степени оказываются подобными, но несколько смещенными по времени. Затем на обеих кривых выделяют соответственные точки (n и n', m и m' и т.д.) и по ним выписывают соответственные уровни H_n и H_n', H_m и H_m' и т.д.), т.е. пары уровней с одинаковыми фазами их колебаний (пики, впадины, изломы).



Рис. 12. Графики изменения уровней верхнего и нижнего постов

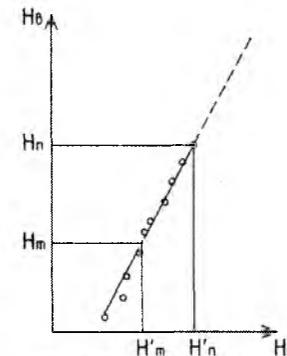


Рис. 13. График связи соответственных уровней

Далее строят график связи соответственных уровней (рис. 13), откладывая по оси абсцисс уровни нижнего водпоста H_n , а по оси ординат — соответствующие им уровни верхнего водпоста H_v .

Лекция 3 ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН

3.1. ПРОМЕРНЫЕ РАБОТЫ

Измерения глубин потока (вертикальных расстояний от свободной поверхности до дна) ведутся в отдельных точках (на промерных вертикалях) или непрерывно для определения размеров и площадей поперечных сечений, или для составления плана дна водного объекта. Во время определения глубин измеряют уровни воды и продольный профиль поверхности воды для определения глубин при любом положении уровня.

Для промеров глубины в створе реки могут быть использованы следующие приборы:

- рейка с сантиметровыми делениями (при глубине до 2 м);
- наметка — деревянный шест длиной 6–7 м с дециметровыми делениями и металлическим башмаком на конце (точность 2–5 см);
- ручной лот — устройство для измерения глубины водоема, представляющее собой трос (лотлинь) с прикрепленным к погружаемому его концу грузом массой 3–6 кг. Лотлинь имеет длину до 100 м, размечен марками, указывает длину в футах дециметрах или метрах; механический лот — лот, оборудованный лебедкой для поднятия груза, точность (5–10 см);

– *донный контакт* — прибор, предназначенный для определения момента касания дна водоема гидрометрическим грузом массой 50, 75 или 100 кг. В свободном состоянии контакт замкнут. При достижении дна контакт размыкается под действием массы груза, сжимающего пружину штока, натяжение троса ослабевает, шток прижимается к изолированному контакту и замыкает цепь индикатора (звонок или лампочка);

– *эхолот* или акустический профилограф.

Измерения глубин ведут по поперечникам с мостов, а при значительной ширине — с катеров и лодок. Перед тем как осуществлять промеры глубины потока, с помощью теодолитной съемки намечают в русле реки и на поверхности водохранилища или озера гидрометрические створы, в которых производятся измерения.

Промерные створы могут быть: поперечные; косые; перекрещивающиеся; продольные (рис. 14).

При проведении промерных работ расстояния между промерными точками и поперечниками назначают в зависимости от рельефа и ширины русла. При значительной скорости течения и ширине реки

измерения ведут по продольникам с лодки. Расстояние между продольниками должно быть равно 0,1–0,2 ширины реки. Координаты промерных вертикалей определяют теодолитами или мензулами с кипрегелями.

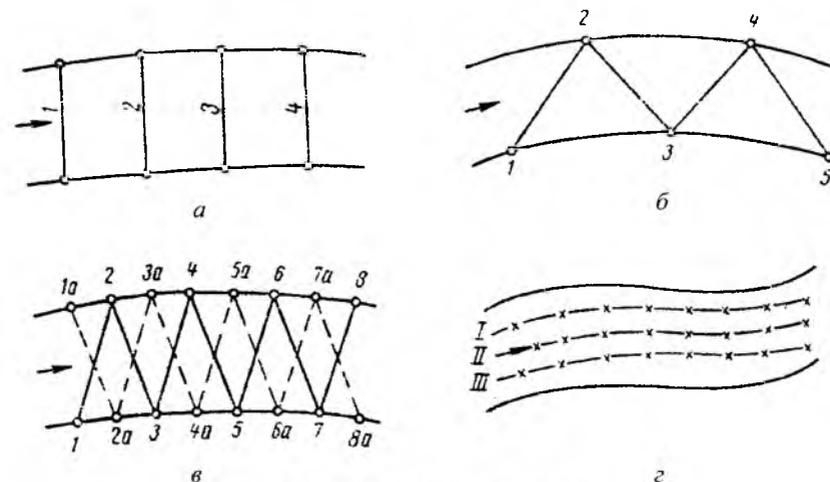


Рис. 14. Промерные створы:

а — поперечные; б — косые; в — перекрещивающиеся; г — продольные

Особенно эффективна разбивка промерных профилей по фотоплану или фотосхеме. В этом случае необходимо опознать на местности точки, выбранные на снимке: отдельные деревья, кусты и т.п.

Промеры по поперечным профилям позволяют достаточно точно определить положение промерных точек и распределение глубин. Этот способ невозможно применять в больших реках с сильным течением. Способ заключается в прокладке на одном из берегов магистрали и ее закреплении реперами. Поперечники разбивают перпендикулярно магистрали. Расстояния между поперечниками и количество промерных точек зависят от ширины реки и необходимой точности промеров. Как правило, расстояния между поперечниками назначают через $1/2$ – $1/3$ ширины реки при ширине до 100 м и $1/3$ – $1/4$ при большей ширине, а количество промерных точек равно 20–30 при ширине до 300 м и 50 при ширине до 1000 м. При плавном изменении рельефа количество точек уменьшают, а при непланом — увеличивают.

Удобно производить промерные работы при оборудовании створа мостиком или люлькой. Расстояния измеряют по стальной ленте, а глубины — рейкой, штангой или наметкой.

Промеры малых рек, шириной до 50–200 м и при скоростях течения 1–1,5 м/с обычно производят с лодки по натянутой с берега на берег

тонкой пеньковой снасти или стальному тросу; снасть (трос) разбивают марками из цветного материала через равные промежутки, обычно через 2–5 м.

При ширине реки больше 200 м используют промеры с засечками (рис. 15, а). Промерные створы должны быть оборудованы створными знаками (1–4). На реках шириной более 500 м створные знаки устанавливают на обоих берегах. Это могут быть шесты с флагом или щиты, закрепленные на шестах, покрашенные в белый и красный цвет. Расстояние между створными знаками зависит от ширины реки и изменяется от 5 м при ширине реки 100 м до 50 м при ширине реки, равной 1000 м.

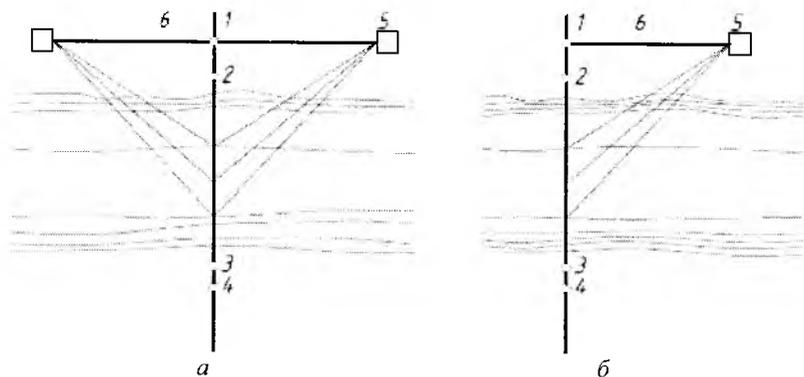


Рис. 15. Схема засечек промерных точек на створе:

а — с двумя инструментами; б — с одним инструментом:

1, 2, 3, 4 — створные знаки; 5 — угловой измерительный инструмент; б — базис

Во время промеров с засечками одним угловым инструментом место стоянки выбирается с таким расчетом, чтобы углы между направлением поперечника и лучом визирования были не меньше 30° .

Засечки промерных точек производят обычно одной мензулой, но, если вследствие большого числа препятствий в русле или неправильного и быстрого течения, промерная лодка не может держаться в створе, засечки производят двумя мензулами, расположенными на концах базиса б (см. рис. 15).

Засечками определяют не все промерные точки, а лишь расположенные через известные промежутки, например: четыре точки без засечек, пятая засекается и т.д. Вместо мензулы с кипрегелем можно применять для засечек теодолит. На больших реках с малодоступными берегами можно применять для засечек промеров глубин портативный отражательный углоизмерительный инструмент.

Промеры по косым галсам и продольникам оказываются более удобными при значительных скоростях течения, когда трудно удержи-

вать лодку на линии створа. При большой ширине реки применяют систему перекрестных косых галсов. Засечки положения промерных створов производят с базиса двумя угломерными инструментами. Галсы располагают через $1/4$ – $1/2$ ширины реки. Промеры по продольникам применяют при больших глубинах, которые измеряют лотом.

3.2. РАБОТА С ЭХОЛОТОМ

Промеры больших рек имеют ряд особенностей; обычно они производятся с самоходных судов (моторных катеров). Для измерения глубин в этих случаях следует рекомендовать эхолот (акустический профилограф) (рис. 16), а для определения положения промерных точек в плане — секстан (мореходный оптический угломерный инструмент). Предварительно производятся: рекогносцировка участка реки (с использованием аэрофото-снимков), разбивка промерных профилей и галсов и расстановка береговых знаков в опорных пунктах для засечек.

Электрический импульс от передатчика эхолота преобразуется в ультразвуковую волну в преобразователе и направляется на дно. Когда волна доходит до дна, она отражается и попадает в преобразователь, где трансформируется в электрический сигнал, который усиливается приемником и посылается на дисплей. Так как скорость звука в воде приблизительно постоянна (1463 м/с), а промежуток времени прохождения сигнала измеряется, будет известно и расстояние до объекта. Процесс повторяется многократно в течение секунды, затем эхолот «печатает эхо» на дисплее в виде непрерывной линии дна.

Эхолот — надежный прибор для автоматического скоростного промера глубин от 0,3–0,4 до 20 м. Точность промера во всех случаях не менее 0,1 м. Эхолот может быть легко и быстро установлен на любой

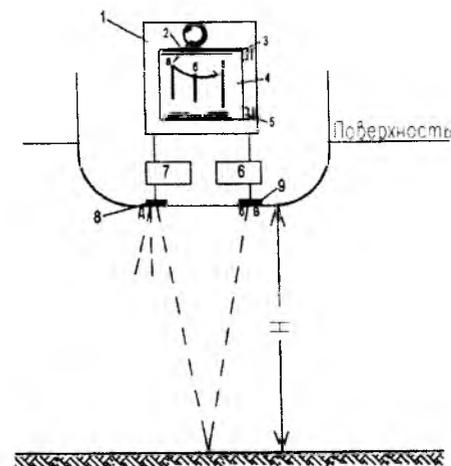


Рис. 16. Схема эхолота:

1 — самописец; 2 — перо;
3 — падающий валик; 4 — бумага;
5 — приемный валик; 6 — усилитель;
7 — реле посылки; 8 — вибратор-излучатель; 9 — вибратор-приемник

шлюпке или моторном судне. Практические рабочие скорости промера колеблются от 6 до 20 км/ч. Точность и подробность зарисовки рельефа дна (непрерывный профиль) значительны. Для проверки профилографов служат эталонные установки.

При применении эхолота для промеров глубин в момент засечки при нажатии специальной кнопки на эхолоте производится отметка на батиграмме (записи профиля дна) в виде вертикальной линии. Засечки необходимы ввиду того, что лодка перемещается по профилю с переменной скоростью, а лента батиграммы — с постоянной.

Для получения на батиграмме положения промерных точек можно применить так называемый радиолаг (радиодальномер). На промерном судне, снабженном эхолотом, устанавливается задающая радиостанция одного из существующих типов: на берегу устанавливают две отражательные станции, расстояние (базис) между которыми известно. При движении промерного судна (по любой траектории) радиолаг непрерывно регистрирует на ленте эхолота приращения расстояний от промерного судна до обеих отражательных станций путем подачи электрических сигналов на реле записи счета циклов разности фаз. Таким образом, на ленте эхолота получают три записи: глубины и расстояний до двух концов базиса; благодаря этому засечки промерных точек мензулой (теодолитом) не требуются. Определенные посредством радиолага точки могут быть использованы для привязки к ним съемки островов, берегов и т.п.

Эхолот может быть соединен с наземным навигационно-геодезическим комплексом спутниковой системы. Перед выходом на воду осуществляется проектирование маршрута судна, который вводится в память управляющего контроллера-накопителя.

С помощью GPS навигатора при работе с эхолотом можно определить местоположение промерной вертикали. Эхолот, установленный на катере или лодке, при промерных работах на рассматриваемом участке реки продвигается по створам или «галсами».

Современные профессиональные эхолоты совмещаются с GPS навигатором и картплоттером в одном устройстве, в котором имеется также встроенный датчик температуры воды. Возможно подключение датчиков скорости и давления, а также ПК.

Обработка данных по глубинам воды, построение промерных створов, поперечных профилей и линий равных глубин (изобат), а также определение морфологических характеристик (площадей водного сечения, средних глубин, смоченных периметров и гидравлических радиусов) при использовании эхолотов, подключенных к ПК, выполняются по специальным программам (возможно и в объемном режиме).

3.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕРОВ ГЛУБИН

По результатам промеров глубин строится *поперечный профиль реки*. Для этого на чертеже наносят точку постоянного начала и горизонтальную линию поверхности воды. Вниз от нее по промерным вертикалям откладываются глубины. Для получения более рельефного профиля вертикальный масштаб чертежа обычно принимают в несколько раз больше горизонтального. Под профилем помещается таблица со значениями измеренных величин (рис. 17).

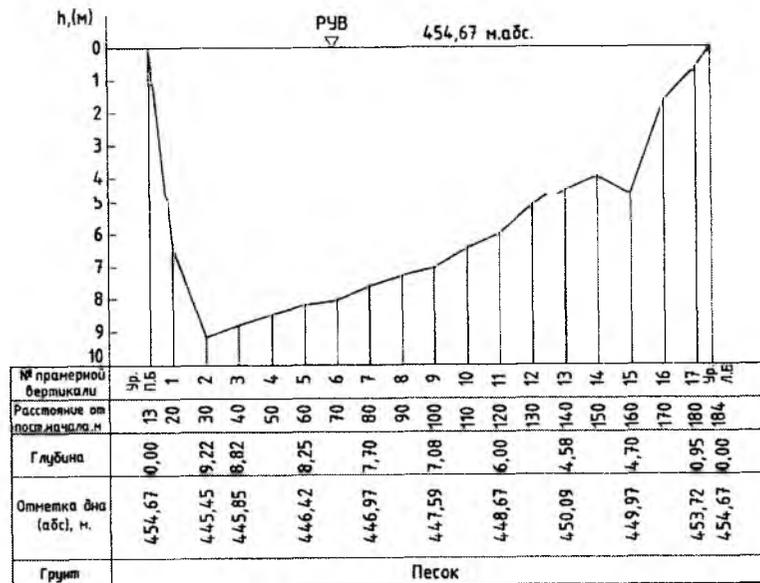


Рис. 17. Поперечный профиль реки

Для каждого профиля вычисляют морфологические характеристики.

Площадь водного сечения ω определяется с помощью планиметра или аналитически суммированием площадей прямоугольных треугольников и трапеций, на которые делится сечение промерными вертикалями:

$$\omega_i = 0,5h_i b_0 + 0,5(h_i + h_{i+1})b_i + \dots + 0,5h_n b_n,$$

где b_i — расстояние между соседними вертикалями; h_i, h_{i+1} — глубины на соседних вертикалях.

Смоченный периметр χ — длина контура живого сечения по стенкам русла; измеряется на чертеже (курвиметром, линейкой) или подсчитывается как сумма гипотенуз прямоугольных треугольников. Ширина реки B определяется разностью расстояний урезов левого и правого бе-

регов от постоянного начала. Гидравлический радиус $R = \omega/\chi$. Средняя глубина $h_{cp} = \omega/B$. Наибольшая глубина реки h_{max} устанавливается по промерной книжке.

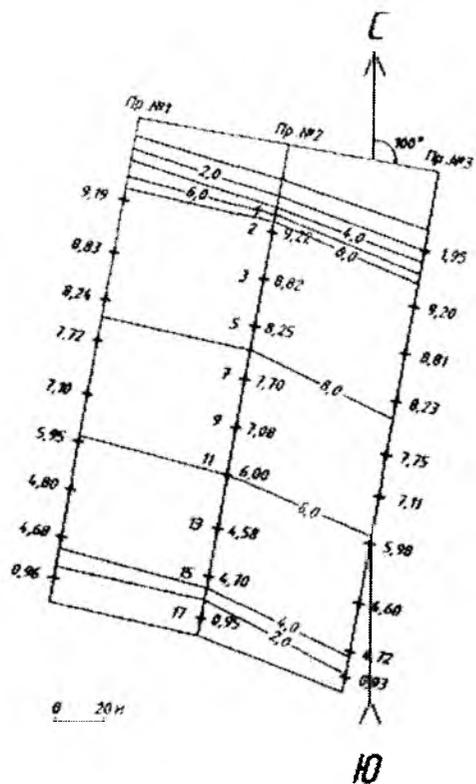


Рис. 18. План участка реки в изобатах: уровень воды 454,65 м абс; сечение изобат через 2 м

му уровню. По горизонтальной оси откладывают расстояния до поперечников, а по вертикальной — наносят отметки: свободной поверхности (условный уровень и высокие воды), дна вдоль фарватера, бровок правого и левого берегов, реперов. Продольный профиль позволяет выделить участки реки с разными уклонами, определить границы затопления берегов высокими водами.

Результаты промеров по поперечникам, продольникам или косым галсам позволяют составить план реки в изобатах (линиях равных глубин), построение которого аналогично построению плана местности в горизонталях (рис. 18). Отличие состоит в том, что отсчет делается не от горизонтальной плоскости вверх, а от свободной поверхности реки вниз. Предварительно на план наносят линии урезов воды, которые являются изобатами с нулевыми глубинами. Точками на плане обозначают промерные вертикали и записывают около них соответствующие глубины, ориентируясь на которые проводят линии равных глубин — изобаты. На плане намечают точки, соответствующие наибольшим глубинам на профилях и галсах, и проводят через них линию наибольших глубин — фарватер.

Для составления продольного профиля реки результаты промеров приводят к условному уровню.

4.1. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ

В русловых потоках движение жидкости происходит при турбулентном режиме, при котором наблюдаются пульсации скоростей. На практике требуется определять осредненные значения скоростей, а в лабораторных условиях интерес часто представляют значения пульсаций скорости.

Количество методов измерения скорости потока значительно, однако некоторые методы устарели, другие используют только в научных целях. Основные методы следующие:

- Метод измерения скорости плавущего поплавка, которая принимается равной скорости течения. Получается осредненное значение скорости по траектории движения.
- Метод измерения числа оборотов ротора вертушки, связанного со скоростью потока в конкретной точке. Для определения скорости нужен график, связывающий число оборотов вращения крыльчатки со скоростью. Данный метод применяется часто.
- Метод определения скоростного напора в гидродинамических трубках (трубке Пито), позволяющий определить скорость в точке. Значения скорости при маленьких скоростных напорах определяются неточно. Метод применяется в лабораториях.
- Методы, основанные на законе электромагнитной индукции: электромагнитные индукционные измерители скорости движения жидкости.

Индукционные измерители скорости предназначены для использования в заросших водной растительностью водотоках, при минимальных скоростях течения, в замутненной воде, на мелководье при глубине от 3 см.

Работа датчика основана на принципе электромагнитной индукции: если электропроводная среда движется в магнитном поле, то возникающее в проводнике напряжение пропорционально его длине, напряженности электромагнитного поля и скорости движения среды. При постоянном расстоянии между электродами в датчике и фиксированной величине магнитного поля в обмотке величина напряжения прямо пропорциональна скорости движения воды.

Значения скоростей осредняются за время от 0 до 60 с и выводятся на дисплей.

К таким приборам принадлежит индукционный измеритель скорости потока Nautilus C2000 (рис. 19). В конструкции измерителя отсутствуют

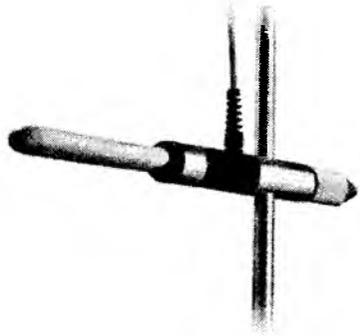


Рис. 19. Индукционный измеритель скорости потока Nautilus C2000

движущиеся части, поэтому Nautilus может использоваться в случаях, когда другие датчики неприменимы. Точность измерений датчика, составляет 1 %. Каждый датчик калибруется для диапазона скоростей от 0 до 1,50 м/с (2,50 м/с). Измеряемое значение скорости течения в м/с высвечивается на дисплее контроллера. Датчик можно подключать к персональному компьютеру через интерфейс, что позволяет фиксировать и анализировать изменения скорости течения.

Электромагнитный измеритель скорости потока «Зонд» предназначен для измерения скорости потока воды в открытых руслах. Прибор является переносным, имеет автономный источник питания и состоит из преобразователя скорости, преобразователя напряжения и комплекта питания. Поток электропроводной жидкости, обтекающей преобразователь скорости, пересекает магнитные силовые линии магнитного поля. При этом возникает электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная скорости. ЭДС снимается с помощью двух электродов и подается на преобразователь напряжения, в котором преобразуется в сигнал постоянного тока и показания встроенного микроамперметра. Линия связи между преобразователем скорости и преобразователем напряжения должна быть меньше 30 м. Диапазон контролируемых скоростей составляет от 0 до 10 м/с.

