рядовой Шедауров.

А. М. ГАВРИЛОВ и З. П. БОГОМАЗОВА

60

Проверено
19 г.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ГИДРОЛОГИЯ

(для практиков и гидрометнаблюдателей)

12833 БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1948

АННОТАЦИЯ

В книге популярно изложены основные гидрологические понятия, краткие сведения о производстве гидрологических наблюдений и основные сведения о применении гидрологических знаний в важнейших областях водного хозяйства: при постройке гидростанций, устройстве водоснабжения и мелиорации земель.

Книга рассчитана прежде всего на работников водного хозяйства на местах — колхозно-совхозный актив, работников районных центров, техников-практиков и начинающих специалистов-гидротехников. Вместе с тем книга может служить пособием каждому, желающему ознакомиться с основами гидрологии и ее ролью в водном хозяйстве.

Редактор *Д. А. Данович.* Технич. редактор *Л. Б. Кононова.*
Обложка художника *В. И. Блок.*

Сдано в набор 3/IV 1948 г. Подписано к печати 23/VI 1948 г.
Изд. № 107. Индекс Г-Л-107. Бумага $62 \times 93^1/_{16}$ Зн. в 1 печ. л. 54 000.
Печ. л. $6^5/_8$. Уч.-изд. л. 8,3. Тираж 10 000 экз. Цена 5 руб.
г. Ленинград 1948 г. Гидрометеоиздат. М-16723. Заказ № 874.

2-я Типо-литография Гидрометеоиздата, Ленинград, Прачечный пер., 6.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	4
Глава первая. Краткий обзор применения гидрологических сведений в народном хозяйстве СССР	5
Глава вторая. Основные гидрологические понятия	11
Глава третья. Общие сведения о реках, озерах и болотах	19
Глава четвертая. Гидрологические наблюдения	27
Глава пятая. Применение гидрологии в деле водоснабжения	60
Глава шестая. Использование водной энергии и необходимые гидрологические сведения	73
Глава седьмая. Мелиорация земель и гидрологические сведения	85
Глава восьмая. Применение гидрологических сведений в других отраслях народного хозяйства	103
Литература	106

ПРЕДИСЛОВИЕ

Советская гидрология является самой передовой в мире наукой о режиме вод на земной поверхности. Она превосходит гидрологическую науку в странах капиталистического мира как по объему плановых наблюдений, систематизации данных этих наблюдений, размерам их практического применения в водном строительстве и в водном хозяйстве, так и по широте и глубине научных обобщений.

Своим успешным развитием советская гидрология обязана широчайшему размаху водного (гидротехнического) строительства и водохозяйственных мероприятий в Советском Союзе.

Водное строительство дало гидрологам богатейшие материалы наблюдений, которые они научились применять в интересах народного хозяйства.

Широкий размах строительства продолжает требовать от гидрологии все больше и больше сведений, необходимых для водного хозяйства во всех его областях — в водоснабжении, мелиорации земель, строительстве гидростанций, в деле улучшения и создания судоходных условий на реках и озерах и пр.

Особенно усилились эти требования в Сталинскую послевоенную пятилетку. Они приобрели более массовый характер в связи с развертыванием работ по электрификации сельского хозяйства, обводнению засушливых земель и т. п.

Эти мероприятия привлекают к делу водного строительства уже не тысячи, а сотни тысяч советских людей — работников колхозов, совхозов, местного хозяйства и промышленности, которые при решении вопросов об использовании воды сталкиваются с применением гидрологических знаний. Для правильного решения этих вопросов им необходимо быть гидрологически грамотными. Они должны иметь возможность познакомиться с необходимыми для них гидрологическими понятиями, с составом и содержанием основных гидрологических измерений и наблюдений, они должны знать, какие именно гидрологические знания и сведения необходимы в их деле.

Сведения по всем этим вопросам имеются в богатой советской гидрологической литературе.

Настоящее издание имеет цель объединить в научно-популярном изложении краткие сведения о гидрологических понятиях, об основных гидрологических полевых работах и о применении гидрологических знаний в главных отраслях водного хозяйства и строительства и, следовательно, служить практическим пособием лицам работающим в области водного хозяйства.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СВЕДЕНИЙ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ СССР

„Гидрология" — слово греческого происхождения, в переводе на русский язык означает „наука о воде". Гидрология имеет большое значение для общего дела использования человеком производительных сил земли. Она содействует накоплению достоверных сведений о воде на земной поверхности и под землею и помогает человеку обдуманно и научно подходить к добыванию воды и использованию ее энергии и свойств для улучшения природных и жизненных условий на земле.

Роль воды в природе и в жизни человека огромна. Человек еще усилил эту роль своим творческим упорным трудом. Он подводит воду из отдельных водных источников к страдающим от засухи землям и делает их плодородными, энергию падающей воды превращает в электрический свет и тепло, перераспределяет речной сток и запасы воды и совершенно видоизменяет в своих целях природу целых районов. Поразительный пример всему этому мы видим у нас в Советском Союзе, где использование воды и водных ресурсов далеко шагнуло вперед, развиваясь во все возрастающем темпе. Кто не знает о мощной Днепровской гидроэлектрической станции, о Беломорском и Московском каналах, о великом переустройстве Волги, уже осуществленном в верхнем течении великой русской реки, где построены три крупных гидростанции, образовано крупнейшее в мире водохранилище — Рыбинское море — и обеспечен более короткий, чем прежде, глубоководный путь для водного транспорта.

Нашествие немецких захватчиков нанесло тяжелые раны нашей стране, в том числе ее водному хозяйству. Но даже в войну на востоке страны продолжалось энергичное водное строительство. В Средней Азии была сооружена Чирчикская лестница (каскад) гидростанций, представляющая огромное значение для народного хозяйства Узбекской ССР, и начато строительство Фархадской гидростанции. Поблизости от фронта в грозную зиму 1941/42 г. продолжался монтаж турбин Рыбинской ГЭС на Волге, где были введены в строй две турбины, сыгравшие значительную роль в снабжении Москвы электроэнергией. Еще до окончания войны, в феврале 1945 г., Советское правительство вынесло историческое решение о развитии сельской электрификации, т. е. о массовой электрификации колхозов и совхозов,

главным образом путем использования водных ресурсов малых рек.

В великой послевоенной стройке водное строительство заняло достойное место. Быстро залечиваются тяжелые раны, нанесенные войной. Развертывается новый, грандиозный план строительства гидростанций с одновременным, во многих случаях, решением вопросов улучшения судоходства и орошения земель. Строятся крупнейшие гидростанции в Молотове на р. Каме, у г. Горького на р. Волге, у г. Калуги на р. Оке, в Закавказье у Мингечаура на р. Куре и др. — всего около 50 крупных гидростанций. В качестве примера комплексных водохозяйственных задач можно привести Мингечаурский гидроузел, который обеспечит электроэнергией нефтяные промыслы и промышленность Азербайджана, позволит оросить 1 млн *га* засушливых земель и улучшит условия судоходства на р. Куре.

Мощность крупных гидростанций, полностью или частично вводимых в эксплоатацию в первое послевоенное пятилетие, составит 2 300 000 *квт.*

Огромное развитие получает после войны строительство малых колхозных и межколхозных гидростанций. К 1950 г. их мощность должна достигнуть 1 000 000 *квт.*

А сколько еще других крупных и мелких настоятельно необходимых работ по водоснабжению, орошению, осушению, задержанию влаги на полях выполняется и предстоит выполнить в городах, колхозах и совхозах нашей великой родины, строящей новую жизнь на своих огромных пространствах.

Все эти мероприятия и призвана обслужить гидрология при помощи собранных и обработанных ею сведений о воде, или гидрологических сведений

Понятие о гидрологических сведениях. Под гидрологическими сведениями понимаются все достоверные и представляющие практический или научный интерес данные о воде на земной поверхности.[1]

Гидрологические сведения могут быть различными по характеру своего содержания. Это могут быть описания или гидрографические сведения, содержащие только общую характеристику поверхностных или подземных вод, а именно данные о направлении и характере течения, истоках, устьях, длине водных потоков, их падении и уклонах, о густоте речной сети в той или иной местности, о местных выходах подземных источников на поверхность земли и т. д.

Гидрологические сведения могут также представлять собою данные непосредственных измерений на водных потоках и источниках, произведенных при помощи специальных устройств и приборов, например данные об уровнях воды, о скоростях те-

---

[1] Вода на земной поверхности встречается в виде морей и в виде вод суши — поверхностных и подземных. В настоящей книжке рассматриваются только воды суши и гидрологические сведения, относящиеся к ним.

чения, о расходах воды и т. д. Подобного рода сведения называют гидрометрическими сведениями.[1]

Гидрометрические сведения подвергаются обработке и обобщению и превращаются в расчетные гидрологические сведения, которые служат для расчетов при составлении различных водохозяйственных проектов.

Некоторые из расчетных гидрологических сведений, связанные со специальными мероприятиями по регулированию, т. е. по перераспределению стока и по устройству водохранилищ (см. гл. 6), называют водохозяйственными данными или сведениями.

Все указанные сведения: гидрографические, гидрометрические, расчетные гидрологические и их ответвление — водохозяйственные данные — часто обозначают одним общим названием гидрологические сведения.

Гидрологические сведения как необходимая основа водохозяйственных мероприятий и гидротехнического строительства. Всякое строительство, связанное с водой, требует соответствующих его назначению возможно более точных гидрологических сведений. Без этих сведений строительство может окончиться неудачей или даже привести к катастрофе.

Плотина, сооружаемая на реке, требует знания режима, т. е. характера и величины стока воды по этой реке. Плотина, построенная без достаточного изучения режима реки, может оказаться не в состоянии по своим размерам пропустить сток реки в половодье и будет смыта или разрушена водою.

При устройстве водоснабжения с забором воды из небольшой реки также необходимо знать количество воды, протекающее по реке в различное время года и в разные по водности годы, иначе можно остаться без воды или оставить без воды население, живущее ниже по течению реки.

Точных сведений о количестве протекающей по реке воды требует и сооружение гидроэлектрических станций. При отсутствии таких сведений станция может быть рассчитана либо на преувеличенное количество воды и не дать ожидаемой от нее энергии, либо на преуменьшенную мощность, при которой бо́льшая часть водной энергии останется неиспользованной.

Нередко с целью снабжения водою гидростанций и оросительных систем устраивают водохранилища, куда собирают воду в более полноводные периоды, чтобы затем расходовать ее по мере надобности в маловодное время. При этом необходимо правильно рассчитать наполнение водохранилища и тщательно исследовать условия, в которых оно устраивается, иначе может оказаться, что ожидаемого притока воды не будет, или вода уйдет из водохранилища, и оно останется без воды, не оправдав затрат на свое сооружение и не выполнив своего назначения. Иногда вновь устроенные водохранилища ряд лет

---

[1] Гидрография буквально значит описание вод, а гидрометрия — измерение вод.

оставались без воды, — в одних случаях по той причине, что собиравшаяся вода уходила в трещиноватые (карстовые, меловые) породы, из которых слагались дно и берега водохранилища, и в других случаях потому, что неправильно был подсчитан ожидаемый приток, причем при расчете преувеличивались количество осадков и площадь водосбора и недоучитывалось испарение.

Не менее важны гидрологические сведения и при планировании и осуществлении таких массовых водохозяйственных мероприятий, как обводнение недостаточно увлажненных областей, например Центрально-Черноземной области, где суть дела заключается не в возведении крупных инженерных сооружений, а в осуществлении целой системы мелких устройств, обеспечивающих замедленный сток и более полное использование влаги для сельского хозяйства.

Общая характеристика применения гидрологических сведений в колхозах и совхозах. Область применения гидрологических сведений в колхозах и совхозах чрезвычайно широка.

В засушливых районах, где недостаток влаги в почве вызывает необходимость орошения земель, требования на гидрологические сведения о ближайших источниках воды приобретают массовый характер. На основании этих сведений сельское хозяйство в каждом отдельном случае планирует на орошаемых землях распределение сельскохозяйственных культур и наилучшее обеспечение их водой.

Большое применение находят гидрологические сведения также в связи с вопросом водоснабжения. Во многих колхозах и совхозах вопрос о водоснабжении представляет важную и нередко трудную задачу, сопряженную с поисками воды, определением тех количеств ее, которые можно забирать из водного источника, и подысканием наилучших способов передачи воды к месту ее потребления. Особенно серьезно вопрос о водоснабжении встает перед многими развивающимися молочно-животноводческими колхозами и совхозами, не обеспеченными водой на месте. Потребность в воде у них между тем довольно значительна. Так, при средней молочной ферме в 500 голов скота и потребности на 1 голову в 20 *куб. м* воды (1600 ведер) в 1 год общая потребность в воде для скота составит 10 000 *куб. м* (800 000 ведер) в 1 год, т. е. около 27 *куб. м*, или 2200 ведер в 1 день. Подобная потребность во избежание затрат на доставку воды, а следовательно, для повышения доходности животноводства обязывает находить воду по возможности в непосредственной близости от хозяйства.

Чрезвычайно обширная область для применения гидрологических сведений открылась в связи с массовой электрификацией колхозов и совхозов, согласно постановлению Правительства от 8 февраля 1945 г. о развитии сельской электрификации. Для гидростанций требуются возможно более точные данные о количестве протекающей в течение года по реке воды, так

как на этих данных строится расчет работы гидростанций и от их точности зависит степень ее полезного действия.

В настоящее время требования на эти данные приобретают массовый характер, обязывая гидрологию уделять все большее внимание малым рекам.

Применение гидрологических сведений в прочих отраслях народного хозяйства. Помимо сельского хозяйства, гидрологические сведения находят также широчайшее применение во многих других областях народного хозяйства. Достаточно указать на водоснабжение, мелиорацию земель и использование водной энергии.

При решении вопросов водоснабжения городов, рабочих поселков, железнодорожных станций, промышленных предприятий и разработок гидрологические сведения имеют огромное значение.

При отсутствии поблизости пригодного источника для водоснабжения, на основании гидрологических сведений решается вопрос об использовании в качестве такового отдаленного водоема, поверхностного или подземного потока. Гидрологические сведения должны быть основаны не только на точных измерениях видимых (поверхностных) вод, но и на хорошей разведке скрытых (подземных) водных источников.

В этом отношении показателен пример Донбасса, где перед Отечественной войной было установлено наличие ключевых вод, пригодных для использования (ранее наличие этих вод долгое время упорно отрицалось).

В области мостостроения и гидротехнического строительства, т. е. сооружения плотин, дамб, водохранилищ, каналов, гидрологические сведения представляют собою важнейшие расчетные данные, определяющие размеры указанных сооружений. Потребителями крупного масштаба в отношении гидрологических сведений выступают мощные гидростанции. Сооружение Волховской, Свирских, Днепровской и других ГЭС повлекло за собою сбор гидрологических данных и наблюдение гидрологических явлений (расходов воды, наносов, ледовых явлений и др.) в особо широких размерах и послужило к усиленному развитию гидрологии как науки. Еще более широкое применение находят гидрологические сведения при осуществлении комплексных задач, в которые входит использование водной энергии, улучшение судоходных условий, орошение земель и т. д.

Для некоторых из таких задач, например для реконструкции Волги, гидрологические сведения требуются в небывалых размерах, охватывая бассейны нескольких крупных рек.

Иногда гидрология получает в наследство от крупных строек новые водные объекты, требующие изучения их режима. Такого рода объектом является, например, созданное при реконструкции верхней Волги огромное водохранилище — Рыбинское море, равное по площади половине Онежского озера. Режим Рыбинского моря в настоящее время уже изучается.

Гидротехнические сооружения, в частности гидростанции, также требуют применения гидрологических знаний, в первую

очередь производства водных измерений (гидрометрических работ) при приемочных испытаниях этих сооружений и в дальнейшем изучения измененного водного режима водотоков и работы самих сооружений.

Особенно широко гидрологические сведения используются в сравнительно новой, но очень важной области гидрологии — гидрологических прогнозах. Гидрологические прогнозы, т. е. предсказания сроков наступления гидрологических явлений (например, вскрытия рек) и силы или характера этих явлений (например, высоты подъема воды в половодье и высоты меженнего, т. е. низкого летнего уровня воды), охватывают все крупные реки и озера Союза. Для прогноза того или иного гидрологического явления необходимо иметь большое число гидрологических сведений по всем рассматриваемым водным объектам (рекам и озерам), а также обширные сведения о главнейших метеорологических элементах — температуре воздуха, снеге, дождях и пр. Объем необходимых сведений определяется не только числом изучаемых водных объектов, но и тем обстоятельством, что для прогноза необходимы гидрологические сведения за весь прошлый период наблюдений на этих водных объектах, а кроме того, самые свежие сведения, позволяющие правильно учесть те изменения, которые происходят в режиме вод в непосредственно предшествующий предсказанию период.

Гидрологическая служба в СССР. Производство наблюдений и измерений гидрологических явлений, обработка данных наблюдений и их опубликование находятся в Советском Союзе в ведении Главного управления Гидрометеорологической службы СССР при Совете Министров Союза ССР. Во всех крупнейших центрах Союза имеются подчиненные Главному управлению местные управления Гидрометслужбы, ведающие гидрологической и метеорологической службой в своих районах.

Научную и методическую работу в области гидрологии проводит подведомственный Главному управлению Государственный гидрологический институт в Ленинграде. Он же принимает участие и в подготовке гидрологических данных к печати.

Научную и методическую работу в области метеорологии проводит Главная геофизическая обсерватория, также находящаяся в Ленинграде.

Научную и методическую работу в области гидрологических и метеорологических прогнозов проводит Центральный институт прогнозов в Москве. Он же ведет и оперативную работу, выпуская так называемые долгосрочные (т. е. большой заблаговременности) гидрологические и метеорологические прогнозы для всей территории Союза ССР.

Печатание гидрологических и метеорологических данных, трудов по гидрологии и метеорологии и информационного сборника „Метеорология и гидрология“ осуществляется Гидрометеорологическим издательством.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Круговорот воды. Вода в природе находится в непрерывном движении. Под действием солнечного тепла происходит испарение воды с земной поверхности, особенно сильное с поверхности морей и океанов. Вода поднимается над земной поверхностью в виде пара и в таком состоянии переносится воздушными течениями, иногда на большие расстояния.

Меньшие капельки водяного пара при некоторых благоприятных условиях сгущаются и образуют водяные капли. Размер этих капель постепенно увеличивается, и под действием силы тяжести водяные капли падают на землю, чаще всего в виде дождя или снега, которые и составляют главную массу влаги, поступающей на землю из атмосферы, или так называемых осадков.

Осадки, выпавшие на сушу, стекают по склонам местности к рекам, а также просачиваются в грунт и питают подземные источники.

Реки, образуя на земной поверхности сложные разветвленные системы водных потоков (рис. 1), переносят осадки, стекающие в них по поверхности земли и через почво-грунты в моря и океаны.

Часть осадков по пути теряется на испарение, т. е. возвращается в атмосферу, не успев достигнуть морей и океанов. Испарение происходит не только за счет вод, стекающих по поверхности земли, но и за счет просочившихся в землю осадков, питающих растения, которые поглощают и испаряют воду в очень больших количествах.

Вода, поступившая через реки в моря и океаны, вновь испаряется с их поверхности и т. д.

Этот процесс непрерывного обмена влагой между землей и атмосферой носит название круговорота воды в природе.

Осадками иногда называют только влагу, выпадающую из облаков, т. е. дождь, град, снег и снежную крупу. Но это не вполне правильно: к осадкам относится также влага, которая выделяется из воздуха непосредственно у поверхности земли,— роса (влага, оседающая на поверхности почвы, на растениях, крышах зданий и т. д.), туман (влага, плавающая в воздухе), иней (твердая роса) и изморозь (снежные или, вернее, ледяные иглы на ветках деревьев, проволоке и других тонких предметах). Дождь, росу, туман называют жидкими осадками, град, снег, снежную крупу, иней и изморозь—твердыми.

На гидрометеорологических станциях измеряют почти исключительно осадки, выпадающие из облаков, так как способы измерения влаги, выделяющейся из воздуха у поверхности земли, еще недостаточно разработаны. Сведения о количестве осадков, публикуемые в специальных изданиях, также отно-

сятся только к осадкам, выпадающим из облаков, т. е. к дождю, граду, снегу и крупе.

Количество осадков указывают в миллиметрах того слоя воды, который образовался бы, если бы осадки, никуда не теряясь, распределялись горизонтальным ровным слоем на всей площади их выпадения. При этом твердые осадки предполагаются превращенными в воду.

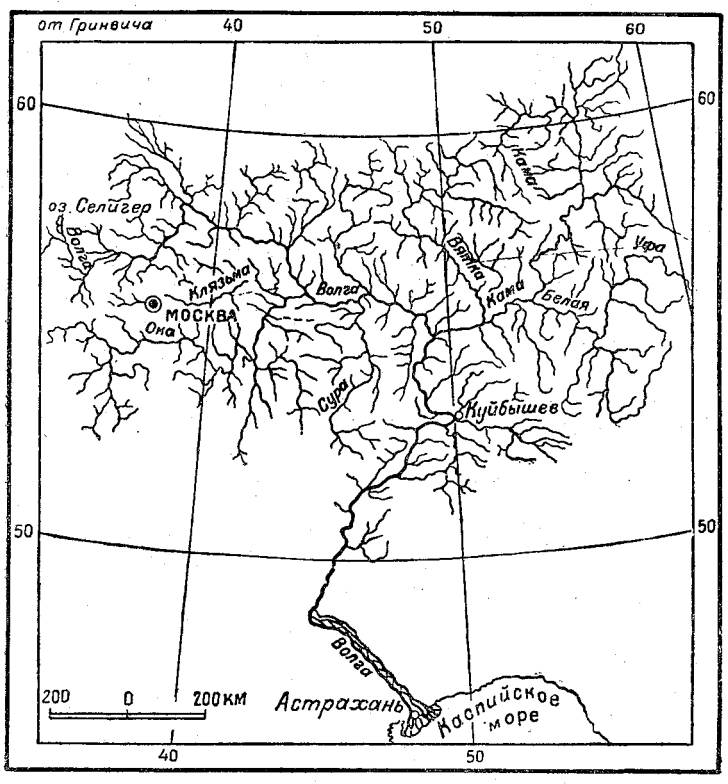


Рис. 1. Речная система р. Волги.

Зная количество осадков в миллиметрах, можно выразить их и в объемных мерах. Например, при толщине выпавшего слоя осадков в 2 *мм*, или 0,002 *м* на площадь в 1 *га*, т. е. на $100 \times 100 = 10\,000$ *м*^{2}, придется $0{,}002 \times 10\,000 = 20$ *м*^{3} воды.

Как уже указывалось выше, осадки, выпавшие на сушу, стекают к рекам и озерам, а также просачиваются в грунт и питают подземные источники. Изучением стока и сопутствующих ему явлений и занимается гидрология. Для изучения стока необходимо производить наблюдения, измерения и вычисления ряда природных факторов, как-то: уровня воды, уклона, расхода воды и др. Понятия о них даны ниже.

Уровень воды в реке, на озере, в колодце — это то положение по высоте, которое занимает или занимала поверхность воды в данном месте в заданное время, например каждый день в 8 час. утра. Уровень воды измеряется путем сравнения с высотой какой-либо поверхности или точки, высотное положение которой известно и хотя бы временно остается неизменным, например с поверхностью головки сваи, настила моста и т. д. В каждом данном месте таких поверхностей или точек может быть несколько, например несколько свай. Уровни воды выражают в сантиметрах или метрах. В качестве общего обозначения для уровней воды принята латинская буква *H*. При обработке наблюденных в каком-либо пункте уровней для удобства сравнения между собою их выражают в возвышении над одной условной плоскостью (подробнее см. гл. 4).

Если уровни в двух пунктах по длине реки выражены в возвышении над одною и тою же плоскостью, то разность уровней воды, измеренных в одно и то же время в этих пунктах, покажет превышение уровня воды в верхнем по течению пункте над нижним пунктом, или падение уровня между обоими пунктами. Падение, как и уровни, выражается в линейных мерах, т. е. в сантиметрах или метрах, и обозначается через ΔH, а иногда, особенно в применении к разности уровней или напору на гидротехнических сооружениях, так же как и уровни, через *H*.