Для измерения скорости и направления течений с судна, находящегося в движении, предназначен электромагнитный измеритель течений (ЭМИТ). ЭМИТ работает на принципе электромагнитной индукции и был сначала предназначен для работы в морской соленой воде, которая является электролитом. При движении через геомагнитное поле в соленой воде возникает электрический ток. Потенциалы наведенной электродвижущей силы снимаются с помощью двух буксируемых за судном (на расстоянии 100 м один от другого) электродов. Вектор течения рассчитывается по результатам измерений на двух перпендикулярных курсах.

Метод, основанный на принципе теплообмена, используется в приборах, в которых имеется нагреваемый электрическим током элемент. Скорость потока определяется по скорости охлаждения чувствительного элемента. Пример такого прибора — термоанемометр — прибор для измерения скорости потока жидкости или газа, основанный на зависи-

мости от скорости течения потока теплоотдачи нагретой проволоочки, помещенной в поток. Скорость потока жидкости должна быть выше 0,1 м/с. Основная часть термоанемометра — измерительный мост. В одно плечо моста встроен чувствительный элемент в виде тонкой нити (диаметром до 0,15 мм) из никеля или вольфрама длиной 3–12 мм, укрепленной на электропроводных стержнях. Количество тепла, передаваемое нагретой проволочкой потоку жидкости, зависит от физических характеристик движущейся среды, геометрии и ориентации проволочки. С увеличением температуры проволочки чувствительность термоанемометра увеличивается. Благодаря маленьким размерам такие приборы используются в основном в лабораториях для измерения мгновенных значений скорости.

Для определения скорости течения в практике гидрологов используются также термометры сопротивления — термогидрометры, принцип действия которых основан на изменении сопротивления терморезистора в зависимости от скорости водного потока, омывающего их. Усовершенствованные электрические записывающие измерители скорости и направления течений (автономные цифровые измерители течений (АЦИТ)) используются в океанологии. Акустические методы определения скорости разнообразны. Наибольшее распространение получили ультразвуковые точечные и интегральный методы.

Ультразвуковой точечный метод основан на эффекте Доплера. Сигнал определенной частоты, посылаемый в поток излучателем, отражается от движущихся в потоке минеральных и органических частиц и возвращается к приемнику ультразвука, имея уже другую частоту (рис. 20). Частота отраженного сигнала зависит от скорости движения частиц. По разнице частот излученного и отраженного сигналов определяется скорость движения частиц, т.е. скорость потока.

Ультразвуковые доплеровские методы эффективны при измерении скорости течения жидкости, содержащей различные включения, которые, как правило, всегда присутствуют в природной воде. Погрешность измерения скорости течения жидкости этим методом при непосредственном контакте излучателя и приемника с жидкостью

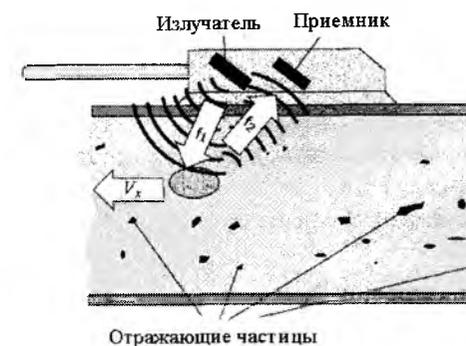


Рис. 20. Схема работы доплеровского точечного измерителя скорости течения

обычно превышает 2 %. При измерении расхода доплеровским методом возникают те же погрешности, что и при измерении скорости в одной или нескольких точках сечения потока другими приборами. Акустический доплеровский измеритель скорости течения используется в измерительных системах, предназначенных как для длительной работы на стационарных постах, работающих круглый год, так и в условиях, когда необходимы экстренные измерения. Результаты измерений получаются точными даже во время паводков и при высокой концентрации в воде взвешенных веществ. Система OTT SLD состоит из измерительной головки с датчиками, которые испускают ультразвуковые волны. Установка системы достаточно проста. Низкое энергопотребление позволяет прибору работать на солнечных батареях, чем обеспечивается автономность работы гидрологической станции. Методика проведения измерений с помощью установок, в которых используется описанная выше система, приводится в разделе 5.9.

При измерениях интеграционным ультразвуковым способом датчики, позволяющие посылать и принимать ультразвуковые импульсы, располагаются под свободной поверхностью воды у берегов с некоторым смещением по длине потока под углом к потоку, равным 30–70°. Принцип действия основан на распространении в воде ультразвуковых колебаний и заключается в измерении времени распространения акустических сигналов по потоку и против него. В зависимости от регистрируемых параметров ультразвуковых волн (времен распространения, фаз или частот) различают временной, фазовый и частотный методы. Разность времени прохождения ультразвука от одного передатчика и обратно — осредненная мера скорости течения воды. Фазовый метод предусматривает измерение фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, возникающих от разности времен прохождения этими колебаниями одного и того же расстояния по потоку и против него. Погрешность приборов, реализующих этот дифференциально-временной метод, в зависимости от их конструктивных особенностей колеблется от 0,2 до 5 %

Определения скоростей чаще всего проводятся для последующего определения расхода воды в реке, но могут представлять и самостоятельный интерес.

4.2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ПОПЛАВКОВ

Любое тело, удельный вес которого меньше удельного веса воды, опущенное в поток, приобретает скорость, равную скорости потока. В гидрометрии применяют поверхностные и глубинные поплавки.

Поверхностные поплавки применяют для измерения поверхностных скоростей и направлений течения. Их обычно изготавливают из дерева в виде цилиндров или крестовин, для лучшего наблюдения за их движением с берега, поплавки снабжаются яркими флажками (рис. 21, а).

Глубинные поплавки (рис. 21, б) применяются для измерения скоростей и направления течения на некоторой глубине. Они состоят из двух, соединенных между собой тонкой нитью поплавков. Верхний находится на поверхности воды, а нижний погружен на некоторую глубину. Верхний поплавок изготавливается из пробки или пенопласта и должен иметь необходимую плавучесть для поддержания нижнего поплавка. Нижний поплавок должен иметь удельный вес несколько больше, чем удельный вес воды. Если нижний поплавок по своим размерам намного больше верхнего, то скорость движения всей системы приблизительно равна скорости течения на глубине погружения нижнего поплавка.

Интеграционные поплавки позволяют сразу измерить среднюю по вертикали (глубине) скорость течения. В качестве поплавков-интеграторов применяют деревянные, пенопластовые или другие легкие шарики. Для измерения скорости поплавков (рис. 22) погружают на дно, а затем выпускают его. Поплавок всплывает на поверхность с постоянной скоростью w и одновременно сносится течением на расстояние L с переменными по глубине скоростями u . Измерив время всплытия t , можно определить среднюю скорость на вертикали как $V_b = L/t$. Измерение времени всплытия можно исключить, если известна глубина на вертикали h , так как его можно вычислить по формуле $t = h/w$, если заранее определить опытным путем скорость всплытия поплавка в стоячей воде w . Поплавок-интегратор дает погрешность измерения более 10 %.

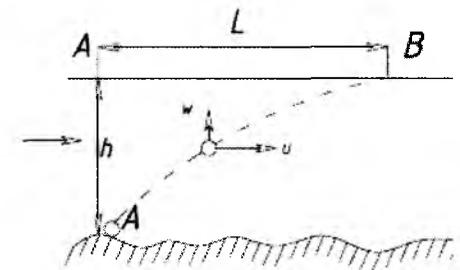


Рис. 22. Схема всплытия поплавка-интегратора

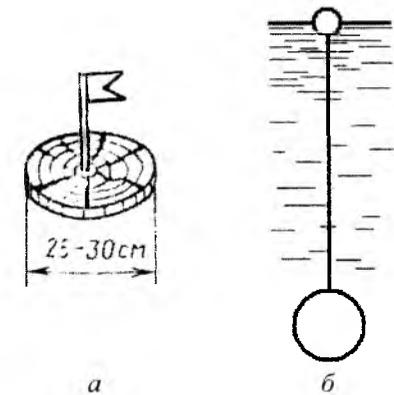


Рис. 21. Поплавки: а — поверхностный; б — глубинный

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРТУШКОЙ

Гидрометрическая вертушка — основной и наиболее распространенный прибор для измерения скорости течения речных потоков. Чувствительный элемент вертушки (датчик), воспринимающий действие движущегося потока воды, — лопастной винт (ротор), вращающийся на оси. Чем больше скорость течения u , тем быстрее вращается ротор, тем больше он делает оборотов за единицу времени n . На этом основан принцип работы гидрометрической вертушки: скорость течения воды

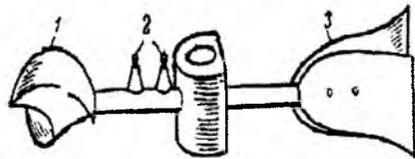


Рис. 23. Схема гидрометрической вертушки:

- 1 — лопастной винт; 2 — клеммы счетно-контактного механизма; 3 — стабилизатор направления

определяется в зависимости от числа оборотов ротора n в точке измерения скорости потока $u = u(n)$. Тарирование вертушек проводится в канале со стоячей водой, над которым по рельсам движется тележка, несущая на вертикальных штангах тарируемые вертушки. Тележка движется равномерно с заданной скоростью (от 0,1 до 7 м/с). На тележке установлены приборы, регистрирующие число оборотов вертушек и время прохождения пути.

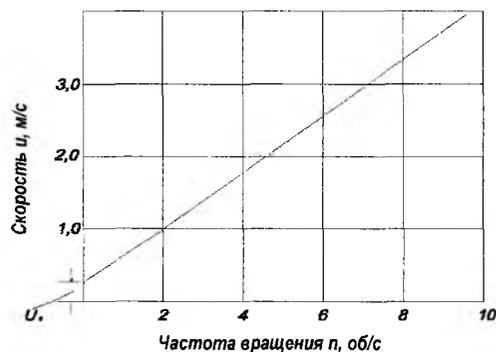


Рис. 24. Тарировочная зависимость гидрометрической вертушки

определяется в зависимости от числа оборотов ротора n в точке измерения скорости потока $u = u(n)$.

Гидрометрическая вертушка состоит из следующих основных частей: корпуса, ходовой части (лопастного винта) и стабилизатора-направления (рис. 23). Счетчик числа оборотов находится на поверхности.

Каждая вертушка должна иметь свою тарировочную зависимость

свою тарировочную зависимость

Для проверки гидрометрических вертушек служат специальные автоматизированные системы. Современные вертушки могут измерять скорости в диапазоне от 0,025 до 5 м/с. Вертушка перемещается по глубине с помощью позиционирующего устройства. Для измерения скорости в потоках небольшой глубины и в лабораториях служат специальные микровертушки.

Для измерения скорости течения реки выбирают гидрометрический створ перпендикулярно направлению течения реки, часто этот створ совмещают с гидрометрическим створом водомерного поста. Для проведения измерений должен иметься гидрометрический мостик, лодка или катер. Расстояние между вертикалями, на которых измеряют скорости, зависит от ширины реки и профиля дна и составляет 2–10 м при ширине реки до 200 м и 20–50 м при ширине более 200 м. На скоростных вертикалях измеряют глубины. По полученным значениям глубин строят поперечный профиль и определяют площадь живого сечения реки.

При производстве измерений в потоках глубиной меньше 3 м вертушка крепится на штанге, при больших глубинах опускается на гросе с грузом.

Для измерения скорости можно использовать интеграционный и точечный способы. Интеграционным способом измеряют осредненную скорость по выбранному направлению: вертикальному, горизонтальному или другому, перемещая вертушку в выбранном направлении.

Точечный способ заключается в измерении скоростей u в фиксированных точках. При детальном (пятиточечном) способе (рис. 25) скорости измеряют на вертикали: у поверхности, на глубинах 0,2h; 0,6h; 0,8h (считая от поверхности воды) и у дна. Скорости в этих точках

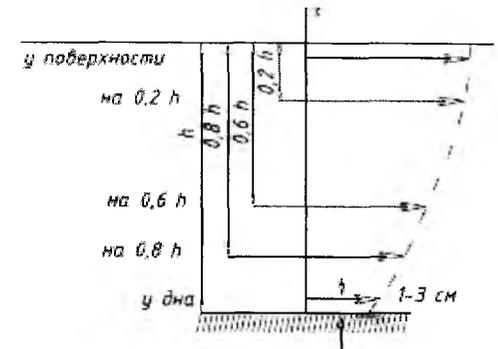


Рис. 25. Расположение вертушки на вертикали при детальном способе измерения скорости

$u_{\text{пов}}, u_{0,2}, u_{0,6}, u_{0,8}, u_{\text{дон}}$.

Средняя скорость на вертикали:

$$\bar{u}_v = 0,1(u_{\text{пов}} + 3u_{0,2} + 3u_{0,6} + 2u_{0,8} + u_{\text{дон}}). \quad (4.1)$$

Пятиточечный способ обычно применяют при глубине больше 1 м, трехточечный — при глубине 0,6–1,0 м, двухточечный — при глубине 0,35–0,6 м, одноточечный — при глубине менее 0,35 м.

Для ускорения работ допускается при отсутствии водной растительности и льда измерять скорость в трех точках и в двух на глубине 0,2h и 0,8h. В случае измерения скоростей в трех точках:

$$\bar{u}_v = 0,25(u_{0,2} + 2u_{0,6} + u_{0,8}), \quad (4.2)$$

в двух точках:

$$\bar{u}_b = 0,5(u_{0,2} + u_{0,8}), \quad (4.3)$$

в одной точке:

$$\bar{u}_b = u_{0,6}. \quad (4.4)$$

Продолжительность измерения местных скоростей зависит от турбулентности потока, как правило, достаточно 100 с, но для горных рек это время может быть равно и 10 мин.

Интеграционный способ позволяет измерить сразу среднюю скорость по вертикали, горизонтали (по ширине потока) или по всему живому сечению. Например, если равномерно опускать вертушку во время ее работы по всей глубине h на вертикали до дна и скорости течения будут лежать в области линейной части тарировочной зависимости (см. рис. 24), то средняя скорость на вертикали u_b определится средней частотой вращения винта n за период опускания t по формуле

$$u_b = kN/t = kn, \quad (4.5)$$

где k — гидравлический шаг вертушки; N — суммарное число оборотов винта вертушки на вертикали.

Интеграционные способы ускоряют проведение полевых работ. Например, интеграцией (суммированием) скоростей по живому сечению можно за один рейс катера или лодки измерить среднюю скорость, а по ней определить расход реки. Однако при этом снижается точность полученных результатов и требуется более сложное оборудование.

Для измерения скорости и направления течений в океанах, морях и озерах используется вертушка Экмана — механический прибор, изобретенный шведским физиком В.В. Экманом, имеющий такой же принцип действия, как и обычная вертушка. Поток воды вращает чувствительную крыльчатку, число оборотов подсчитывается счетчиком. С помощью специальной таблицы число оборотов пересчитывается на единицы скорости течения. Направление течения определяется по тому, в какой из секторов компасной коробки попали шарики, которые проваливаются из камеры через определенное число оборотов крыльчатки. После каждого измерения вертушку поднимают на палубу для определения положения шариков в компасной коробке и перезарядки для дальнейших измерений.

5.1. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ

Расход воды — одна из главных гидравлических характеристик речного потока.

Расход потока:

$$Q = \int_{\omega} u d\omega, \quad (5.1)$$

можно представить как объем фигуры, имеющей в основании поперечное сечение потока площадью ω , сверху — эпюру поверхностной скорости, а с боков — эпюры продольной скорости на вертикалях.

Для вычисления этого объема его можно разбивать на вертикальные слои, толщиной $b(db)$ — расстояние между скоростными вертикалями. Расход:

$$Q = \int_0^B q db, \quad (5.2)$$

где q — элементарный расход на скоростной вертикали, численно равный площади эпюры скорости; $db(b)$ — толщина слоев, на которые разбита ширина русла поперу.

Этот объем можно представить так же, как сумму объемов поперечных слоев, образованных в основании изотаксами (линиями равных скоростей) и толщиной, равной скоростному интервалу между изотаксами (рис. 26).

Этот объем равен также сумме объемов горизонтальных слоев, в основании которых — эпюры скорости на разных глубинах, построенные с одинаковым интервалом глубин dh .

5.2. РАЗБИВКА ГИДРОМЕТ-

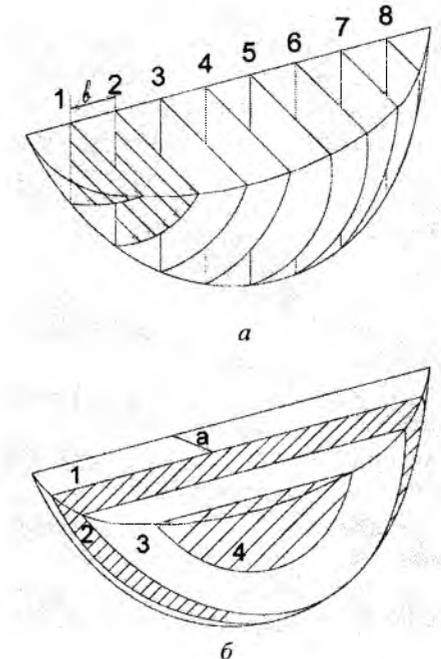


Рис. 26. Схема к определению расхода: a — при помощи эпюр скоростей на вертикалях; b — при помощи изотакс

Для измерения расхода воды нужно выбрать участок реки, требования к которому такие же, как и к участку для водомерных наблюдений. Необходимо, чтобы движение воды было равномерным, а скорости были не меньше 0,15 м/с.

Гидрометрический створ — это поперечник, в котором измеряются расходы воды. Чтобы получить значение расхода воды, близкого к действительному, направление гидрометрического створа должно быть перпендикулярным к среднему направлению течения.

В экспедиционных условиях на прямолинейных участках нешироких рек направление гидроствора должно быть намечено на глаз перпендикулярно к общему направлению течения реки, ориентируясь на очертание берегов.

Для систематических измерений расходов воды направление гидроствора назначается после определения направления течения поверхностными поплавками, измерителем течения или морской вертушкой.

Для определения направления гидроствора поверхностными поплавками на участке реки параллельно берегу прокладывается магистраль и перпендикулярно к ней разбиваются три створа, средний из которых является гидрометрическим. В 5–10 м выше верхнего створа пускают последовательно 8–10 поверхностных поплавков, равномерно распределяя их по ширине реки. Для каждого поплавок определяются время прохождения расстояния от верхнего до нижнего створа и места пересечения всех створов. Место пересечения поплавками створов фиксируется на реках шириной до 100 м по размеченным тросам, а на более широких реках засечками теодолитом или мензулой.

Обработка результатов определения направления гидроствора производится на копии плана участка реки, где по точкам прохождения поплавков через все створы проводятся траектории движения поплавков. Затем для каждого поплавок вычисляется скорость движения делением расстояния между верхним и нижним створами на время прохождения. На линии среднего створа в точках пересечения его поплавками откладываются в выбранном масштабе векторы скоростей по касательным к траектории движения поплавков. Результирующий вектор показывает среднее направление течения на данном участке, а перпендикуляр к нему принимается за правильное направление гидрометрического створа (рис. 27). Установленное направление гидроствора закрепляется на обоих берегах прочными столбами-реперами. Один из реперов служит постоянным началом, от которого определяются расстояния до промерных и скоростных вертикалей.

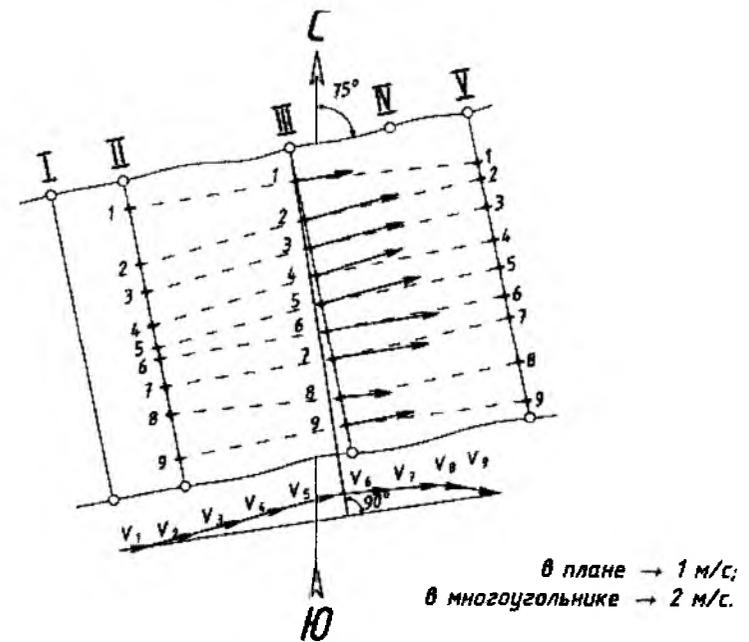


Рис. 27. Определение направления гидрометрического створа поверхностными поплавками

На больших реках направление течения обычно определяется с помощью бифилярного подвеса, измерителя течения или морской вертушки. Эти приборы дают возможность производить измерения не только в поверхностном слое, но и на различных глубинах, что значительно увеличивает точность определения направления гидроствора.

В правильно выбранном створе направление течения на отдельных вертикалях не должно отклоняться от нормали к нему более чем на 30° . Если косоструйность больше, местоположение гидрометрического створа признается неудовлетворительным, и он выбирается на новом месте.

С изменением уровня воды изменяется и направление течения. Вот почему нередко приходится располагать меженный створ в одном, а паводочный в другом месте.

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТВОРА

В непосредственной близости к гидрометрическому створу должны находиться водомерный и уклонный водомерный посты. Если они находятся далеко, то их оборудуют. Для измерения глубин и скоростей течения стационарный гидрометрический створ оборудуют гидрометри-

ческими переправами (подвесными люльками, лодками, катерами, парами) или мостиками. На реках шириной до 30 м используют балочные мостики, а до 50 м — подвесные. Гидрометрические люльки применяются на реках с быстрым течением и высокими берегами. Перемещение люльки осуществляется с помощью лебедки.

Дистанционная гидрометрическая установка (рис. 28) — стационарное оборудование гидрометрического створа. Она предназначена для производства гидрометрических работ с берега на равнинных реках шириной до 100 м при скорости течения меньше 2,5 м/с. Установка позволяет производить такие гидрометрические работы, как измерение скорости течения, глубины, ширины потока и отбор проб на мутность, с берега одному человеку. На двух береговых опорах с блоками установлена система тросов: несущий 2, перемещения каретки 3 и подъемный с токопроводящим проводом-жилой 4. Несущий трос, опираясь на ролики опор своими кольцами, прикреплен к якорям, зарытым в грунте.

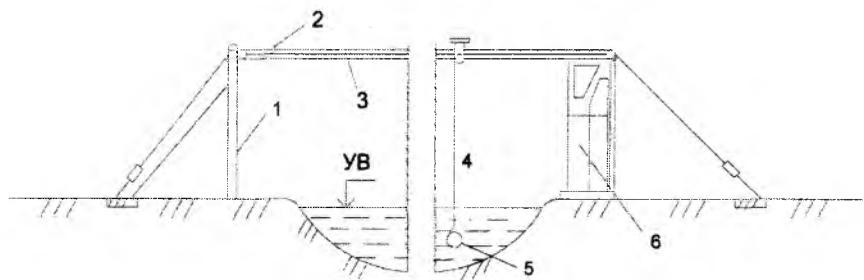


Рис. 28. Схема дистанционной гидрометрической установки:

1 — беговая опора; 2, 3, 4 — тросы: соответственно несущий, горизонтального и вертикального перемещения; 5 — гидрометрический груз; 6 — кабина управления

Различные приборы (гидрометрические вертушки, батометры для отбора проб на мутность, а также донный и поверхностный контакты для измерения уровня воды и глубины) закрепляют на тросе с гидрометрическим грузом. Для перемещения груза с прибором по створу, подъема и его опускания служит лебедка с ручным и электрическим приводом.

Кабина управления 6 совмещена с опорой несущего троса и служит для размещения в ней пульта управления и оборудования, а также защиты приборов от атмосферных осадков.

Пульт управления служит для размещения в нем элементов электрической схемы. Он состоит из металлического корпуса, столика для записи наблюдений и панели. На панели размещены: сигнальные лампы (генератора, вертушки, донного и поверхностных контактов), блок счетчиков глубин и горизонтальных расстояний, тумблеры выключения

вертушки и поверхностного контакта, переключения скоростных диапазонов и включения питания, вольтметр постоянного тока, счетчик оборотов лопастного винта вертушки, секундомер. Питание установки осуществляется от батареи гальванических элементов напряжением 12 В.

5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ

Существует несколько способов определения расходов воды речного потока по измеренным скоростям и глубинам.

Расчет расхода воды Q в наиболее распространенном аналитическом способе (рис. 29) можно представить в виде многочлена:

$$Q = ku_{в1}\omega_1 + \frac{u_{в,1} + u_{в,2}}{2}\omega_2 + \dots + \frac{u_{в,n-1} + u_{в,n}}{2}\omega_n + ku_{в,n}\omega_{n+1}, \quad (5.3)$$

где $u_{в,1}, u_{в,2}, \dots, u_{в,n}$ — средние скорости на вертикалях, рассчитанные по формулам; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n+1}$ — площади водного сечения между берегом и вертикалью или между вертикалями; k — коэффициент, учитывающий форму берега, принимаемый равным 0,7 при пологом берегу, 0,8 — при обрывистом берегу реки или неровной стенке канала, 0,9 — при гладкой (бетонной) стенке канала.

Для каждого измеренного в реке или канале расхода воды должен быть указан уровень, соответствующий данному расходу.

Способ определения расходов воды речного потока по средним скоростям на вертикалях и площадям живого сечения потока — основной в гидрометрии, его сокращенно называют способом «скорость — площадь».

Наряду с этим способом применяются и другие, например, графический метод (рис. 30), который дает более точные результаты и используется при измерении скоростей детальным способом. Расчет ведут в такой последовательности:

- строят профиль живого сечения по измеренным глубинам, на котором флажками обозначают скоростные вертикали и наносят расчетный уровень воды;

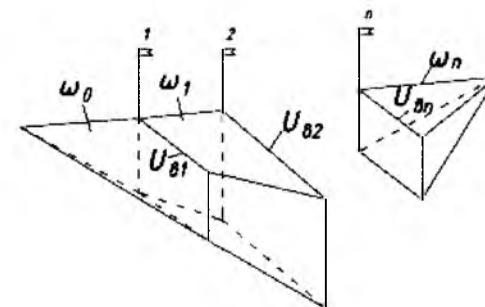


Рис. 29. Схема к вычислению расхода воды аналитическим способом

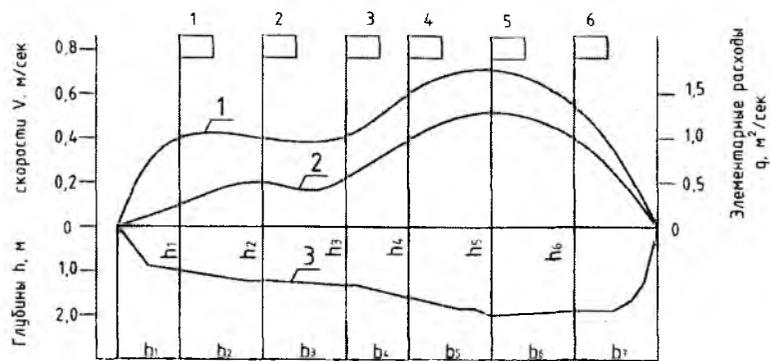


Рис. 30. Вычисление расхода воды графическим способом:
 1 — эпюра распределения средних скоростей по ширине русла;
 2 — эпюра распределения элементарных расходов воды; 3 — линия дна

- чертят эпюры скоростей на скоростных вертикалях (в масштабе глубин) $u = u(y)$;
 - определяют среднюю скорость на каждой вертикали u_b делением площади эпюры скоростей на рабочую глубину вертикали h (площадь эпюры равна q — элементарному расходу): $u_b = q/h$;
 - вычисленные значения средних скоростей на вертикалях откладывают вверх от линии горизонта воды и соединяют плавной линией. Полученная зависимость $u_b = u_b(b)$ называется эпюрой распределения средних скоростей на вертикалях по ширине потока. С этой кривой снимают значения средних скоростей для каждой промерной вертикали и выписывают в строку под профилем;
 - откладывают q (элементарные расходы на вертикалях) вверх от поверхности воды и соединяют плавной кривой, т.е. строят эпюру распределения элементарных расходов на вертикалях по ширине потока $q = q(b)$;
 - площадь этой эпюры (определяемая планиметром) численно равна расходу воды Q .
- Для расчета расхода Q по изотаксам (см. рис. 26, б) на профиле живого сечения необходимо построить изотаксы, которые проводят через интервал a , равный 0,05; 0,1; 0,5, 1,0 м/с в зависимости от величины наибольшей скорости с таким расчетом, чтобы получилось 7–10 изотакс. Объем фигуры равен сумме объемов пластинок шириной a (1, 2, 3) и концевой части (4). Определив с помощью планиметра площади, ограниченные изотаксами — $\omega_1, \dots, \omega_n$, можно найти объемы пластинок, как объемы усеченных призм. Объем концевой части равен объему конуса. Объем всей фигуры и одновременно расход воды:

$$Q = \left(\frac{\omega_0 + \omega_1}{2} + \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} + \dots + \frac{\omega_{n-1} + \omega_n}{2} \right) a + \frac{2}{3} \omega (u_{\max} - u_n), \quad (5.4)$$

где ω_0 — площадь поперечного сечения; $\omega_1, \dots, \omega_n$ — площади, образованные изотаксами от первой до последней; u_{\max} — максимальная скорость в сечении потока; u_n — скорость, соответствующая последней изотаксе.

5.5. АНАЛИЗ РАСХОДОВ ВОДЫ, ИЗМЕРЕННЫХ ДЕТАЛЬНЫМ СПОСОБОМ, С ЦЕЛЬЮ ВЫЯСНЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА НА ОСНОВНОЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ

Анализ заключается в том, что из всех скоростных вертикалей можно оставить только часть, по значениям средней скорости течения на которых можно построить эпюру распределения скорости по ширине реки, близкую к эпюре, построенной по всем вертикалям.

Отбор скоростных вертикалей проводят следующим образом. Расход воды определяется графическим способом, а затем дополнительно к графической обработке расход вычисляется аналитическим способом по значениям средних скоростей течения на вертикалях, полученных по сокращенному числу точек: 0,2 и 0,8 рабочей глубины при свободном русле и 0,15; 0,50 и 0,85 рабочей глубины для расходов, измеренных при ледоставе и заросшем русле. Значения средних скоростей наносятся на чертеж графической обработки расхода воды, измеренного детальным способом, и по ним вычерчивается эпюра распределения средней скорости течения по ширине реки.

Для основного способа измерения расхода воды отбирают те скоростные вертикали, на которых значения средней скорости, вычисленные по сокращенному и полному числу точек, совпадают или отличаются незначительно. При сокращении числа скоростных вертикалей одну из них следует обязательно выбирать в стрежневой части потока, а остальные — в местах основных переломов эпюры.

По отобранным вертикалям расходы воды вычисляются второй раз обычным аналитическим способом. Значение каждого расхода, вычисленного аналитическим способом, сравнивается с расходом, обработанным графически и принятым за эталон.

При условии, что средняя суммарная ошибка не превышает 3 %, возможен переход на основной способ измерения, число скоростных вертикалей можно уменьшить до 7–8, а в некоторых случаях до 5.

Анализ измерения расхода воды с целью перехода на сокращенный способ заключается в отборе одной скоростной вертикали в стрежневой части потока, значение скорости на которой (в средней точке, 0,6 или

0,2 от рабочей глубины), умноженное на постоянный коэффициент, отличается от средней скорости водного сечения не более чем на 10 %.

5.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ПОПЛАВКОВ

Измерения расхода поверхностными поплавками имеют существенно более низкую точность, чем измерения с помощью вертушек, поэтому поверхностные поплавки применяются при рекогносцировочных обследованиях рек, выходе вертушек из строя. При интенсивном ледоходе, когда измерения вертушками становятся невозможными, в качестве поплавков могут служить отдельные льдины.

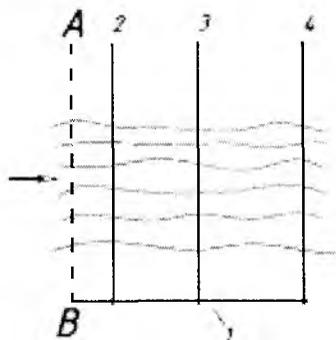


Рис. 31. Схема определения расхода воды поплавками: АВ — пусковой створ; 1 — базис; 2 — верхний; 3 — главный; 4 — нижний створы реки

Поплавочные измерения проводят при штиле или небольшом ветре 2–3 м/с. Для измерения скоростей поверхностными поплавками на участке реки, удовлетворяющем требованиям к гидрометрическим створам, по берегу параллельно основному направлению течения прокладывается магистраль и на ней выбирается базис — 1 (рис. 31). Перпендикулярно к нему разбиваются три створа: верхний — 2, главный — 3 (посередине) и нижний — 4. Расстояние между створами назначается такое, чтобы продолжительность хода поплавков между ними составляла не менее 20 с. Главный створ 3 разбивается примерно посередине базиса.

Если для упрощения и ускорения проведения гидрометрических работ используется мост, то главный створ совмещают со створом моста.

Положение базиса и створов на местности фиксируется кольшками и вехами. В створах могут натягиваться над водой размеченные через 1 м тросы. На всех створах по урезу воды забиваются колья; их расстояние до базиса измеряют мерной лентой. Для запуска поплавков дополнительно разбивается пусковой створ АВ на 5–10 м выше верхнего створа.

Производят промеры глубин и определяют площадь живого сечения по основному створу. Промеры проводят под каждой меткой размеченного троса, начиная от «постоянного начала» (урезного кола). Результаты измерений заносятся в таблицу. При отсутствии размеченного троса в створе расстояние от промерной вертикали до берега определяется методом засечек, т.е. путем измерения горизонтального угла между базисом и линией визирования (см. рис. 15). Нахождение точки промера в створе контролируется по выставленным на берегу вехам.

Измерение скоростей течения воды поплавками проводится в следующем порядке. На пусковом створе бросают в воду последовательно 15–25 поплавков, распределенных приблизительно равномерно по ширине реки. При прохождении поплавок через створы наблюдатели подают сигналы отмахивая или голосом. В эти моменты фиксируется место прохождения (расстояния от берега) поплавок в каждом створе методом засечек или наблюдателем на мосту по разметочным тросам. Одновременно секундомером измеряют время прохождения поплавок от верхнего до нижнего створа.

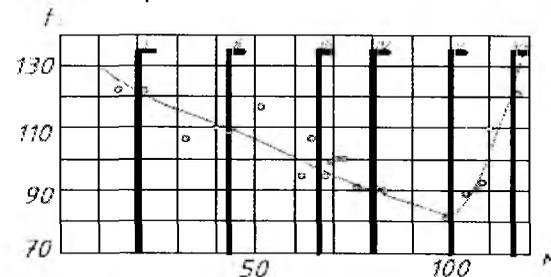


Рис. 32. Распределение продолжительности хода поплавков по ширине реки

Результаты измерений скорости поплавков записываются в таблицу. Причем записи по прибывшим к берегу поплавкам исключаются. На рис. 32 показано распределение продолжительности хода поплавков по ширине реки. На графике по горизонтальной оси откладываются расстояния от постоянного начала до места прохождения поплавками среднего створа, а по вертикальной оси — продолжительность хода поплавков между верхним и нижними створами. По нанесенным точкам проводится осредненная эпюра распределения продолжительности хода поплавок по ширине реки. Скоростные вертикали проводят через равные расстояния и в местах перегиба эпюры. Назначается не менее 5–6 скоростных вертикалей, которые для удобства обработки совмещаются с промерными вертикалями. Для каждой скоростной вертикали вычисляется поверхностная скорость течения путем деления расстояния между верхним и нижним створами на продолжительность хода поплавок, снятую с эпюры. Запись результатов измерений расходов воды поплавками ведется в таблице.

Умножая площади отсеков между скоростными вертикалями на полусумму поверхностных скоростей на них, получают частичные фиктивные расходы воды. Их сумма, с учетом краевых коэффициентов, дает общий фиктивный расход воды Q_{ϕ} :

$$Q_{\phi} = kv_1\omega_0 + \frac{v_1 + v_2}{2}\omega_1 + \dots + \frac{v_{n-1} + v_n}{2}\omega_n + kv_n\omega_n, \quad (5.5)$$

где v_1, \dots, v_n — поверхностные скорости на скоростных вертикалях; $\omega_1, \dots, \omega_n$ — площади живых сечений между скоростными вертикалями; k — коэффициент для урезного участка, равный 0,7.

Действительный расход вычисляется по формуле:

$$Q = K_1 Q_{\text{ф}}, \quad (5.6)$$

где K_1 — переходный коэффициент, от фиктивного расхода к действительному.

Величину переходного коэффициента K_1 можно найти по таблицам или определить по формуле 5.6, если Q — расход, определенный одновременно по измерениям вертушкой и поплавками. Можно также определять K_1 по формуле:

$$K_1 = \frac{C^{2.3}}{C^{2.3} + 1,6}, \quad (5.7)$$

где C — коэффициент Шези, который рекомендуется вычислять по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (5.8)$$

где $y = 1,5\sqrt{n}$ при $R < 1$ м и $y = 1,3\sqrt{n}$ при $R > 1$ м; n — коэффициент шероховатости, определяемый по таблицам в гидравлических справочниках.

Если невозможно пустить поплавки по всей ширине реки, например на реках с быстрым течением, где поплавки сносятся к середине потока, расходы воды определяются по наибольшей поверхностной скорости. В этом случае на стрежневую часть потока пускается 5–10 поплавков. Из всех пущенных поплавков выбираются три с наибольшей продолжительностью хода, отличающиеся друг от друга по времени не более чем на 10 %; при большем отклонении продолжительности хода пускается еще 5–6 поплавков.

Если с помощью поплавков измерена наибольшая поверхностная скорость, то она используется для вычисления расхода воды

$$Q = K_2 V_{\text{наиб}} \omega, \quad (5.9)$$

где $V_{\text{наиб}}$ — среднее значение скоростей трех наиболее быстрых поплавков; коэффициент K_2 :

$$K_2 = 1 - 5,6ghI/V_{\text{наиб}}, \quad (5.10)$$

где h — средняя глубина потока; g — ускорение свободного падения; ω — площадь водного сечения.

Измерение расхода воды глубинными поплавками используется для измерения сравнительно малых скоростей течения (до 0,15–0,20 м/с), когда вертушечные измерения ненадежны и для определения границ мертвого пространства. Скорости течения измеряются с лодки, оборо-

дованной тремя жестко скрепленными параллельными створными рейками на расстоянии друг от друга через 1 м. При помощи шеста на расстоянии 0,5 м от расположенной ближе к носу лодки рейки (верхней) пускается глубинный поплавок. По секундомеру определяется время прохождения поплавком расстояния от верхнего до нижнего створа. В каждой точке поплавков пускается не менее трех раз. Скорость в точке вычисляется делением длины базиса — расстояния между створными рейками на среднюю продолжительность хода поплавка. В расчет берется среднее значение. Расход воды вычисляется аналитическим способом аналогично расходу воды, измеренному вертушкой.

5.7. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СПОСОБОМ И С ПОМОЩЬЮ ВОДОСЛИВОВ

В некоторых случаях расход определяют гидравлическим способом («уклон — площадь»). Он используется, когда измерить расход воды другими способами не представляется возможным, и основан на применении формулы равномерного движения потока воды (формулы Шези), которая имеет вид:

$$Q = \omega C \sqrt{RI}, \quad (5.11)$$

где ω — площадь живого сечения, м²; C — коэффициент Шези, м^{1/2}/с; I — уклон водной поверхности; $R \approx h_{\text{ср}} = \omega/B$ — гидравлический радиус, приблизительно равный средней глубине $h_{\text{ср}}$ (B — ширина реки поверху).

Из формулы Шези следует, что для определения расхода воды необходимо измерить площадь живого сечения ω , продольный уклон свободной поверхности I , вычислить гидравлический радиус R и коэффициент Шези C в естественном состоянии речного потока.

Площадь живого сечения подсчитывают по материалам промерных работ на гидрометрическом створе. Продольный уклон водной поверхности определяется нивелированием свай, забитых одновременно вровень с поверхностью воды на концах выбранного участка реки.

Определение расхода воды может проводиться с помощью специальных водомерных устройств — это могут быть водосливы различных конструкций (с тонкой стенкой: трапециевидные, треугольные и прямоугольные), водомерные лотки, а также водомеры-регуляторы различных конструкций. Специальные устройства сооружают для выполнения гидрометрических работ на гидростанциях и мелиоративных системах с целью изучения режима источника и учета распределения воды между потребителями.

5.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ МЕТОДОМ СМЕШЕНИЯ

На горных реках или на порожистых участках равнинных рек с большими скоростями течения, высокой турбулентностью потока, малыми глубинами и сложным рельефом дна, где измерение расхода способом «скорость — площадь» затруднено, применяют метод смешения. В этом способе расход определяется в зависимости от изменения электрической проводимости воды после введения в поток раствора электролита и перемешивания его речным потоком.

Хорошая точность определения расхода достигается при отсутствии боковой приточности на выбранном участке и извилистости реки. Применяются два метода смешения: способ длительного пуска раствора индикатора и способ ускоренного пуска.

Способ длительного пуска раствора индикатора заключается в следующем. На выбранном участке в пусковом створе реки определяют C_0 — концентрацию вещества в естественном состоянии в речном потоке, вводят в поток небольшим постоянным расходом определенное количество вещества-индикатора. В измерительном створе ниже по течению на таком расстоянии, чтобы произошло полное перемешивание, берут пробы воды и определяют концентрацию вещества после смешения его с речным потоком C_2 .

Составляется уравнение баланса вещества, исходя из условия, что расходы вещества-индикатора в пусковом и измерительном створах равны (рис. 33):

$$Q C_0 + Q_p C_1 = (Q + Q_p) C_2, \quad (5.12)$$

где Q — расход реки; Q_p — расход раствора; C_1 — концентрация вещества-индикатора в растворе; C_2 — концентрация вещества в измерительном створе. Откуда

$$Q = Q_p (C_1 - C_2) / (C_2 - C_0). \quad (5.13)$$

Так как C_1 во много раз больше C_2 , а C_0 можно считать близким к 0, то последнее уравнение можно упростить и записать в виде

$$Q = Q_p C_1 / C_2. \quad (5.14)$$

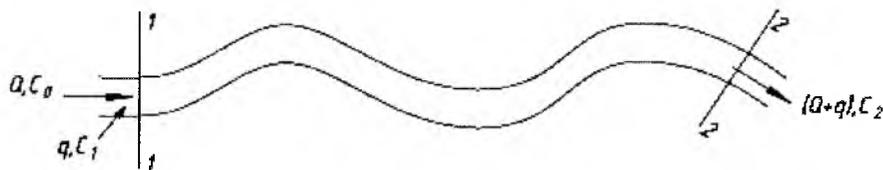


Рис. 33. Схема к способу длительного пуска:
1 — пусковой створ; 2 — измерительный створ

В качестве вещества-индикатора обычно используют поваренную соль из расчета 15 кг на 1 м³ расхода воды в речном потоке. Пробы воды в измерительном створе берутся в нескольких точках по ширине реки через 0,5–1,0 мин. Обработку проб ведут в лаборатории, в расчет принимают среднее значение. Для пуска раствора индикатора требуется специальное сложное устройство. Точность определения расхода достигает 3 %.