Если известно расстояние (по реке) между обоими пунктами, то от деления падения на расстояние получится средний у к л о н поверхности воды между упомянутыми пунктами (рис. 2).

Уклон выражается отвлеченным числом и обозначается латинской буквой *I*.

Пусть падение на реке между пунктами *А* и *Б* в 7 час. 1/VII 194 ... г. равно 1,00 *м* при расстоянии между указанными пунктами в 1000 *м*, считая по реке, тогда уклон поверхности воды между *А* и *Б* составит:

$$I = \frac{1}{1000} = 0{,}001 \text{ (одна тысячная)}.^{1}$$

Падения равнинных рек составляют обычно десятые или даже сотые доли метра на 1 *км*, т. е. уклоны этих рек находятся чаще всего в пределах 0,0001—0,001; падения горных рек составляют, как правило, несколько метров на 1 *км* и достигают иногда десятков метров на 1 *км*, т. е. обычные уклоны горных рек равняются 0,001—0,01.

П о п е р е ч н ы м с е ч е н и е м (профилем) реки (ручья, канала) в каком-либо месте по ее длине называют изображение очертаний ее дна и берегов, полученное путем воображаемого рассечения потока вертикальной плоскостью под прямым углом

[1] Иногда указывают уклоны в промилях (‰), т. е. в тысячных долях, как в целых единицах или в метрах на километр. При этом уклон в одну тысячную напишется 1, в одну десятитысячную 0,1 промиля и т. д.

к направлению течения. Это изображение, ограниченное снизу дном и с боков берегами, следует вверху доводить до уровня самой высокой воды, которая когда-либо была в данном месте, т. е. до незатопляемых берегов (рис. 2).

Поперечное сечение может быть в тот или иной момент времени в самой различной степени заполнено водой.

Если взять от поперечного сечения только нижнюю часть его, в данный момент заполненную водой, то получится сече-

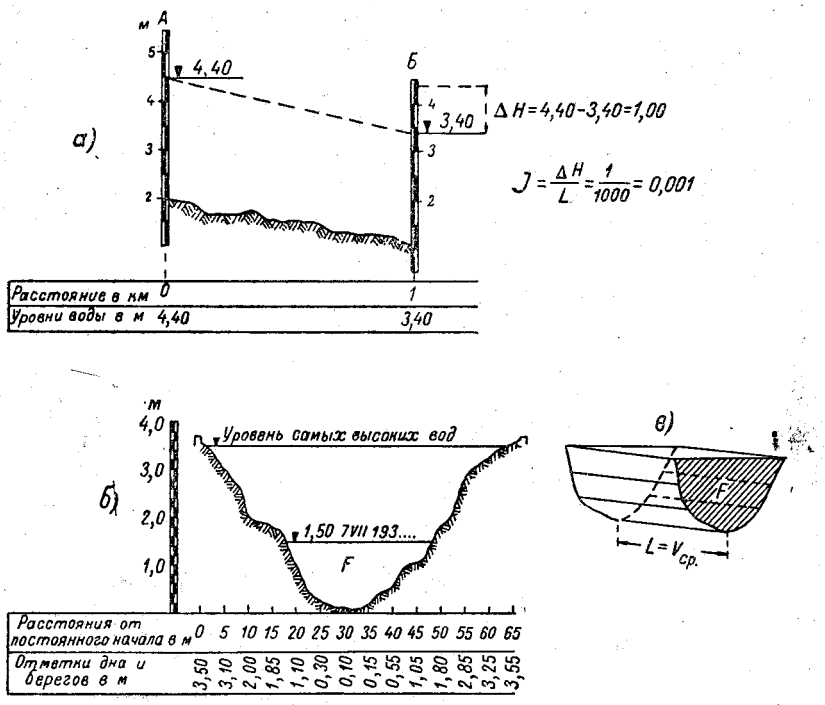


Рис. 2. Характеристика элементов речного потока:
а) схема падения уровня воды по длине реки; *б*) поперечное и живое сечения; *в*) условное изображение расхода воды.

ние, которое в гидрологии носит название живого сечения.[1] Живое сечение снизу ограничено дном, с боков берегами, а сверху линией поверхности воды. При отсутствии воды в реке живое сечение обращается в нуль, а с поднятием уровня воды его величина возрастает.

Площади поперечного и живого сечений указываются в квадратных мерах, для открытых водных потоков — обычно в квадратных метрах.

Площади живого сечения обозначаются чаще всего латинской буквой *F*.

[1] Иногда „живое сечение“ называют „водным сечением“.

Вода стекает по поверхности земли и движется в почве под действием силы тяжести.

Чем круче склон земной поверхности, чем резче понижение дна реки или канала по их длине, а следовательно, чем больше уклон поверхности воды, тем больше скорость течения воды.

Скорость течения воды, равно как и скорость движения любого тела, определяется длиной пути, проходимого водою в 1 секунду.

Многие читатели, наверное, прибегали к простейшему способу определения скорости течения воды в канаве, ручье, реке. С этой целью отмеряют по берегу участок длиной, положим, 20 *м*, вырезают тонкий кружок дерева или так называемый поплавок, который бросают в воду чуть повыше верхнего конца отмеренного участка, а затем отсчитывают по часам (имеющим секундную стрелку) время, в течение которого поплавок пройдет отмеренный путь. Допустим, что отсчитанное время будет 20 секунд. Разделив длину пути на время, получим скорость движения поплавка $\frac{20}{20} = 1$ *м* в 1 секунду. Указанная скорость может приближенно считаться скоростью течения воды в том месте, где был брошен в воду поплавок. Скорость течения воды в одном и том же живом сечении испытывает изменения по ширине и по глубине потока. Обычно даже на-глаз видно, что ближе к середине (стрежню) потока течение быстрее, а у берегов медленнее. При гидрологических работах это учитывается измерением скорости течения воды в различных точках по ширине и по глубине потока. На основании таких измерений вычисляется затем средняя скорость течения воды в данном живом сечении. Средняя скорость течения в живом сечении имеет большое значение при гидрологических расчетах. Действительно, если представить, что живое сечение передвигается в потоке, сохраняя свою форму, подобно плоскому твердому телу, со скоростью, равной средней скорости течения, то это движение по количеству протекающей воды будет равноценно тому существующему в природе движению, при котором все струйки воды в живом сечении обладают различной скоростью.

Скорость течения выражают в сантиметрах в 1 секунду (*см/сек*) или в метрах в 1 секунду (*м/сек*). Для общего обозначения скорости употребляют латинскую букву v. Средняя скорость в живом сечении обозначается $v_{ср}$.

Мерой количества воды, протекающей через данное живое сечение водного потока, в гидрологии является расход воды.

Расход воды представляет собою объем или то количество воды, которое протекает через данное живое сечение в единицу времени, т. е. в 1 секунду. Следовательно, расход воды может быть выражен через живое сечение и среднюю скорость течения в этом сечении. Действительно, расход воды может

быть изображен в виде перемещения живого сечения в течение 1 секунды по длине реки на расстояние, равное по величине средней скорости течения. Объем образовавшегося при подобном перемещении отсека воды будет равен произведению живого сечения на среднюю скорость в живом сечении (рис. 2).[1]

При обозначении расхода воды латинской буквой Q указанная связь между расходом воды Q, площадью живого сечения F и средней скоростью $v_{ср}$ будет иметь следующий вид:

$$Q = Fv_{ср}.$$

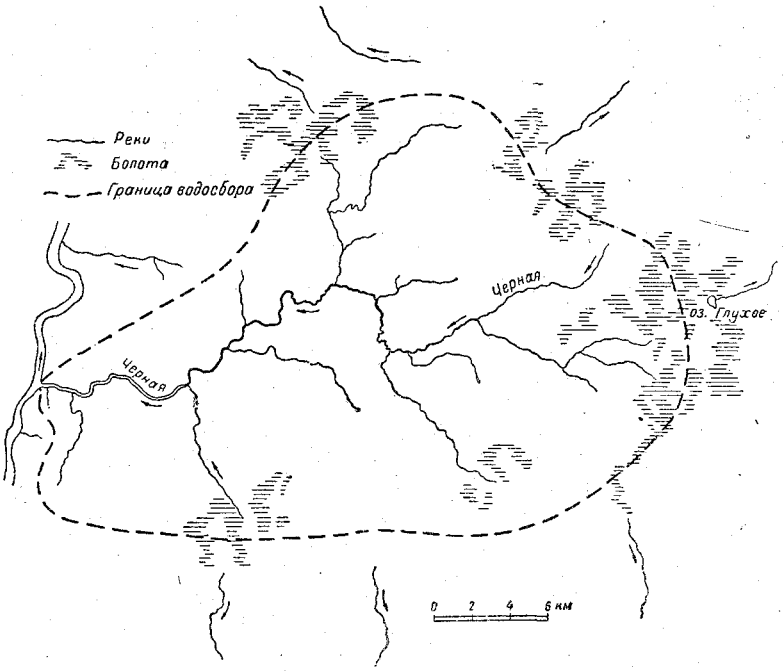


Рис. 3. Водосбор реки.

Расход воды выражается в кубических мерах, обычно в литрах (куб. дециметрах) в 1 секунду (*л/сек*) или в кубических метрах в 1 секунду (*м³/сек*) (1 *м³/сек* = 1000 *л/сек*).

Допустим, что площадь живого сечения равняется 2,50 *м²*, средняя скорость течения 0,50 *м/сек*; тогда расход воды будет $Q = 2{,}50 \times 0{,}50 = 1{,}25$ *м³/сек* = 1250 *л/сек*.

Та часть земной поверхности, сток с которой направляется в данный поток, например реку, называется водосбором или бассейном этой реки (рис. 3). Границы водосбора называются водоразделами. Площадь водосбора реки изме-

[1] По форме указанный отсек представляет геометрическую фигуру, называемую призмой, а объем призмы равен произведению основания (живого сечения) на высоту (среднюю скорость течения).

няется по длине реки, возрастая от ее истока к устью. Величину водосбора выражают в квадратных километрах или в гектарах. Для определения водосборов служат подробные карты масштаба 1:100 000 или 1 *см* = 1 *км*, 1:200 000 или 1 *см* = 2 *км*. Реки с водосбором в несколько десятков квадратных километров и меньше не всегда бывают нанесены на картах указанного масштаба, и для мелких рек, ручьев и каналов приходится пользоваться картами более крупного масштаба или специальными планами. Обозначением для водосборов служат как греческая буква Ω, так и латинская буква F.[1]

Для сравнения величин стока (т. е. водоносности) с различных частей водосбора данной реки или для сравнения величин стока нескольких рек между собой принято вычислять так называемый модуль стока, под которым понимают количество воды, стекающее в 1 секунду, с единицы площади водосбора, т. е. расход воды с единицы площади.

Модуль стока вычисляется путем деления соответствующего расхода воды на площадь водосбора реки в данном месте и выражается в литрах в 1 секунду или в кубических метрах в 1 секунду с 1 *га*, или с 1 *км*². В качестве обозначения для модуля стока применяется малая латинская буква q. Модуль стока вычисляют как для отдельных, главным образом выделяющихся по своей величине, расходов (например, наибольшего в году), так и за целые периоды времени, например за год, по среднему значению расхода воды за соответствующий период.

Пример. Средний за год и наибольший секундный сток р. Москвы у г. Звенигорода и у с. Павшино в 1931 г. характеризуется следующими расходами воды и модулями стока:

г. Звенигород $F = 5000$ *км*²	с. Павшино $F = 7550$ *км*²
$Q_{год} = 38$ *м*³/*сек*;	$Q_{год} = 49{,}7$ *м*³/*сек*;
$q_{год} = \frac{38 \times 1000}{5000} = 7{,}60$ *л*/*сек* с 1 *км*²;	$q_{год} = \frac{49{,}7 \times 1000}{7550} = 6{,}58$ *л*/*сек* с 1 *км*²;
$Q_{наиб.} = 1390$ *м*³/*сек*;	$Q_{наиб} = 1680$ *м*³/*сек*;
$q_{наиб} = \frac{1390 \times 1000}{5000} = 278$ *л*/*сек* с 1 *км*².	$q_{наиб} = \frac{1680 \times 1000}{7550} = 223$ *л*/*сек* с 1 *км*².

Вода в своем движении по склонам земной поверхности и в руслах рек увлекает за собою частицы грунта (от мельчайших пылеобразных частиц до крупных камней). Переносимые водою частицы грунта называют наносами. Часть наносов, состоящая из более мелких частиц грунта, движется в воде, не касаясь дна, во взвешенном состоянии, а часть более крупных, перекатываясь по дну, — во влекомом состоянии.

Расходом наносов, или твердым расходом реки

[1] Буква F употребляется в качестве обозначения и для площади водосбора, и для площади живого сечения.

12233 БИБЛИОТЕКА 17

в данном ее месте, считают количество наносов, проходящее через живое сечение реки в одну секунду. Часто под твердым расходом понимают секундное количество одних взвешенных наносов.

Расход наносов указывается или по весу в килограммах в 1 секунду, или по объему в кубических метрах в 1 секунду, а иногда средний единичный в килограммах или в граммах на 1 $м^3$ или на 1 *л* расхода воды; единичный расход взвешенных наносов носит название мутности реки.

Равнинные реки, особенно протекающие в плотных грунтах, как правило, несут небольшое количество наносов, измеряемое несколькими граммами или десятками граммов на 1 $м^3$ воды; горные реки, напротив, переносят огромное количество наносов, и в них на 1 $м^3$ воды приходится несколько килограммов наносов. Указанные цифры относятся ко взвешенным наносам. Количество влекомых наносов трудно поддается определению, так как способы их измерения еще недостаточно разработаны. По имеющимся данным, оно обычно значительно меньше количества взвешенных наносов.

В горах иногда после сильных ливней на оголенных склонах образуются грязево-каменистые потоки, сливающиеся в ближайшем речном русле в один разрушительный грязево-каменистый поток, или сель.

Гидрология занимается изучением районов возникновения селей, условий для их образования и их силы, в целях выработки наилучших мер борьбы с этими опасными явлениями.

Реки Советского Союза в течение нескольких месяцев в году бывают покрыты ледяным покровом. Этот период в жизни рек носит название ледостава. Толщина ледяного покрова в первые дни ледостава нарастает быстро — при устойчивых морозах по 2—3 *см* в сутки, так что уже через 2—3 дня по льду возможна переправа людей. Постепенно нарастание толщины льда замедляется до нескольких миллиметров в 1 сутки. К февралю—марту на северных реках Союза толщина льда достигает в среднем 50—70 *см*. Ледостав не повсюду одинаково устойчив. На порожистых реках или в истоке рек из озер (где вода теплее) и в местах выхода ключей лед образуется с трудом, и посередине реки часто всю зиму сохраняются незамерзшие места, или полыньи.

У дна реки, обычно на порогах, в течение зимы образуется в результате переохлаждения воды губчатый или так называемый донный лед. Отрываясь от дна, он плывет в воде подо льдом и в свободных от ледяного покрова местах всплывает на поверхность. Этот плывущий донный лед называют шугой. Шуга представляет большую опасность для гидротехнических сооружений. Иногда, особенно на изгибах реки, шуга забивает живое сечение реки, образуя зажоры, которые поднимают воду и могут вызвать наводнения. Такие же скопления поверхностного льда при ледоходе, обычно весной, называют заторами льда.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕКАХ, ОЗЕРАХ И БОЛОТАХ

Реки

Вода, стекающая под действием силы тяжести по поверхности земли, образует водные потоки, или ручьи и речки, которые постепенно сливаются вместе и превращаются во все более крупные реки.

Большая река по отношению ко всем образующим ее рекам и ручьям носит название главной реки, а образующие ее реки

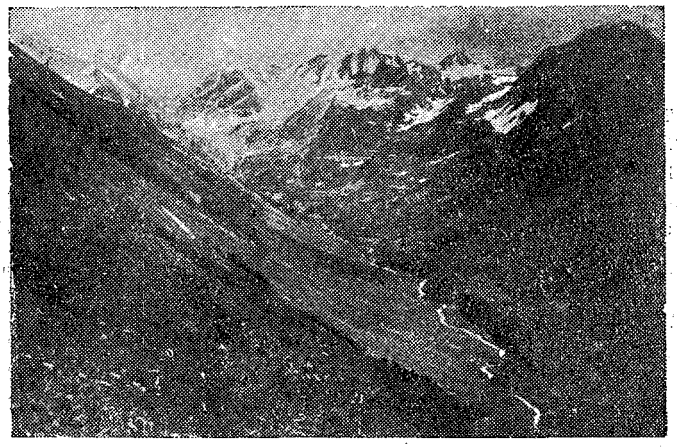


Рис. 4. Долина и русло реки.

и ручьи называются притоками, а в целом — речной системой (рис. 1).

Например, Волга является главной рекой по отношению к ее притокам Каме, Оке, Шексне, Мологе и т. д. Ока, в свою очередь, является главной рекой по отношению к Клязьме, Мокше, Москва-реке и т. д.

Русло реки. Реки протекают по проработанным ими углублениям земной поверхности, носящим название речных долин (рис. 4). Та часть речной долины, по которой фактически течет водный поток, называется речным руслом (рис. 5). Русло в течение года меняет свои размеры: в низкую воду река течет по меженному или малому руслу, а в высокую воду — по большому или полому руслу. Затопляемая в половодье часть долины реки называется поймой.

Речной поток при своем движении воздействует на русло и изменяет его. Изменение формы русла зависит от величины уклона дна, обусловливающей скорости течения потока, и от

характера грунта. Русло, пролегающее в скалистых грунтах, принадлежит обычно к устойчивым, в песчаных — к неустойчивым и в глинистых — к средним между ними.

Реки Советского Союза по характеру местности, которую они орошают, в большинстве своем являются равнинными. Одним из свойств равнинной реки, протекающей в мягких грун-

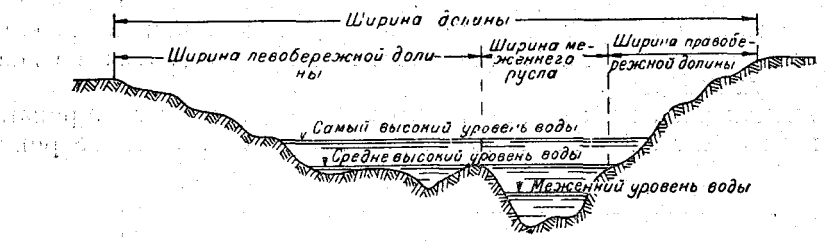


Рис. 5. Схематический разрез речной долины и русла.

тах, является извилистость. Степень извилистости русла (рис. 6) характеризуется отношением длины участка реки, измеренной по оси речного потока L_1, к длине участка, измеренной между концами участка реки в пределах долины по прямой L.

Это отношение носит название коэфициента извилистости реки $\alpha = \frac{L_1}{L}$, который при сильной извилистости русла достигает значения 2,0, а иногда и более.

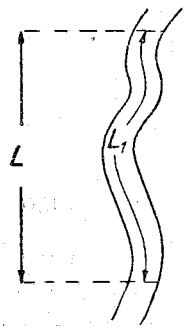


Рис. 6. Извилистость реки.

Образование извилин объясняется зигзагообразным движением потока, происходящим под действием разных причин — вращения земли, препятствий в русле, впадения притоков и т. д. Например, если на пути речного потока встретится препятствие — камень, то поток, естественно, отклонится от своего первоначального направления. Отклоненный поток, встречая берег, вновь изменит свое направление, двигаясь, таким образом, зигзагообразно. При этом происходит постепенное разрушение берегов в одних местах и намыв их в других, т. е. образование извилин. Извилины развиваются до известного предела. Уменьшение уклона русла, вызванное образованием извилин, влечет за собой падение размывающей силы потока. В некоторых случаях размыв берега прекращается обнажившейся твердой породой.

Иногда извилины образуют петли, или так называемые меандры, и речной поток прорывает себе новое значительно более короткое русло, соединяющее оба колена петли (рис. 7, 8). Старое русло часто зарастает, превращаясь в так называемое староречье.

На равнинных реках глубокие части русла реки, обычно соответствующие закруглениям, называются плесами, а более

или менее прямолинейные участки, соединяющие два закругления (плеса), носят название перекатов. Образование перекатов наблюдается непрерывно, причем в высокую воду происхо-

Рис. 7. Меандры реки.

дит их намыв, а в низкую — размыв. Перекаты медленно передвигаются вниз по реке (рис. 9).

Перекаты образуются не только при переходах русла от одной кривизны к другой. Они возникают также на участках,

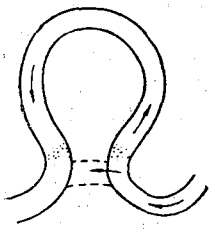


Рис. 8. Речная петля (меандра).

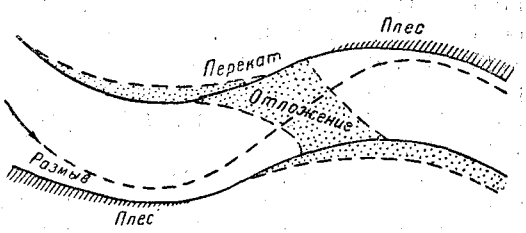


Рис. 9. Плесы и перекаты.

находящихся в подпоре от нижерасположенных горловин русла, в уширениях при слиянии рек с большими притоками, на значительных по длине прямых участках и т. д.

В продольном профиле реки плесы представляют углубления, а перекаты — возвышения дна. Дно реки уподобляется как

При низкой воде на перекатах часто на-глаз видно крутое падение или даже своего рода „перепад" воды.

С подъемом воды влияние перепада начинает сглаживаться, а в высокую воду прекращается вовсе (рис. 10).

При значительном количестве наносов в реке на слабоизогнутых участках в меженнем русле образуются косы, или отмели у берегов, или осередки, или грядки поодаль от берегов. Нередко они движутся вниз по течению и носят в этом случае название блуждающих мелей (кос).

В глинистом русле грядами называют отложения валунов поперек реки, осередками — на середине реки и побочнями — у одного из берегов (рис. 11). В русле некоторых рек, сложенном валунными глинами, после вымывания глины остаются одни

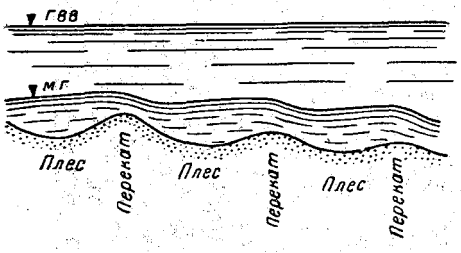


Рис. 10. Плесы и перекаты в высокую и низкую воду.

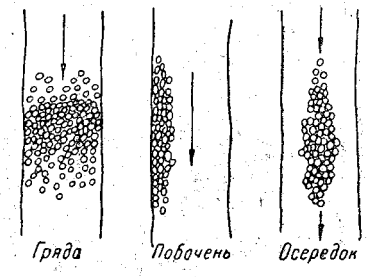


Рис. 11. Каменистые отложения в глинистых руслах.

валуны. В глинистых и смешанных руслах неоднородный состав грунта иногда ведет к делению реки на рукава с образованием островов.

Скалистое русло наиболее стойко сохраняет свою форму. Характерными образованиями в скалистых грунтах являются водопады и пороги. Водопады в русле реки представляют собою крутые или отвесные каменистые стенки (скалистые террасы), с которых вода устремляется вниз с огромной скоростью (рис. 12). Водопады хотя и очень медленно, но разрушаются течением воды, и ребро их перемещается вверх по течению.

Пороги представляют собою более или менее пологие уступы, пересекающие русло реки. Они тянутся нередко один за другим на протяжении нескольких километров и даже десятков километров, крайне затрудняя судоходство. На сплавных реках пороги служат не меньшим препятствием для сплава.

Питание рек и их режим. Питание рек, в зависимости от того, где они берут начало и где протекают, резко различно. Реки, стекающие с гор, питаются в основном за счет таяния ледников и высокогорных снегов и имеют поэтому половодье летом. Реки, текущие по равнине, питаются за счет таяния снега весной и за счет дождей. При преобладании снего-

вого питания они имеют половодье весной, а при преобладании дождевого питания могут иметь его в разное время (например, реки Дальнего Востока имеют половодье поздним летом).