Способ ускоренного пуска менее точен, чем способ длительного пуска. Вещество-индикатор вводят одновременно. Вылитый раствор перемещается в виде облака, концентрация вещества-индикатора в измерительном створе сначала увеличивается до определенного значения, а затем уменьшается. Для определения расхода необходимо знать объем вводимого раствора, его концентрацию и график изменения концентрации вещества-индикатора C_2 во времени. График изменения концентрации заменяют графиком изменения электропроводности, которую измерять проще.

5.9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОФИЛОГРАФОВ “STREAM PRO” И “RIO GRANDE”

Профилографы “Stream Pro” и “Rio Grande” предназначены для производства гидрометрических работ на водотоках, в том числе для измерения глубины и скорости водного потока, измерения расхода воды, построения профиля дна. Для управления профилографом, просмотра и обработки результатов измерений в режиме реального времени используется персональный компьютер с программным обеспечением (ПО) “WinRiver II”. Границы допустимой относительной погрешности определения расходов воды по данной методике составляют не более ±10 %.

При выполнении измерений расходов воды на выбранном участке требуется соблюдение условий, изложенных в п. 2.2, а кроме того должны отсутствовать резкие переломы профиля сечения и систематическая косоструйность потока (не более 20°); мутность потока на участке измерения не должна превышать 1000 мг/л. При измерении расходов воды профилографом “Stream Pro” глубина потока в месте пересечения (створе) должна быть больше 0,3 м и меньше 4 м, а профилографом “Rio Grande” — больше 0,9 и 21 м.

При проведении работ с мостов профилограф следует перемещать ниже моста на достаточном расстоянии от опор, чтобы исключить их влияние на скоростной режим потока. Профилографы “Stream Pro” и “Rio Grande” предназначены для выполнения гидрометрических работ

бесконтактным ультразвуковым способом. Принцип действия профилографов основан на подаче короткого ультразвукового сигнала фиксированной частоты (см. п. 4.1). Ультразвуковой сигнал делит водный столб по вертикали на множество дискретных сегментов («ячеек глубины»). Отраженный импульс обрабатывается для каждой «ячейки глубины» и оцифровывается в массив точек. По полученным данным вычисляются характеристики водного потока в локальной точке и по всей глубине (определяется глубина и строится вертикальная эпюра скоростей). Профилограф измеряет движение воды относительно датчика. Для получения действительной скорости движения потока скорость движения датчика (судна, на котором он расположен) должна быть исключена. Действительная скорость воды равна разности скорости, измеренной в «ячейке глубины», и скорости перемещения датчика профилографа относительно дна.

Расход воды вычисляется суммированием расходов каждого вертикального сегмента. Количество сегментов, в которых выполняется измерение, рассчитывается автоматически или задается оператором. Оно зависит от максимальной глубины потока и режима профилирования. У профилографа «Rio Grande» максимальное количество «ячеек глубины» равно 128, а у «Stream Pro» — 20. Измерения выполняются профилографом в центральной части поперечного сечения (рис. 34). В верхнем и придонном слоях, а также в береговых отсеках, где измерения невозможны, значения скоростей течения определяются расчетным путем.

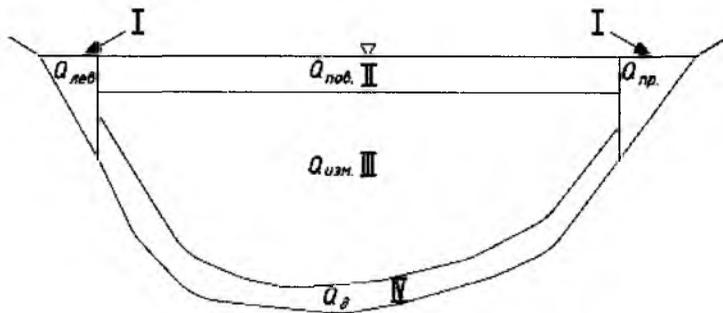


Рис. 34. Схема разделения поперечного сечения потока на отсеки: I — неизмеряемые области береговых отсеков из-за недостаточной глубины; II — неизмеряемый приповерхностный слой (мертвая зона излучателя); III — измеряемая зона живого сечения; IV — неизмеряемый придонный слой (отражение бокового луча)

Метод расчета расходов в береговых отсеках зависит от их формы. Он задается в программе «WinRiver II». Суммарный расход воды определяется по формуле:

$$Q_{сум} = Q_{изм} + Q_d + Q_{пов} + Q_{лев} + Q_{пр}, \quad (5.15)$$

где $Q_{изм}$ — измеренный расход воды; Q_d , $Q_{пов}$, $Q_{лев}$, $Q_{пр}$ — вычисленные расходы в придонном, приповерхностном слоях, в левом и правом береговых отсеках соответственно.

Для перемещения профилографов в гидрометрическом створе могут быть использованы различные приспособления и плавательные средства: катер, лодка, катамаран, плотик и т.д. Профилограф может быть жестко закреплен за бортом плавсредства; может быть установлен на плотике и привязан к судну или может перемещаться на плотике с помощью буксировочного тросика с моста, с дистанционной гидрометрической установки, люльки или по перетяжке. Для оборудования перетяжки в гидрометрическом створе на берегах устанавливаются опоры-столбики с катушками, через которые пропускается ездовой тросик-веревка, к которому, в свою очередь, крепится буксировочный тросик, прикрепленный к профилографу.

5.10. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ РАСХОДАМИ И УРОВНЯМИ ВОДЫ

Связь между гидравлическими элементами потока выражается при равномерном движении уравнением

$$C\omega\sqrt{R} = \frac{Q}{\sqrt{i}},$$

где $\omega\sqrt{R}$ — функция глубины потока и уровня воды H . Коэффициент Шези C зависит от R или $h_{ср}$ и коэффициента шероховатости n , поэтому при известной шероховатости левая часть данного уравнения становится функцией уровня H . Таким образом выявляется функциональная зависимость уровня H и расходной характеристики $\frac{Q}{\sqrt{i}}$. При неизменном уклоне i существует функциональная зависимость

$H = f(Q)$. Зависимость H от Q , когда наблюдаемому значению Q соответствует только одно значение H , называется *однозначной*. В гидрометрии принято определять зависимость $Q = f(H)$.

Выраженная графически связь между уровнем и расходом воды для данного сечения водотока называется *кривой расходов*. Кривые расходов применяются при расчетах стока воды, построении кривых подпора и в расчетах сопряжения бьефов гидротехнических сооружений.

Продолжительность периода, в течение которого сохраняется связь между H и Q , может быть равна году или нескольким годам.

Графическая связь между площадью водного сечения ω и уровнем H : $\omega = f(H)$ называется кривой площадей водного (живого) сечения потока. Указанный график строят по данным измерений глубин и нивелировки берегов выше уреза до отметок, превышающих многолетний уровень высоких вод.

Графическая связь между средней скоростью потока $V = Q/\omega$ и уровнем H : $V = f(H)$ называется кривой средних скоростей.

Кривая расходов строится в прямоугольной системе координат. На том же чертеже проводят кривые площадей живого сечения $\omega = f(H)$ и средних скоростей $V = f(H)$, используя ту же шкалу уровней, что и для расходов (рис. 35).

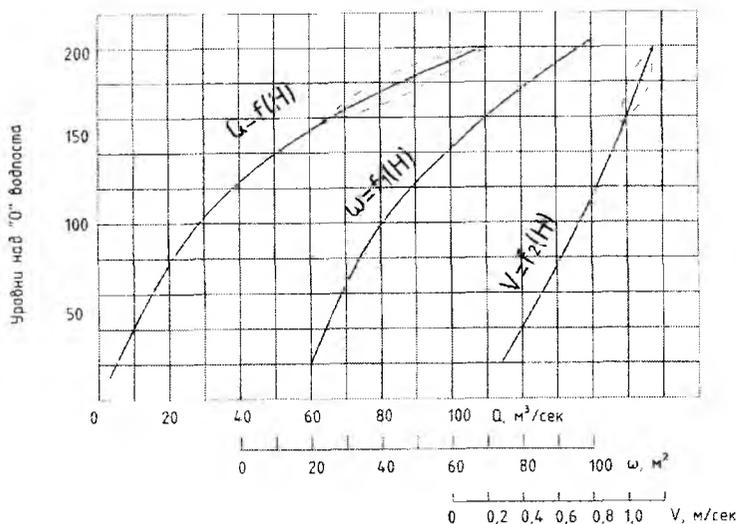


Рис. 35. Кривые расходов, площадей живого сечения и скоростей в зависимости от уровней

По оси абсцисс откладывают расходы, а площади и средние скорости со смещением вправо.

Масштабы для Q , ω и V выбирают такими, чтобы хорды кривых составляли с осями Q , ω и V соответственно около 45° и 60° .

Данные кривые взаимосвязаны: $Q = V\omega$, поэтому при любом уровне H произведение средней скорости V на площадь сечения ω должно

давать расход воды в гидрометрическом створе. Если полученная величина отличается больше, чем на 1 %, надо вносить исправления.

Однозначная зависимость $Q = f(H)$ нарушается при неустановившемся движении воды, при ледяных образованиях в русле, размывах русла и отложениях наносов, зарастаниях русла и переменном подпоре и становится неоднозначной.

Согласно теории неустановившегося движения жидкости уклоны поверхности воды на подъеме паводочной волны больше, чем на ее спаде. Исходя из этого расходы во время половодья $Q_{п}$ больше $Q_{с}$ — расхода на спаде при одних и тех же уровнях. Поэтому неоднозначная кривая расходов (см. рис. 35) имеет петлеобразный вид с ветвями подъема и спада (на рисунке нанесена пунктиром) и называется паводочной петлей. Наиболее четко паводочные петли выражены на больших равнинных реках.

Для вычисления расхода может потребоваться экстраполяция кривой, т.е. ее продление вверх и вниз за пределы измеренных расходов, которые чаще всего измеряются не при всех наблюдавшихся (особенно высоких) уровнях воды. Для гидрометрических створов без пойм при обоснованности более 85–90 % кривой измерениями можно выполнять экстраполяцию непосредственным продолжением на глаз.

Если необоснованная измерениями часть амплитуды составляет 15–20 %, можно выполнить экстраполяцию с помощью формулы Шези $V = C\sqrt{h_{ср}I}$. Величину $h_{ср}$ определяют по профилю. Значения уклона I для экстраполируемого участка кривой определяют после построения зависимостей $I = f(H)$ по данным измерений и дальнейшей экстраполяции до требуемого уровня. Значения коэффициента Шези C определяют по формуле $C = \frac{V}{\sqrt{h_{ср}i}}$, экстраполируя полученную кривую $C = f(H)$ до

нужного уровня.

Кривую $\omega = f(H)$ продолжают вверх, определяя площади сечений при разных уровнях и вычисляют расходы по формуле Шези (5.11).

ИЗУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО СТОКА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

6.1. ПРИБОРЫ ДЛЯ ВЗЯТИЯ ПРОБ ВОДЫ
И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Для определения расхода взвешенных наносов необходимо знать мутность воды. Приборы для измерения мутности воды называются *батометрами* и представляют собой специальные сосуды цилиндрической формы. Различают батометры мгновенного и длительного наполнения.

Батометр *мгновенного наполнения* (батометр Н.Н. Жуковского) применяют для взятия проб с различных глубин. Пробы отбираются на заданной глубине после мгновенного закрытия крышек цилиндров с помощью пружинного механизма. Эти батометры позволяют определять мгновенные значения мутности.

Батометры *длительного наполнения* позволяют определять осредненную за период измерения мутность, учитывая ее пульсацию. Применяют следующие типы батометров длительного наполнения: батометр-бутылка на штанге, батометр-бутылка в грузе и вакуумный батометр.

Батометр-бутылка на штанге (рис. 36) состоит из литровой широкогорлой бутылки, укрепленной на штанге при помощи специальной обоймы под углом 25° к горизонтальной плоскости. Бутылка снабжена головкой с пробкой, через которую проходят водозаборная и воздуховыпускная трубки. Водозаборная трубка направлена навстречу течению, а воздуховыпускная отогнута по течению для выпуска из бутылки воздуха во время ее наполнения.

Трубки снабжаются специальными сменными наконечниками (насадками), диаметр которых подбирается в зависимости от скорости течения (1,5–6 мм). Такие батометры применяют на равнинных реках с небольшой мутностью.

Для определения объема взятой пробы верхняя часть бутылки градуируется. При взятии пробы батометр, укрепленный на штанге, погружается в воду так, чтобы водозаборная трубка была направлена против течения. Для правильной ориентировки прибора в потоке служит указатель, укрепленный на верхнем конце штанги

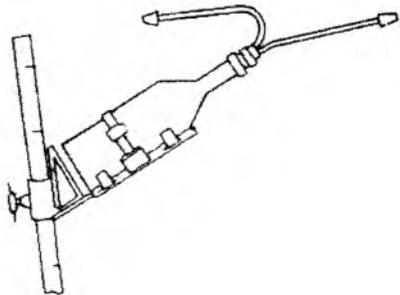


Рис. 36. Батометр-бутылка на штанге

в одной плоскости с водозаборной трубкой. Взятая проба после определения ее объема переливается в другую бутылку и отправляется в лабораторию для определения количества взвешенных наносов. *Батометр-бутылка в грузе* помещается в груз рыболовной формы.

Для взятия пробы вакуумным батометром в его камере создают разрежение, обеспечивающее скорость забора воды, приблизительно равную скорости ее течения в потоке. Измерения проводят при скоростях течения воды $v = 0,2+3,5$ м/с.

Для определения мутности используется *фотометрический метод*, сущность которого заключается в ослаблении светового луча находящимися в воде частицами взвешенных наносов. Приборы, основанные на этом принципе (фотомутномеры), измеряют силу тока, возникающую в фотоэлементе под действием светового луча, проходящего через воду. Регистрация тока осуществляется осциллографом. Расшифровка записи может осуществляться путем сопоставления с измерениями мутности обычным способом.

6.2. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Пробы воды на мутность для измерения расхода взвешенных наносов берутся в основном гидростворе на всех скоростных вертикалях одновременно с измерением скоростей течения, выполняемым при измерении расхода воды. Количество и сроки проведения измерений расходов наносов устанавливают на все фазы гидрологического режима (половодье, дождевые паводки, устойчивая межень).

При измерении расхода наносов берут следующие виды проб воды: 1) пробы мутности на скоростных вертикалях для определения расхода наносов; 2) контрольные единичные пробы для установления связи между мутностью единичной мутности и средней мутностью реки и единичные пробы в тех же местах; 3) пробы для определения крупности взвешенных наносов.

Пробы на мутность отбираются следующими способами: точечным, суммарным и интеграционным. Точечный способ имеет три разновидности: детальный (в пяти точках на следующих глубинах: у поверхности $0,2h$; $0,6h$; $0,8h$ и у дна), двухточечный ($0,2h$ и $0,8h$) и одноточечный ($0,6h$).

Детальный способ предусматривает отбор проб наносов по увеличенному числу вертикалей. Этот способ применяется в первый год наблюдений за стоком наносов, когда средняя мутность в реке превышает 100 г/м^3 . В первый год наблюдений необходимо выполнить не менее 10 измерений расходов наносов с отбором проб детальным способом. В дальнейшем переходят на двухточечный способ и уменьшают коли-

чество вертикалей. На больших и средних реках при измерении расхода взвешенных наносов отбираются две пробы на вертикали, на малых реках одна проба. В периоды, когда мутность превышает 100 г/м^3 , пробы, отобранные в двух точках по вертикали, обрабатываются каждая в отдельности. При средней мутности реки от 100 до 20 г/м^3 пробы, отобранные в двух точках на вертикали, сливаются в один сосуд для последующего анализа — это суммарный способ. При мутности менее 20 г/м^3 пробы целесообразно объединять не только по вертикалям, но и по всему живому сечению, таким образом получая пробу, характеризующую среднюю мутность всего потока.

Интеграционный способ используется для быстрого взятия проб. Он заключается в плавном перемещении прибора по глубине от поверхности воды до дна, им пользуются при резких колебаниях уровня воды или при больших глубинах. Объем проб зависит от величины мутности и устанавливается исходя из того, чтобы вес осадка, получающегося при фильтровании, был не меньше $0,1 \text{ г}$ и мог быть равен $1-10 \text{ л}$. Измерения расхода наносов делают один раз в сутки (в 8 час.) или 2 раза (в 8 и 20 час.).

6.3. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСХОДА И СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Вычисление расхода взвешенных наносов проводят по данным измерения расхода воды и значениям мутности. Мутность воды вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{p_n 10^6}{V} \text{ (г/м}^3\text{)}, \quad (6.1)$$

где p_n — вес наносов в пробе, г; V — объем пробы воды, мл.

Графический способ определения расхода взвешенных наносов (рис. 37) применяется при измерении наносов детальным способом. Он заключается в следующем:

- строят эпюры мутности, определенной в каждой точке измерений скорости (ρ), совместно с эпюрой скорости воды (u);
- вычисляют единичные расходы взвешенных наносов:

$$\alpha = \rho u \text{ [г/(м}^2\text{·с)]}, \quad (6.2)$$

где u — скорость в соответствующей точке, и строят их эпюры; единичный расход характеризует массу наносов, проходящую через участок живого сечения площадью 1 м^2 за 1 с ;

– определяют элементарные расходы взвешенных наносов r ($\text{г/м}^2\text{·с}$), численно равные площадям эпюр;

– определяют средние единичные расходы взвешенных наносов на вертикалях:

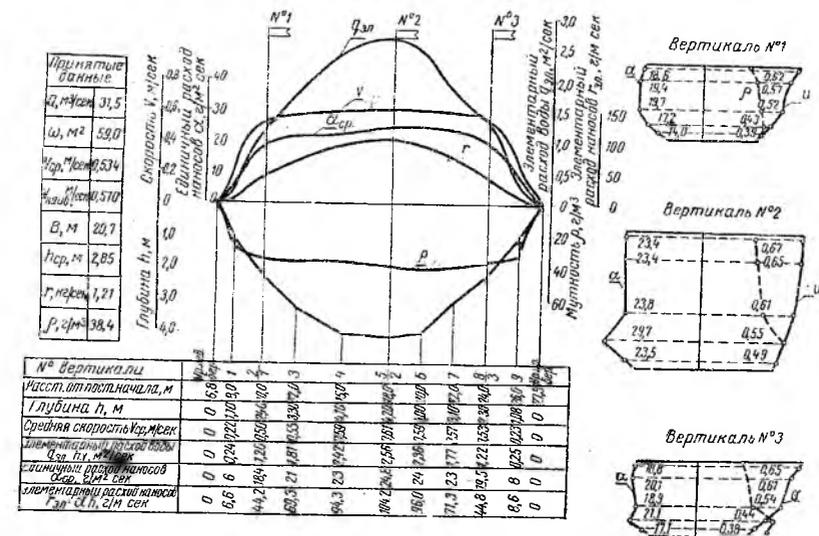


Рис. 37. Графический способ определения расхода взвешенных наносов

$$\alpha_{cp} = \frac{r}{h} \text{ (г/м}^3\text{·с)}; \quad (6.3)$$

- строят эпюры средних единичных расходов α_{cp} ;
- строят эпюры элементарных расходов r для промерных вертикалей (элементарные расходы вычисляют умножением среднего единичного расхода на данной вертикали на глубину данной вертикали);
- определяют площадь эпюры численно равную расходу взвешенных наносов — R (кг/с) и определяют среднюю мутность реки:

$$\rho_{cp} = \frac{R \cdot 1000}{Q} \text{ (г/м}^3\text{)}, \quad (6.4)$$

где Q — расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

Можно также вычислить среднюю мутность для каждой скоростной вертикали:

$$\rho_v = \frac{r}{q}. \quad (6.5)$$

Эпюра средней мутности на вертикалях показывает распределение мутности по ширине реки.

Аналитический способ определения расхода взвешенных наносов (рис. 38) заключается в следующем. Для каждой скоростной вертикали вычисляют средние единичные расходы взвешенных на-

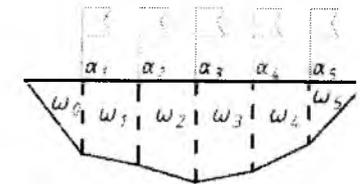


Рис. 38. Схема определения расхода взвешенных наносов аналитическим способом

носов по формулам в зависимости от количества и положения точек отбора проб мутности.

При пятиточечном способе взятие проб вычисляют по формуле:

$$\alpha_{\text{ср}} = 0,1(\alpha_{\text{пов}} + 3\alpha_{0,2} + 3\alpha_{0,6} + 2\alpha_{0,8} + \alpha_{\text{дон}}), \quad (6.6)$$

где $\alpha_{\text{пов}}$, $\alpha_{0,2}$, $\alpha_{0,6}$, $\alpha_{0,8}$, $\alpha_{\text{дон}}$ — единичные расходы в соответствующих точках скоростной вертикали, определяемые по формуле (6.2).

При основном (двухточечном) способе взятие проб вычисляют по формуле:

$$\alpha_{\text{ср}} = 0,5(\alpha_{0,2} + 2\alpha_{0,8}); \quad (6.7)$$

при одноточечном способе:

$$\alpha_{\text{ср}} = \alpha_{0,6}. \quad (6.8)$$

После определения средних единичных расходов на вертикалях общий расход взвешенных наносов определяют по формуле:

$$R = 0,001 \left(k\alpha_1\omega_0 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\omega_2 + \dots + \frac{\alpha_{n-1} + \alpha_n}{2}\omega_{n-1} + k\alpha_n\omega_n \right), \text{ кг/с}, \quad (6.9)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1}$ — средние единичные расходы на скоростных вертикалях; k — коэффициент, принимаемый так же, как в формуле 5.3; $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n$ — площади частей живого сечения.