В питании рек принимают участие воды, как стекающие по поверхности земли, так и поступающие в реку через грунт или из подземных источников. Первые носят название поверхност-

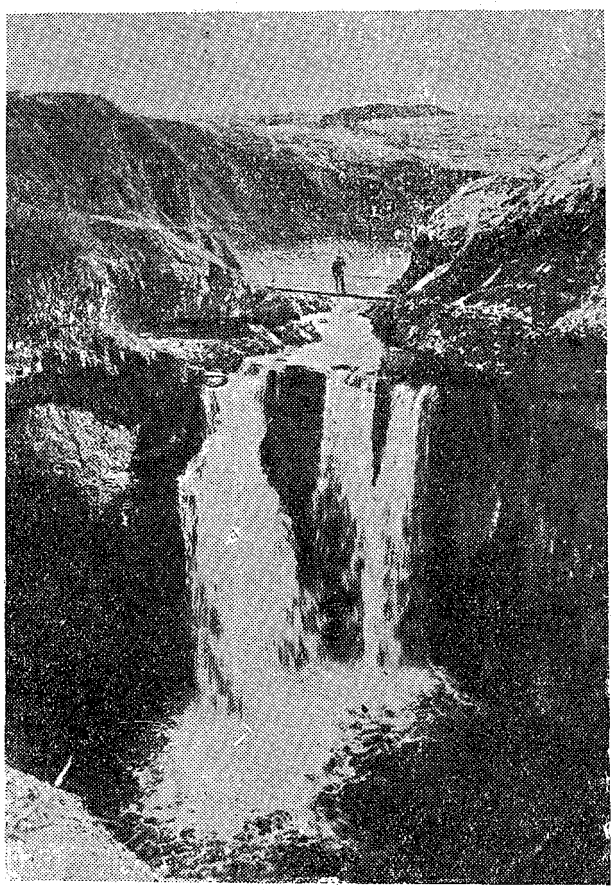


Рис. 12. Водопад.

ного стока, вторые — грунтового стока. Грунтовый сток обычно значительно меньше поверхностного, но он играет большую роль в питании рек в маловодное время года, в частности на равнинных реках в летнюю межень и зимой и на горных реках — в холодное время года.

Реки Советского Союза являются в большинстве своем равнинными и протекают в условиях умеренного и холодного климата. Их сток является, по преимуществу, стоком поверхност-

ных вод, которые обеспечивают от 70 до 90% общей величины стока. Немалую роль в поверхностном стоке играют весенние талые воды, на долю которых приходится на северных реках Европейской части Союза ССР примерно 40%, а на южных реках около 75% общей величины стока.

Такой сток отличается неравномерностью и характеризуется в течение года сменою богатых водою, обычно кратковременных периодов (весенний и дождевые паводки) более продолжительными периодами, бедными водою (летняя и зимняя межень при ледоставе). Амплитуда (разность) расходов воды на подобных реках достигает очень больших размеров. Например, на Волге у г. Ярославля наибольший расход воды достигает 11 000 *м*³/*сек*, а наименьший расход снижается до 200 *м*³/*сек*, т. е. величины крайних расходов воды относятся как 55 : 1. Для р. Дона это отношение еще больше и равняется, например, у г. Калача 120 : 1 (около 12000 и 100 *м*³/*сек*). Соответственно велико и колебание уровней: на р. Волге у г. Ярославля до ее зарегулирования оно составляло свыше 11 *м*, на р. Дон у г. Задонска составляет свыше 13 *м*, у г. Калача — свыше 9 *м*. Наибольшая амплитуда колебания уровня воды на реках Европейской территории СССР 18 *м* зарегистрирована на р. Оке у г. Калуги. Наименьшие амплитуды наблюдаются на озерных реках: так, например, на р. Неве у с. Ивановское 2,5—3,0 *м*.

На рис. 13 представлены два графика колебания расходов воды в году (гидрографа) для горных (р. Кубань) и для равнинных (р. Дон) рек. Надо отметить, что средние годовые расходы ($Q_{ср}$) этих рек за приведенный на графике год (1938) в указанных пунктах наблюдений были одинаковы. Из рис. 13 видно, что равнинная р. Дон, получающая основное питание за счет зимних запасов снега, имеет ярко выраженный пик весною, а на р. Кубань, получающей питание с гор из области высокогорных снегов, паводок проходит летом.

Соотношение крайних (наибольшего и наименьшего) секундных расходов в рассматриваемом случае для р Дон у г. Калача достигает 47 : 1, а для р. Кубани всего 14 : 1.

Факторами, влияющими на величину и распределение стока, являются: 1) климатический — осадки и испарение, 2) топографический — рельеф, величина и форма бассейна, 3) гидрографический — густота речной сети, озера и болота, 4) характер растительного покрова (леса), 4) почвенно-геологический — характер почвы и грунтов, 6) хозяйственная деятельность человека — влияние сооружений, водозабора и проч.

Важнейшим фактором является климатический, который определяет общую водность реки. На распределение стока внутри года и на колебания его в году (амплитуду расходов), в особенности в северных условиях, большое влияние оказывают озерность, геолого-почвенные условия бассейна, лесистость и пр. Сток распределяется тем равномернее, чем сильнее выражены эти факторы. Примером могут служить зарегулированные озерами реки — Нева, Волхов.

Помимо неравномерного распределения внутри года, сток колеблется и из года в год, в зависимости от количества выпадающих осадков и температуры воздуха, причем наблюдается чередование групп лет — многоводных и маловодных. Наблюдаемая на реках неравномерность стока неблагоприятно отражается на интересах транспорта, лесосплава, гидроэнергетики и пр. К вопросу распределения стока в году можно подойти только

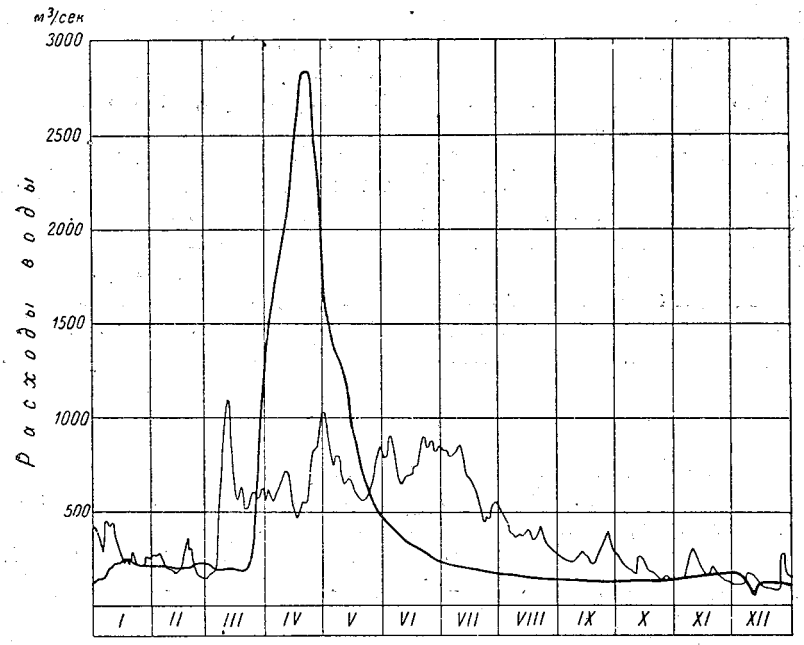


Рис. 13. Графики колебания расходов воды (гидрографы) р. Кубань у г. Краснодар и р. Дон у с. Калач за 1938 г.
——— р. Дон, ——— р. Кубань.

при наличии гидрологических сведений, получаемых путем измерений расходов воды на реках. О способах производства этих измерений рассказано в гл. 4.

Озера

Глубокие впадины на материке, заполненные стоячей или мало проточной водой и обычно не имеющие непосредственного соединения с морем, называются озерами.

Озера бывают:

а) бессточные, или замкнутые, глухие,

б) сточные, или ключевые, из которых имеется сток, но в которые нет постоянного поверхностного притока,

в) проточные, или речные, имеющие постоянный поверхностный приток и сток, т. е. в которые втекают и из которых вытекают реки,

г) конечные, или устьевые, с постоянным поверхностным притоком, но без стока; такие озера замыкают речки и реки в засушливых районах.

Размеры озер — занимаемая ими площадь, глубина и объем водной массы — очень различны. Для определения их производится измерение глубин и съемка берегов и дна. По полученным данным составляют планы озер, на которых проводят линии равных высот (горизонтали), а для подводной части — линии равных глубин (изобаты). По горизонталям определяют площадь зеркала (водной поверхности) озера, а по площадям и глубинам — объем воды.

Проточные озера играют весьма большую роль в режиме рек, протекающих через них. Эти озера выравнивают речной сток, уменьшая его в паводки и увеличивая в межень.

Озера используются как водохранилища для питания водных путей и гидростанций (например, Белое озеро для р. Шексны, оз. Севан для Севанского каскада ГЭС), сами служат водным путем сообщения (например, Онежское озеро, озеро Ильмень и др.), являются источником водоснабжения и рыболовства.

Болота

Болота образуются в условиях избытка влаги на местности где затруднен сток. Избыток влаги, благоприятствующий образованию болот, может иметь место не только из-за чрезмерного количества осадков, но и при малых осадках вследствие отсутствия испарения, например при низких температурах воздуха на севере.

Болота могут образоваться в результате отмирания озера, постепенно заполняемого увядающей влаголюбивой растительностью. Они могут возникнуть также у мест выхода на поверхность земли грунтовых вод или поднятия этих вод близко к поверхности земли. Своим возникновением болото может быть обязано деятельности человека: например, подпор воды сооружениями может вызвать заболачивание прибрежных земель.

Различают болота верховые, или моховые, лесные, обычно переходного типа, и травяные, или низинные.

В гидрологическом отношении болота представляют большой интерес как водоемы, задерживающие воду. По современным взглядам, они оказывают отрицательное влияние на сток, уменьшая его в межень и при наличии склона увеличивая половодье.

Колебания уровня в болотах незначительны, весной после таяния снега и размерзания уровень воды на большинстве болот стоит у поверхности, а на особо увлажненных болотах на 10—20 *см* выше поверхности. В нормальное лето уровень воды

медленно понижается и в июле—августе находится обычно на 20—30 *см* ниже поверхности болота. В результате осенних дождей уровень воды вновь повышается. Проходимость болот хуже всего весною после их размерзания и осенью.

С наступлением морозов начинается замерзание болот, которое выражается в образовании мерзлой корки; к концу зимы толщина корки достигает 25—30 *см*.

Болота замерзают неравномерно по времени и площади, и обычно на них всю зиму остаются пятна с непромерзшей поверхностью. Промерзание болот по всей площади происходит только в наиболее суровые и малоснежные зимы. По мере промерзания проходимость болот улучшается, и в середине зимы большинство болот становится проходимым не только для человека, но и для некоторых видов транспорта.

ГЛАВА ЧЕТВРЕТАЯ

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения над осадками

При изучении стока иногда приходится сравнивать количество стекшей воды с количеством выпавшей на землю влаги. Отдельные гидрологические исследования организуются со специальной целью установить в пределах определенного водосбора возможно более точное соотношение между осадками и стоком. Количество осадков имеет также и непосредственный практический интерес при производстве многих гидрологических работ, поскольку от количества осадков зависит прибыль воды в водотоке. По количеству осадков и интенсивности их выпадения можно в ряде случаев на месте предусмотреть повышение или понижение уровня и даже высоту опасного паводка. Поэтому наблюдения над осадками входят по праву в состав гидрологических наблюдений.

Регулярные наблюдения над осадками производятся при помощи специальных приборов — д о ж д е м е р о в. Дождемер представляет собою цинковое ведро правильной цилиндрической формы. Дождемер устанавливают на открытой площадке на столбе на высоте 2 *м* от земли. Он обычно снабжен конусообразной воронкой, сплошной (защита Нифера) или состоящей из отдельных, не скрепленных между собою пластин, выгнутых по шаблону (защита Третьякова); эта воронка предохраняет от выдувания осадков из ведра (рис. 14 и 15). Количество выпавших осадков измеряют обычно 2 раза в сутки. Выпавшие осадки, уловленные дождемером, измеряются при помощи мерного стакана. Осадки выражают в миллиметрах слоя, выпавшего на площадь дна ведра. Этот слой осадков принимают за количество осадков, выпавшее в пределах той части водосбора, которая характеризуется наблюдениями по данному дождемеру.

В ряде случаев необходимо знать не только количество осадков, выпавшее за данные сутки или за полсуток. Бывает важно знать, как дождь выпал, т. е. какова была его сила (интенсивность) в начале дождя, в середине и в конце его, и какова фактическая продолжительность дождя. На эти вопросы дает ответ особый прибор так, называемый дождемер-самописец (плювиограф). Этот прибор состоит из: 1) приемника, в который поступают осадки, 2) пишущей части, представляющей собой цилиндрический сосуд с поплавком, на стержне которого укреплено перо самописца, и барабана с часовым

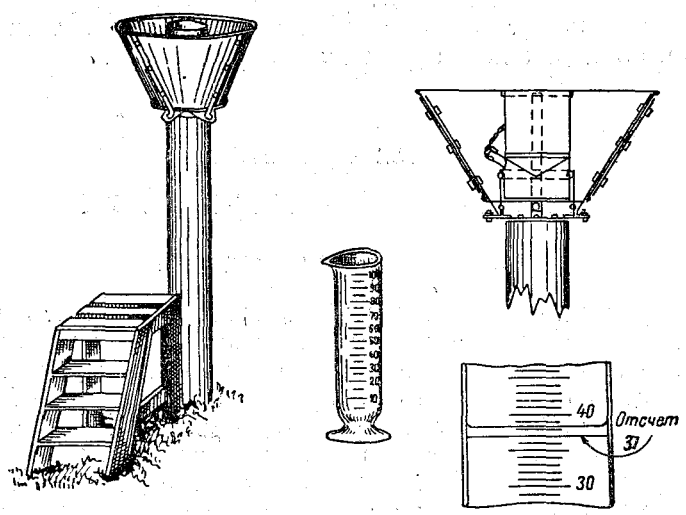


Рис. 14. Дождемерная установка.

механизмом, на который накладывается бумажная лента для записи дождя, и 3) сифона, служащего для слива воды из сосуда с поплавком после того, как в него набралось из приемника совершенно определенное количество воды.

Запасы воды в снеге определяются по высоте и плотности снежного покрова. Для того чтобы установить запасы воды в снеге в той или иной части водосбора, производятся специальные снегомерные съемки.

Для съемок в каждом случае выбираются три участка: в поле, в лесу (под кронами деревьев) и на лесной поляне; каждый из этих участков разбивается на ряд маршрутов, по которым и производится съемка. Наблюдения производятся обычно 1 раз в декаду (или пентаду) или же, по мере надобности, более часто, например в период снеготаяния. Снегосъемку начинают утром, как только становится достаточно светло, чтобы успеть ее закончить в светлую часть суток — в начале зимы, и до интенсивного дневного таяния — во второй половине зимы.

Измерения высоты и плотности снежного покрова производятся вдоль намеченных промерных линий (маршрутов) через равные промежутки: высота приблизительно через каждые 10 *м*, а плотность через каждые 100 *м*. Из всех наблюдений, сделанных в более или менее одинаковых условиях, например на ровном поле или в сосновом лесу, выводят среднюю величину высоты и плотности снежного покрова, которые и будут характерными для данных условий местности на день наблюдения.

Высота снежного покрова измеряется переносной рейкой.

Плотность снежного покрова определяется путем взвешивания пробы снега, вырезаемой из всей толщи снежного покрова при помощи особого цилиндра снегомера-плотномера и подложенной снизу дощечки. Плотность снега для каждой пробы определится делением веса пробы на ее объем. Для этого надо вес — число делений, отсчитанное по линейке весов m, разделить на увеличенный в 10 раз отсчет по шкале цилиндра снегомера h_0 (т. е. на высоту пробы, выраженную в миллиметрах).

Например, если вес пробы $m = 63$ (деления), а высота снега по шкале цилиндра $h_0 = 29$ *см*, то плотность будет равна $d = \frac{m}{10 \times h_0} = \frac{63}{10 \times 29} = 0{,}217$, или, округляя, 0,22.

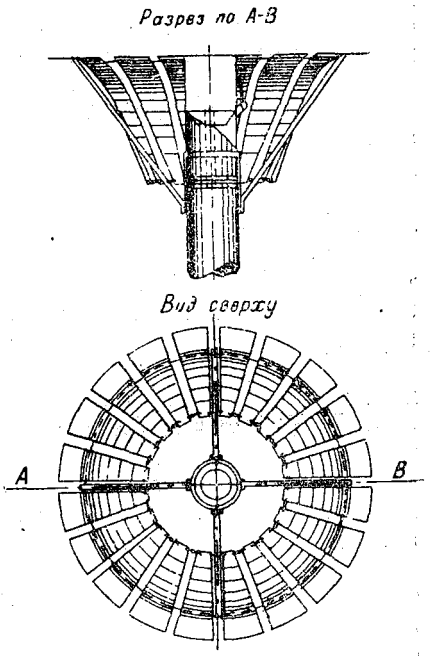


Рис. 15. Осадкомер Третьякова.

Плотность снега обычно меньше всего в начале зимы (около 0,01), а к весне, после оттепелей, она достигает величины 0,3—0,4.

Зная плотность снега и его высоту, можно определить запас воды в снеге.

Например: средняя плотность снега $d = 0{,}25$; средняя высота снега $h = 18{,}6$ *см*. Запас воды будет равен $10 \times h \times d = 10 \times 18{,}6 \times 0{,}25 = 46{,}5$ *мм*.

Запас воды в снеге выражается в миллиметрах. Он показывает высоту слоя воды, которая образовалась бы на поверхности почвы, если бы весь снег мгновенно растаял.

В исключительных случаях допустимы облегченные съемки, во время которых достаточно сделать 1—2-километровых маршрута в поле и в лесу с расстоянием между точками измерения 50—100 *м*. Для определения плотности снега при облегченных съемках и отсутствии необходимого плотномера может

быть использовано цилиндрическое ведро. Плотность снега при этом определяется объемным способом как отношение объема воды, образовавшейся от таяния пробы снега, к объему этой пробы.

Наблюдения над уровнем воды на реках и озерах

Режим уровня и назначение водомерных наблюдений. Наблюдения над уровнем воды, или водомерные наблюдения, должны производиться в подходящем для этого месте реки или озера, при наличии специального устройства, или так называемого водомерного поста, и быть регулярными. Только при этих условиях они будут полноценными.

Если производить наблюдения над уровнем воды изо дня в день в течение ряда лет, то получится более или менее полная картина колебания уровня воды, или режим уровня реки (или озера) в данном месте. Колебания уровня воды определяются в основном изменением количества протекающей по реке воды, т. е. величиной стока, а сток, как об этом более подробно сказано в главе третьей, определяется климатическими условиями данной местности и ее характером (равнина, холмы, горы).

Годовой режим уровня воды может быть наглядно изображен в виде графика колебания уровня воды за средний по стоку год. Подобный график позволяет судить об общих чертах в ходе уровня на данном створе изучаемой реки (рис. 16).

Данные об уровнях воды в реках являются одним из важнейших элементов расчета при решении гидротехнических и водохозяйственных задач.

Например, наивысшие уровни воды необходимы для расчета отверстий плотин, а также мостов, для определения высоты полотна мостов и высоты земляных плотин и дамб, не допускающих перелива воды через гребень. Сведения о наинизших уровнях воды необходимы при устройстве водоснабжения для определения глубины опускания водозаборных труб, при заложении дна самотечных обходных и оросительных каналов, при закладке порога шлюза с низовой стороны реки, где беспрепятственный вход и выход судов из шлюза должен быть обеспечен и при наинизшем уровне воды, и т. д.

Данные об уровнях используются и для текущего обслуживания народного хозяйства. Уровни, наблюдаемые на перекатах или близ перекатов судоходных рек, служат для определения глубин по фарватеру (судовому ходу) реки. Уровни вместе с данными о ледовом состоянии реки принимаются во внимание при составлении прогнозов (предсказаний) времени и высоты весеннего половодья, летней межени и т. д. В подпертых бьефах (участки реки, подпертые сооружениями) измерения уровня служат для наблюдения за подпорным уровнем, который должен поддерживаться на постоянной высоте или колебаться в известных допустимых пределах. В противном случае при

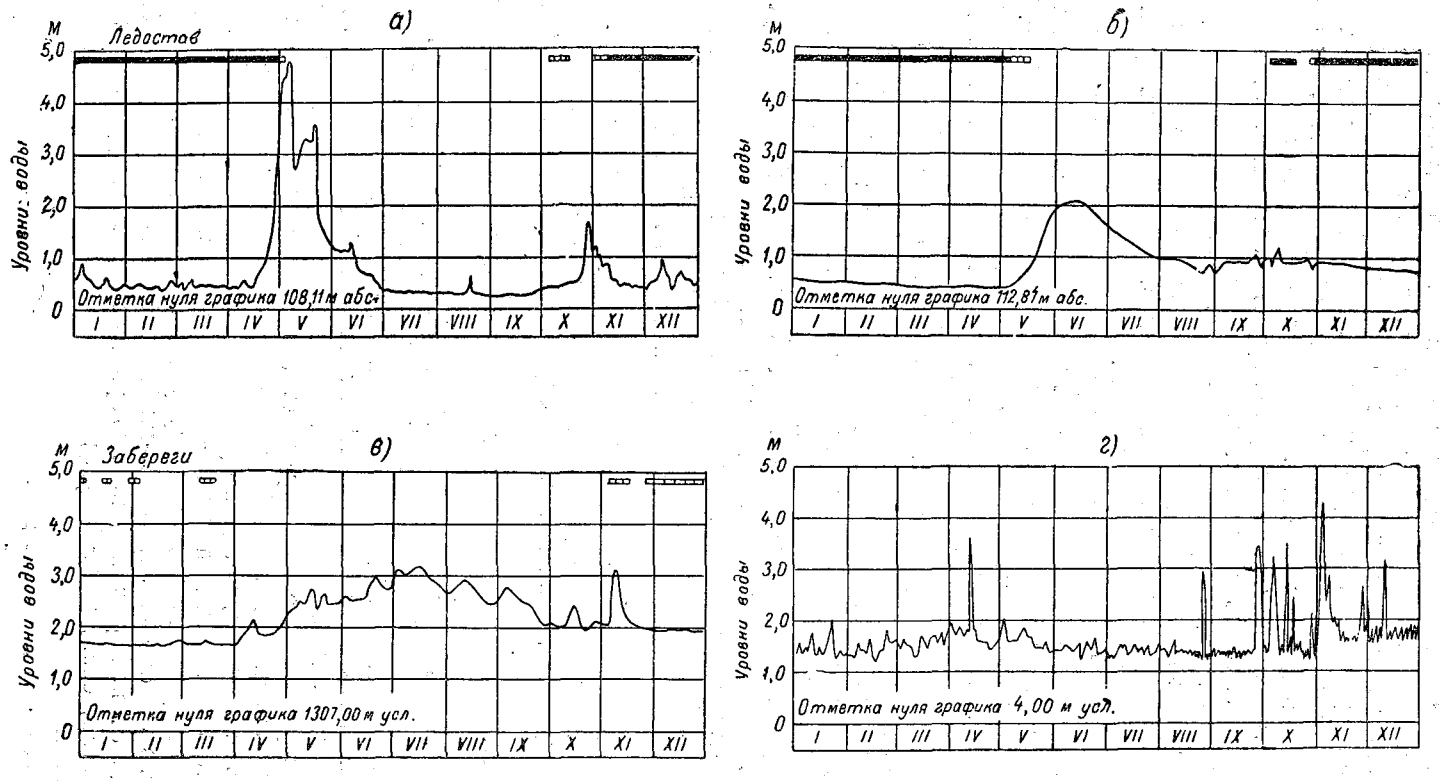


Рис. 16. Графики колебания уровней воды за 1941 г. на реках с различным водным режимом:
а) северная равнинная река, *б*) северная равнинная озерная река, *в*) горная ледниковая река, *г*) южная приморская река.

повышении или понижении уровня за допустимые пределы можно ожидать перебоев в работе, например, гидростанции или судоходства, для нужд которых этот подпор создан. Наблюдения над уровнем в озерах и водохранилищах обычно тесно связаны с их регулированием в целях судоходства, питания гидростанций или орошения. По высоте уровня определяется время открытия и закрытия регулирующих плотин, продолжительность сбросов воды и т. д.