Вычисление стока взвешенных наносов производится двумя способами: 1) по графику связи между мутностью единичных проб и средней мутности реки $\rho_{\text{ср}} = f(\rho_{\text{ед}})$; 2) по зависимости между расходами наносов и воды: $R = f(Q)$. Применение первого способа, который более точен и применяется чаще, возможно при наличии 10–15 измерений. На хронологический график изменения расходов воды наносят значения единичной мутности, которые в целом должны изменяться синхронно.

Сопоставление графиков позволяет выявить ошибочные данные. Строят график $\rho_{\text{ср}} = f(\rho_{\text{ед}})$, который чаще всего представляет прямую линейную зависимость (рис. 39):

$$\rho_{\text{ср}} = K\rho_{\text{ед}}. \quad (6.10)$$

и определяют K .

По полученному графику находят среднюю мутность в любой день, определяют средние суточные $R_{\text{ср,сут}} = KQ\rho_{\text{ед}}$ и средние декадные

расходы взвешенных наносов. Годовой сток взвешенных наносов вычисляют, суммируя средние декадные значения.

6.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВЛЕКОМЫХ (ДОННЫХ) НАНОСОВ

Для измерения расходов донных наносов применяют приборы, называемые *донными батометрами*. Принцип их действия заключается в том, что в прибор, установленный на дне, в течение определенного времени, улавливаются перемещающиеся наносы на участке дна по ширине, равном входному отверстию. После подъема прибора определяют объем и массу отобранной пробы, а также проводят ее анализ. Существует большое количество конструкций донных батометров.

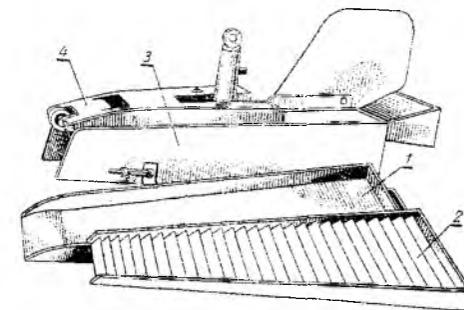


Рис. 40. Батометр «Дон»: 1 — лоток; 2 — рама; 3 — кожух; 4 — дверца

Батометр «Дон» (рис. 40) применяется для отбора проб в руслах с гравелистыми и песчаными наносами, диаметром до 1 мм при глубинах до 20 м и скоростями течения до 1,5 м/с. Этот прибор состоит из двух основных частей: кожуха и ловушки. Кожух представляет собой коробку, в передней части которой имеется дверца, открывающаяся при установке прибора на дне и перекрывающая входное отверстие, когда батометр поднимают. Съемная ловушка состоит из плоского лотка длиной 70 см и рамки с жалюзийными перегородками. Передняя часть лотка образует трамплин, несколько выступающий над дном лотка.

Другой донный батометр представляет собой коробку с откидывающимися крышками. Внутренняя поверхность прибора имеет щелевидное строение, где и откладываются наносы. Прибор в закрытом виде опускается на дно. На дне крышки открываются, а при подъеме снова закрываются. Для взятия проб крупных донных наносов применяются сетчатые мешки и ящики различных конструкций.

Все батометры, основанные на принципе механического улавливания донных наносов, имеют низкую точность 25–50 % и даже ниже. Причины низкой точности следующие: 1) для полного перехвата всех донных наносов по фронту прибора батометр должен устанавливаться плотно на дно, но вследствие неровностей дна часть наносов проходит под батометром; в случае сильного заглубления в прибор попадают и частицы неподвижного основания; 2) мимо входного отверстия прибора проходят наносы, которые двигаются отдельными импульсами,

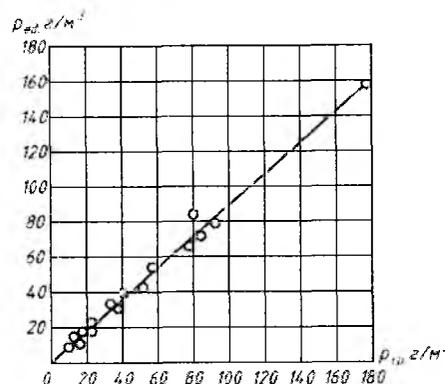


Рис. 39. Связь средней мутности ($\rho_{\text{ср}}$) с мутностью контрольных единичных проб ($\rho_{\text{ед}}$)

и определяют K .

подскоками; 3) массивная конструкция прибора искажает поле скоростей и соответственно расход наносов; 4) поле придонных скоростей и турбулентность по ширине потока могут резко меняться, из чего следует резко неравномерное перемещение наносов по ширине потока.

Для исследования движения донных наносов на горных реках применяют регистратор движения крупных наносов. В этом приборе приемная пластина датчика, устанавливаемого на дне, воспринимает удары сальтирующих (двигающихся скачками) частиц. С пластиной соединен индукционный преобразователь, в подвижных катушках которого при каждом ударе частиц наводится электродвижущая сила. Энергия каждого соударения преобразуется в электрический сигнал. Запись ведется на магнитоэлектрическом осциллографе. Расход наносов определяют, исходя из числа соударений за определенное время и веса частиц. При расшифровке осциллограммы определяют общее число частиц и интенсивность соударения каждой из них. Регистратор можно использовать в условиях горных рек при скоростях до 5 м/с и глубине до 4 м. Диапазон веса регистрируемых частиц от 20 до 300 г, а скорость их движения в придонной области от 1 до 3 м/с.

Вычисление расхода донных наносов проводят чаще всего аналитическим способом, а графический способ применяют редко. При любом способе начинают с определения элементарных расходов на каждой вертикали после оценки в лаборатории веса частиц наносов, полавших в батометр (p_d) по формуле:

$$g = \frac{100 p_d}{l \cdot t} \quad (\text{г/м} \cdot \text{с}), \quad (6.11)$$

где t — продолжительность выдержки батометра, с; l — ширина входного отверстия батометра, см.

Полный весовой расход донных наносов можно определить после определения расходов на вертикалях по формуле:

$$G = 0,001 \left(\frac{g_1}{2} b_0 + \frac{g_1 + g_2}{2} b_1 + \dots + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} b_{n-1} + \frac{g_n}{2} b_n \right), \quad \text{кг/с}, \quad (6.12)$$

где g_1, \dots, g_n — удельные расходы на вертикалях; b_1, \dots, b_{n-1} — расстояния между вертикалями; b_0 и b_n — расстояния между урезами и вертикалями.

При графическом способе на поперечном профиле строят эпюру распределения элементарных расходов донных наносов по ширине реки и определяют ее площадь, численно равную расходу донных наносов.

Расход влекомых наносов равнинных рек можно определить по измерениям параметров донных гряд (рис. 41). Измерения параметров гряд делают в районе поста. Назначается участок, длина которого зависит от форм и размеров гряд. Длина гряды определяется соотношением $l_r = 5-6 H$, где H — средняя глубина на гидростворе. На

участке должно быть не менее 20–30 гряд, а измерения необходимо проводить после полной их стабилизации. На участке закрепляется от 3 до 5 продольных профилей, по которым периодически ведется съемка эхолотом. Число измерений зависит от скорости

перемещения гряд. Наблюдения проводятся в прибрежной и стрежневой зонах с учетом зоны активного перемещения наносов. Поперечники ограничивают участок измерений. На продольниках в начале и в конце располагаются вертикали, на которых определяется скорость и мутность, а также забираются пробы донных наносов. Плотность смеси наносов определяется в естественном состоянии, а также определяется ее гранулометрический состав.

Расход влекомых наносов g_r , кг/(с·м), находят по осредненным для каждого продольника значениям высот и скоростей смещения гряд по формуле

$$g_r = a \rho_r h_r c_r, \quad (6.13)$$

где a — коэффициент формы гряды, определяемый из соотношения между ее средней и максимальной высотой, можно принимать равным 0,5–0,6; ρ_r — плотность смеси наносов в естественном залегании, кг/м³; h_r — средняя высота гряд на продольнике, м; c_r — средняя скорость перемещения донных гряд на промерном продольнике, м/с.

Вычисление суммарного расхода влекомых наносов для всей зоны перемещения гряд делают по формуле:

$$G_r = g_{r1} b_1 / 2 + \frac{g_{r1} + g_{r2}}{2} b_2 / 2 + \dots + \frac{g_{r_{m-1}} + g_{rm}}{2} b_{n-1} / 2 + g_{rm} b_n / 2, \quad \text{кг/с}, \quad (6.14)$$

где g_1, \dots, g_n — расходы на промерных продольниках; b_2, \dots, b_{n-1} — расстояния между промерными продольниками; b_1 и b_n — расстояние между урезами и крайними продольниками.

Для вычисления стока донных наносов строят график связи расходов воды и расходов донных наносов $G = f(Q)$. По полученной зависимости получают значения средних суточных расходов донных наносов по значениям средних суточных расходов воды, по значениям которых вычисляют ежедневный и годовой сток донных наносов.

6.5. ПРИБОРЫ ДЛЯ ВЗЯТИЯ ПРОБ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изучение донных отложений производится путем взятия проб, которые берутся на скоростных вертикалях одновременно со взятием проб

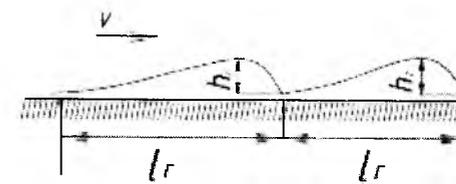


Рис. 41. Схема движения гряд:
 l_r и h_r — длина и высота гряды

взвешенных наносов. Взятые пробы анализируются в лабораториях, где определяется механический состав (крупность фракций).

Существует много различных приборов для взятия проб, которые можно разделить на две группы приборов: 1) для взятия проб грунта с нарушением его структуры; 2) для взятия проб без нарушения структуры. К приборам первой группы относятся следующие. *Дночерпатель* — это прибор для отбора проб поверхностных слоев донных отложений. Дночерпатели бывают двух типов: с двумя и четырьмя створками. Дночерпатели различаются по размерам и площади захвата дна. При отборе пробы они зарываются в дно под действием собственного веса. Для утяжеления на створки прибора прикрепляются свинцовые или чугунные грузы или специальное устройство. При подъеме створки дночерпателя смыкаются, удерживая таким образом пробу грунта. Недостаток этих замыкательных устройств в том, что при взятии пробы слоистость донных отложений нарушается (проба сминается), кроме того, илистый грунт при подъеме частично вымывается. Для предохранения от вымывания иногда применяют чехлы парусиновые или из другого эластичного водонепроницаемого материала. Дночерпатели рейферного типа (рис. 42) в отличие от обычных снабжены дополнительным пружинным устройством, которое в момент касания грунта автоматически смыкает створки (челюсти). Рейфер имеет те же недостатки, что и обычные дночерпатели.

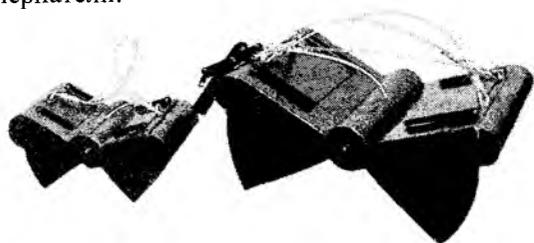


Рис. 42. Дночерпатель рейферного типа

Штанговые дночерпатели (рис. 43) предназначаются для отбора песчано-гравелистых и илистых донных отложений с нарушением структуры со дна рек и каналов при глубине не более 3 м и при скорости течения воды не более 2 м/с, а также из озер и водохранилищ при глубине до 4 м. Штанговый дно-

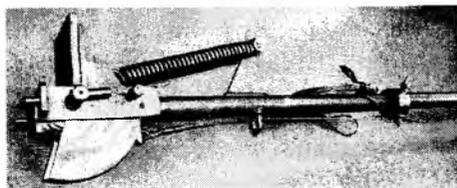


Рис. 43. Штанговый дночерпатель

черпатель опускают на вертикальной штанге с открытым ковшом. После плотного прижатия ковш врежется в дно и отделает пробу грунта от дна под действием силы, которую оказывает силовой пружинный привод.

Драга — это простое приспособление скользящего типа для отбора проб уплотненного или каменистого грунта, который не удается взять другими приборами. Используются коробчатые и цилиндрические драги, которые способны соскребать плотные слои донных отложений и даже отламывать образцы скальных пород. Цилиндрические драги применяют для сбора несцементированного материала на мелководьях. При отборе проб драги буксируют за судном.

К приборам второй группы, предназначенной для взятия проб *без нарушения структуры*, относятся следующие приборы. Основной частью *донного шупа* является заборный стакан (длиной 14 см и диаметром 4 см), который вдавливают в грунт. При поднятии стакан переворачивается заборным отверстием вверх. Прибор используют в различных грунтах при глубине до 6 м. *Грунтовая трубка* — прибор, предназначенный для отбора проб, главным образом, в морях, рыхлых донных отложениях. Грунтовая трубка погружается в толщу отложений под влиянием силы тяжести. Чтобы трубка глубже внедрялась в дно, к ней добавляют специальный груз, вес которого может достигать сотен килограммов. Внутри трубки вкладывается пластмассовый или латунный цилиндр, разрезанный вдоль на две половинки или цельный, в котором колонка донных отложений сохраняется для лабораторного анализа. Для получения длинных колонок грунта с ненарушенной стратификацией используются *вакуумные* или *поршневые трубки*. Поршень помещается так, что в момент соприкосновения трубки с грунтом он находится в нижнем ее конце. Поршень соединен с подъемным тросом, по которому трубка с закрепленным на ней грузом скользит в свободном падении под действием силы тяжести, заглубляясь в грунт. Поршень в это время перемещается с нижнего конца трубки к верхнему и создает вакуум, способствующий быстрому проходу колонки грунта внутрь трубки без нарушения естественной слоистости. Немного деформируются только верхние горизонты более рыхлых слоев до того момента, когда трубка входит в более плотные слои отложений. В нашей стране применяются поршневые трубки длиной до 40 м. На сравнительно небольших глубинах моря (до 200–250 м) для отбора проб донных отложений с ненарушенной структурой используются *вибропоршневые трубки*. Эти трубки снабжены электровибратором, который способствует их заглублению.

Электромагнитный прибор для автоматического измерения мощности рыхлых донных осадков в водоеме называется *геолокатор*. Принцип его работы такой же, как у эхолота, но сигнал, излучаемый прибором

ром, имеет значительно большую мощность и способен пронизывать толщу осадков до 2–5 км.

6.6. ОБРАБОТКА ПРОБ НАНОСОВ

Обработка проб наносов может проводиться на посту и в лаборатории. На посту проводится первичная обработка проб, которая состоит из выделения наносов из воды путем отстаивания или фильтрования; высушивания выделенных наносов и подготовки их к отправке в лабораторию для анализа.

Способ отстаивания проб заключается в выделении наносов в течение нескольких суток (время определяется в расчете на выпадение частиц диаметром 0,0005 мм и зависит от высоты слоя воды и ее температуры).

После отстаивания осветленная вода сливается при помощи сифона. Остающийся слой, если проба взята на определение мутности воды, ставят на фильтрование, а если проба взята на определение крупности наносов, бутылку закупоривают резиновой пробкой, заливаемой сверху сургучом (парафином).

Для выделения наносов применяют способы автоматического фильтрования (при объеме пробы до 1 л), фильтрования под давлением (при необходимости быстро провести работу) и способ суточного отстаивания в трубках, основанный на связи высоты слоя осадка со средней величиной мутности пробы.

После выполнения первичной обработки проб наносов с поста в лабораторию высылаются: сухие фильтры с наносами для определения количества наносов на них, взвешенные наносы в бутылках или пакетиках, выделенные из проб, взятых при определении взвешенных наносов и предназначенных для определения гранулометрического состава наносов.

В лаборатории выполняются: анализы гранулометрического состава взвешенных и влекомых (донных) наносов; определение плотности частиц наносов и плотности смеси наносов в естественном залегании; взвешивание пустых фильтров, отправляемых на посты.

Пробы (образцы) взвешенных наносов поступают в лабораторию в бутылках с жидким осадком после отстаивания или в полиэтиленовых мешочках и пакетах из восковой бумаги, если осадок выпарен; пробы влекомых наносов, а также грунтов — в плотных матерчатых или полиэтиленовых мешочках после их просушки на воздухе.

Количество наносов в пробах определяют при взвешивании фильтров с наносами. Перед взвешиванием фильтры помещают в бюксы и ставят в термостат на 3 ч. После охлаждения и взвешивания определяют вес наносов в пробе при вычитании веса пустого фильтра.

Определение органической части производится для тех образцов донных наносов, в которых мелкие частицы (<0,1 мм) составляют по

массе более 70 %. Для этого отбирается навеска около 1 г, помещается в заранее прокаленный и взвешенный тигель, затем сжигается и прокаливается в муфельной печи в течение 1–1,5 ч. Потом тигель с золой остужается в эксикаторе 45 мин и опять взвешивается на аналитических весах. Разность между полученной массой и массой тигля представляет массу минеральной части наноса. Из массы наноса вычитается масса его минеральной части, что дает массу органических веществ. Она выражается в граммах и в процентном отношении к общей массе наносов.

Пробы взвешенных наносов, поступившие в бутылках или банках на определение крупности, перекалываются в бюксы или фарфоровые чашки известной массы и ставятся на водяную или песчаную баню для выпаривания воды, а затем после остывания на воздухе до комнатной температуры взвешиваются приблизительно на химико-технических весах (с точностью до 0,1 г) в целях установления достаточности их количества для производства анализа крупности наносов пипеточным методом. Масса наносов записывается на пакетике, в котором они хранятся до анализа.

Пробу влекомых наносов из пакетика полностью перекалывают в фарфоровую чашку и в воздушно-сухом состоянии взвешивают на химико-технических весах с точностью до 0,01 г. Разность значений массы чашки с наносом и без наноса даст массу уловленного наноса.

6.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НАНОСОВ

Определение гранулометрического состава наносов заключается в подготовке образца к анализу, проведении анализа и в его обработке.

Гранулометрический анализ проб наносов нужен для определения процентного содержания частиц различных фракций и геометрических размеров самой крупной частицы в пробе.

Вид анализа зависит от крупности частиц наносов и выполняется следующими методами: анализ на грохотах, непосредственным обмером частиц, ситовым, фракциометра и пипеточным. Для разнородных по крупности образцов применяют комбинированные методы.

Для проведения анализов указанными методами требуются определенные навески проб: 1) пипетка и фракциометр (0,5–5,0 г); 2) фракциометр (0,5–2,0 г); 3) ситовой и комбинированный метод сита — фракциометр для однородных по крупности песков (100–200 г), гравелистых песков (300–500 г), галечно-гравелистых песков (1–2 кг).

Из частиц меньше 1 мм отбирается по правилу средней пробы необходимая навеска для анализа методом фракциометра или комбинированным методом пипетка — фракциометр.

Анализ на грохотах или метод обмера с помощью колец-калибров диаметром 10, 20, 50 и 100 мм, лентой по трем окружностям и вычисления среднего диаметра или способ фотографирования проводят при преобладании в пробе частиц крупнее 10 мм. Частицы, относящиеся к одной фракции, после измерений группируются вместе и взвешиваются на весах.

Ситовой метод используют при диаметре 1–10 мм. Перед анализом требуется подготовка пробы: размельчаются большие агрегаты, заиленные отложения замачивают, а потом их растирают. Отмытые частицы просушивают и исследуют с помощью ситового метода. Ситовый метод может применяться как самостоятельный для частиц от 10 до 1 мм. Ситовым методом выделяются фракции 10–5, 5–2, 2–1 и <1 мм. Навеска просеивается в воздушно-сухом состоянии через набор сит с отверстиями 10, 5, 2 и 1 мм. В результате анализа ситовым методом сумма масс отдельных выделенных фракций может отличаться от взятой навески не более, чем на 0,5 %.

Метод фракциометра и пипеточный основаны на связи диаметра частиц с их гидравлической крупностью (скоростью свободного падения частицы при определенной температуре воды) и применяется для частиц мельче 1 мм. Гидравлическая крупность частиц разных диаметров приводится в специальных таблицах.

Фракциометр представляет собой вертикальную трубку длиной 1565 мм и диаметром 50 мм, которая внизу суживается до 13 мм. К суженной части присоединены разборные стеклянные трубки. Методом фракциометра выделяются фракции: 1–0,5; 0,5–0,2; 0,2–0,1; 0,1–0,05 и <0,05 мм. Если проба содержит частицы крупнее 1 мм и мельче 0,05 мм, используют комбинированные методы: сито-фракциометр и фракциометр-пипетка.

Взвешивание навески и фракций производится на аналитических весах (с точностью до 0,0001 г). Взятая проба в фарфоровой чашке смачивается чистой водой и осторожно растирается резиновым пестиком в течение 3–5 мин до состояния жидкой кашицы.

Перед анализом фракциометр медленно наполняется чистой пресной водой, растекающейся по внутренней стенке стеклянной трубы до верхней метки, выше которой остается место для анализируемого образца. Зажимы фракциометра оставляются открытыми. К анализу приступают спустя 15 мин для того, чтобы вода успокоилась во фракциометре и выравнялась ее температура, измеряемая по истечении этого времени с точностью до 0,1°.