Помимо прочего, уровни воды являются важнейшим вспомогательным материалом для подсчета стока, данные о котором необходимы при проектировании и эксплоатации различных гидротехнических сооружений.

Регулярные наблюдения над уровнем воды в России начались в семидесятых — восьмидесятых годах прошлого столетия, сначала на больших судоходных реках. Данные наблюдений за дореволюционные годы частично изданы под названием „Сведения об уровне воды на внутренних водных путях России". После Великой Октябрьской Социалистической революции, в связи с хозяйственным ростом страны и огромным промышленным и гидротехническим строительством, наблюдения над уровнем получили широкое развитие, и в настоящее время (1948 г.) в СССР насчитывается около 5000 пунктов (водомерных постов), где производятся регулярные наблюдения над уровнем воды. Данные наблюдений за период с 1916 г. публикуются Главным управлением Гидрометеорологической службы СССР, причем издания, включающие уровни воды на реках и озерах по 1935 г., называются „Сведения об уровне воды на реках и озерах СССР", а издания последующих лет, начиная с 1936 г., — „Гидрологические ежегодники".

Водомерный пост и его устройство. Водомерным постом называют специальное устройство в надлежаще выбранном месте на берегу реки, канала и т. д., служащее для наблюдений над уровнем воды.

Место под водомерный пост надо выбирать весьма тщательно, стараясь соблюсти следующие условия:

1) ставить пост вне подпора воды от сооружений и притоков;

2) располагать его на прямом участке реки с незатопляемыми и неразмываемыми берегами, где река не образует рукавов;

3) ставить пост поблизости от жилья (по возможности не дальше 2—3 *км*).

При устройстве поста у моста, плотины или шлюза пост следует ставить с низовой стороны сооружения (за исключением тех случаев, когда по условиям работы сооружения необходимо поставить два поста — выше и ниже сооружения).

Водомерный пост по своему устройству состоит:

1) из одного или нескольких приспособлений (точек наблюдения), от которых или по которым отмеряется уровень воды (например, свай, реек[1] и др.);

[1] См. реечные посты, стр. 35.

2) из особо прочных и неподвижных точек, называемых реперами, служащих для установления высотного положения точек наблюдения (рис. 17).

Репер как высотная основа уровенных наблюдений. Реперы необходимы для того, чтобы уровни воды в продолжение всего времени действия поста, даже при замене одних точек наблюдения другими, можно было выражать в возвышении над одною и тою же плоскостью, т. е. для того, чтобы уровни оставались всегда сравнимыми.

Пример. Пусть на водомерном посту в качестве приспособления для измерения уровня воды (точки наблюдения) служит рейка № 1, прибитая к ряжевому устою моста на такой высоте, чтобы нуль ее был всегда погружен

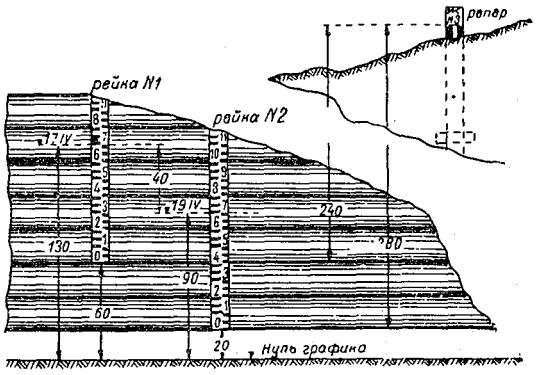


Рис. 17. Схема реечного водомерного поста.

в воду. В любой момент времени уровень воды на рейке будет равен делению, против которого приходится в этот момент поверхность воды. Например (рис. 17), уровень на рейке № 1 17/IV 194...г. равен 70 *см*.

Репером поста служит деревянный столб, отметка которого, т. е. положение по высоте, принята условно равной 50,00 *м*. Пусть превышение репера над нулем рейки № 1 равняется 2,40 *м*. Тогда отметка нуля рейки № 1 равна 50,00 — 2,40 = 47,60 *м* и уровень воды 17/IV 194...г. в условных отметках получится равным 47,60 + 0,70 = 48,30 *м*.

Положим теперь, что рейка № 1 18/IV 194...г. снесена ледоходом, и 19/IV установлена новая рейка № 2, также прибитая к ряжу, но уже ближе к берегу и не на той высоте, что рейка № 1.

Превышение репера над нулем рейки № 2 составляет 2,80 *м* и отметка нуля рейки № 2 50,00 — 2,80 = 47,20 *м*, т. е. рейка № 2 оказалась опущенной на 40 *см* (47,60 — 47,20) против прежней рейки № 1.

Пусть 19/IV уровень по рейке № 2 равнялся 70 *см*, т. е. отсчеты уровня 17 и 19/IV, сделанные по разным рейкам, численно оказались равными. Однако уровни воды 17 и 19/IV тем не менее стояли на разной высоте. Действительно, уровень воды 19/IV в условных отметках равняется 47,20 + 0,70 = 47,90 *м*, т. е. он ниже уровня 17/IV на 48,30 — 47,90 = 0,40 *м* = = 40 *см*, или на величину разности нулей реек № 1 и 2.

Можно еще в целях большей наглядности выразить те же уровни в возвышениях над условной горизонтальной плоскостью с раз навсегда выбранной для данного водомерного поста отметкой, называемой нулем графика поста. Предположим, что в данном случае за нуль графика принята отметка 47,00 *м*. По отношению к реперу этот нуль графика окажется на 3 *м* ниже площадки репера.

Чтобы уровни, отсчитанные по рейке, выразить в возвышениях над нулем графика, достаточно к отсчетам по рейке прибавить превышение нуля рейки над нулем графика, или, иначе, прибавить так называемую приводку нуля рейки. Приводки для нуля реек № 1 и 2 получаются как разность отметки нуля соответствующей рейки и нуля графика — для рейки № 1: 47,60 — 47,00 = = 0,60 *м* = 60 *см*, для рейки № 2: 47,20 — 47,00 = 0,20 *м* = 20 *см*.

Тогда уровни 17 и 19/IV в возвышениях над нулем графика (т. е. над плоскостью с отметкой 47,00 *м*) будут соответствовать данным табл. 1.

Таблица 1

Число	№ рейки	Отсчет по рейке	Приводка рейки (*см*)	Уровень воды над нулем графика (*см*)
17/IV	1	70	60	130
19/IV	2	70	20	90

Из приведенного примера ясно, что репера являются весьма важной частью водомерного поста, так как они обеспечивают преемственность в наблюдениях над уровнем воды в случаях повреждений и даже внезапных уничтожений приспособлений для измерения уровня.

В качестве реперов применяют: 1) деревянные столбы с поперечиной, закапываемые в землю на глубину ниже промерзания грунта, 2) пни, 3) чугунные сваи и рельсы, 4) так называемые марки, т. е. круглые диски, гвозди, штыри и т. д., затапливаемые на цементе или забиваемые в стены и фундаменты зданий и сооружений, или метки на выступающих частях зданий и сооружений.

На посту должно быть не меньше двух реперов, чтобы в случае повреждения одного из них можно было опереться на другой. Если известна высота репера над уровнем моря или, как говорят, репер имеет отметку над уровнем моря, то эта отметка называется абсолютной.

Если поблизости от водомерного поста (на расстоянии до 10 *км*) находится репер точной государственной съемки, абсолютная отметка которого всегда известна,[1] то отметки реперов поста необходимо определить, исходя из отметки точного репера, при помощи нивелировки. Нивелировкой называется определение превышения одной точки над другой или последовательного превышения ряда точек посредством специального точного инструменты — нивелира.

---

[1] Отметку репера точной государственной съемки можно узнать, запросив учреждение, производившее съемку, или областное Управление геодезии и картографии, где сосредоточены сведения по планово-высотным съемкам в данной области.

Подобную нивелировку по привязке постовых реперов к реперу государственной нивелировочной сети должен производить опытный техник.

Если точного репера поблизости от поста не имеется, то одному из постовых реперов дают условную отметку, например 50 000 *м*, и счет ведут от нее.

Типы постов по приспособлениям для измерения уровня воды. При устройстве водомерных постов в зависимости от местных условий и значения поста применяют различные постоянного типа приспособления для измерения уровня воды.

По приспособлениям для измерения уровня посты разделяют на типы, из которых в настоящее время более распространенными являются: реечные, свайные, мостовые и менее распространены, но имеют большое будущее посты более сложного типа: самопишущие и передаточные.

Реечные посты. Рейка представляет собой пластину длиною от 2 до 4 *м*, шириною 8—10 *см* и толщиною 2—2,5 *см*. Одна сторона рейки разделена на деления, закрашенные (масляной краской) попеременно через каждые 2 *см*, начиная от нижней грани, и пронумерованные через 10 *см*, причем единицы означают десятки сантиметров (например, цифра 2—20 *см*, цифра 15—150 *см* и т. д., рис. 17).

Рейку можно сделать самому (из дуба или хвойного дерева), но обычно пользуются рейками, изготовленными в мастерских. Помимо деревянных, изготовляются металлические рейки, они дороже, но прочнее, и их следует применять при устройстве особо важных постов.

Реечные посты, наилучшие из постов простого типа по удобству и простоте отсчета уровня (рис. 17), устраивают в тех условиях, где можно прочно прикрепить рейку, причем в таком месте, чтобы доступ к ней был обеспечен при всякой воде. Рейка должна быть достаточно длинной, чтобы можно было наблюдать по ней уровни от самых низких до самых высоких (т. е. полную амплитуду уровня). Если нехватает одной рейки, устанавливают две: одну для низких и другую для высоких уровней, или для наблюдения низких уровней забивают сваи (см. ниже). В последнем случае пост называется смешанным.

Реечные посты часто устраивают при мостках, по преимуществу деревянных, так как на них удобно прикреплять рейку.

Рейку устанавливают с низовой стороны моста ближе к берегу (насколько позволяют ожидаемые низкие уровни), прибивая или привинчивая ее в отвесном положении к мостовой свае или ряжу.

Еще лучше рейку вставлять в специально вынутый в свае или бревнах паз. К камню рейку прикрепляют втопленными на цементе штырями. При скалистых отвесных берегах (на горных реках) рейку таким образом прикрепляют прямо к скале. На малых несудоходных и несплавных реках, протекающих в мягких грунтах, при отсутствии сооружений установить прочный

реечный пост трудно. Иногда в таких условиях, устанавливая пост в низкую воду, помещают рейку в русле, прикрепив ее к специально забитой свае или столбу и защитив от ледохода деревянным ледорезом. Подобное постовое устройство мало надежно, а при пологих берегах, весной, если даже рейка устоит, доступ к ней бывает затруднен.

Если один из берегов менее полог, а грунт достаточно плотен, следует не пожалеть труда и вырыть для рейки на берегу небольшой бассейн (диаметром 2—3 *м*), соединив его с рейкой канавкой такой глубины, чтобы и в самую низкую воду бассейн общался с рейкой. При этом сначала надо выкопать насухо бассейн и закопать в его дно столб с прикрепленной к нему рейкой, а затем уже прорыть соединительную канавку. Если один из берегов возвышенный и не подмывается, на нем можно устроить деревянную консольную конструкцию и к ней привинтить рейку в висячем положении (рис. 18).

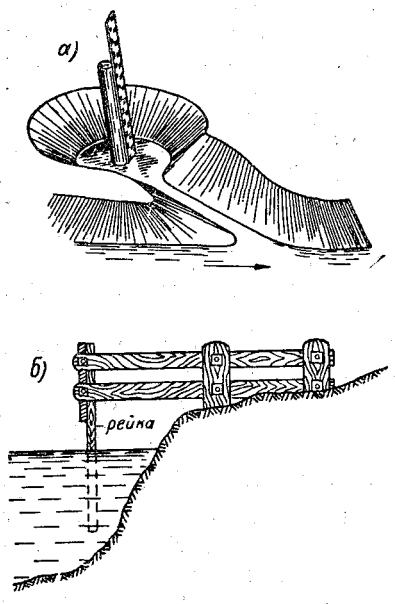


Рис. 18. Способы установки водомерной рейки:
а) в котловане на берегу, *б*) консольная конструкция.

На постах подобного типа в ледоход постоянная рейка снимается, и уровень измеряется переносной рейкой (от низа нижней поперечной схватки).

Обычно рейка ставится вертикально, но иногда имеет смысл расположить ее наклонно (например, при искусственных откосах берегов рек и каналов). Для обыкновенной рейки, поставленной наклонно, к отсчетам надо вводить поправочный коэффициент (при уклоне $1:\frac{1}{2}$—0,900; 1:1—0,709; 1:2—0,446; 1:4—0,243).

Свайные посты. В тех случаях, когда нельзя или ненадежно поставить реечный пост и когда грунт позволяет забить сваи, следует ставить свайные посты (рис. 19).

Для свай берут концы бревен в 2—2,5 *м* длиной и около 20 *см* в диаметре. Сваю забивают комлем вниз не менее чем на 1,5 *м* и верхний конец срезают горизонтально, оставляя над землей 10—15 *см*.

При необходимости установить свайный пост на каменистом грунте применяют чугунные винтовые сваи или концы рельс. Сваи надо располагать в выбранном сечении в одну линию, перпендикулярно течению (в перпендикулярном течению створе).

Чтобы правильно разместить сваи по высоте (особенно при устройстве поста зимой), надо на выбранном месте поставить репер, затем произвести нивелировку или ватерпасовку берега (см. устройство водомерного поста) и промеры дна, нанести данные съемки на миллиметровую бумагу, наметить на чертеже места свай, а затем перенести их на местность. Сваи надо располагать таким образом, чтобы головка нижней сваи была ниже самого низкого уровня, верхняя свая находилась примерно на высоте самого высокого уровня, а промежуточные сваи на таком друг от друга расстоянии и при такой взаимной высоте, чтобы было доступно и удобно наблюдать любой уровень воды (в среднем разность высот головок соседних свай должна быть 0,6—0,8 *м*, а чем положе берег, тем меньше). Головки свай следует окрашивать белилами.

Сваи нумеруются сверху вниз.

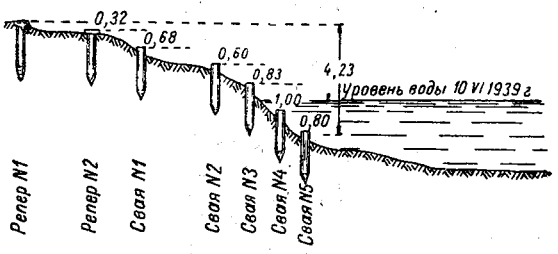


Рис. 19. Свайный водомерный пост.

Мостовые посты. Иногда уровень воды у моста измеряют не по неподвижной рейке, а путем опускания переносной рейки или груза на размеченной бечеве от определенной постоянной точки на мосту (например, от верха второй от правого берега стойки перил с низовой стороны, или от метки на настиле и др.).

Подобным же образом можно измерять уровень воды с отвесного берега. Для этого заделывают в берег лежмя одним концом балку или рельс и отмеряют уровень воды от другого конца, приходящегося над водой. Иногда прибегают к более сложной конструкции: на конце выноса помещен блок с проходящей через него бечевой (или стальным тросом), на которой опускается груз для отсчета уровня. Другой конец троса при поднятом доотказа грузе приходится против нуля горизонтальной рейки, по которой производится отсчет при измерении уровня. При опускании груза до воды конец троса пройдет вдоль рейки то же расстояние, на какое опустится груз. Последняя конструкция является переходной к постам передаточного типа.

Самопишущие, а также рассматриваемые ниже *передаточные посты* представляют более или менее сложные водомерные устройства, включающие специальные приборы, и разделяются как по приборам, так и по вспомогательным конструкциям на ряд типов. Сжатый объем настоящей книги позволяет дать только представление о постах указанных типов и коротко

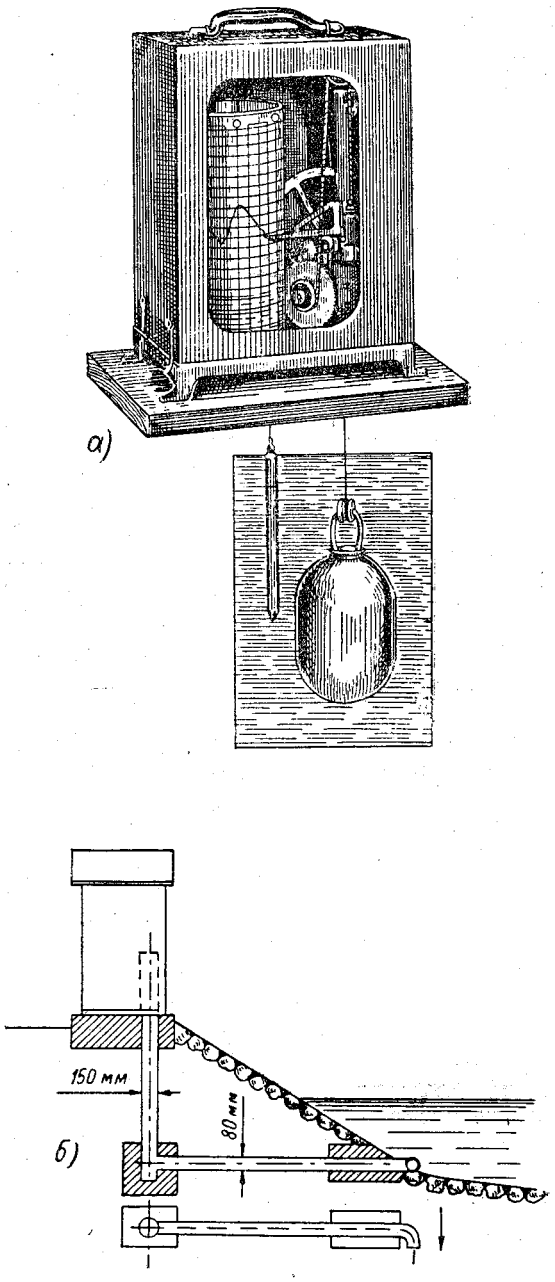


Рис. 20. Лимниграф и его установка:
а) лимниграф с вертикальным барабаном, *б*) установка лимниграфа.

перечислить области их применения. Более или менее подробное описание самопишущих и передаточных постов можно найти в литературных источниках, приведенных в конце книги.

Самопишущие посты имеют в основе своего устройства лимниграф (рис. 20 и 21).

Лимниграф представляет собою прибор, состоящий в основном из двух частей: барабана, приводимого в движение часовым механизмом, и пера, скользящего по барабану и приводимого в движение поплавком. Круговое движение барабана и линейное (в вертикальном направлении) движение пера, повторяющего движения поплавка, т. е. колебания уровня воды,

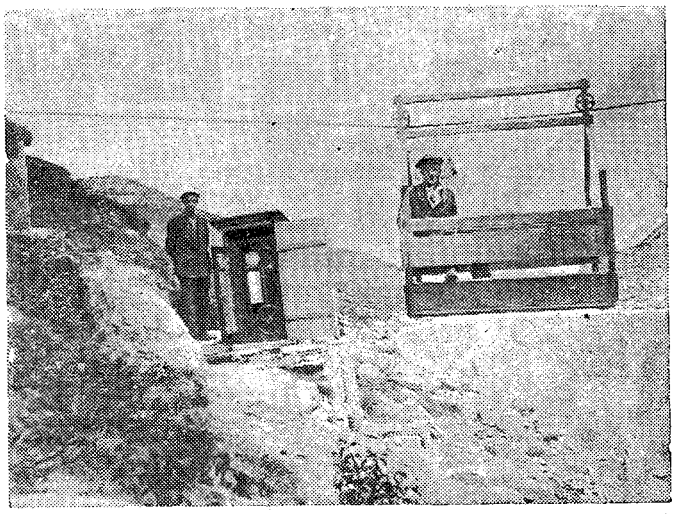


Рис. 21. Лимниграф и гидрометрическая люлька.

дают на графленой (миллиметровой) бумаге, которою обернут барабан, непрерывную кривую колебания уровня воды в уменьшенном масштабе.

Лимниграф устанавливается прямо над водой (например, со специального помоста, с набережной) или на берегу в будке, причем в последнем случае для поплавка устраивается колодец, который соединяется с рекою при помощи трубы.

Подводящую трубу надо закладывать ниже самого низкого уровня воды и ниже глубины промерзания грунта и ее сечение брать равным примерно $\frac{1}{100}$ сечения колодца. Зимой в колодец, чтобы вода в нем не замерзала, наливают слой минерального масла. При лимниграфе следует ставить контрольную водомерную рейку.

Лимнирафы действуют автоматически и при непрерывной работе дают полную картину колебания уровня. Эти преиму-

[illegible] при научных исследованиях, при контроле работы сооружений (на гидростанциях, в распределительных узлах оросительных систем), на реках с резкими колебаниями уровня, не улавливаемыми при обычных наблюдениях по рейке или сваям, и на постах с передачей уровня на расстояние в целях прогноза уровня. Поэтому лимниграфы находят применение на научных станциях, при сооружениях, при наблюдениях, обслуживающих прогнозы, и на горных реках. На равнинных реках, где колебания уровня носят плавный характер, при обычных гидрологических исследованиях применение лимниграфов обычно не оправдывается, тем более что они требуют внимания и опыта в обращении, а данные полученных по ним наблюдений — много времени на обработку.

Передаточные посты состоят обычно из трех частей: 1) передатчика уровня (на месте наблюдения), 2) линии передачи, 3) приемника уровня.

Передатчиком служит чаще всего поплавок, автоматически повторяющий все колебания уровня в месте наблюдения.

Передача производится механическим путем (при помощи веревки или троса), гидравлическим способом по закону сообщающихся сосудов, пневматическим способом (передача давлением по трубам) и электрическим путем с использованием имеющихся линий передачи. Расстояние передачи при первых двух способах 20—30 *м*, пневматическим путем — до 300 *м* и по электрическим проводам — неограничено. Приемником может служить рейка (при малых расстояниях), циферблат с соответственно выверенной шкалой деления или лимниграф.

При электрической передаче на большие расстояния для проверки служит телефонная и радиосвязь[1].

Передаточные посты в настоящее время еще не получили большого распространения. Их применяют на гидростанциях, на опытных станциях, в обсерваториях и на некоторых водомерных пунктах, предназначенных для обслуживания прогнозов.[2] С дальнейшим развитием гидроэнергетики и расширением междугородней и районной электросети, которая может быть использована для передачи уровней, число передаточных постов будет непрерывно расти.

Устройство водомерного поста. Нуль графика. После окончательного выбора места под водомерный пост необходимо прежде всего установить на этом месте репера на такой высоте, чтобы их не заливало водой при самом высоком уровне.

---

[1] Телефон и радио применяются как самостоятельный способ передачи уровня, наблюденного на обычном реечном или свайном посту. Передача наблюденных уровней по телефону осуществляется, например, уже много лет на искусственных водных системах речного транспорта. Понятно, что эта передача не является автоматической и непрерывной, и поэтому в подобных случаях можно говорить об организации передачи уровня, а не о передаточном водомерном посте.

[2] Большинство водомерных постов, обслуживающих прогнозы, относится к обычным реечному и свайному типам, и передача уровней с них производится по телеграфу, по телефону или по радио.

В тех случаях, когда самый высокий уровень неизвестен, о его высоте приходится судить предположительно по следам весеннего ледохода на берегах и на основании расспросов прибрежных жителей. Когда репера установлены, определяется поперечное сечение реки в створе будущего поста. Для этого провешивается прямая линия поперек реки с берега на берег, по возможности перпендикулярно течению. Горизонтальные расстояния по линии измеряются от репера или специального столбика, называемого п о с т о я н н ы м н а ч а л о м устанавливаемого в створе поста. Для измерения намечаются точки через 0,5—5 *м* на берегах и через 1—10 *м* над водой (точки берутся тем реже, чем положе берега и шире река). Обязательно измеряются расстояния от начала до урезов воды, т. е. до точек, где в момент измерения уровень воды соприкасается с берегом. Точки отмечаются на берегу колышками, забиваемыми вровень с землей, а над водой — метками на протянутой через реку бечеве или тросе шириной до 200 *м*.[1]

Когда линия провешена, берега нивелируются, т. е. посредством специального инструмента — нивелира — определяется высота отмеченных точек по отношению к реперу. При этом нивелируется и уровень воды (у уреза воды). Форма дна определяется посредством промеров в отмеченных точках, причем высота каждой точки дна получается как разность высоты уровня воды и глубины воды в данной точке. Промеры производятся при помощи рейки или лучше наметки, т. е. шеста с делением через 5 *см*, диаметром в 4—6 *см*, а при больших глубинах при помощи лота, т. е. груза на размеченном шнуре или тросе.