Растертую в чашке пробу переносят во фракциометр, одновременно пускают секундомер и следят за падением самой большой частицы. В момент прохождения первой частицы через нижнюю метку секундомер не останавливается; фиксируют расстояние от верхней до нижней метки

для определения наибольшей крупности. Сроки закрывания зажимов для выделения установленных фракций определяются в зависимости от температуры воды во фракциометре по таблицам.

Анализ на пипеточной установке выполняется с выделением четырех фракций 0,05–0,01; 0,01–0,005; 0,005–0,001 и <0,001 мм. Одновременно можно производить анализ шести образцов. Все пробы выпариваются досуха на бане. Если в анализируемом образце содержатся преимущественно илисто-глинистые частицы, выпаренные пробы дополнительно просушиваются в термостате в течение 2–3 ч при температуре 105–110° и охлаждаются в эксикаторе 45 мин. Бюксы с пробами взвешиваются на аналитических весах.

Количество отобранных пипеткой и выделенных на фракциометре наносов и их процентное содержание относительно взятой навески вычисляется по ходу анализа. Масса наноса в пипетке умножается на переходный коэффициент от объема пипетки к объему всей суспензии в цилиндре. Переходный коэффициент $k = b/c$, где b — объем суспензии в цилиндре; c — объем пробы в пипетке. Чтобы получить массу наносов каждой отдельной фракции и суммарную массу частиц мельче 0,001 мм, надо произвести последовательное вычитание: из массы в суспензии частиц <0,05 мм надо вычесть массу частиц <0,01 мм, затем из последней массы вычитается количество наносов <0,005 мм и т.д. Масса частиц более крупных фракций вычисляется непосредственно после выполнения анализа на фракциометре и взвешивания бюксов с наносами. Сумма полученных масс всех выделенных фракций не должна отличаться от массы, взятой на анализ навески больше, чем на 3 %.

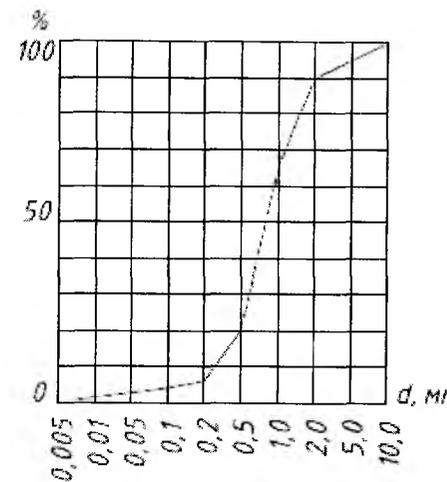


Рис. 44. Суммарная кривая гранулометрического состава наносов

По результатам анализа гранулометрического состава наносов строят суммарную кривую механического состава наносов. Для этого вес отдельных фракций вычисляют в процентах от общего веса пробы, предварительно суммируют, начиная от веса фракций наименьшего диаметра (рис. 44).

Значения диаметров фракций откладывают в логарифмическом масштабе на оси абсцисс.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФИЗИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ВОДЫ РЕК

7.1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ВОДЫ

По месту нахождения воду можно разделить на морскую, озерную, речную и подземную.

Важнейшие физические свойства воды: температура, прозрачность, запах, вкус, цветность, мутность, плотность.

Наблюдения за температурой воды имеют большое значение для анализа ледовых явлений, изучения биологических процессов и химического режима водоемов. Наблюдения за температурой воды включены в программы наблюдений на всех гидрологических постах и станциях гидрологической сети, их ведут ежедневно в 8 и 20 час. в постоянном месте — в прибрежной зоне или на стрежне реки в створе водомерного поста. Обычно температура воды измеряется в створе или вблизи поста в прибрежной, обязательно проточной полосе на таком расстоянии от берега, чтобы глубина была не менее 0,3–0,5 м. Измерения начинаются весной, еще при ледоставе, с наступлением оттепелей. Для измерения используются водные термометры в металлической оправе с точностью до 0,1 °С, электротермометры со шкалой деления 0,2 С°.

Изменение температуры по глубине свойственно в большей степени морям, озерам и водохранилищам, так как вследствие турбулентного движения в реках вода лучше перемешивается.

При изучении термического режима озер и водохранилищ температуру воды измеряют на поверхности и в глубинных слоях на рейдовых вертикалях на различных горизонтах. При назначении горизонтов измерения температуры желательно освещать область температурного скачка. Измерения ведут с помощью батометра И.В. Молчанова (рис. 45), имеющего термометр, и глубоководного опрокидывающегося батометра, снабженного двумя термометрами: основным и вспомогательным. При опрокидывании основного термометра столбик ртути обрывается в сужении, ртуть стекает в малый нижний резервуар и фиксируется температура окружающей среды. Для уточнения показаний опрокидывающегося термометра служит вспомогательный термометр.

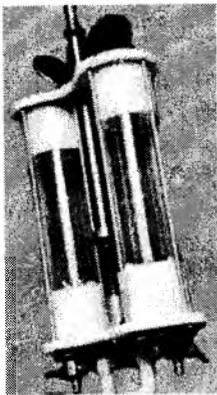


Рис. 45. Батометр И.В. Молчанова ГР-18

Обработка наблюдений за температурой в поверхностном слое заключается во введении поправок.

Прозрачность воды определяется с помощью погружаемого в воду стандартного белого диска. Диск погружают в воду до момента, когда он перестает быть видимым. Затем его медленно поднимают до момента появления. По линию фиксируются обе глубины. В стационарных условиях изучение прозрачности и цвета производят на постоянных вертикалях.

Большинство природных вод не имеет запаха. При активной деятельности некоторых бактерий вода может иметь сероводородный, болотный, гнилостный и другие (более двадцати видов) запахи. Интенсивность запаха оценивается по пятибалльной шкале: очень слабый, слабый, заметный, отчетливый, очень сильный.

Различные растворенные в воде вещества придают ей соленый (хлористый натрий), горький (сульфат магния), терпкий (соли железа) и другой вкус, интенсивность которого также оценивается по пятибалльной системе.

Цвет воде придают некоторые растворенные в ней минеральные и органические вещества: бурый цвет дают гумусовые кислоты. Цвет определяют в соответствии с ГОСТ Р 52769–2007 «Вода. Методы определения цветности». Используют два метода: метод визуального определения цветности путем сравнения со шкалой цветности и метод фотометрического определения цветности, основанный на измерении оптической плотности с помощью фотометра или коэффициента пропускания анализируемой пробы при фиксированной длине волны с последующим определением значения цветности по градуировочной характеристике. Стандартная платиново-кобальтовая шкала состоит из двадцати одного оттенка сине-, зелено-коричневатого цвета специального раствора. Цвет определяют в градусах цветности (от 0 до 14).

7.2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД

По месту нахождения природную воду можно разделить на морскую, озерную, речную и подземную.

Химический состав природных вод разнообразен. Воды Мирового океана, а также воды некоторых озер и подземных источников отличаются от пресных степенью минерализации.

Минерализацией называют сумму содержащихся в воде минеральных веществ. Минерализацию пресных вод принято выражать в миллиграммах на литр (мг/л) или граммах на литр (г/л), соленых вод рассолов — в граммах на литр или процентах (%). Пресной считается вода с минера-

лизацией до 1 г/л, морская вода имеет минерализацию 25–50 г/л. Состав пресных вод зависит от условий их формирования.

В природных водах, используемых для бытовых целей, обычно присутствуют анионы и катионы, от которых в основном и зависят вкусовые и санитарно-гигиенические свойства воды.

Природные воды классифицируют по химическому составу. Они представляют собой собственно воду (химическое соединение кислорода и водорода) и растворенные в ней вещества, обуславливающие ее химический состав и свойства.

В воде растворяются твердые, жидкие и газообразные вещества, которые делятся на три группы: хорошо растворимые (в 100 г воды растворяется более 10 г вещества); плохо растворимые, или малорастворимые (в 100 г воды растворяется менее 1 г вещества); практически не растворимые (в 100 г воды растворяется менее 0,01 г вещества).

Чаще всего солевой состав природных вод определяется катионами Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ и анионами HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} . Эти главные ионы воды; по ним определяют ее химический тип. Количество хлор-иона, сульфат-ионов и HCO_3^- могут достигать больших значений, а остальные ионы присутствуют в незначительных количествах и не определяют химический тип воды.

По преобладающему аниону воды делятся на три класса: гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. Воды каждого класса делятся, в свою очередь, по преобладающему катиону на три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. Класс природных вод обозначается символом соответствующего аниона: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , а группа — символом катиона: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Соли, находящиеся в природных водах, могут быть растворимыми и слабо растворимыми. Жесткость воды — содержание в ней растворимых солей кальция и магния, выраженное в мг-экв/л. Общая жесткость обусловлена наличием в воде всех солей кальция и магния. Устраняемая жесткость обусловлена наличием карбонатных солей, выпадающих в осадок после кипячения воды, а неустраняемая жесткость — некарбонатных солей кальция и магния и равна разности между общей и устраняемой жесткостями. По степени жесткости воды выделяют очень мягкие (до 1,5 мг-экв/л), мягкие (1,5–3 мг-экв/л), умеренно жесткие (3–6 мг-экв/л), жесткие (6–9 мг-экв/л) и очень жесткие (свыше 9 мг-экв/л). В соответствии с ГОСТ 2874–73 общая жесткость не должна превышать 7 мг-экв/л.

Основные газы, содержащиеся в воде в растворенном виде: кислород (O_2), азот (N_2), углекислый газ (CO_2), водород (H_2), метан (CH_4), сероводород (H_2S). Метан часто преобладает над другими газами.

Органические соединения (кислоты, фенолы, углеводороды, аминокислоты) часто присутствуют в воде, особенно в районах нефтяных месторождений.

В воде присутствуют бактерии, микроорганизмы, личинки. Бактерии обнаруживают в различных водах, даже в подземных на глубинах в несколько километров. В результате жизнедеятельности бактерий образуются многие газы.

Исходная чистая вода, попадающая на землю в виде дождя и снега, насыщаясь различными веществами и организмами, загрязняется и, как правило, становится непригодной для питья или использования в быту без предварительной очистки. Источниками загрязнения природных вод могут быть как природные объекты, так и объекты, созданные человеком (сельскохозяйственные и хозяйственно-бытовые сточные воды).

7.3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ВЗЯТИЯ ПРОБ ВОДЫ НА ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Пробы воды можно брать из поверхностного слоя ведром и из глубины специальными батометрами. Батометр И.В. Молчанова ГР-18 (см. рис. 45) состоит из двух одинаковых цилиндров объемом 2 л каждый, изготовленных из органического стекла и укрепленных на металлической раме. Для взятия проб батометр с открытыми крышками опускают на тросе на заданную глубину, где выдерживают несколько минут. После пуска посыльного груза от удара о головку происходит срабатывание пружины и закрытие цилиндров снизу и сверху. В закрытом виде батометр поднимают из воды и сливают пробу через краны. Для измерения температуры воды в каждом цилиндре имеется термометр. Батометр применим при глубине до 50 м.

Пробоотборники ПЭ-1105 и ПЭ-1110 предназначены для отбора проб природных вод из водоемов с глубины от 30 до 200 см с целью определения содержания в них очень маленьких концентраций загрязняющих веществ (рис. 46). Они имеют наверху груз во фторопластовой оболочке с отверстиями для воды. К грузу привинчивается пробоотборная бутылка объемом 1 л. Расположение груза над бутылкой делает возможным отбор проб в более мелководных водоемах, чем это можно было бы сделать при традиционной схеме



Рис. 46. Пробоотборник (ПЭ-1110)

пробоотборника. После заполнения емкости водой пробоотборник поднимается на поверхность, бутылка с пробой вывинчивается из системы, закрывается крышкой и доставляется в лабораторию.

Пробы воды для полного химического анализа берут в объеме 2,5 л (2 бутылки по 1 л и одна — 0,5 л). В литровые бутылки с пробой добавляют по 2 мл хлороформа, а в полулитровую 1 мл двадцатипятипроцентного раствора серной кислоты. Бутылки запечатывают, а пробки заливают парафином или сургучом, после чего отправляют в лабораторию.

Расход растворенных веществ вычисляют по результатам химических анализов. Минерализация воды — вес растворенных веществ в единице объема:

$$\alpha = \frac{p_c \cdot 10^6}{V} \text{ (г/м}^3\text{)}, \quad (7.1)$$

где p_c — вес сухого остатка, г; V — объем пробы, мл.

По значениям можно построить хронологический график изменения минерализации.

Расход растворенных веществ:

$$S = \frac{\alpha \cdot Q}{10^3} \text{ (кг/с)}, \quad (7.2)$$

где Q — расход воды в день взятия пробы, м³/с.

На графике значений минерализации можно нанести расходы растворенных веществ и получить все значения S с помощью интерполяции. При достаточном количестве проб строят графики $\alpha = f(Q)$ и $S = f(Q)$, которые могут быть однозначными в период межени и неоднозначными в периоды половодья для разных по водности лет.

Результаты определения ежедневных значений S сводят в таблицу, определяют среднегодовое значение S_0 и суммарный годовой сток растворенных веществ в тоннах:

$$W_{p.v} = 31,54 \cdot 10^3 S_0. \quad (7.3)$$

7.4. ОБЩЕГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА НАБЛЮДЕНИЙ И КОНТРОЛЯ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Основные задачи Общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязнением объектов природной среды (ОГСНК) — систематическое получение как отдельных, так и обобщенных во времени и пространстве данных о качестве воды для обеспечения центральных и местных административных органов, а также заинтересованных систематической информацией и прогнозами о качестве воды организаций.

Контроль качества поверхностных вод проводится в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07–82, устанавливающим единые требования к построению сети контроля, проведению наблюдений и обработке получаемых данных.

При организации контроля основываются на следующих принципах: систематичность, комплексность наблюдений в согласованные сроки (при одинаковых гидрологических ситуациях), определение показателей качества воды едиными методами. Соблюдения этих принципов добиваются установлением общих программ контроля (по химическим, физическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям) и одинаковой периодичности проведения контроля. Анализы проб воды выполняются по единым методикам, обеспечивающим необходимую точность проведения работ.

При формировании сети пунктов контроля качества поверхностных вод первый этап организации работ — выбор местоположения пунктов контроля. Под пунктом контроля качества поверхностных вод понимается место на воде или водотоке, в котором производят комплекс работ для получения данных о качестве воды. Пункты контроля организуют в первую очередь на водоемах и водотоках, имеющих большое хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. На водотоках и водоемах, не загрязняемых сточными водами, создаются пункты для фоновых наблюдений.

Пункты контроля назначают, учитывая использование водоема или водотока для нужд хозяйства в настоящее время и перспективные планы развития. Анализируются сведения о водопользователях и водопотребителях (источники загрязнения вод, аварийные сбросы загрязняющих веществ), изучаются данные о режимах водотоков или водоемов (водных, ледовых, термических), физико-географические особенности.

Пункты контроля организуют в районах расположения городов и поселков, крупных промышленных предприятий, рудников, в местах организованного сброса сельскохозяйственных сточных вод и нереста рыбы; в предплотинных участках рек; в местах пересечения реками государственной границы РФ; в замыкающих створах средних и больших рек.

На водоемах с интенсивным водообменом расположение створов аналогично расположению их на водотоках: один створ устанавливают примерно на 1 км выше источника загрязнения (вне влияния сточных вод), остальные створы — ниже источника загрязнения (не менее двух, на расстоянии 0,5 км от сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности). Границу зоны загрязненности (части водо-

8.1. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ТЕЧЕНИЙ

ема, в которой нарушены нормы качества воды по одному или нескольким показателям), устанавливают по размерам максимальной зоны загрязненности, определенной расчетным путем и уточненной при проведении обследования водоема.

На водоемах с умеренным и замедленным водообменами один створ устанавливают в части водоема, не подверженной загрязнению, другой — совмещают со створом сброса сточных вод, остальные (не менее двух) располагают по обе стороны на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязненности.

Количество горизонтов на вертикали определяется глубиной водоема или водотока в месте измерения: при глубине до 5 м устанавливается один горизонт (у поверхности льда зимой), при глубине от 5 до 10 м — два (у поверхности и в 0,5 м от дна), а при глубине более 10 м — три (дополнительно промежуточный, расположенный на половине глубины). На глубоких водоемах горизонты устанавливаются у поверхности, на глубине 10; 20; 50 и 100 м и у дна.

Пункты контроля подразделяются на 4 категории, определяющие периодичность проверки качества вод и программу контроля. Категорию пункта устанавливают с учетом следующих факторов: хозяйственного значения водного объекта, качества воды, размера и объема водоема, размера и водности водотока и др.

Контроль категории по гидробиологическим показателям рекомендуется проводить ежемесячно (по сокращенной программе) и ежеквартально (по полной программе). При этом ежемесячный контроль категории по сокращенной программе проводится только в вегетационный период.

Перечень загрязняющих веществ, характерных для воды данного пункта контроля, которые должны проверяться по сокращенным программам, составляется на основании данных о составе сбрасываемых в районе пункта контроля сточных вод и предварительных обследований водного объекта. Перечень уточняется по результатам обследований участка водного объекта, и составляется программа работ в пункте (периодичность и сроки проведения контроля).

Обследования следует проводить в сроки, связанные с основными фазами водного режима для условий минимального и максимального расходов: на водотоках — в половодье, зимнюю и летнюю межень (т.е. при самом низком уровне воды); на водоемах с умеренным и замедленным водообменами — в летнее время или осенью до начала дождей; на водоемах с интенсивным водообменом — весной в период максимального притока и в летне-осенние месяцы при минимальных уровнях воды; на водоемах при наиболее низких уровнях — во время ледостава.

Изучение направлений течения нужно при строительстве мостов, гидротехнических сооружений, проведении выправительных работ в руслах. Направления скорости течения измеряются в поверхностных и глубинных слоях воды.

С помощью поверхностных поплавков можно определять направления поверхностных течений. Способ работ, в принципе, похож на определение направления гидрометрического створа (см. п. 5.2). Количество поплавков должно быть больше — 15–30.

Для измерения направления течений на любой глубине используют специальную гидрометрическую вертушку, к которой присоединен потенциометрический дистанционный компас. Магнитная стрелка компаса устанавливается по направлению магнитного меридиана. Именуемая в компасе потенциометрическая система позволяет следить за положением прибора относительно магнитного меридиана. При отсутствии волнения скорость измеряется с погрешностью 2–3 см/с, а направление течения 5–10°.

Измерения направления течения можно делать также с помощью морской вертушки при глубине более 2 м. У вертушки имеется компасная коробка, разделенная на 36 секторов. Направление течения определяется по бронзовым шарикам, падающим в разные секторы в зависимости от направления течения. Азимут направления течения отсчитывается от северного конца стрелки.

Бифилярные подвесы представляют собой разновидность флюгера, приспособленного для работы на тросе. С их помощью можно определить направление течения на любой глубине

8.2. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВОЛНЕНИЕМ

Для оценки волнового режима водоема на специальных волномерных постах ведутся береговые наблюдения.

При выборе места организации поста стремятся к выполнению следующих условий: участок должен быть открыт ветрам основных направлений, находиться вдали от мест, о которые могут разбиваться волны (островки, отмели) и от участков отвесного берега (глубина должна плавно увеличиваться от берега).

Состояние поверхности моря или водохранилища характеризуется по девятибалльной шкале (от гладкой поверхности — 0 баллов до

9 баллов при самых высоких волнах высотой 11 м и больше) и оценивается визуально по стандартной шкале.

С помощью волномерных установок получают значения элементов волн: высоту, длину, период и направление. Наблюдения проводят в 03, 09, 15 и 21 час. Наблюдательные пункты оборудуют устройствами для измерения направления и скорости ветра.

Наблюдения за элементами волн могут быть выполнены с помощью водомерных реек и вех.

Волномерные рейки — это приспособления для измерения высоты и периода волн на сравнительно неглубоких участках водоема. Они устанавливаются вертикально (либо на свае, либо без) с таким расчетом, чтобы возвышаться над водой на высоту не меньшую, чем возможная высота возникающих в этом районе волн. Рейки круглого сечения размечены делениями по 10 см яркими красками. Волномерные электрические рейки оборудованы записывающими устройствами. Они градуированы и снабжены электрическими датчиками. При погружении датчиков в набегающую волну изменяется электрическое сопротивление обмотки на рейке, которое фиксируется на самопишущем приборе. При глубинах 10–12 м устанавливают *волномерные вехи*, представляющие собой металлическую трубу (шест), на которую навинчен металлический бак-поплавок. Веха с помощью троса, проходящего внутри трубы, крепится к якорю. В верхней части трубы имеется зажим для троса, что позволяет перемещать плавающую веху в вертикальном направлении. Если она отклонилась от вертикального положения, следует укоротить рабочую длину троса. Веха раскрашена полосами различного цвета высотой 20 см. Она устанавливается вблизи водомерного поста в 100–200 м от берега, желательно над ровной поверхностью затопленной водохранилищем поймы речной долины.

Перспектометр-волномер — оптический прибор дистанционного измерения волн, имеет тот же принцип работы, как у оптического артиллерийского дальномера. С его помощью наблюдения проводятся с берега. Прибор устанавливают на опорную часть геодезического инструмента в горизонтальном положении. В поле прибора имеется специальная сетка, имеющая две шкалы: дальности и высот. Для определения высот волн на якоре в поле зрения перспектометра устанавливают волномерный буюк, с которым совмещается шкала высот волн. Определяется число делений, соответствующих максимальному вертикальному перемещению буйка при прохождении пяти наиболее высоких волн, по которым находят среднее значение.