Съемка поперечного сечения в целях сбережения времени и труда иногда производится только с одного берега в пределах будущих постовых приспособлений. Для постов мостового типа и реечных постов на мостах иногда вовсе не производят съемки сечения, что, однако, неправильно.

Сведения об установке приспособлений для измерения воды приведены выше при описании отдельных типов постов.

После установки реперов и приспособлений для уровня (точек наблюдений) производится нивелировка готового поста.[2] Нивелировкой привязывают к реперам точки, над которыми будет производиться измерение уровня воды: у реечного поста — нуль рейки, у свайного — головки свай (по номерам), у мостового — выбранную постоянную точку; таким образом, нивелировкой определяется возвышение основного репера над каждой точкой наблюдения.

---

[1] Описание промеров на более широких реках см. литературу [3, 4].

[2] В тех случаях, когда из-за отсутствия нивелира при срочной необходимости немедленного открытия поста произвести нивелировку не представляется возможным, необходимо произвести вместо нивелировки ватерпасовку, пользуясь для этого удлиненным плотничьим ватерпасом (т. е. линейкой с уровнем) и отвесом. Ватерпасовка обязательно должна быть в самое ближайшее время подкреплена нивелировкой.

Высоту реперов и точек наблюдения, а также и уровня воды принято, в целях большей простоты, выражать не только в отметках (см. репера), но и в возвышениях над так называемым нулем графика.

Нулем графика называется отметка, не связанная ни с какой точкой поста или местности и выбираемая в створе поста (ее удобно выбирать на чертеже поперечного сечения реки в створе поста), при обязательном условии, чтобы она была ниже наинизшего возможного уровня воды. Нуль графика должен оставаться без изменения на все время действия поста.

Возвышения точек наблюдения (нуля рейки, головок свай) над нулем графика называются их приводками. Высота точек наблюдения может изменяться (например, из-за перестановки рейки, выпирания свай при замерзании грунта и т. д.), и с каждым изменением изменяется и приводка соответствующей точки. Приводкам ведется точный учет по датам изменений.

Оформление водомерного поста и проверочные нивелировки. Открытие водомерного поста оформляется составлением т е х н и ч е с к о г о с п и с к а поста, который содержит основные сведения о расположении и устройстве последнего. В технический список заносятся репера, сваи, рейки и выбранный нуль графика поста и данные нивелировок, как первой при открытии поста, так и последующих поверочных. Поверочные нивелировки поста следует производить не реже двух раз в год: осенью после начала ледостава и весной сразу после ледохода, а также каждый раз при получении сведений о повреждении постовых приспособлений.

Производство уровенных наблюдений летом и зимой. Наблюдателем на водомерном посту должен быть хорошо грамотный и добросовестный человек. Его необходимо снабдить записной книжкой и специальной книжкой месячных талонов наблюдений. Наблюдения над уровнем воды производятся в зависимости от характера колебания уровня или 1 раз в сутки в 8 часов, или 2 раза — в 8 и 20 часов. Иногда, главным образом при резких колебаниях уровня, например в половодье или после ливня, следует вводить дополнительные сроки наблюдений, например в 13 часов или через каждые 2 часа. Водомерщик наблюдает уровень воды на реечном посту, читая деление рейки, срезаемое линией поверхности воды (рис. 17). На свайном посту отсчет уровня производится по переносной рейке, устанавливаемой в воду на головке самой верхней из покрытых водой свай (рис. 19) (при переходе со сваи на сваю уровень наблюдают одновременно как по одной, так и по другой свае; это служит для контроля). На посту мостового типа измеряется расстояние от постоянной точки до поверхности воды, и водомерщик отсчитывает его в зависимости от конструкции поста (см. типы водомерных постов) по размеченному шнуру, наметке или горизонтальной рейке. Отсчеты уровня производятся с точностью до 1 *см*. На месте водомерщик записывает отсчет (а на свайном посту и номер сваи)

в записную книжку, а дома сразу же переносит его в записную книжку месячных талонов. Зимние наблюдения над уровнем не отличаются от летних, но требуют некоторой дополнительной работы, а именно: над служащей для измерений сваей прорубается лунка, закрываемая с целью отепления щитом. В случае обмерзания рейки или свай производится осторожная околка льда на них.

Кроме наблюдений над уровнем, водомерщик обязан наблюдать и отмечать:

Ежедневно: состояние реки и погоды (другие явления по указанию).
При вскрытии: 1) первую подвижку льда, 2) начало ледохода, 3) конец ледохода (чисто), 4) заторы и зажоры (донного льда).
При судоходстве: прохождение первого и последнего судна.
При сплаве: начало и конец сплава с указанием расстояний запаней и заломов леса от поста.
При замерзании: 1) сало, 2) забереги, 3) начало ледохода, 4) ледостав, 5) заторы и зажоры льда.
Зимний период: все указанные ледовые явления, если они имеют место, и, кроме того, толщину льда, которая измеряется раз в декаду (1, 11, 21 числа) специальной рейкой у берегов и посередине реки.

Первого числа каждого месяца водомерщик отсылает талон за истекший месяц по указанному ему адресу, например в местное Управление Гидрометеорологической службы (причем у него остается копия талона). Туда же он обязан немедленно сообщать о каждом повреждении поста, указывая дату и характер повреждения.

Уровни поступают от водомерщика в необработанном виде. Обработка их заключается в пересчете отсчетов, сделанных водомерщиком по рейке, над сваями и т. д., в возвышениях над нулем графика.

Пересчет производится при помощи известных из технического списка поста приводок нул й реек или свай, по которым делал отсчеты водомерщик. В случае недоразумений их надо немедленно выяснять опросом водомерщика.

Определение расходов воды

Определение расходов воды производится обычно с целью изучения величины и колебания стока реки в течение года или многолетнего периода, а также с целью установления предельных значений расходов воды в данном ее месте.

Каждое отдельное определение расхода воды представляет довольно трудоемкую операцию, и поэтому расходы воды определяют не ежедневно, как уровни, а через известные промежутки времени и притом при различных уровнях, стремясь охватить измерениями как низкие, так и высокие уровни.

Пользуясь отдельными измерениями расходов воды, строят так называемую кривую зависимости расходов воды от уровней (построение ее см. стр. 55), при помощи которой в дальнейшем устанавливают по уровням ежедневные расходы воды. Если наблюдения над уровнями и расходами продолжаются в течение ряда лет, то указанным образом можно получить полную

картину изменения расходов воды в реке, или режим стока реки в данном месте. Знание режима стока реки позволяет решать самые серьезные технические и водохозяйственные задачи: проектирование гидростанций, оросительных систем, судоходных и сплавных мероприятий и т. д.

Гидрометрический створ. *Выбор места.* Для определения расходов воды на реке (ручье, канале) необходимо выбрать на ней подходящий участок. Поперечное сечение реки на выбранном участке, на котором производятся регулярные измерения расходов воды, принято называть *гидрометрическим створом*, или сокращенно *гидростворомм.*

Выбираемый под гидроствор участок должен располагаться на реке там, где предполагается ее эксплоатировать. Положим, исследуется возможность сооружения гидростанции на р. Черной у совхоза *А* ниже впадения в р. Черную ее притока р. Белой. Местоположение для гидроствора следует выбирать на участке от устья р. Белой до месторасположения совхоза *А*, несмотря на то, что выше устья можно было выбрать более удобное место для производства гидрометрических работ. Необходимость устройства гидроствора ниже устья р. Белой диктуется тем обстоятельством, что выше устья р. Белой р. Черная несет меньше воды, нежели ниже устья Белой, где к расходу воды р. Черной прибавляется еще расход воды р. Белой. Следовательно, если гидроствор будет установлен выше устья р. Белой, то измеренные расходы воды будут меньше расходов в месте проектируемой гидростанции и окажутся непригодными для расчета гидростанции.

При выборе участка реки под гидроствор следует соблюдать те же условия, что и при выборе места под водомерный пост (см. стр. 32). Помимо этого, необходимо, чтобы поперечное сечение реки, выбранное под гидроствор, было по возможности неизменно или мало изменяемо во времени и близко к правильной и симметричной форме, т. е. чтобы понижение дна от берегов в сторону реки происходило более или менее плавно и равномерно и не прерывалось резкими возвышениями и провалами дна (рис. 2 *б*, стр. 14). Такая форма сечения не должна заметно изменяться на протяжении выбранного участка реки. Чтобы убедиться в этом, на выбранном участке производят промеры в нескольких поперечных сечениях (о промерах см. „Устройство водомерных постов") и в случае удовлетворительного результата выбирают одно из них под гидроствор.

Выбор прямого участка с руслом правильной формы необходим потому, что на такого рода участках течения воды примерно параллельно берегам и не имеет завихрений, а скорости течения воды в поперечных сечениях изменяются от берегов к середине и от дна к поверхности в общем равномерно. Эти обстоятельства облегчают работу по определению расходов воды и способствуют большей их точности.

Закрепление гидроствора. Профиль поперечного сечения. В сечении реки, выбранном под гидроствор, прежде всего про-

вешивается прямая линия с берега на берег, по возможности под прямым углом к направлению течения. Провешенная линия закрепляется двумя столбами — по одному на каждом берегу. На одном из берегов устанавливаются репера и водомерный пост. Столб, находящийся на том же берегу, где и репера, принято называть п о с т о я н н ы м н а ч а л о м. От него отмеряют все горизонтальные расстояния при съемке поперечного сечения и последующих промерах створа (рис. 2 *б*, стр. 14). При выборе гидроствора обязательна полная съемка поперечного сечения. Она заключается в нивелировке берегов и в промерах дна (см. стр. 41) и производится подобно тому, как и при устройстве водомерных постов.

Поперечное сечение реки в месте гидроствора вычерчивается на миллиметровой бумаге, причем на вычерченном профиле поперечного сечения наносятся (рис. 2, стр. 14) горизонтальными линиями уровень (горизонт) высоких вод (г. в. в.) и тот уровень, при котором производилась съемка. Профиль поперечного сечения реки на гидростворе является важным документом. По нему можно при любом известном уровне воды вычислить площадь живого сечения или отмерить глубину в какой-либо точке живого сечения, не производя для этого каждый раз новых промеров. При некоторых способах определения расходов воды (см. „Определение расходов воды поплавками") обыкновенно так и поступают, т. е. необходимые для вычисления расхода воды глубины или площадь живого сечения берут с готового профиля.

Живое сечение, его вычерчивание и вычисление. Промеры живого сечения, т. е. заполненной водой части поперечного сечения, являются ответственной работой, от тщательности выполнения которой в значительной степени зависит точность определения расходов воды.

Промеры живого сечения на гидростворе производятся прежде всего с целью проверки, не изменилось ли дно реки. Поверочные промеры производятся, в зависимости от характера грунта, от одного до нескольких раз в год (после весеннего ледохода и после разрушительных ливней). При поверочных промерах дно в пределах живого сечения промеряется во всех так называемых промерных точках, т. е. в тех же точках, в которых оно промерялось при первой съемке поперечного сечения.

При некоторых способах определения расходов воды (см. „Определение расходов воды вертушкой") также производятся промеры живого сечения при каждом определении расхода. Эти промеры, в отличие от поверочных, производятся не во всех промерных точках живого сечения, а только в тех из них, где одновременно производится измерение скоростей течения, глубины же в остальных промерных точках, если это требуется, берутся с профиля поперечного сечения.

На малых реках шириной в 10—30 *м* промеры, производимые при измерении расходов, вполне могут заменить повероч-

ные. Промеры следует производить всегда в одних и тех же точках, так как только при этом условии можно судить об изменениях дна и правильно сравнивать глубины и площади живого сечения. Достигается это следующим образом: горизонтальные расстояния от постоянного начала до промерных точек, установленных при первой съемке поперечного сечения, отмечаются прочными метками на промерном тросе, который натягивается между постоянным началом и парным ему столбом на противоположном берегу таким образом, чтобы нулевая метка всегда приходилась у постоянного начала против определенной точки на окружности столба. При этом условии и все остальные метки на тросе всегда будут приходиться над одними и теми же точками на дне реки.

Техника промеров весьма различна. Она зависит от ширины реки и скорости течения воды (см. литературу [2, 3]).

Если промеры производятся с лодки и для остановки ее в промерных точках приходится держаться за трос, то лучше натягивать рядом с промерным второй, тяговый трос; иначе лодка может оттягивать промерный трос, и глубины против одной и той же метки будут измеряться на самом деле в разных точках. Само измерение глубины надо производить тщательно, стараясь опускать наметку или лот, служащие для промера, точно против метки на тросе.

Результаты промеров в целях наглядного изображения живого сечения наносятся на миллиметровую бумагу.

Ниже, на рис. 22 и в табл. 2 приведен пример построения и вычисления площади живого сечения по данным промера. Пусть данные промера будут соответствовать приведенным в табл. 2.

Таблица 2

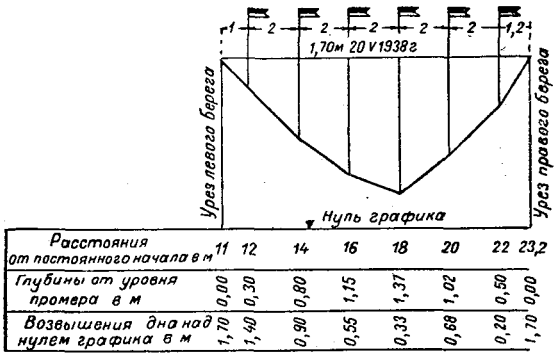
Расстояния от постоянного начала (*м*) . . .	11,0	12	14	16	18	20	22	23,2
Глубина от уровня промера (*м*)	0,00 (урез левого берега)	0,30	0,80	1,15	1,37	1,02	0,50	0,00 (урез правого берега)
Возвышения дна над нулем графика (*м*) .	1,70	1,40	0,90	0,55	0,33	0,68	1,20	1,70

Примечание. Уровень промера в возвышении над нулем графика 1,70 *м*.

Приведенная таблица с результатами промера помещается в нижней части рис. 22. Верхнюю черту таблицы можно использовать в качестве горизонтальной оси, а за вертикальную ось взять продолжение вертикального отрезка, отделяющего названия от цифр. Место пересечения осей следует считать за их начало. Расстояния (в подходящем масштабе) наносятся по горизонтальной оси, причем в целях экономии места расстояние первой точки или уреза левого берега можно считать приходящимся в начале осей и расстояния остальных точек откладывать вправо, начиная от первой точки.

Если принять горизонтальный масштаб 1 *см* = 2 *м*, то для второй точки в указанном масштабе необходимо отложить вправо от начала осей 12—11=1, *м* или в масштабе 0,5 *см*, для третьей 14—11=3 *м*, или в масштабе 1,5 *см*, и т. д.

Возвышения над нулем графика откладываются по вертикальной оси вверх, причем нуль графика можно считать на уровне горизонтальной оси, т. е. в точке пересечения осей. Если принять для данного примера вертикальный масштаб 1 *см*=0,5 *м*, то для первой точки надо отложить от начала осей $\frac{1,70}{0,5}$=3,4 *см*, для второй точки $\frac{1,40}{0,5}$=2,8 *см* и т. д.



Расстояния от постоянного начала в м	11	12	14	16	18	20	22	23,2
Глубины от уровня промера в м	0,00	0,30	0,80	1,15	1,37	1,02	0,50	0,00
Возвышения дна над нулем графика в м	1,70	1,40	0,90	0,55	0,33	0,68	1,20	1,70

Рис. 22. Поперечный профиль живого сечения реки
(вертикальный масштаб: 1 *см* = 0,5 *м*, горизонтальный масштаб: 1 *см* = 2,0 *м*).

Точки живого сечения получаются на пересечениях вертикальной и горизонтальной линий, проведенных для каждой точки из концов отрезков, отложенных для нее на горизонтальной и на вертикальной осях (например, для второй точки из концов отрезков 0,5 *см* на горизонтальной оси и 2,8 *см* на вертикальной оси).

Профиль живого сечения вычерчивается путем соединения соседних точек дна отрезками прямой. Точки урезов воды соединяются горизонтальной прямой, изображающей поверхность воды. Над нею надписывается уровень и дата промера.

Профиль живого сечения, как это видно из рисунка, представляет по форме многоугольник. Вертикальными отрезками в промерных точках многоугольник можно разделить на треугольники (по краям) и трапеции. Тогда площадь живого сечения будет равна сумме площадей треугольников и трапеций, составляющих многоугольник. Как известно, площадь треугольника равняется произведению половины основания на высоту, а площадь трапеции — произведению полусуммы оснований на высоту.

Если считать за основания треугольников и трапеций отрезки, изображающие глубины в промерных точках, а за высоты — расстояния между промерными точками, то площадь живого сечения получится из выражения:

$$F = \frac{0{,}3 \times 1{,}0}{2} + \frac{0{,}3+0{,}8}{2} \times 2{,}0 + \frac{0{,}8+1{,}15}{2} \times 2{,}0 + \frac{1{,}15+1{,}37}{2} \times 2{,}0 +$$
$$+ \frac{1{,}37+1{,}02}{2} \times 2{,}0 + \frac{1{,}02+0{,}50}{2} \times 2{,}0 + \frac{0{,}50 \times 1{,}2}{2} = 9{,}93 \ м^2.$$

Способы определения расходов воды. Для определения расходов воды применяется целый ряд различных способов.[1]

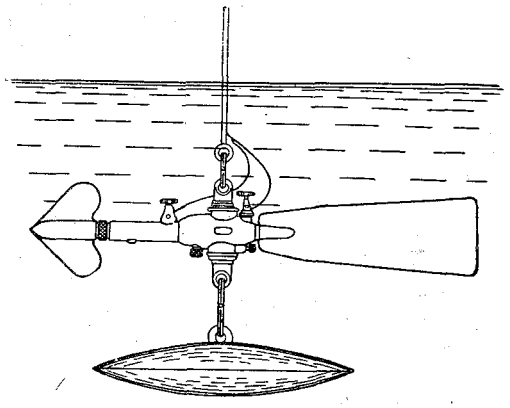


Рис. 23. Гидрометрическая вертушка.

Наиболее распространенные из них — вертушечный и поплавочный — основаны на измерении скоростей течения отдельных струй и требуют определения глубин и площади живого сечения. Из способов, основанных на иных принципах, важнейшими являются: отличающийся своею точностью объемный способ, затем способ смешения, способ водосливов и применяемый в последнее время на искусственных руслах способ насадок.

Определение расхода воды вертушкой. В е р т у ш к а. Вертушечный способ основан на измерении скоростей течения отдельных струй воды при помощи специального прибора — вертушки. Вертушка (рис. 23) представляет в основном лопастное колесо (лопасть), укрепленное на горизонтальной (в большинстве конструкций) или вертикальной оси.

Если опустить вертушку в проточную воду, то лопасть ее (в некоторых конструкциях вместе с осью) будет вращаться под действием протекающей воды. Число оборотов лопасти

[1] В настоящей книге, вследствие ее ограниченных размеров, кратко освещены только основные способы определения расходов воды. Более или менее полный обзор существующих способов можно найти в указанной в конце книги литературе.

в секунду зависит от скорости течения воды. Зависимость числа оборотов от скорости течения у каждой отдельной вертушки имеет свой особый характер, и для ее определения вертушка перед выпуском в работу подвергается испытанию или так называемой тарировке в специальном бассейне. Зависимость между числом оборотов лопасти вертушки в секунду и скоростью течения воды, выраженная графически, называется тарировочной кривой вертушки. Каждая вертушка должна иметь тарировочную кривую. Число оборотов вертушки, когда она находится в работе под водой, определяется посредством электрического счетчика (по звонку или по телефону), а время вращения — по часам или секундомеру.

Определив число оборотов в секунду, можно, пользуясь тарировочной кривой или составленной по ней таблицей, легко перейти к скорости течения воды.

В настоящее время существует довольно много различных конструкций вертушки. Наиболее известными советскими конструкциями являются вертушка Жестовского и вертушка Лагу, обе на горизонтальной оси. Из них вертушка Жестовского по своей конструкции пригодна для работы как в чистой, так и в мутной воде, а вертушка Лагу — только в чистой воде.

Вертушки изготовляются различных размеров, и измерения ими могут производиться при глубинах от 20—30 *см* до десятков метров.

В настоящее время начинает применяться специальная малоразмерная вертушка новой конструкции „Малютка" на вертикальной оси, предназначенная для лабораторий и для измерений в водотоках с глубинами порядка 20—30 *см*.

Полевые работы по определению расхода воды при помощи вертушки заключаются в измерении глубин и скоростей течения воды. Измерения производятся в нескольких местах равномерно по ширине реки в 5 — 12 пунктах на так называемых вертикалях, выбираемых заранее (как правило, на все время действия гидроствора) на чертеже поперечного профиля (на рис. 22 места вертикалей отмечены флажками).

Наблюдатель с вертушкой передвигается по створу в лодке или на понтоне, а на горных реках в подвесной люльке над водой (рис. 21). На малых реках, где позволяет течение, строят специальные гидрометрические мостики.

Установка на вертикалях на реках шириною до 200 — 300 *м* производится так же, как и при промере глубин, по тросу. Вертушка опускается в воду на штанге, а при больших глубинах — на тросе. На каждой вертикали сначала измеряют глубину, а непосредственно затем скорость течения (т. е. измеряют число оборотов и время вращения вертушки, а скорость вычисляют) обычно в пяти точках по глубине: у поверхности, на 0,2 H,[1] 0,6 H, 0,8 H и у дна. Иногда ограничиваются двумя точками (0,2 H и 0,8 H) или даже одной (у поверхности или

[1] Через H здесь обозначена глубина.

на 0,6 *H*). При определении расхода обязательно наблюдается уровень воды, лучше 2 раза: в начале и в конце измерений. Все данные наблюдений заносятся в специальный журнал. Определение расхода воды вертушкой занимает от одного до нескольких часов и требует двух-трех человек.

Простейший способ подсчета величины расхода воды заключается в следующем: сначала вычисляется средняя скорость течения отдельно для каждой вертикали по скорости в трех точках:

$$v_{\text{вер}} = \frac{v_{0,2\,H} + 2\,v_{0,6\,H} + v_{0,8\,H}}{4}$$

или по скорости в двух точках:

$$v_{\text{вер}} = \frac{v_{0,2\,H} + v_{0,8\,H}}{2}.$$

Вычисление самой величины расхода воды производится по частям. Для этого живое сечение реки, форма которого определена измерением глубин на вертикалях, разделяется на отдельные треугольники и трапеции (рис. 22). Можно считать, что через каждую отдельную часть живого сечения протекает частный расход, равный произведению площади этой части на полусумму средних скоростей течения воды на ограничивающих ее вертикалях.

Полный расход воды через все живое сечение выразится суммой частных расходов.

Положим, в живом сечении, изображенном на рис. 22, средние скорости на вертикалях составляют величины, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

	Урез левого берега	Вертикали						Урез правого берега
		1	2	3	4	5	6	
Глубины (*м*) . .	0	0,30	0,80	1,15	1,37	1,02	0,50	0
Скорости течения (*м/сек*) . .	0	0,10	0,20	0,40	0,60	0,50	0,20	0

Подсчет расхода воды указанным путем приведен в табл. 4.

Ошибка в величинах расходов воды, определенных вертушками, равняется обычно нескольким процентам. Размер ошибки зависит от характера течения воды, приспособлений для измерений, конструкции вертушки, способа обработки полученных данных и т. д. В частности, на равнинных реках с плавным те-

Таблица 4

Вертикали	Глубина на вертикали H (м)	Средняя глубина между вертикалями $\frac{H_1+H_2}{2}$ (м)	Расстояние между вертикалями l (м)	Частная площадь сечения F ($м^2$)	Скорость течения на вертикали v (м/сек)	Полусумма скоростей течения на смежных вертикалях (м/сек)	Частный расход воды Q ($м^3$/сек)
Урез левого берега	0,00				0,00		
1	0,30	0,15	1,00	0,15	0,10	0,05	0,01
2	0,80	0,55	2,00	1,10	0,20	0,15	0,16
3	1,15	0,97	2,00	1,94	0,40	0,30	0,59
4	1,37	1,26	2,00	2,52	0,60	0,50	1,26
5	1,02	1,20	2,00	2,40	0,50	0,55	1,32
6	0,50	0,76	2,00	1 52	0,20	0,35	0,53
Урез правого берега	0,00	0,25	1,20	0,30	0,00	0,10	0,03
Сумма .				9,93			3,90

чением вертушечные измерения дают более точные результаты, чем на горных реках, отличающихся бурным течением.

Определение расхода воды поплавками. Способ определения расхода воды с измерением скоростей течения при помощи поплавков является ускоренным, но дает менее точные значения расходов воды, и поэтому прибегать к этому способу следует только при отсутствии вертушки или при опасности работы с нею (например, в половодье), и притом только в тихую погоду.

Полевые работы заключаются в измерении скоростей течения воды, глубины же обычно берутся с готового профиля поперечного сечения на гидростворе.

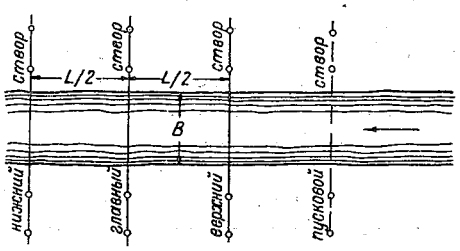


Рис. 24. Расположение в плане гидрометрических створов для измерения расходов воды поплавками.

Для измерений скоростей течения необходимо иметь три створа — главный гидроствор и по одному выше и ниже главного (рис. 24). Расстояния между створами следует брать одинаковыми и равными от одной до трех ширин реки каждое: $L = (1-3)\ B$. Поплавками обычно измеряют только поверхностные скорости течения. В качестве поверхностных поплавков

могут служить кружки дерева (диаметром 10—20 *см* и толщиною 2—5 *см*). Поплавки пускают выше верхнего створа с лодки или броском с берега. Число поплавков должно быть достаточным для освещения скоростей течения по всей ширине реки: обычно пускают 10—15 поплавков. Каждый последующий поплавок пускается после того, как предыдущий прошел все три створа. Поплавки заносятся в журнал под номерами в порядке их пуска. Время прохода поплавков через створы отмечается по сигналам, подаваемым махальщиками, устанавливаемыми на каждом створе. Место по ширине реки, где поплавок пересек главный створ, отмечается на-глаз по перетянутому через реку тросу или засекается угломерным инструментом, в обоих случаях по сигналу в самый момент прохода поплавка через створ. Средняя скорость поплавка, принимаемая равной поверхностной скорости течения воды на гидростворе в точке пересечения его поплавком, определяется по формуле:

$$v = \frac{L}{t} \text{ м/сек},$$

где L — расстояние между верхним и нижним створами в метрах,
t — время в секундах, за которое поплавок прошел это расстояние.

Поплавки пересекают гидроствор, как правило, на случайных вертикалях, не совпадающих с постоянными скоростными вертикалями. Глубины на этих случайных „поплавковых" вертикалях берут с готового профиля поперечного сечения реки на гидростворе.

Средняя скорость на поплавковой вертикали принимается (если нет других данных) приближенно равной $v_{\text{ср. вер.}} = 0{,}85\ v_{\text{пов.}}$

Вычисление расхода воды может быть произведено тем же способом, какой описан выше для случая вертушечного измерения. Однако живое сечение в случае поплавковых измерений разделяется на части не постоянными, а поплавковыми вертикалями, и тем самым несколько осложняется вычисление частных площадей сечений.

Кроме разобранного, существует еще один способ измерения поплавками, при котором поплавки пускают по стрежню реки для определения наибольшей поверхностной скорости течения ($v_{\text{пов. наиб}}$). По этой наибольшей скорости, пользуясь переходным коэфициентом, вычисляют сразу среднюю скорость течения для всего живого сечения ($v_{\text{ср}}$). Переходный коэфициент от $v_{\text{пов. наиб}}$ к $v_{\text{ср}}$ при наличии вертушечных измерений следует брать по аналогии с данными этих измерений. Для неисследованных рек его вычисляют по приближенным формулам. Чаще всего значение переходного коэфициента получается в пределах 0,50—0,70, т. е.

$$v_{\text{ср}} = (0{,}50 - 0{,}70)\ v_{\text{пов. наиб.}}$$

Величину площади живого сечения F при уровне, соответствующем времени измерения расхода воды, вычисляют по данным поперечного профиля реки на гидростворе. Величина расхода воды получается из выражения $Q = v_{ср} F$. Принято считать, что возможная ошибка в величине расхода воды, определенного поплавками, может достигать 20%.

Указанный процент может возрастать или убывать, в зависимости от условий и тщательности измерений и обоснованности принимаемых переходных коэфициентов.

Объемный способ измерения расхода воды небольших водотоков является по самому процессу измерения и по способу подсчета расхода несложным. Протекающая вода направляется в какой-либо сосуд, бак или бассейн (абсолютно водонепроницаемый), объем которого известен. По объему поступившей воды и времени ее поступления легко подсчитать секундное количество поступившей воды, или расход воды. Объемный способ является наиболее точным из всех способов измерения расхода воды, и именно им пользуются для установления точности некоторых других способов, в частности вертушечного (при помощи одновременных сравнительных измерений объемным и испытуемым способом). В естественных условиях объемный способ, к сожалению, применим только на очень небольших реках, ручьях и каналах (главным образом, в сухой период года), где расход воды не превосходит нескольких литров или, в крайнем случае, десятков литров в секунду. При измерениях объемным способом необходимо обеспечить поступление в измерительный сосуд полностью всей протекающей воды. С этой целью в естественном русле следует забивать поперек русла шпунтовую водонепроницаемую стенку из досок или брусьев, с тем, чтобы вода направлялась в измерительный сосуд через отверстие в стенке. Вода не должна просачиваться в обход стенки или под нею, для чего стенку следует забивать тем глубже и тем дальше продолжать в берега, чем водопроницаемее грунт.

Способ смешения[1] для определения расходов воды применим на малых водотоках с бурным течением (на горных реках, в искусственных ступенчатых руслах, а также при испытаниях малых гидростанций). Способ основан на введении в поток соляного раствора большой концентрации (насыщенность 200—300 *г* на 1 *л* воды) или сильного раствора красящего вещества (например, флуоресцина по 800—1000 *г* на 1 *л* воды). Раствор вводится на гидростворе и поступает в поток из специального бака (емкость около 100 *л* для соли и 5 *л* для красящего вещества) в течение 5—10 минут постоянным расходом (обычно 200—400 *см*^{3}/*сек* для соли и 5—10 *см*^{3}/*сек* для флуоресцина). Введенный в поток раствор при бурном течении очень быстро полностью перемешивается с водою в потоке, образуя с нею раствор слабой и одинаковой для всего живого сечения

[1] Способ смешения иначе называют химическим объемным способом.

концентрации. Можно считать, что на водотоках указанных выше категорий полное перемешивание происходит на протяжении нескольких десятков метров. По истечении 1—2 минут после начала введения в поток раствора, из потока в каком-либо сечении его, расположенном на несколько десятков метров (30—100 *м*) ниже гидроствора, берется проба воды (иногда несколько проб). Концентрация раствора в пробе определяется лабораторным путем. Расход воды Q определяется, исходя из того, что произведение из расхода q, вводимого в поток раствора, на его концентрацию k_1 должно равняться произведению расхода воды Q на концентрацию раствора k_2 в воде потока после перемешивания, откуда

$$Q k_2 = q k_1,$$

$$Q = q \frac{k_1}{k_2}.$$

Положим

$$q = 0{,}3 \text{ } л/сек, \; k_1 = 0{,}25, \; k_2 = 0{,}0001,$$

тогда

$$Q = 0{,}3 \frac{0{,}25}{0{,}0001} = 750 \text{ } л/сек = 0{,}75 \text{ } м^3/сек.$$

Опыт измерения способом смешения пока что невелик. В настоящее время считается, что указанным способом можно с успехом измерять расходы воды не больше 10—20 $м^3/сек$.[1]

Большим недостатком соляного способа является трудность перевозки 100-литровых баков и больших количеств соли, особенно в горных местностях. Другим недостатком является сложность и некоторая ненадежность определения слабых степеней концентрации раствора в пробах воды.

Эти недостатки до известной степени устраняются при пользовании красящим веществом (флуоресцином). Однако последний способ еще мало испытан и мало известен.

К достоинствам способа смешения следует отнести то, что он не требует измерений глубин и живых сечений и дает точные результаты как раз в тех условиях (бурное течение, неровное дно, кривые участки реки), где при применении других способов, в частности вертушечного, получаются неточные данные.

Способ водосливов. Если преградить водный поток в речке, ручье или канале поперечной стенкой и вырезать в ней открытое сверху отверстие так, чтобы вода переливалась через ребро выреза, то получится водослив. Перелив воды через ребро выреза в шпунтовой стенке, перелив через ребро щита в пролете плотины представляют собою водосливы.

Водосливы для измерения расходов воды устраивают на небольших каналах или ручьях в виде выреза в водонепроницае-

[1] При условии, что в потоке до введения в него раствора содержание соли было совершенно ничтожным.

мой поперечной стенке, которую следует забивать тем глубже и тем дальше продолжать в берега, чем водопроницаемее грунт.

Вырезу в стенке придают чаще всего форму прямоугольника, трапеции или треугольника. Величину расхода воды через водослив подсчитывают по специальным формулам, различным в зависимости от типа водослива. Для подсчета расхода через водослив необходимо знать высоту, т. е. отметку ребра выреза и ширину выреза, и измерить уровень воды несколько выше водослива, где на течении воды не сказывается его влияние (на малых реках в 3 — 5 *м* выше стенки).

Например, для часто применяемого водослива с вырезом в форме трапеции, называемого водосливом Чиполетти, формула для подсчета расхода воды имеет вид

$$Q = 1{,}86 \cdot b \cdot H \cdot \sqrt{H},$$

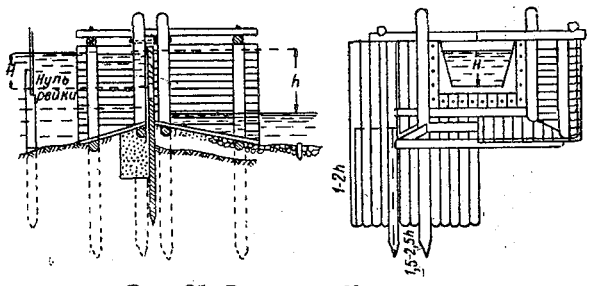


Рис. 25. Водослив Чиполетти.

где H — возвышение уровня воды над ребром выреза и b — ширина выреза (рис. 25).[1]

Способ насадок. В последнее время в искусственных руслах, в частности на оросительных каналах, стал распространяться способ определения расхода воды при помощи насадок или специальных конструкций в форме порогов и сужений, которые помещают в русле для создания в нем подпора. По величине подпора узнают величину расхода воды, пользуясь для этой цели специальными измерительными устройствами.

Связь расходов и уровней. Кривая расходов воды. Конечной целью измерений расходов воды является обычно определение стока и установление предельных величин расходов, а для этого крайне важно выявить зависимость величин расходов воды от высоты уровня на гидростворе или на ближайшем постоянном водомерном посту (если гидроствор не совпадает с ним).

Поэтому одновременно с каждым определением расхода воды обязательно следует, как было указано выше, измерять и уровень воды.

Измеренные величины расходов воды и соответственные им уровни для установления между ними связи откладывают на

[1] Измерения по водосливу Чиполетти дают хорошие результаты, когда H не превышает $^1/_3$ b.

чертеже в некотором масштабе — расходы по горизонтальной, а уровни по вертикальной оси. Изображение какого-либо расхода в виде точки получается на пересечении перпендикуляров, восстановленных из концов отрезков, выражающих данный расход и соответственный ему уровень на упомянутых горизонтальной и вертикальной осях. Таким же образом получаются точки всех остальных расходов. Если на участке реки, где расположен гидроствор и пост, не наблюдается подпоров и русло устойчиво, то точки расходов воды ложатся по плавной кривой линии, образуя так называемую кривую расходов воды (рис. 26). Кривая расходов воды получается обычно только для периодов, когда река не покрыта льдом.

Пользуясь кривою расходов воды, можно по уровням получать значения соответствующих им расходов воды. При нали-

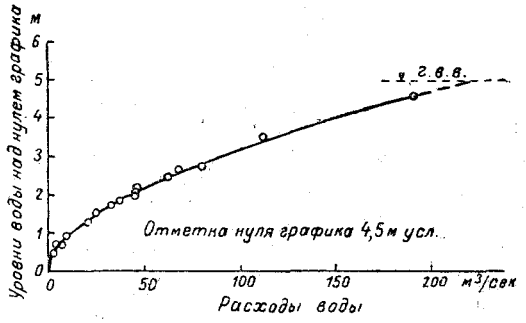


Рис. 26. Кривая расходов воды.

чии ежедневных уровней по ним и кривой расходов получают ежедневные расходы воды, а по ежедневным расходам подсчитывают сток, суммируя ежедневные расходы и умножая сумму на число секунд в сутках, т. е. на 86 400.

Для периодов, когда река покрыта льдом, при подпоре, а также на реках с неустойчивым или зарастающим руслом кривые расходов или не получаются вовсе, или же изменяются вместе с изменениями русла.

При этих условиях подсчет стока производится при помощи различных вспомогательных приемов (см. литературу [4]), а измерения расходов должны производиться чаще.

Общее понятие об измерении уровня и расхода подземных вод

Наблюдения над уровнем. Для наблюдений над уровнем подземных или грунтовых вод устраивают так называемые смотровые колодцы, располагая их по возможности в направлении движения подземного потока. Смотровые колодцы выкапывают или получают бурением, причем в образованные скважины опускают постоянные наблюдательные трубы или закрепляют стенки скважин досками, образующими квадратное сечение, обычно 15×15 *см*. Верх наблюдательной трубы или обшивки

досок связывают нивелировкой с репером. Наблюдение над уровнем производится путем отсчета расстояния от верха колодца (или скважины) до поверхности воды в колодце по опускаемой в колодец рейке или лоту. Для узких глубоких скважин применяются специальные водомерные лоты с электрическим сигналом, или так называемым свистком, автоматически отмечающими достижение лотом поверхности воды в колодце. Колодцы располагают обычно на расстоянии не более 200—300 *м* друг от друга. При правильном расположении колодцев в направлении движения грунтовых вод по падению уровня воды в смежных колодцах и расстоянию между ними можно приближенно судить об уклоне поверхности грунтовых вод.

Определение расхода воды грунтовых вод представляет собою трудную задачу, причем даже при самом продуманном и тщательном ее решении нельзя поручиться за точность получаемых результатов. Подобно расходу поверхностных вод, расход потока грунтовых вод определяется живым сечением потока в водоносном слое грунта и скоростью течения воды в порах грунта. Для определения живого сечения потока устанавливают прежде всего верхнюю и нижнюю границы водоносного слоя — верхнюю, или уровень воды, и нижнюю, или начало водонепроницаемого слоя. Верхнюю границу определяют по наблюдениям в колодцах, нижнюю — при помощи бурения. Границами водоносного слоя определяется его поперечное сечение. Вода течет не по всему поперечному сечению, а только по порам среди твердых частиц грунта, и площадь пор в поперечном сечении водоносного слоя и есть его живое сечение. Площадь пор определяется по взятым пробам испытуемого грунта простейшим образом, путем наполнения сухой пробы доотказа водой. Обычно площадь пор составляет от 25 до 50% площади поперечного сечения грунта.

Скорость течения воды в порах грунта определяется путем введения в водоносный слой какого-либо химического вещества, обычно поваренной соли ($NaCl$) или нашатыря (NH_4Cl). Химическое вещество вводится в верхний по отношению к движению потока грунтовых вод колодец, а в нижнем (или в нижних) колодце, расстояние до которого предварительно измеряется, берутся пробы воды, чтобы установить время появления в нем раствора. Скорость течения определяется как частное от деления расстояния между колодцами на время, прошедшее с момента введения раствора в верхний колодец и до появления его в нижнем колодце. Произведение площади пор на скорость течения в них воды составит величину расхода воды.

Скорость течения грунтовых вод в порах грунта крайне невелика и обычно не превышает нескольких метров в час или в сутки.

Общее понятие об измерении твердого стока

Твердый сток, как уже указывалось в гл. 3, составляется из взвешенных в воде и из влекомых по дну, или донных наносов. Определение взвешенных и влекомых наносов производится

различными методами, причем обычно исследованию подвергаются только взвешенные наносы, методика измерения которых более разработана, чем для влекомых наносов.

Исследование твердого стока в части взвешенных наносов лучше производить путем измерения отдельных расходов взвешенных наносов. Расход взвешенных наносов или весовое количество их (в килограммах), проносимое в 1 секунду через живое течение потока, определяется в гидростворе путем взятия проб воды при одновременном измерении расхода воды.

Пробы воды берутся на тех же вертикалях и в тех же точках, в которых измеряются скорости течения воды. Для взятия проб служат резиновые мешки, так называемые батометры-тахиметры, емкостью 1 *л* каждый. Пробы на месте измерения сливаются в бутылки и затем для каждой пробы определяется весовое содержание в ней наносов (последнее при наличии точных весов может быть произведено и в полевой обстановке). Полученные данные о количестве наносов в отдельных точках и на вертикалях вместе с данными о скоростях течения воды на тех же вертикалях после соответствующей обработки (см. литературу [3, 4]) позволяют получить величину расхода взвешенных наносов. По ряду измеренных расходов строят кривую расходов взвешенных наносов и подсчитывают их сток, пользуясь уровнями воды и указанной кривой или же непосредственно по измеренным расходам. Последний способ значительно надежнее.

Определение количества влекомых по дну наносов является крайне трудной задачей вследствие сложности их измерения и неравномерности их движения.

Приборы, которыми измеряют влекомые наносы, обычно представляют собою ящики с дном в виде гибкой сетки из мельчайших колец. Подобная конструкция необходима для того, чтобы опущенный на дно прибор плотно прилегал к грунту. Из применяемых в СССР приборов известны батометр Полякова, батометр Шамова, батометр-сетка и др. Существующие приборы не являются универсальными и требуют дальнейшего усовершенствования.

В отдельных случаях может оказаться целесообразным специально сконструировать прибор применительно к местным условиям и особенностям движения наносов.

Неравномерность в движении влекомых наносов заключается в том, что они движутся волнами, причем длина волны нередко весьма значительна. Поэтому измерения в одних случаях могут оказаться соответствующими гребню волны, а в других ее провалу, т. е. быть несравнимыми. Во избежание этого, для определения влекомых наносов требуется предварительное исследование характера их движения.

Измерения влекомых наносов производятся обычно в нескольких точках по ширине потока — на гидростворе в местах скоростных вертикалей. Одновременно измеряется расход воды. Величина расхода влекомых наносов получается в результате

соответствующей совместной обработки данных измерений наносов и скоростей течения воды (см. литературу [3, 4]).

Знание общего количества взвешенных и влекомых наносов чрезвычайно важно для правильного определения заносимости водохранилищ, верхних бьефов[1] плотин и оросительных каналов и для проектирования промывных отверстий в сооружениях.

Особенное значение это имеет на горных реках. Водохранилище одной гидростанции на Кавказе, расположенное выше плотины в русле реки, оказалось через 8 лет работы гидростанции занесенным наносами на 75% своего полного объема и на 48% полезного объема. В нем отложилось за указанное время свыше 8 млн. $м^3$ наносов. Произошло это из-за недостаточной пропускной способности промывных отверстий.

Особенности гидрологических наблюдений при ледоставе

Гидрологические наблюдения при ледоставе в общем незначительно отличаются от наблюдений при открытом русле, но они дополняются общими наблюдениями над состоянием ледяного покрова, измерениями толщины льда и наблюдениями за шугой.

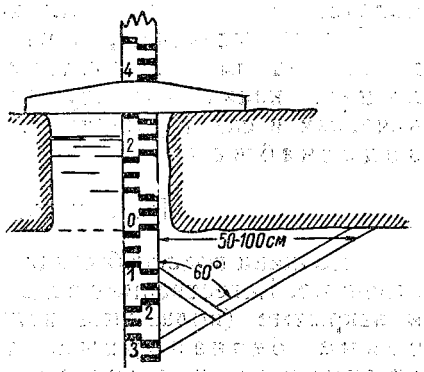


Рис. 27. Ледомерная рейка.

При измерении уровней воды на свайных постах, как уже было сказано выше, над сваями прорубаются лунки, очищаемые от снега и закрываемые щитами с целью отепления. В случае обмерзания свай производится осторожная околка их от льда.

При измерении расходов воды во льду прорубают лунки для опускания вертушки на постоянных створах в местах вертикалей.

Глубина вертикали считается, при измерениях подо льдом, от нижней поверхности льда. Скорости измеряются, как и при летних измерениях, в пяти точках. Средняя скорость чаще определяется по формуле

$$v_{ср} = \frac{v_{0,2\,H} + v_{0,8\,H}}{2}.$$

Измерение толщины льда на водомерных постах производится обычно не чаще одного раза в декаду в специально каждый раз прорубаемых лунках — одной посредине реки и двух близ берегов. Измерение производится при помощи специальной рейки (рис. 27). Простейшим видом такой рейки является шест со вбитым у его конца под прямым углом гвоздем.

[1] Верхним бьефом плотины называется часть реки непосредственно выше сооружения, нижним бьефом — часть реки ниже сооружения.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИИ В ДЕЛЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Вода — необходимая составная часть каждого живого организма (человека, животного, растения). Она служит основным средством для улучшения санитарного состояния населенных мест, отдельных жилищ и совершенно необходима в работе самых различных отраслей промышленности.

Каждый организм, в частности человек, требует для своих нужд некоторое количество воды, причем эта вода должна обладать и определенными (хорошими) качествами.

Подача населению, а равно и промышленным или сельскохозяйственным предприятиям доброкачественной воды в необходимом количестве осуществляется с помощью системы технических и санитарно-гигиенических мероприятий, называемой водоснабжением.

Источники водоснабжения

Источники водоснабжения могут быть естественные и искусственные. Естественные водоемы бывают открытые (реки, озера) и закрытые (подземные воды). Последние делятся на грунтовые безнапорные, т. е. ключевые (рис. 28), и грунтовые напорные, или артезианские (рис. 29). К искусственным водоемам относятся пруды и водохранилища.

В местах, бедных водою, для водоснабжения используется снеговая и дождевая вода, собираемая посредством устройства запруд или же в цистернах и баках; там же, где нет пресной воды, иногда для водоснабжения употребляется морская вода, опресненная в специальных опреснителях.

При выборе источника водоснабжения необходимо отдавать предпочтение воде, свободной от всякого загрязнения. В этом отношении наиболее пригодными и надежными являются подземные воды, скрытые в земле на значительной глубине и таким образом наиболее защищенные от загрязнения.

Вода открытых водоемов, расположенных вблизи населенных мест, очень легко подвергается загрязнению. Сточные воды, отбросы и нечистоты во время дождей и весенних разливов смываются с берегов и попадают в водоемы непосредственно или проникают в них через верхние грунтовые воды путем пропитывания почвы. Наиболее опасно загрязнение стоячих вод — небольших и неглубоких озер и прудов, а также водохранилищ, так как попавшие в них нечистоты быстро разлагаются и заражают воду всего водоема. Водоснабжение из таких водоемов, а также из малых рек допустимо лишь в негусто и недавно населенных местностях при непременном соблюдении ряда технических и санитарных условий, предотвращающих значительное загрязнение используемых вод. В местах, густо населенных и давно обжитых, при водоснабжении из открытых

водоемов применяют систему дорогостоящих очистительных фильтров.

С осторожностью следует относиться и к колодезному водоснабжению, если колодцы питаются почвенными водами, так называемой верховодкой. В населенных местностях почвенные воды, прошедшие небольшой слой почвы, не успевают очиститься от загрязняющих веществ и могут оказаться негодными для питья.