Наблюдения за волнением проводят также вдали от берегов. *Волномерный буй* — электрический дистанционный прибор для

измерения волн в открытом водоеме. Сигналы о высоте волн передаются на записывающие устройства, установленные на судне по кабелю. Записываются сигналы, генерируемые специальной вертушкой, подвешенной к плавающему на поверхности бую. Прибор фиксирует интегральную вертикальную амплитуду колебания поверхности воды при волнении. Недостаток прибора — его дрейф вместе с судном. Возможен запуск и свободноплавающих волномерных буюев, на них могут быть оборудованы самописцы и передающие радиоустройства. Сигналы таких буюев принимаются на специально оборудованных береговых станциях. Для установления давления волн на преграду в волноломе или в преграде, на которой собираются оценить давление волн, устанавливают специальные динамометры, заранее тарированные на возможные давления. Динамометры соединены с записывающими устройствами. Запись может проводиться как электрическими, так и механическими самописцами.

Акселерометр — прибор для измерения ускорения эталонной массы, возникающего под действием внешних сил. В навигации и океанографии акселерометр используется для измерения воздействия волнения на судно. По записям прибора можно определить тип волнения и его интенсивность.

Для детального изучения элементов волн применяется стереосъемка как наземная, так и аэрофотосъемка.

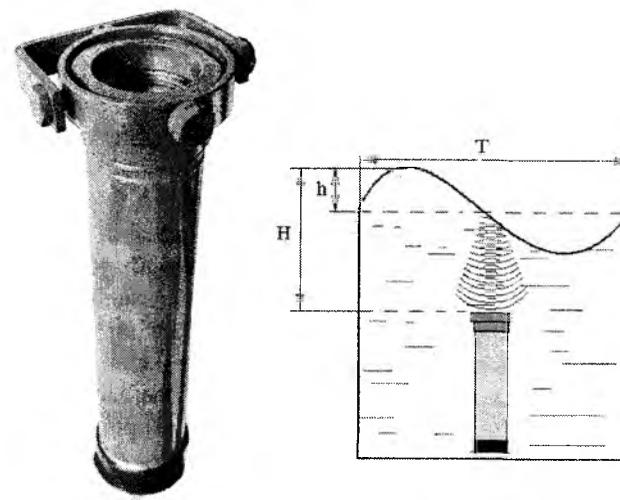


Рис. 47. Измеритель параметров волн

Измеритель параметров волн (ИПВ) (рис. 47) предназначен для определения высоты и периода поверхностных волн и устанавливается при глубинах до 50 м. Прибор работает по принципу «обратного эхолота», измеряет текущее расстояние от точки установки до поверхности воды по времени прихода отраженного акустического сигнала и входит в состав морской прибрежной станции «Бриз-1». Прибор можно использовать в качестве эхолота.

8.3. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЛЕДОВЫМ РЕЖИМОМ

Наблюдения за ледовыми явлениями на реках проводят на гидрологических станциях и постах с целью освещения ледовой обстановки на участках рек (длина участка зависит от ширины реки и может составлять от 0,2 до 2 км).

Наблюдения ведутся за ледовой обстановкой, условиями образования и разрушения льда; ростом толщины ледяного покрова и ледовыми явлениями в период ледостава; образованием внутриводного льда и шуги.

Наблюдения ведут в течение всего зимнего периода ежедневно или один раз в 3–5 дней в зависимости от характера развития ледовой обстановки.

К стандартным относятся следующие наблюдения: за сроками появления льда и установления ледостава, вскрытия и очищения акватории от льда, за видами ледяных образований и ледовыми явлениями, за степенью покрытия акватории льдом в периоды замерзания и очищения от льда, за ледоходом или дрейфом льда, за толщиной льда и снежным покровом на льду.

К специальным относят наблюдения за ледовыми явлениями на акваториях крупных водоемов (маршрутные обследования с картированием ледовой обстановки или авианаблюдения), наблюдения за условиями образования зажоров и заторов и др.

Измерения толщины льда, снега на льду и подледной шуги производят 10-, 20-го числа и в последний день месяца. Особое внимание обращают на явления, которые могут значительно изменить естественный ход уровня. К их числу в первую очередь относят зажоры и заторы; необходимо установить место и время их возникновения и причины образования. Наблюдения за ледовой обстановкой осенью и весной проводят на участке поста в течение суток. В осенний период отмечают появление сала, шуги, заберегов, осеннего ледохода, зажоров. В период ледостава дополнительно к измерениям толщины льда отмечают появление полыней, трещин, наледей, в весенний период — закраин, подвижки льда, ледоход (густоту, размеры льдин, расход льда), места образования заторов и наледей.

Наблюдения за ледовыми явлениями на озерах и водохранилищах ведутся на озерных станциях, постах и специальных ледемерных пунктах с целью получения многолетних систематических данных о ледовых условиях. Определение ледовой обстановки на всей акватории больших и средних водоемов с картированием наблюдающихся ледовых явлений и ледяных образований выполняется путем маршрутных обследований.

Наблюдения производятся в ряде пунктов, расположенных по маршруту, и включают комплекс визуальных и простейших инструментальных определений (тех самых, которые выполняются в постоянных пунктах). Такие обследования проводятся главным образом в период замерзания и вскрытия; частота их, которая в предельном случае может быть такой же, как при картировании в отдельных пунктах (один раз в 3–5 дней), зависит от изменчивости ледовой обстановки, размеров водоема и технических возможностей озерной станции.

На крупных судоходных реках и на озерах проводят авианаблюдения за ледовой обстановкой, включающие облет всей акватории водоема с визуальным картированием, а на некоторых участках при необходимости также применяют аэрофотосъемку. Авианаблюдения выполняются в период замерзания и вскрытия на крупнейших водоемах, а также на более мелких озерах и водохранилищах, где данные о ледовой обстановке необходимы для оперативного гидрометеорологического обеспечения запросов народного хозяйства. Наибольшая частота авианаблюдений один раз в сутки, наименьшая — 1–2 раза в период замерзания (вскрытия). Наблюдения за состоянием ледяного покрова и распределением толщины льда по акватории водоема (ледемерная съемка) производятся в ряде точек, равномерно распределенных по акватории водоема. Они включают: измерение толщины снега на льду и льда (с выделением погруженного льда), определение его вида строения и структуры. За период ледостава выполняют обычно две ледемерные съемки: в начале и конце ледостава. При проведении ледемерных съемок на реках на изучаемом участке назначают пять профилей, в каждом не менее семи точек. При обработке съемки на профиль наносят все измерения и получают план ледемерной съемки.

8.4. ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СНЕГА НА ЛЬДУ, ЛЬДА И ШУГИ

Толщину снежного покрова на льду измеряют снегомерной рейкой около места пробивания лунки в четырех точках.

Для определения толщины льда в намеченных точках сверлят ледовым буром или пробивают лунки. Для замеров толщины льда применяется специальная *ледомерная рейка* (рис. 48). Рейка имеет укосину, чтобы толщину льда измерять ею не у края лунки, где происходит замерзание, а в некотором удалении от него. Нуль рейки наносится на уровне среза *A* укосины. Отсчет толщины льда делается по низу поперечного бруска *C*.

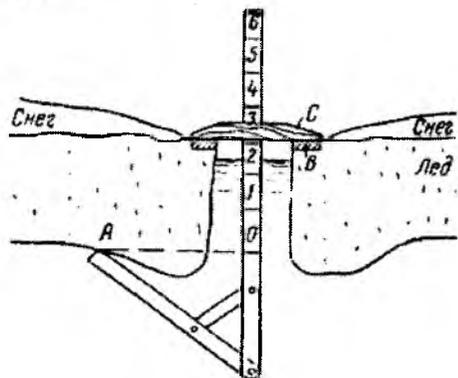


Рис. 48. Ледомерная рейка с подкосом

Для определения слоя шуги применяют специальные шугомерные рейки, представляющие собой шест длиной 4–5 м, размеченный дециметровыми делениями, с двумя приваренными под прямым углом к его концу стержнями (рогатульками). При подъеме рейки вверх рогатульки, достигнув слоя шуги, испытывают некоторое сопротивление, что и определяет нижнюю границу шуги.

Границу шуги можно определить с помощью штанги, на которой укреплен датчик, по

изменению звука, поступающего в наушники при вертикальных перемещениях штанги.

Шугобатометр (ГР-3М) предназначен для взятия проб шуги с целью установления толщины ее слоя и плотности. Он представляет собой емкость квадратного сечения (10×10 см) длиной 50 см с деревянной рукояткой. Нижняя часть имеет заостренные режущие кромки. С обоих концов имеются откидные дверцы: нижние удерживают шугу от выпадения при подъеме прибора, а верхние при взятии пробы. Вода, взятая вместе с шугой при взятии пробы, выливается через отверстия в боковых стенках и нижней дверце. Толщину слоя определяют по рейке, а шугу взвешивают. Пробы шуги (по пять проб) берут на 4–6 вертикалях. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение.

Лекция 9 ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

9.1. КОСМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Различные задачи по изучению водных ресурсов и оценке состояния речных и озерных водосборов могут быть успешно решены с помощью спутниковых систем сбора и запоминания информации с автоматизированной наземной сети дистанционных работающих автономно датчиков и доставки ее в гидрометеорологические центры, так называемых средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Космические средства дистанционного зондирования базируются на аэрометодах. Средства дистанционного зондирования должны дополнять традиционные методы наблюдений за гидрологическим режимом рек, озер и водосборных площадей.

Возможности ДЗЗ теперь существенно возросли, и они обеспечивают адекватное освещение разнообразных характеристик водных ресурсов суши. С орбиты по радиоканалам передается съемочная изобразительная информация космического фотографирования.

Для повышения эффективности результатов гидрологических исследований нужны современные физико-математические модели гидрологических явлений и процессов, в разработке которых большую роль играют географические информационные системы (ГИС), требуется совместное применение спутниковых, самолетных, наземных данных и различных видов карт.

Наиболее доступные и перспективные направления использования космической съемки: оценка ледового режима озер, определение снегозапасов на горных водосборах, мониторинг наводнений на поймах больших рек, оценка зон техногенного загрязнения на речных водосборах (по снимкам картографированы хронически загрязняемые площади вокруг городов для всех водосборов рек России).

Совершенствование методов дешифрирования и обработки исходных спутниковых данных позволит уменьшить значительные погрешности определения гидрологических параметров.

9.2. АВИАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

Аэрометоды в гидрологии используются для получения количественных характеристик водных объектов (измерения глубин, скоростей, направления течений и расходов воды), картографирования ледовой

обстановки, изучения волнения и русловых деформаций, наблюдений за снеготаянием в бассейнах рек и загрязненности водной поверхности.

Аэрофотосъемка бывает цветной (в цветах, близких натуральным); спектральной (в узком диапазоне волн видимого спектра (в условных цветах)); инфракрасной (в коротковолновой части инфракрасного спектра); тепловой (метод регистрации профиля — температурного разреза) и радиолокационной (для измерения толщины льда).

Дешифрирование выполняется с помощью оптических приборов, оно может быть монокулярным (с помощью лупы) и стереоскопическим, когда используют стереопары, которые рассматривают с помощью стереоскопических приборов.

При изучении русловых переформирований используют одновременные снимки, которые позволяют анализировать развитие руслового процесса. Сравнение аэрофотоснимков за ряд лет позволяет изучать русловой процесс во времени.

В малообжитой и труднодоступной местности гидрометрические работы могут проводиться с использованием авиации (самолетов, вертолетов).

Измерения глубин аэрометодами проводят при невозможности проведения промеров глубин наземными способами. Для измерения площади живого сечения применяют буйковые системы, состоящие из якоря и двух буюв, соединенных с якорем нитями разной длины. Буйковые системы сбрасывают с самолета по линии створа, после чего производят аэрофотосъемку реки. По полученным снимкам определяют положение буюв и расстояние a между буюями каждой буйковой системы (рис. 49). По этим расстояниям и известным длинам нитей l_1 и l_2 из геометрических соотношений получают глубины реки h в местах нахождения якорей буйковых систем. По этим данным можно вычертить поперечный профиль и вычислить площадь живого сечения.

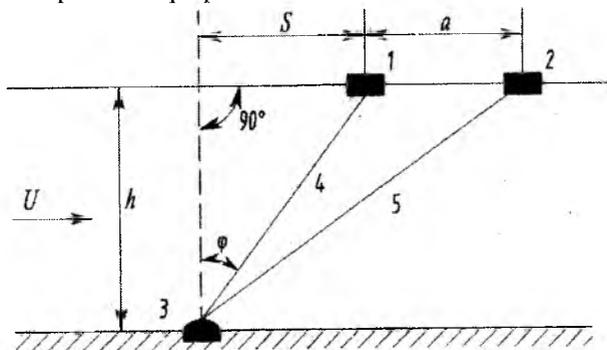


Рис. 49. Схема буйковой системы в потоке:
1, 2 — буюи; 3 — якорь; 4, 5 — тросы; a — расстояние между буюями

Измерения глубины можно проводить с помощью лазера, установленного на самолете. Пучок лучей зеленого света посылается вниз в направлении реки, часть лучей отражается от водной поверхности, а часть от дна. Глубина воды определяется по разности времени между двумя отражениями.

Измерения *поверхностных скоростей* проводят, измеряя смещения мелких плавущих объектов (специально пущенных поплавков или предметов с минимальной парусностью), которые запускают в реку или сбрасывают с самолета (вертолета). Способ одиночных снимков заключается в аэрофотосъемке участка реки с плавущими поплавками при двух последовательных залетах самолета с регистрацией времени съемки. Снимки приводят к одному масштабу с помощью имеющихся на местности опорных точек. Поверхностная скорость течения определяется по формуле:

$$V_{\text{пов}} = \frac{(x' - x)H_{\text{п}}}{\Delta t f_{\text{к}}}, \quad (9.1)$$

где $x' - x$ — смещение поплавков за время Δt ; $H_{\text{п}}$ — высота полета (измеряют радиовысотомером); $f_{\text{к}}$ — фокусное расстояние фотоаппарата.

При стереоскопическом способе делают два частично перекрывающихся снимка с самолета, летящего параллельно продольной оси участка реки. Кроме поплавков фиксируются береговые ориентиры. При рассмотрении двух последовательных снимков в стереоскоп смещения поплавков вызовут стереоэффект.

Точность определения скорости в стереоскопическом методе выше и составляет 0,05 м/с.

При желании с помощью аэрофотосъемки достаточно просто получить плановую картину распределения скоростей в реке.

Определение расходов основано на поплавочных измерениях и может осуществляться тремя способами: 1) путем авиационного измерения поверхностных скоростей и промера глубин наземными средствами; 2) путем авиационных измерений как поверхностных скоростей, так и глубин (с применением буйковых систем); 3) путем измерения с самолета расходов воды на вертикалях (удельных расходов) интеграционными поплавками, всплывающими со дна (без промеров глубин).

Поверхностные скорости течения для измерения расходов воды определяют с помощью 8–10 плавущих поплавков, сбрасываемых с самолета немного выше створа. Аэрофотосъемка реки с поплавками производится одиночными снимками при двух залетах с некоторым интервалом. На снимках должны быть видны оба берега, створные знаки и ориентиры, привязанные к геодезической сети. Полученные снимки приво-

10.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПУНКТОВ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В настоящее время в Российской Федерации получила дальнейшее развитие Комплексная система гидрологических наблюдений (КСГН), в которой предусмотрена модернизация и техническое перевооружение существующей системы на основе современных дистанционно-автоматизированных методов и средств измерений.

Все пункты гидрологических наблюдений делятся на автономные автоматические гидрологические пункты (ААГП), на которых не предусмотрено наличие наблюдателя, автоматические гидрологические пункты (АГП), которые могут работать сезонно с наблюдателем, и постоянно действующие гидрологические пункты (ГП), на которых предусмотрено постоянное наличие наблюдателя.

Все пункты гидрологических наблюдений оборудуются индивидуально техническими средствами в зависимости от уровня автоматизации наблюдений (ААГП, АГП или ГП), необходимых измеряемых гидрологических характеристик (программы наблюдений), возможностей связи и энергообеспечения.

При выборе технических средств для гидрологического поста учитывают морфометрические характеристики гидрометрического створа, гидрологический режим водного объекта.

Для разных видов пунктов гидрологических наблюдений разработаны типовые комплекты, которые обеспечивают выполнение полного комплекса гидрологических наблюдений.

Стационарное оборудование гидрологических пунктов (ГП) для выполнения гидрометрических работ состоит из: гидрометрической установки, комплекта энергообеспечения для обеспечения автономной работы ГП или комплекта гидрологического оборудования, которое обеспечивает измерения гидрологических характеристик, выполняемых вручную наблюдателем. Должно иметься оборудование для выполнения высотной привязки, транспортные и плавсредства, а также должна быть предусмотрена защита от вандализма.

10.2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Автоматизированные гидрологические комплексы (АГК) (рис. 51) устанавливаются на берегу реки в железной будке и являются частью

дуют к одному масштабу. Для вычисления расхода воды определяют проекции поверхностных скоростей на нормаль к гидроствору. Из конечных точек векторов проводят линии перпендикулярно створу (рис. 50). В каждом полученном таким образом треугольнике определяют длину катета, перпендикулярного створу. Разделив полученную величину на продолжительность интервала времени между снимками, получают значение поверхностной скорости течения по нормали к гидроствору. Положения скоростных вертикалей находят, проектируя на линию створа точки, лежащие на серединах векторов поплавков.

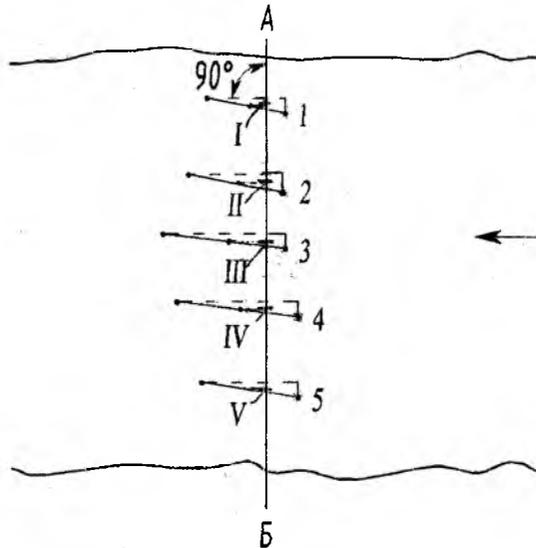


Рис. 50. Графическое построение для определения поверхностных скоростей течения:
1–5 — поплавки; I–V — скоростные вертикали;
АВ — линия створа

По площади живого сечения и поверхностным скоростям вычисляют фиктивный расход воды. Для получения действительного расхода вводят поправку (переходный коэффициент K_1). Таким образом,

$$Q = Q_{\text{ф}} K_1, \quad (9.2)$$

где Q — действительный расход воды; $Q_{\text{ф}}$ — фиктивный расход воды; K_1 — коэффициент, значение которого определяется опытным путем, по таблицам или формулам.

ААГП. Датчик уровня находится в реке. В будке имеется контроллер для сбора данных, модем для их передачи и аккумулятор.

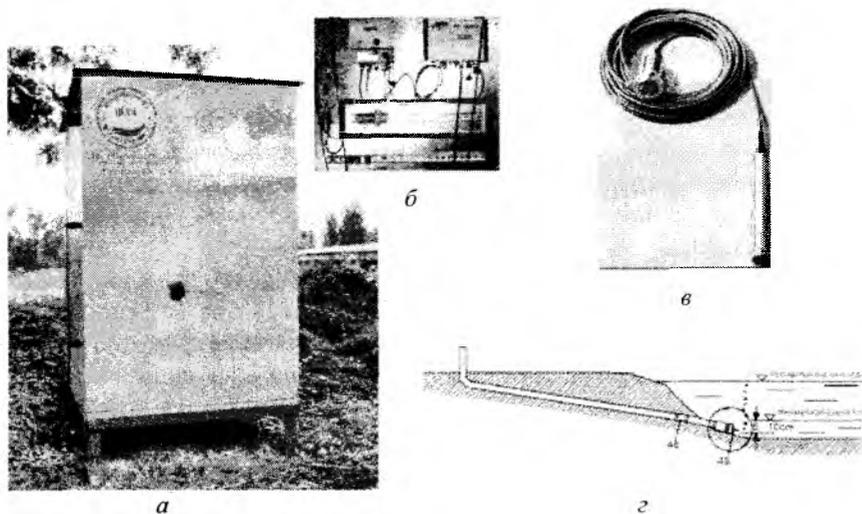


Рис. 51. Автоматический гидрологический комплекс (АГК):
 а — железная будка; б — модем и контроллер внутри будки;
 в — гидростатический датчик; з — барботажный датчик

Автономный гидрологический комплекс (АГК) служит для: измерения уровня воды, ее температуры, количества жидких осадков; сбора с заданной периодичностью результатов измерений и передачи их в центр сбора данных, а также передачи тревожных сообщений (SMS) в случае вскрытия блока АГК; отслеживания ледовой ситуации.

Комплекс состоит из уровнемера, фоторегистратора, осадкомерного комплекса, комплектов связи и энергообеспечения.

Электропитание АГК осуществляется от аккумуляторной батареи или от панели солнечных элементов.

Комплексы производят наблюдения за характеристиками водного объекта и ледовой обстановкой фотографированием объекта в дневное время суток (с 8 ч до 20 ч местного времени). Фотографии передаются встроенным GSM модемом. Автоматизированные гидрологические комплексы регистрируют превышение заданных пределов измеряемого уровня водного потока. После достижения опасного уровня воды измерения можно проводить чаще. Данные могут передаваться по нескольким адресам, например, в службу сбора данных, в МЧС и местной администрации.

10.3. УРОВНЕМЕРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Принцип действия уровнемеров, используемых в АГК, изложен выше (лекция 2). Ниже указаны особенности их использования и установки.

Гидростатический уровнемер (см. рис. 51, в) устанавливается при создании новых автоматизированных пунктов наблюдения или при переоборудовании существующих гидрологических постов, имеющих павильоны с гидрометрическими колодцами.