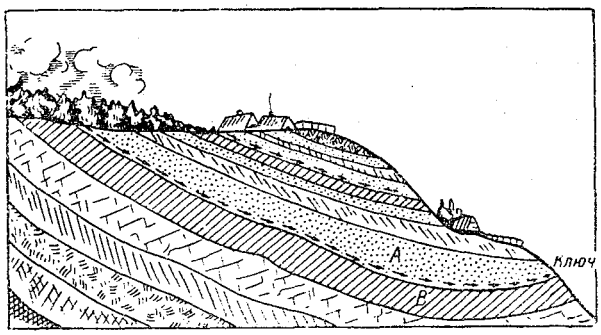


Рис. 28. Образование ключа:
A — водоносный слой, *B* — водоупорный слой.

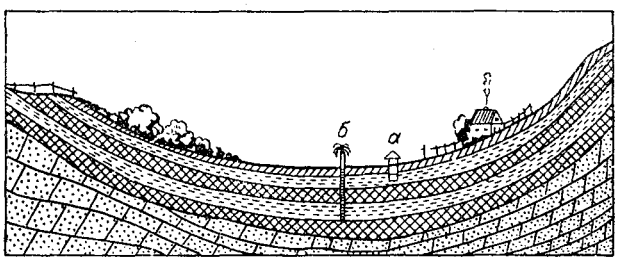


Рис. 29. Колодцы:
а — простой, *b* — артезианский.

При снабжении промышленных и иных предприятий водой, не употребляемой для питья, от указанных условий допускаются отклонения, обусловленные теми требованиями, которые предъявляются к воде в каждом отдельном случае.

К водоснабжению питьевой водой населенных мест из открытых водоемов обычно прибегают или при отсутствии в районе населенного пункта достаточных запасов грунтовых и ключевых вод, или в случае, когда получение подземной воды оказывается чрезмерно дорогим.

Но даже и при небольших запасах грунтовых и ключевых вод необходимо стремиться использовать прежде всего именно их, как наиболее надежных в санитарно-гигиеническом отношении, прибегая к использованию поверхностных вод лишь в последнюю очередь. Часто бывает целесообразно использо-

вание одновременно двух видов вод: грунтовых — для снабжения питьевой водой и из открытых водоемов — для бытовых, хозяйственных и промышленных целей.

В каждом отдельном случае вопрос о правильном выборе того или иного из возможных источников водоснабжения должен быть решен путем сравнения разных вариантов устройства водоснабжения.

При выборе источника водоснабжения необходимо выяснять его режим, а также возможность и пределы использования с учетом потребностей в воде на другие (помимо водоснабжения) нужды, для чего надо знать:

1) местонахождение источника, надежность его действия и стоимость подвода воды из него к месту потребления;

2) количество воды, которое может дать источник, изменения этого количества во времени и соответствие его графику потребления воды (см. ниже);

3) качество воды и его изменения во времени под влиянием различных обстоятельств;

4) характер и тип необходимого водоснабжающего сооружения и возможность использования для его устройства местных недефицитных материалов;

5) условия и стоимость производства работ по устройству водоснабжающего сооружения;

6) условия будущей эксплоатации источника, которые определяются в конечном счете себестоимостью 1 $м^3$ воды, доставленной потребителю.

Вследствие того что для целей сельского водоснабжения используются обычно только источники, дающие воду в достаточном количестве, при выборе источника водоснабжения необходимо решать собственно два основных вопроса, а именно:

1) есть ли возможность при наличии оборудования, материалов и квалифицированной рабочей силы получить воду из данного источника и

2) чему будет равняться себестоимость воды, взятой из данного источника, в месте потребления.

Однако не всегда надлежит руководствоваться соображениями дешевизны потребляемой воды; в тех случаях, когда имеются дополнительные требования на воду для удовлетворения различных производственных нужд совхоза или колхоза, следует иногда принимать более дорогостоящее водоснабжающее оборудование (начиная с источника водоснабжения), но своевременно подающее воду хорошего качества.

Для обеспечения надлежащего качества подаваемой потребителю воды необходимо при проектировании источников водоснабжения разработать и меры по их санитарной охране. Размеры охранной зоны для каждого водоснабжающего сооружения устанавливаются в соответствии со специальным правительственным постановлением об установлении санитарной охраны водных источников (см. постановления ЦИК и СНК СССР от 17/V 1937 г., № 96, 834).

Изыскания для определения источников водоснабжения

В зависимости от того, какой водный объект избирается в качестве источника водоснабжения, производятся те или иные изыскательские работы.

Первый случай. За источник водоснабжения принимается река.

На основании по возможности многолетних гидрометрических наблюдений:

1) определяются наименьшие расходы воды в реке, наинизшие и наивысшие уровни воды, горизонты ледостава и направления струй в месте предполагаемого водозаборного устройства, а также устанавливается ход ежедневных расходов воды в реке в этом пункте по среднему расчетному году;

2) производится топографическая съемка участка реки, где предположено устройство водоприемных и водозаборных сооружений;

3) изучается геологическое строение русла и берегов реки;

4) берутся пробы воды и производятся анализы для определения ее химического и бактериологического состава, а также количества содержащихся в ней взвешенных наносов.

Определение наименьших расходов воды необходимо для решения вопроса о достаточности запасов воды в источнике для удовлетворения требований потребителя. Этой же цели служит и выяснение графика ежедневных расходов воды, который сопоставляется с графиком потребления (см. ниже, стр. 69). Значения наивысших и наинизших уровней решают вопрос о глубине заложения водозаборного устройства, для чего служат и определения горизонтов ледостава и направления струй. Знать оба эти фактора необходимо, потому что наличие льда требует особых защитных мероприятий, для того чтобы лед не препятствовал правильной работе водозаборных устройств и бесперебойному снабжению водой потребителя. Изучение направления струй позволяет решать, с одной стороны, вопрос заносимости места предполагаемого водозаборного устройства взвешенными и донными наносами и, с другой стороны, направление течения в реке на данном участке и возможность загрязнения воды сточными и иными грязными водами, стекающими с вышележащих участков.

Наличие в реке отмелей, островов и мысов, вследствие разбиваемого ими направления течения, может очень сильно увеличить разницу в качестве речной воды в разных точках одного или смежных течений.

Независимо от того, получается ли вода для питья или для технических целей, при выборе места расположения будущих водоприемных устройств необходимы следующие условия:

1) русло реки должно быть неизменяемо; в противном случае приходится прибегать к искусственному закреплению его при помощи тех или иных — в зависимости от местных условий — гидротехнических сооружений;

2) глубина реки должна быть достаточна; иначе ее приходится увеличивать искусственным путем, например устройством полузапруд;

3) в случае расположения вблизи водоприемника очистительных устройств берег реки должен быть для них удобным, во избежание особых затрат на земляные работы.

В том случае, когда за источник водоснабжения принимаются судоходные реки, место расположения водоприемника необходимо согласовать с условиями судоходства.

Второй случай. За источник водоснабжения принимается озеро.

При изысканиях производятся те же работы, что и в предыдущем случае (см. первый случай), за исключением определения направления струй. Вместо же расходов воды определяются пределы колебаний уровней озера и наименьший годовой объем воды, который без ущерба для других возможностей хозяйственного использования может быть изъят из озера в целях водоснабжения.

Обычно приходится встречаться с озерами, питание которых происходит почти исключительно (на 75–90%) за счет стока поверхностных вод и лишь в небольшой части за счет подземных вод. Реже приходится иметь дело с небольшими озерами, образованными проточной родниковой водой. Озера представляют собою как бы большие резервуары-отстойники. В них происходит осаждение из притекающей воды крупных и мелких примесей, причем этот илистый осадок, песчаные и глинистые частицы скапливаются на дне озера в весьма больших количествах. Во время бурь и ветров (волнений) скопившиеся на дне озера осадки взмучиваются и загрязняют воду. Поэтому забор воды из озера делают на высоте нескольких метров от дна. В глубоких озерах эта высота достигает 5—10 *м*, а в мелких озерах ее приходится уменьшать до 2 *м*, а иногда до 1,5 *м*; в последнем случае обязательно дополнительное устройство для очистки воды.

Указанное возвышение водоприемника (входное отверстие водозаборной трубы) над дном озера необходимо учитывать при подсчете наименьшего годового объема воды в нем, возможного к использованию в целях водоснабжения (выше отверстия — полезный слой, ниже края отверстия — мертвый слой).

Третий случай. За источник водоснабжения принимается уже имеющееся водохранилище. Производятся такие же исследования, какие были указаны выше для озера.

В тех случаях, когда для водоснабжения приходится прибегать к открытым водоемам, а запас воды в них недостаточен или режим расходов (в реке) не соответствует графику потребления, устраивают водохранилища с помощью плотины.

В некоторых случаях плотина устраивается в реке только с той целью, чтобы поднять уровень воды, увеличить слой протекающей воды и этим облегчить устройство водозаборных сооружений. В большинстве же случаев плотина и образуемое

ею водохранилище устраиваются для регулирования стока воды. Так как расход воды в реке сильно меняется не только по отдельным годам, а и внутри года, т. е. по сезонам и месяцам, то в периоды меженних (малых) расходов количество воды, которое несет река, может быть недостаточно для целей водоснабжения, и, наоборот, при паводках количество воды в реке значительно превышает требуемое. Эти запасы воды в паводок быстро стекают по реке и оказываются для водоснабжения бесполезными. Для задержания их строятся плотины и водохранилища, с помощью которых возможно производить регулирование стока. Как уже было указано, в водохранилище задерживаются излишки воды периода больших расходов, и накопленный таким образом запас воды используется в период малых вод.

В случаях, когда приходится устраивать специальное водохранилище, производятся:

1) выбор места для устройства водохранилища;

2) определение наименьших, наибольших и средних расходов водотока, на котором устраивается водохранилище, скорость наполнения водохранилища и его сработки. При отсутствии исходных данных для установления скорости наполнения и опорожнения водохранилища определяется водосборная площадь, длина ее и уклон поверхности, собираются данные об осадках и испарении и определяется коэфициент стока. Таким образом определяется качественный и количественный режим водотока и средний многолетний сток для бассейна водохранилища;

3) съемка местности под водохранилище, под плотину и водослив и соответствующие геологические исследования.

Подбирая место под водохранилище, стремятся к тому, чтобы получить для него наилучшие топографические, гидрологические, санитарные и другие условия и этим обеспечить значительную чистоту воды в нем.

Определение режима водотока, питающего водохранилище, а также скорости возможного наполнения водою водохранилища и его сработки производится путем специальных подсчетов.

При определении размеров водосборной площади обязательно используются имеющиеся картографический и плановый материалы, причем для площадей водосбора свыше 50 $км^2$ можно пользоваться любым, даже нерельефным, картографическим материалом путем очерчивания водосборной площади средней линией между соседними водотоками; при площади менее 50 $км^2$ она определяется по картам крупного масштаба с нанесенным на них рельефом.

В случае отсутствия картографических материалов площадь водосбора определяется обходом ее в натуре (глазомерная съемка).

Для снабжения водой промышленных предприятий или для удовлетворения хозяйственно-бытовых потребностей (например, совхозов и колхозов) нередко прибегают к водоснабжению из прудов, т. е. по существу из небольших водохранилищ,

образующихся за счет периодического стока на малых, иногда пересыхающих реках, логах и т. д.

При выборе места под пруд и под плотину необходимо руководствоваться следующими соображениями:

1. Устраиваемый пруд должен быть расположен возможно ближе к месту потребления воды. Однако при этом необходимо учитывать, что пруды при водопроницаемости их берегов могут вызывать подъем почвенных вод, а следовательно, влиять на основание зданий и различных сооружений, расположенных поблизости от пруда.

2. Водоток, в котором устраивается пруд, должен иметь ярко выраженный продольный уклон и поперечное сечение с возвышенными берегами и четким очертанием дна. Место, где предполагается устроить плотину, должно быть по возможности нешироким и обеспечивать минимальную допустимую глубину пруда, принимаемую для полевых прудов 3,5 *м*, а для усадебных до 5,5 *м* Запас высоты плотины над нормальным горизонтом воды в пруде принимают для полевых прудов 1,5—2,0 *м*, а для усадебных — 2,0—2,25 *м*. Таким образом, бровка плотины над дном устраиваемого пруда должна быть на высоте 5—5,5 *м* для полевых прудов и 7,5—7,75 *м* для усадебных. Следовательно, берега водотока в месте предполагаемого пруда вблизи от плотины должны возвышаться над дном на такую же высоту.

3. Устраиваемый пруд должен быть обеспечен достаточной водосборной площадью и такой величиной стока, которая гарантирует наполнение пруда водой.

4. Ложе пруда должно быть водоупорно. В пределах его не должно быть песчаных обнажений, а также выходов трещиноватых известняков или других пород, фильтрующих воду. Желательно, чтобы дно и склоны пруда (до заполнения его водой) были задернованы.

5. Водоток, на котором устраивается пруд, как правило, не должен иметь признаков засоления. Однако пруды, предназначенные для водопоя скота, могут иметь осолоненную воду, но в этом случае необходимо исследовать степень засоления пруда и хозяйственную пригодность его воды.

6. Во избежание быстрого заиления водоема в пределах будущего пруда, а также по водотоку непосредственно выше пруда не должно быть действующих оврагов и оползней. В тех же случаях, когда избежать оврагов бывает невозможно, необходимо их соответствующим образом укреплять.

7. Разветвлений водотока в пределах пруда желательно избегать, так как они увеличивают потерю воды на испарение и фильтрацию, а, кроме того, при более или менее значительных колебаниях уровня воды могут приводить к заболачиванию местности, к образованию мелких стоячих водоемов, благоприятствующих развитию малярийного комара.

8. Плотину следует располагать так, чтобы она не закрывала своим подпором родников, питающих пруд водой.

9. Берега водотока по оси плотины должны быть по возможности пологими и во всяком случае не обрывистыми. Это обеспечивает лучшее сопряжение тела плотины с основанием и берегами. Непосредственно у плотины боковых балок быть не должно, так как в противном случае возможен подмыв плотины. Если же боковая балка расположена в 50—100 *м* ниже плотины, то путем специального прокопа она может быть с успехом использована для сброса паводочных вод.

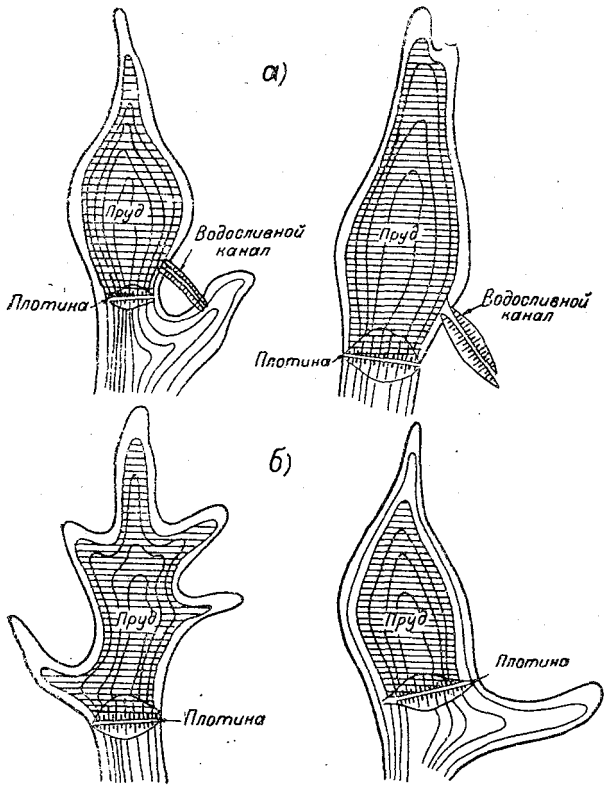


Рис. 30. Примеры удобных и неудобных мест под пруды:
а) — удобные, *б*) — неудобные.

На рис. 30 приведены примеры удобных и неудобных мест под пруды.

Четвертый случай. В том случае, когда за источник водоснабжения принимаются грунтовые безнапорные воды, производятся следующие исследования:

1) изучение геологии и гидрогеологии исследуемого района по имеющимся материалам;

2) гидрогеологическая съемка исследуемого района, т. е. определение глубины залегания грунтовых вод; эта съемка

сопровождается гидрометрическими наблюдениями, имеющими целью выяснить водоносность и условия залегания различных водоносных горизонтов;

3) разведочные работы — шурфование, бурение и опытные откачки воды для определения дебита (количества поступающей воды) и простирания водоносных слоев, а также изучение коэфициентов фильтрации;

4) физико-химические, а иногда и бактериологические анализы воды, определяющие пригодность ее для использования в различных целях;

5) стационарные наблюдения за режимом грунтовых вод (колебание дебитов и горизонтов). Наблюдения производятся в специальных шурфах, как указано в гл. 4. При сравнительно незначительных потребных расходах воды стационарные наблюдения в процессе изысканий для целей сельскохозяйственного водоснабжения обычно не производятся. Необходимость в них при этом виде водоснабжения вызывается лишь значительным расширением сети водоснабжения;

6) топографическая съемка участка, на котором предполагается расположить водосборные сооружения; определяется плановая и высотная связь между отдельными наблюдениями в буровых скважинах, колодцах и шурфах; составляются геологические профили и определяется направление движения потока.

Исследования подземных вод (определение их наличия, запаса и качества) должны производиться опытными гидрогеологами с применением специального инструментария.

Пятый случай. В том случае, когда за источник водоснабжения принимаются артезианские воды, производят следующие работы:

1) изучение гидрогеологии и геологии исследуемого района по имеющимся материалам и специальным исследованиям и гидрогеологическим съемкам;

2) изучение напора, дебита, простирания и условий залегания водоносных пластов, имеющихся в районе действующих артезианских скважин, в результате чего строится плановая и высотная связь обследованных горизонтов и скважин для нанесения на карту;

3) анализ воды для определения химического и в редких случаях бактериологического состава.

После анализа всех материалов, полученных в результате изысканий, составляется окончательное заключение о предполагаемой глубине скважин, геологическом разрезе ее, напоре и дебите артезианской воды и использовании ее самоизливом или откачкою.

Иногда в процессе исследований, при сомнительности или недостаточности данных, приходится закладывать разведочные опытные скважины.

Все эти работы производятся специалистами-гидрогеологами.

График потребления воды

Водоснабжение населенных пунктов промышленных и сельскохозяйственных предприятий должно иметь своей основной целью своевременную подачу воды в необходимом количестве и надлежащего качества для питья, санитарно-бытовых, производственных, противопожарных и других потребностей. Любое производство нуждается в водоснабжении, которое должно быть тесно увязано со всеми производственными процессами.

Для характеристики потребностей в воде того или иного потребителя на сутки, месяц, год служат так называемые графики потребления воды.

Если весь расход воды, необходимый для полного удовлетворения всех нужд населения города, совхоза или колхоза в течение года, разделить на число жителей его и число дней в году, то получится средний суточный расход воды на одного жителя, так называемый средний расчетный душевой расход воды.

Расход на одного человека в сутки принимается:

1) для центральных и участковых поселков (усадеб) совхозов, колхозов, а также рабочих поселков при сельскохозяйственных предприятиях: неканализированных — 40—60 *л*, канализированных — 60—90 *л*;

2) для небольших поселков с числом жителей до 25 человек, при отсутствии канализации — 30—40 *л*.

При исчислении суточной потребности воды в совхозах и колхозах, помимо указанных количеств, дополнительно учитывают расходы на бани, прачечные, больницы, школы и другие коммунальные и санитарные нужды населения ориентировочно в объеме: для неканализированных поселков—100 *л* на человека, для канализированных —120 *л* на человека.

Для определения полного количества воды, необходимого для обслуживания населения поселка, выясняется расчетная величина населения по формуле:

$$N_{\text{расч}} = N \cdot \left(1 + \frac{c}{100}\right) \cdot t,$$

где $N_{\text{расч}}$ — расчетное число жителей,

N — современная численность населения,

c — ежегодный прирост населения в процентах по данным статистического учета,

t — число лет, на которое рассчитывается водопровод и в течение которых он должен удовлетворять потребностям населенного пункта в воде до капитального переустройства; ориентировочно величина t может быть принята для первой очереди сооружений 5—10 лет, для второй очереди 15—25 лет.

Умножая средний расчетный душевой расход воды на расчетное число жителей, можно получить средний суточный рас-

ход воды, необходимый для удовлетворения потребностей населения данного пункта.

Для совхозов расчетное количество населения подсчитывается по формуле:

$$N_{\text{рас}} = A\,[(\gamma - 1) + \alpha],$$

где A — число постоянных рабочих и служащих по оргплану,
γ — коэфициент неравномерности движения рабочей силы вследствие найма и увольнения временных рабочих, равный отношению среднего числа рабочих в течение года к числу постоянных рабочих,
α — коэфициент семейности, ориентировочно принимаемый от 2,5 до 3,5.

Однако, кроме удовлетворения самого населения, вода в сельскохозяйственных предприятиях требуется на обслуживание животных, основного производства этих предприятий и сельскохозяйственных машин.

Расход воды для животных на 1 голову в сутки при стойловом содержании в обобществленном секторе хозяйства с простейшей механизацией процессов производства ориентировочно принимается:

а) крупный рогатый скот	
для молочного скота	75 *л*
„ рабочего „	60 „
„ молодняка	35 „
б) лошади	
для племенных	75 „
„ рабочих	60 „
в) свиньи	
для подсосных маток с поросятами	75 „
„ взрослой свиньи (свыше 1,5 лет)	50 „
„ откормочной „	40 „
„ подсвинка (2—6 месяцев)	25 „
г) овцы	8—10 „
д) кролики	2 „
е) птицы	
для кур	0,5 „
„ гуся при откорме (сроком в 24 дня)	1,75 „
„ гуся в остальное время, за исключением пребывания на воде	1,25 „
„ утки при откорме (сроком в 24 дня)	1,75 „
„ утки в остальное время, за исключением пребывания на воде	1,25 „

Расход воды на обработку 1 *л* молока на маслодельных заводах принимается в среднем:

без механизации и пастеризации	3—5 *л*
с пастеризацией	5—8 „
с механизацией и пастеризацией	8—10 „

Расход воды на обслуживание трактора принимается ориентировочно 1,75—2,5 *л* в 1 час, для охлаждения двигателя внутреннего сгорания на 1 л. с. в 1 час — 15 *л*.

Потребление воды не бывает равномерным. Оно изменяется по месяцам, отдельным суткам и часам. Для получения расчетных расходов указанные выше нормы должны быть умножены на коэфициенты суточной и часовой неравномерности.

Коэфициент суточной неравномерности (отношение максимального суточного расхода по графику к среднему) принимается для совхозов, поселков и колхозов:

при наличии канализации	1,2
частично канализированных	1,3
неканализированных	1,4

Коэфициент часовой неравномерности (отношение максимального часового расхода по графику к среднему) для всех указанных выше поселений принимается 2,0—2,5. Суточные

Часы суток	Часовой расход в % от максимального суточного расхода
1	1
2	1
3	2
4	4
5	6
6	8
7	6
8	4
9	3
10	3
11	4
12	6
13	8
14	6
15	4
16	3
17	3
18	6
19	8
20	6
21	4
22	2
23	1
24	1
	100%

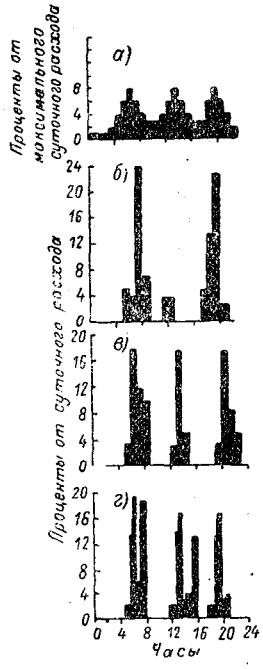


Рис. 31. График колебаний часовых расходов воды в населенных пунктах и совхозах различного типа:

а) в населенных пунктах, *б*) в молочных совхозах, в) в конесовхозах, *г*) в свиносовхозах.

колебания расхода воды зависят от образа жизни и привычек населения, характера производства, климатических и прочих местных условий. Ориентировочно можно принимать распределение расхода воды в следующемвиде (рис. 31).

В животноводческих производственных секторах совхозов и колхозов коэффициенты неравномерности принимаются:

суточный	1,1—1,3

Часовой (ориентировочно) для стойлового содержания, без применения автоматических поилок:

для молочных хозяйств	5,0—6,0
„ мясных хозяйств	7,0—7,5
„ телят	6,0—7,0
„ свиней	4,0—5,0
„ племенных лошадей	4,0—4,5
„ рабочих лошадей	4,0
„ овец	5,5—6,0
„ птиц	4,0
„ кроликов	одинаковый с коммунальным сектором

Характер колебания часовых расходов воды в совхозах различных типов представлен на рис. 31.