Датчик гидростатического уровнемера, находящийся в реке, защищается от воздействий плавущих предметов. Высота размещения датчика над нулем поста должна обеспечивать измерение уровней воды во всем диапазоне возможных значений, он располагается в незамерзающей части потока ниже отметки границы льда при ледоставе при минимальном уровне воды.

Барботажный уровнемер (см. рис. 51, з) также устанавливают на новых автоматизированных пунктах наблюдения или при переоборудовании гидрологических постов на реках с высокой мутностью и сильным заиливанием, при отсутствии гидрометрических колодцев. Их установка предпочтительна, когда невозможно размещение длинных кабелей для гидростатических датчиков и защита от перенапряжения (в местах сильной грозовой активности).

Уровень устанавливается в защитном контейнере (или на мачте) на берегу и соединяется с рекой с помощью барботажной трубки, имеющей оголовок пузырьковой камеры, который необходимо защищать от воздействий плавущих предметов. Пузырьковую камеру располагают в воде на такой глубине, чтобы измерять уровни воды во всем диапазоне их изменения в том числе и при ледоставе.

Датчик температуры выполняет измерения температуры воды при использовании барботажного датчика уровня воды, его устанавливают вместе с оголовком пузырьковой камеры барботажного уровнемера.

Радарный уровнемер устанавливают на незамерзающих реках или при неустойчивом ледовом покрове, так как он может работать только в период открытого русла. Он крепится на консоли, на мостах или гидротехнических сооружениях выше уровня воды 1 % обеспеченности на 0,5 м.

Радарный уровнемер можно устанавливать на горных реках и в случаях размываемого берега, где сложно строить береговые сооружения, а также в местах возможного повреждения берегового оборудования плавущими предметами при паводках.

Поплавковый уровнемер, как правило, выбирают при: 1) переоборудовании действующих гидрологических постов и замене устаревших самописцев уровня воды; 2) наличии гидрометрического колодца с павильоном и устойчивого электрического питания.

Диапазон изменения уровней описанных устройств составляет от 0 до 10 м и более, погрешность 0,1 % или менее 1 см. Уровнемеры, изготавливаемые в Германии фирмой SEBA, требовательны к условиям эксплуатации.

10.4. КОНТРОЛЛЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Сбор информации с датчиков и ее передача в центральную службу данных наблюдений (ЦСДН) производится с помощью программируемых контроллеров. Сбор и передача информации об уровнях воды, осадках и температуре воды производится с заданным интервалом измерений с помощью встроенных средств связи (модем, антенна).

Работать с программным обеспечением можно с помощью проводного или беспроводного интерфейса (с использованием сотовой связи). Программное обеспечение позволяет получить доступ ко всем программируемым характеристикам, проводить их изменения, выполнять сбор данных и их контроль. Интервал измерений и передачи данных устанавливается в диапазоне от 5 мин до 24 ч. Оповещение осуществляется путем формирования и рассылки SMS и e-mail сообщений.

Контроллер обеспечивает оповещение по таким критериям, как наступление опасных явлений по осадкам или уровням воды (высокий или низкий), а также при разряде элементов питания; обеспечивает выполнение измерений и передачу информации в ЦСДН автоматически по расписанию с учетом режима наблюдений. Измерения и передача информации могут быть как в обычном режиме, так и в штормовом (при опасности возникновения наводнения). Интервал измерений изменяется соответственно от 1 ч до 10 мин, а интервал передачи от 1 раза в сутки до 1 часа.

10.5. МОБИЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ

Для ускорения и упрощения проведения полевых гидрологических работ служат мобильные гидрологические лаборатории (МГЛ), которые выполняют задачи обслуживания автономных автоматических гидрологических пунктов (ААГП), выполнения работ на автоматических гидрологических пунктах (АГП) и гидрологических пунктах наблюдений (ГПН) по необходимости.

Использование МГЛ позволяет быстро добираться до отдаленных гидрологических постов, проводить измерения расходов воды, их обрабатывать и передавать в центр сбора данных информацию. Это позволяет сократить время на принятие решения об ожидаемых наводнениях.

В состав лаборатории входит различное оборудование для: измерения расхода воды, высотной геодезической привязки, измерения гидрохимических характеристик воды. Предусмотрена возможность восстановления инженерного обеспечения постов. Все оборудование, а также средства жизнеобеспечения и связи размещаются в автомобиле УАЗ-Патриот. Имеется лодка с подвесным мотором.

С помощью комплекта измерения расхода воды, который входит в состав оборудования, можно оперативно и точно произвести измерения. Прибор для определения расхода воды, используемый в лаборатории, — это измеритель скорости потока немецкой фирмы ОТТ (рис. 52).

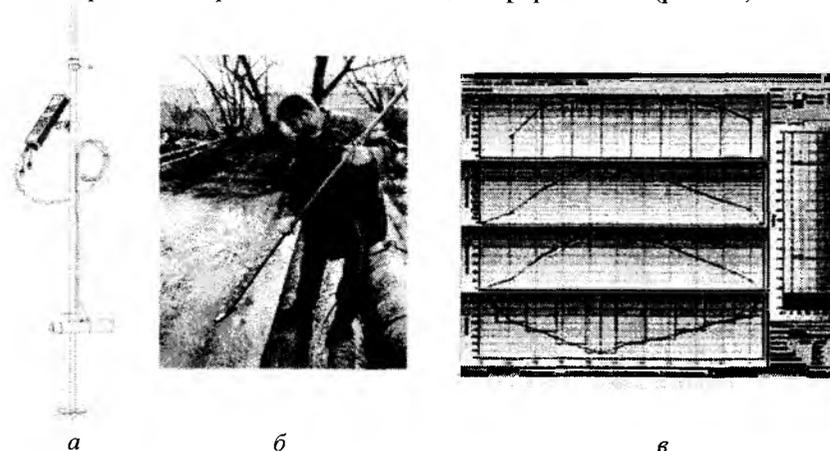


Рис. 52. Измерение расхода воды с помощью измерителя скорости потока ОТТ: а — измеритель; б — проведение измерений; в — результаты обработки на дисплее

Закрепленный на штанге датчик прибора позволяет определять расход воды стандартным методом по скоростям течения в точках на вертикалях. Кроме скорости течения прибор показывает глубину с помощью встроенного датчика давления.

С помощью измерителя скоростей ОТТ расход воды измеряется стандартным методом по скоростям, полученным точечным ультразвуковым методом (см. п. 4.1). Измерения производятся по программе. Для измерений в блок управления вводят информацию о ширине реки и расстоянии между вертикалями. После измерения глубины на вертикали делают измерения скорости (от дна к поверхности или наоборот): у дна, на половине глубины и у поверхности. Потом переходят на следующую вертикаль. После измерений прибор выдает значения расхода воды, площади водного сечения, средней скорости течения и средней глубины. Время определения расхода сокращается за счет автоматиза-

ции измерений. Этот прибор предназначен для работы на малых или заросших реках.

Для работ на средних и крупных реках применяют акустические профилографы, устройство и принцип действия которых рассмотрены в лекции 5.

Измерения расходов воды проводить несложно, они занимают не более 2 ч, в отличие от стандартного измерения вертушкой. Расхождение расходов воды, измеренных профилографом и вертушкой, составляет не более 5–7 %, что меньше погрешности измерений.

Профилограф “Rio Grande” (рис. 53) работает от обычного аккумулятора и подключается к ноутбуку. На ноутбуке установлено программное обеспечение, позволяющее управлять измерениями и получать данные в режиме реального времени. На мониторе компьютера отображаются глубины, скорости течения и расход воды в данный момент времени. Прибор определяет пройденное расстояние с помощью датчиков. В расчеты вводятся исправления, если измерения проводятся в створе, не строго перпендикулярном оси потока. Профилограф располагается на специальной плотике, который закрепляется за лодкой. Лодка медленно передвигается от одного берега к другому перпендикулярно оси потока. Скорость лодки не должна превышать скорость потока.

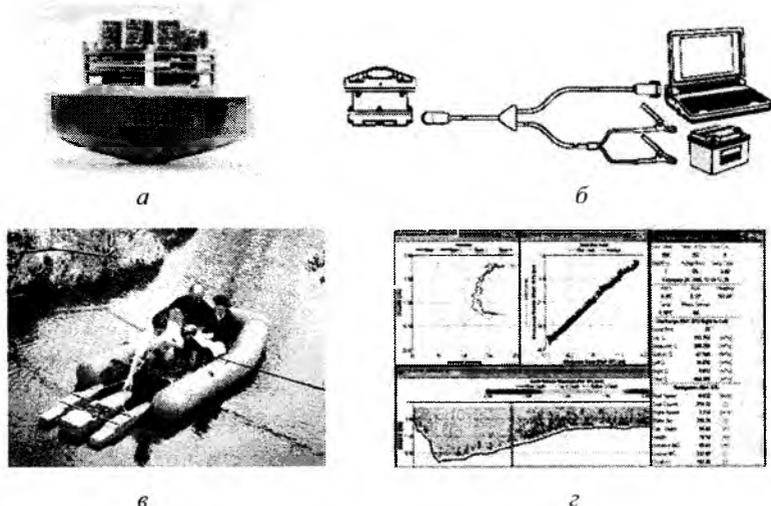


Рис. 53. Акустический доплеровский профилограф “Rio Grande”:
 а — профилограф; б — схема подключения;
 в — проведение измерений; г — вид дисплея с результатами

Скорость течения измеряется в ячейках, размер которых зависит от глубины потока и составляет в среднем 40×40 см. Проводить измерения

с такой детальностью с помощью гидromетрической вертушки почти невозможно.

Минимальная глубина, при которой профилограф начинает измерения, составляет 0,5 м. В тех частях профиля сечения, где измерения прибором невозможны, с помощью программы выполняется экстраполяция значений. Для мелкой реки зона экстраполяции может быть больше зоны измерений, что нежелательно, поэтому “Rio Grande” лучше в этом случае не использовать.

Измерения на небольших реках с глубинами до 4 м производят с помощью профилографа “Stream Pro” (рис. 54). Он также выдает результаты измерения расходов воды в режиме реального времени. Этот профилограф имеет более простое программное обеспечение и может работать не только с ноутбуком, но и с компактным персональным компьютером. Питание обеспечивают пальчиковые батарейки. Соединение с компьютером осуществляется по беспроводной связи. Установленный на плотике датчик прикрепляется к лодке, которая медленно движется поперек реки, и проводит измерения аналогично профилографу “Rio Grande”.

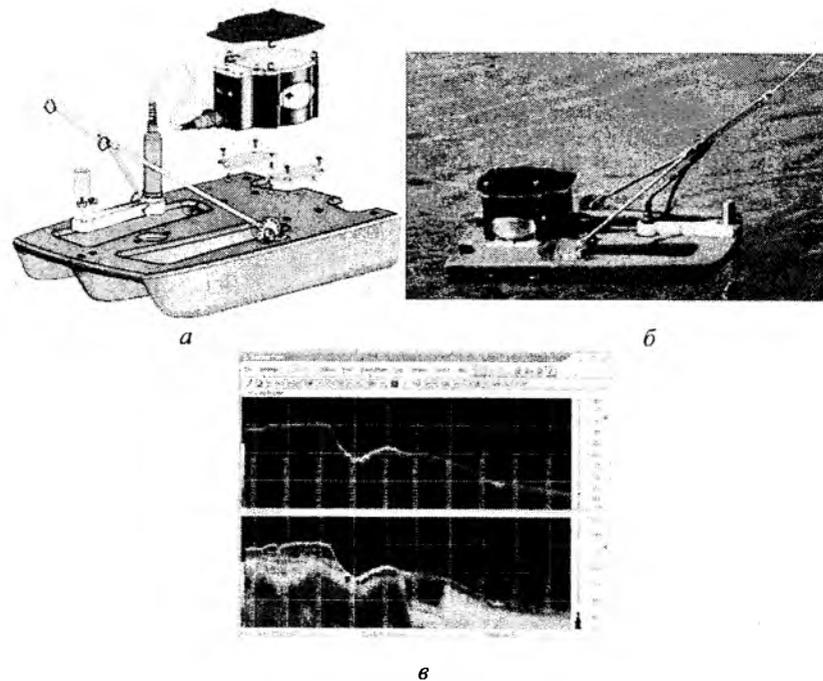


Рис. 54. Акустический доплеровский профилограф “Stream Pro”:
 а — в разобранном виде; б — во время измерений;
 в — профиль дна на экране дисплея

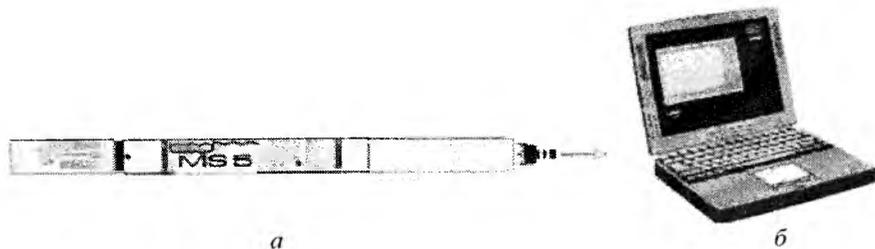


Рис. 55. Гидрохимический зонд “HYDROLAB MS5”:
а — прибор; б — дисплей

Мобильные лаборатории оборудуют современными геодезическими приборами для определения высотной привязки и координат на местности.

Специальный зонд “HYDROLAB MS5” (рис. 55) служит для определения гидрохимических характеристик пресных вод. Прибор представляет собой трубку длиной около метра, в которую заключены до восьми различных датчиков, например датчик температуры, датчик рН, датчик электропроводности датчик растворенного кислорода и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Александров Л.Н. Гидрометрия для гидротехнических специальностей. Ленинград : ЛПИ, 1980. 83 с.

Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. Изд. 4-е. Ленинград : Гидрометеоздат, 1977.

Гидрологические приборы и гидрометрические сооружения / под ред. Г.С. Клейна, И.Г. Шумкова. Ленинград : Гидрометеоздат, 1982.

ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.

ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения.

ГОСТ 19781–90. Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения.

ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.

ГОСТ Р 52769–2007. Вода. Методы определения цветности.

Железняков Г.В. Гидрология и гидрометрия. Москва : Высшая школа, 1981.

Железняков Г.В. Теоретические основы гидрометрии. Ленинград : Гидрометеоздат, 1968.

Карасев И.Ф., Шумков И.Г. Гидрометрия. Ленинград : Гидрометеоздат, 1985.

Константинов Н.М., Китов Е.И., Климешов В.И. Методические указания по проведению гидрометрической практики. Москва : МАДИ, 1982.

Константинов Н.М., Петров Н.А., Высоцкий Л.И. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. Ч. II. Москва : Высшая школа, 1987.

Луцкева А.А. Практическая гидрометрия. Ленинград : Гидрометеоздат, 1983.

МИ 1759–87. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость — площадь».

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. Ленинград : Гидрометеоздат, 1978.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 2. Ленинград : Гидрометеоздат, 1972.

Невский В.В., Копца Л.Н., Смирнов Ю.С. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. Москва : Транспорт, 1988.

Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока / под ред. Е.Е. Овчарова. Москва : Агропромиздат, 1988.

Разработка проектов методических рекомендаций по производству наблюдений с учетом переоснащения гидрологической сети Росгидромета. ГУ «ГГИ», 2009.

РД 52.08.767–2012. Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами “Stream Pro” и “Rio Grande”. Санкт-Петербург : ГГИ Росгидромета, 2013.

РД 52.08.163–88. Дополнение к Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках.

Ходзинская А.Г. Инженерная гидрология. Москва : АСВ, 2012.

Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Ленинград : Гидрометеоздат, 1964.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ
В ПОЛЕВОЙ ПЕРИОД
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

Работы на воде отличаются повышенной опасностью и требуют соблюдения особых правил безопасности. Основные общие правила следующие:

– Для предупреждения несчастных случаев наблюдатель и лица, производящие работы на гидростворе по измерению расхода воды, обязаны знать и строго руководствоваться Правилами производства работ и инструкцией по технике безопасности для данного гидрологического поста, учреждаемой директором ГМО или начальником гидрологической станции.

– Перед началом гидрометрических работ должно быть проверено техническое состояние оборудования гидрометрического створа, плавсредств, наличие и исправность спасательных средств, исправность гидрологических приборов. При использовании лодочных переправ на ездовых канатах необходимо применять специальные приспособления.

– Не умеющих плавать и грести к работам на воде не допускают; технический персонал должен уметь делать искусственное дыхание; к управлению плавсредствами допускают только лиц, имеющих соответствующие права; на них должны иметься спасательные средства по комплекту на каждого работника.

– При пользовании маломерными судами не допускается их перегрузка, превышение бортов над поверхностью воды должно быть больше 20 см.

– Якорь крепят на канате, который при необходимости может быть легко обрублен, его длина должна быть не менее двукратной глубины реки.

– Запрещается зачаливаться за мосты, движущиеся суда, плоты или обстановочные знаки на воде, подходить к близко идущим судам и пересекать их курс, пересаживаться на плаву с лодки на лодку, садиться на борта.

– Натягивание каната (троса) через судоходную реку или канал для производства промерных и гидрометрических работ производится только с разрешения судоходного надзора, с которым этот вопрос должен быть предварительно согласован в письменной форме. При натягивании каната должна быть предусмотрена возможность его быстрого спуска и подъема для пропуска судов или плотов. На судоходных и

сплавных реках в часы, когда работы на створе не производятся, а также ночью, при плохой видимости во время густого тумана или сильного дождя, канат должен быть убран.

– Оборудование для натяжения каната (ворота, лебедки, крепления) и сам канат должны быть вполне надежны. Надежность каната определяется путем тщательного его просмотра и предельной нагрузкой на разрыв, определенной для каждого типа и сечения. Для гидростворов рекомендуется применять стальные канаты определенного типа диаметром от 4 до 10 мм. Крепость металлического троса — его способность выдерживать определенную нагрузку. Различают два вида крепости: рабочую и разрывную. Рабочая крепость определяется натяжением, которое трос или канат выдерживает в течение продолжительного времени. Разрывная крепость определяется натяжением, при котором трос или канат разрывается. Рабочую крепость можно вычислить по формуле $p = kc^2$, где k — коэффициент, определяемый в зависимости от материала; c — длина окружности троса. Оба вида крепости регламентируются.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
Лекция 1. Гидрометрические наблюдения и их задачи	4
1.1. Задачи гидрометрии	4
1.2. Организация гидрометрических наблюдений в Российской Федерации	4
1.3. Гидрометрические изыскания	8
Лекция 2. Наблюдения за уровнями воды	9
2.1. Уровень воды	9
2.2. Место расположения водомерного поста	10
2.3. Типы водомерных постов	10
2.4. Самописцы уровня воды	13
2.5. Датчики и измерительные системы	14
2.6. Кривые повторяемости и продолжительности уровня	17
2.7. Уклонные посты	18
2.8. Связь уровней водомерных постов	19
Лекция 3. Измерение глубин	20
3.1. Промерные работы	20
3.2. Работа с эхолотом	23
3.3. Обработка результатов промеров глубин	25
Лекция 4. Измерение скорости течения речного потока	27
4.1. Методы измерения скоростей течения	27
4.2. Метод определения скорости с помощью гидрометрических поплавков	30
4.3. Определение скорости гидрометрической вертушкой	32
Лекция 5. Измерение расхода воды в реках	35
5.1. Способы определения расхода воды	35
5.2. Разбивка гидрометрического створа	36
5.3. Оборудование гидрометрического створа	37
5.4. Определение расходов воды	39
5.5. Анализ расходов воды, измеренных детальным способом, с целью выяснения возможности перехода на основной способ измерения	41
5.6. Определение расхода воды с помощью поплавков	42
5.7. Измерение расходов воды гидравлическим способом и с помощью водосливов	45
5.8. Определение расхода воды методом смещения	46
5.9. Определение расходов воды с помощью профилографов “Stream Pro” и “Rio Grande”	47
5.10. Зависимость между расходами и уровнями воды	49
Лекция 6. Изучение твердого стока и донных отложений	52
6.1. Приборы для взятия проб воды и взвешенных наносов	52
6.2. Измерение расхода и стока взвешенных наносов	53
6.3. Вычисление расхода и стока взвешенных наносов	54
6.4. Определение расхода влекомых (донных) наносов	57
6.5. Приборы для взятия проб донных отложений	59
6.6. Обработка проб наносов	62
6.7. Определение гранулометрического состава наносов	63
Лекция 7. Наблюдения за физическими и химическими свойствами воды рек	66
7.1. Наблюдения за физическими свойствами воды	66
7.2. Химический состав природных вод	67
7.3. Приборы для взятия проб воды на химический анализ	69
7.4. Общегосударственная служба наблюдений и контроля за загрязнением объектов природной среды	70
Лекция 8. Специальные исследования и наблюдения	73
8.1. Измерение направлений течений	73
8.2. Наблюдения за волнением	73
8.3. Наблюдения за ледовым режимом	76
8.4. Измерение толщины снега на льду, льда и шуги	78
Лекция 9. Применение аэрокосмических методов в гидрологических исследованиях	79
9.1. Космические средства дистанционного зондирования Земли	79
9.2. Авиационные способы проведения гидрометрических работ	79
Лекция 10. Автоматизация гидрологической сети	83
10.1. Классификация и оборудование пунктов гидрологических наблюдений	83
10.2. Автоматизированный гидрологический комплекс	83
10.3. Уровнемеры, используемые в автоматизированном гидрологическом комплексе	85
10.4. Контроллер автоматизированного гидрологического комплекса	86
10.5. Мобильные гидрологические лаборатории	86
Библиографический список	90
Приложение. Основные правила техники безопасности в полевой период при проведении гидрометрических работ	92