Помимо всего указанного, при подсчете расхода воды, требуемого к подаче из источника водоснабжения, учитывают еще некоторое количество ее, необходимое для тушения пожара. Величина расхода воды и запасов ее на тушение пожара обязательно согласовывается в каждом отдельном случае с местным управлением пожарной охраны.

Зная потребность в воде отдельных звеньев совхоза или колхоза, можно построить общий (суммарный) график потребления воды, который и кладется в основу расчета водоснабжения.

Качество воды

Вода для питьевых и хозяйственных потребностей человека должна быть прозрачна, по возможности бесцветна, без запаха и постороннего привкуса. Температура воды должна быть более или менее постоянной: в пределах 7—12°, не ниже 4° и не выше 15° С.

В отношении минерализации (жесткости) и бактериологических свойств вода должна быть подвергнута специальному химическому и бактериологическому анализам.

Жесткость воды, т. е. содержание в воде в растворенном виде солей металлов кальция и магния, оценивается в градусах. Один градус соответствует содержанию в 1 *л* воды 10 *мг* окиси кальция или приравненных к ней других веществ. Для питья и хозяйственных целей жесткость воды выше 5—10° нежелательна.

Вода, идущая на питьевые нужды животных, должна быть прозрачна, по возможности без запаха и иметь приятный освежающий вкус. Вода не должна содержать органических веществ и азотнокислых солей.

Совершенно не допускается загнившая вода стоячих мелких прудов.

Окончательное установление источников водоснабжения

Выяснив режим источника водоснабжения, возможность и пределы его использования с учетом всех потребностей в воде, полученные результаты сравнивают с графиком потребления воды. В случае достаточности в источнике запасов воды для удовлетворения графика потребления, экономической его выгодности и хорошего качества воды останавливаются окончательно на этом источнике и приступают к осуществлению проекта водоснабжения.

В тех случаях, когда имеющиеся по источнику водоснабжения материалы не могут осветить его режим (например, при краткосрочности наблюдений, их разрозненности), для выяснения последнего пользуются наблюдениями на соседних водотоках или водоемах и по аналогии с ними делают соответствующие выводы.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ И НЕОБХОДИМЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Понятие о мощности водного потока и ее использовании

Каждый водный поток обладает известной энергией, способной производить механическую работу.

Всякую механическую работу принято измерять силой и расстоянием в направлении силы, на котором она действует, причем работа приравнивается произведению величины силы на расстояние. Если сила выражена в килограммах, а расстояние в метрах, то работа выражается в килограммометрах (*кгм*). Работа, которую источник силы способен производить в единицу времени (в 1 секунду), называется его мощностью. Мощность измеряется в килограммометрах в 1 секунду (*кгм/сек*) или чаще в условных единицах — лошадиных силах (*л. с.*), причем 1 *л. с.* приравнивается 75 *кгм*. При использовании водной энергии мощность выражают также и в электротехнических единицах — киловаттах (*квт*). 1 *квт* равняется 1,36 *л. с.*, или 1 *л. с.* составляет 0,736 *квт*.

В водном потоке силой является сама вода или, точнее, вес воды, а расстоянием — перемещение воды в направлении ее веса.[1] Это перемещение выражается падением уровня воды по длине потока.

Если силу, т. е. вес, воды на некотором участке водного потока исчислить для количества воды, протекающего по этому участку за одну секунду, т. е. для расхода воды (см. гл. 2), и учесть падение уровня воды на том же участке, то произ-

[1] Вес или сила тяжести везде направлена к центру земли, т. е. по отвесной линии вниз.

ведение силы на падение выразит валовую работу потока в 1 секунду, или валовую мощность потока на рассматриваемом участке. Например, при расходе в 1 *м*³/*сек*, что составляет по весу 1000 *кг*/*сек*, и падении в 3 *м* валовая мощность потока составит:

в килограммометрах

$$N = 1000 \times 1 \times 3 = 3000 \text{ кгм/сек},$$ [1]

в лошадиных силах

$$N = \frac{1000 \times 1 \times 3}{75} = 40 \text{ л. с.}$$

в киловаттах

$$N = \frac{0{,}736 \times 1000 \times 1 \times 3}{75} = 29{,}4 \text{ квт.}$$

При обозначении расхода воды через Q и падения через H общее выражение для валовой мощности потока получается в следующем виде:

в килограммометрах

$$N = 1000\,Q\,H \text{ кгм/сек},$$

в лошадиных силах

$$N = \frac{1000\,Q\,H}{75} = 13{,}3\,Q\,H \text{ л. с.},$$

в киловаттах

$$N = \frac{0{,}736 \times 1000 \times Q\,H}{75} = 9{,}81\,Q\,H \text{ квт.}$$

Мощность водных потоков широко используется для устройства гидроэлектрических станций (сокращенно — гидростанций, ГЭС). На гидроэлектрических станциях устанавливаются водяные двигатели, или так называемые турбины. Турбина представляет собою вал с насаженными на него в виде колеса лопастями или в некоторых конструкциях своего рода пропеллер. Вода проходит через турбины и приводит их в движение (вращение), действуя на лопасти турбин своим весом (расходом воды) и высотой падения, или так называемым напором. Напор, равный разности уровней воды выше и ниже гидростанции, составляет некоторую используемую часть падения водного потока, сосредоточенную при помощи искусственных сооружений у гидростанции. Мощность гидростанции определяется, таким образом, двумя факторами: расходом воды, протекающим через турбины, и сосредоточенным у турбин падением воды, или напором.

Турбины не в состоянии использовать продуктивно всю энергию протекающей через них воды. Часть используемой для

[1] Латинской буквой N обозначают мощность.

гидростанции энергии водного потока — около 15—20% — теряется при прохождении воды через турбины. Эти потери учитываются введением в выражение для мощности водного потока коэфициента полезного действия (к. п. д.), который представляет отношение мощности станции к используемой мощности водного потока.

Выражение для мощности гидростанции или мощности на валу турбин получает следующий вид:

$$N_т = \text{к. п. д. } 13{,}3\ Q\ H\ л.\ с.$$

или

$$N_т = \text{к. п. д. } 9{,}81\ Q\ H\ квт.$$

Если принять довольно часто встречающуюся на практике величину к.п.д. равной 0,825, то выражение для мощности гидростанции получит совсем простой вид:

$$N_т = 11\ Q H\ л.\ с.$$

или

$$N_т = 8{,}1\ Q H\ квт.$$

Пользуясь любой из этих формул, легко показать, что одну и ту же мощность можно получить при большом расходе воды и малом напоре или при малом расходе воды и большом напоре.

Например, при $Q = 100$ *м³/сек* и $H = 5$ *м* $N_т = 8{,}1 \times 100 \times 5 = 4050$ *квт* и при $Q = 5$ *м³/сек* и $H = 100$ *м* также $N_т = 8{,}1 \times 5 \times 100 = 4050$ *квт*. Таким образом, мощность, которая на равнинной реке с малым падением получается в основном за счет большой массы воды, в горах может быть получена на небольшом горном потоке за счет большого падения.

Необходимо иметь в виду, что при передаче энергии от турбин к генераторам и в самих генераторах теряется еще около 15% энергии, получаемой на валу турбин. Мощность установки на валу генераторов получает следующее выражение:

$$N_г = 9{,}5\ Q H\ л.\ с.$$

или

$$N_г = 7{,}0\ Q H\ квт.$$

Расчетный расход воды. Под расходом воды Q в выражении для мощности понимается некоторая величина расхода воды в потоке, на которую рассчитана нормальная работа гидростанции, т. е. нормальная работа установленных на станции турбин. Такой расход называют расчетным. Расчетный расход определяется на основании гидрологических данных о режиме расходов водного потока у места устройства гидростанции. Гидрологические данные должны состоять из наблюдений над уровнем и расходом воды в течение ряда лет, чтобы по ним можно было составить картину изменения расхода воды в потоке в течение

среднего и маловодного по гидрологическим условиям года. Такая картина нагляднее всего получается в виде так называемой кривой продолжительности расходов воды (рис. 32). Кривая продолжительности (о построении ее см. литературу [10, 11]) представляет перестроенный график колебания расходов воды за средний год на данном водотоке. Расходы на ней как бы выстроены по росту от больших к малым, причем кривая показывает, сколько дней в году расход воды в потоке держался выше той или иной величины, т. е. сколько дней в году был обеспечен тот или иной расход. Чтобы

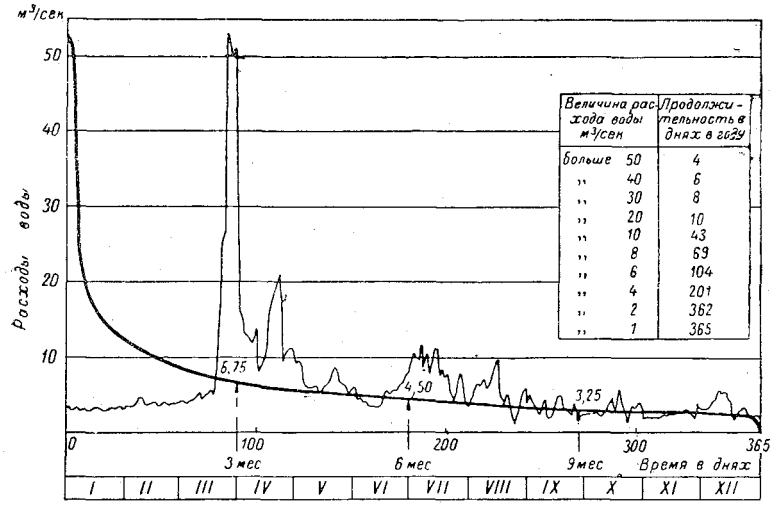


Рис. 32. График колебания расходов воды (гидрограф) и кривая продолжительности расходов воды за 193...г. (средний по водности) река . . . . . Ленинградской области площадью водосбора 710 $км^2$.

расчетная или установленная мощность гидростанции была в среднем году обеспечена водою круглый год, следовало бы выбирать (на кривой продолжительности) в качестве расчетного наименьшее значение расхода, т. е. тот расход, который обеспечен все 365 дней в году. Однако это было бы крайне невыгодно, так как слишком много воды, а следовательно и энергии пропадало бы даром. Поэтому, на основании опыта, обычно выбирают в качестве расчетного расход воды, обеспеченный в среднем году в течение 6—9 месяцев. При благоприятных гидрологических условиях, а именно при небольших колебаниях стока в году или при искусственном его перераспределении (см. стр. 79), останавливают свой выбор даже на расходах 3—4-месячной обеспеченности (90—120 дней).

Напор и его получение. Величина напора является таким же важным фактором для мощности гидростанций, как и расход воды. На малых реках и ручьях с незначительным расходом

воды вопрос об устройстве гидростанции нередко решается в зависимости от возможности получения достаточного напора.

Для более полного использования падения стремятся устраивать гидростанции на участках рек и ручьев со значительным естественным падением, где сама природа помогает человеку, сосредоточивая падение на коротких расстояниях или даже в одном месте, например на порогах и на водопадах.

Сосредоточенное падение, или напор, на гидростанциях создают в основном следующими способами:

1) при помощи образующей подпор воды плотины;

2) при помощи обходного канала или трубопровода (так называемой деривации), имеющих меньший уклон, чем сама река; в этом случае также сооружается плотина, но она играет второстепенную роль в создании напора, который образуется главным образом за счет разности падений в реке и в деривации (рис. 33).

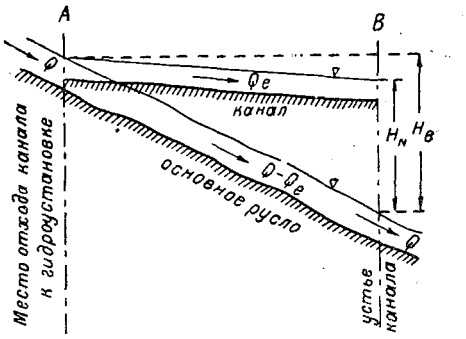


Рис. 33. Схема использования падения реки при помощи обходного канала.

Напор только при помощи плотины создают обычно на реках со значительным расходом воды, где большая мощность получается в основном за счет расхода; таковы известные и крупнейшие гидростанции СССР — Волховская, Свирская, Днепровская и гидростанции на Верхней Волге. Чем выше плотина, тем больше получаемый напор, но высоту плотины ограничивает целый ряд условий, а именно: слабый грунт, увеличение стоимости сооружений и размеры затоплений. Поэтому во многих случаях, в особенности в горных районах и на малых реках с незначительным расходом воды, где для получения достаточной мощности расходы необходимо дополнять высоким напором, прибегают к проведению обходных каналов и напорных трубопроводов.

Обходным каналом воду забирают из реки выше по течению гидростанции, обычно с устройством распределителя воды между рекою и каналом, и ведут канал параллельно реке, но со значительно меньшим уклоном (рис. 33), тем самым выигрывая на падении. Гидростанцию ставят обычно в конце канала при выходе его в реку. Иногда выигрыш в падении достигается прокопом в извилине (колене) реки. Трубопроводом вода подводится к турбинам гидростанции из расположенного выше по реке плеса, образованного подпором от невысокой плотины; в горах иногда из потока, протекающего в стороне и на значительной высоте над местом расположения гидростанции.

При этом способе используется, за вычетом потерь по пути, все падение между уровнем воды в подпертом плесе и уровнем

воды в реке ниже гидростанции. В горной местности при помощи трубопроводов создаются напоры в десятки и даже сотни метров (рис. 34). Иногда трубопровод может быть с успехом применен для создания напора при строительстве малых ГЭС и в условиях равнинных рек с небольшими расходами воды.

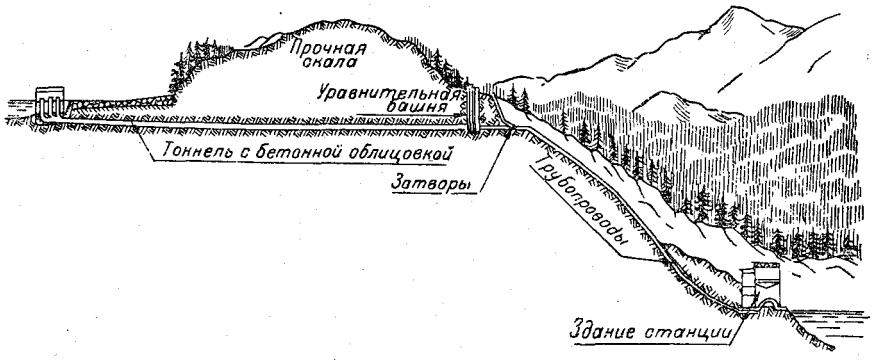


Рис. 34. Горная гидростанция. Вода подается к турбинам трубопроводами с высоты 100 *м*.

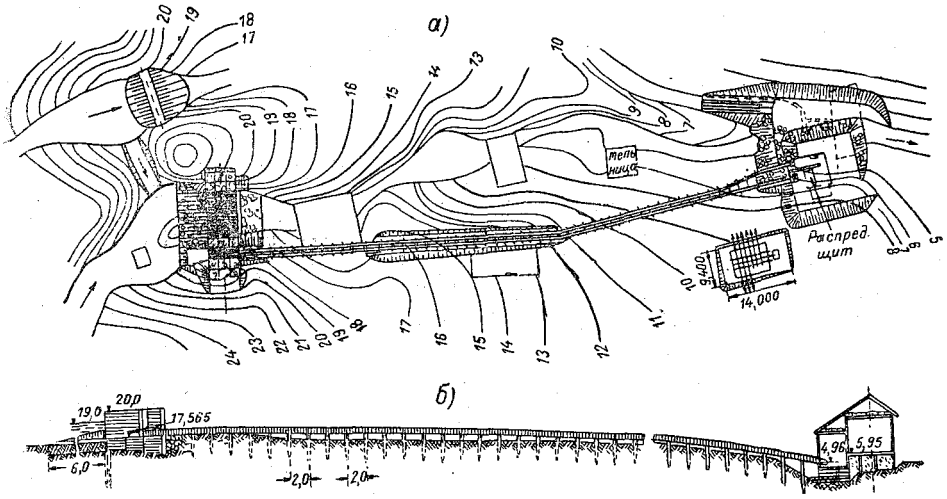


Рис. 35. План расположения деривационной ГЭС и продольный профиль по напорному трубопроводу:
а — план, *б* — профиль.

На рис. 35 дана схема небольшой колхозной ГЭС, построенной перед войной в Ленинградской области и снабжавшей электроэнергией колхозы в радиусе около 10—15 *км*. Станция находится на небольшом ручье, питаемом подземными источниками, с постоянным расходом воды. Расчетный расход постоянной величины получился равным 0,7 $м^3/сек$. Расход этот очень неве-

лик, и вопрос о сооружении станции необходимой мощности в 100 *л. с.* всецело зависел от получения достаточного напора. При помощи плотины, по условиям грунта, создать подобный напор не представилось возможным. Вопрос был решен путем устройства трубопровода длиною несколько больше 100 *м,* который забирал воду из плеса, образованного плотиной 3-метровой высоты, и подводил ее прямо к турбинам. Таким образом был достигнут полезный напор в 13,4 *м* и для станции получена мощность в 102 *л. с.* или 75 *квт.*

Перераспределение стока во времени в целях получения более равномерного расхода воды. Расчетный расход воды, установленный исходя из естественного режима расходов воды в реке, обеспечивает потребителя электроэнергией полностью в среднем только в течение 3, или 6, или 9 месяцев в году, в зависимости от того, расход какой обеспеченности принят за расчетный. В низкую воду—на равнинных реках летом в межень и на огромном большинстве рек СССР зимой — по реке протекает расход меньше расчетного. В то же время в периоды усиленного стока, весной при таянии снега и во время дождей, по реке стекает значительно больше воды, чем может использовать станция. Поэтому естественно стремление к перераспределению стока во времени для лучшего обеспечения потребителя электроэнергией.

Перераспределение стока заключается в образовании запасов воды в многоводное время и в постепенном выпуске этой воды в реку в маловодное время для пополнения протекающего по реке расхода до расчетной величины. Перераспределение стока называется регулированием стока.

Регулирование стока может быть: суточное, сезонное, годовое и многолетнее, в зависимости от периода времени, в течение которого происходит полный оборот перераспределенного стока.

Суточное регулирование состоит в накоплении воды в верхнем бьефе гидростанции в течение одной части суток (12 или 16 часов) с последующей отдачей ее в остальную часть суток на пополнение естественного расхода воды реки до величины расчетного. Суточное регулирование в настоящее время нередко применяется на колхозных гидростанциях с бытовой нагрузкой в бедные водою периоды года — на равнинных реках летом и зимой, причем станция обычно не работает в светлое время дня, когда производится накопление воды, и работает на полную мощность в вечерние часы.

Суточное регулирование на малых ГЭС по существу не требует водохранилища, и колебания уровня при накоплении воды обычно невелики.

Например, суточное регулирование на одной межколхозной гидростанции в Ленинградской области ($N_т = 400$ *квт*) имеет целью обеспечить 8-часовую работу станции на полную мощность. При расчетном расходе 8 *м*^{3}/*сек* и зимнем естественном расходе 3 *м*^{3}/*сек* в зимний период требуется накопить за 16 часов:

(8—3) × 8 × 3600 = 144 000 $м^3$ воды,[1] что вызовет подъем воды в 15 *см* на площади верхнего бьефа, равной 1 000 000 $м^2$.

Сезонное регулирование предусматривает накопление воды в водохранилище в один определенный период года, обычно за весенний паводок, и отдачу ее в реку в другой период, обычно в межень. Водохранилище может наполняться водой повторно в период осенних дождей и отдавать эту воду зимой.

Водохранилища с сезонным регулированием встречаются часто на водных путях и на сплавных реках.

Годичное регулирование предполагает такое изменение режима водотока, при котором вода, накопленная в один период года, расходуется затем в течение всей остальной части года.

Сезонное регулирование может в многоводные годы переходить в годичное и, наоборот, годичное регулирование в маловодные годы может превращаться в сезонное.

Многолетнее регулирование заключается в накоплении воды в полноводные годы с расходованием ее затем в течение ряда маловодных лет. Многолетнее регулирование требует наличия водохранилища с очень большим полезным объемом, во всяком случае большим 20—25% годового стока реки за средний по водности год. Например, полезная емкость Рыбинского водохранилища, при помощи которого производится годичное и частично многолетнее регулирование стока Волги, составляет 16 млрд. $м^3$ воды, что равно слою воды в 1,6 *м* на площади, равной Онежскому озеру.

При сезонном, годичном и многолетнем регулировании для образования запасов воды должно быть найдено подходящее водохранилище, т. е. водоем, где бы могла собираться задерживаемая часть стока.

Наиболее простым является случай, когда водохранилище, по условиям местности можно создать непосредственно выше гидростанции. Тогда при достаточных размерах водохранилища весь избыточный сток, за исключением потерь на испарение и просачивание в грунт, может быть использован для регулирования стока. Если же, как это часто случается в природе, подходящий водоем для образования запасов воды имеется только где-либо выше по реке или на каком-либо ее притоке, то в него будет поступать сток только с водосбора реки или ее притока, соответствующего месту образуемого водохранилища. Какова величина этого стока, могут показать только гидрологические исследования в районе намечаемого водохранилища.

Выбор расчетного расхода и регулирование стока являются для гидростанций, в частности для малых ГЭС, вопросами первостепенной важности, так как они определяют степень использования энергии водного потока и, следовательно, выработку электроэнергии гидростанцией. Эти вопросы — выбор расчетного расхода и установление системы регулирования

[1] 3600 — число секунд в 1 часе.

стока—взаимно связаны. Выработка станции выражается в киловаттчасах: за определенный период времени, обычно за год, подсчитывается, сколько часов на какой мощности работала станция, отдельные мощности умножаются на часы их работы, произведения складываются, и их сумма выражает работу или выработку станции.

Равномерность работы станции на установленной мощности или степень использования установленной мощности станции оценивают числом часов работы на единицу установленной мощности, т. е. на 1 *квт* за 1 год.

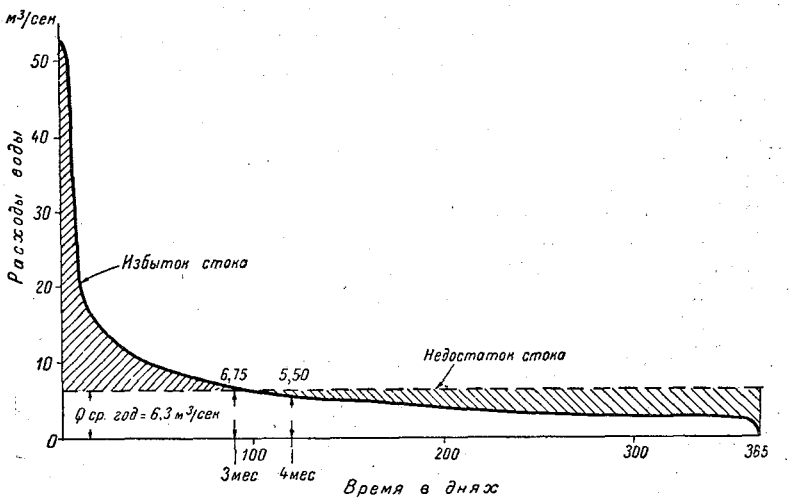


Рис. 36. Кривая продолжительности расходов воды за 193.. г. (средний по водности); река . . . . Ленинградской области площадью водосбора 710 *км*².

Например: мощность станции 100 *квт*, выработка за год 350 000 *квт-ч*, годовое использование 3500 час. на 1 *квт* (при 8760 час. в 1 год).

При выборе расчетного расхода необходимо тщательно взвешивать все возможности регулирования стока. Если эти возможности достаточно серьезны, например по условиям местности можно создать водохранилище для годичного регулирования стока, необходимо принимать большую величину расчетного расхода, чтобы взять от воды всю энергию, которую она может дать в средний по водности год при условии полного перераспределения стока. Обычно для равнинных рек этому условию удовлетворяет расход 3—4-месячной обеспеченности (рис. 36), а при расчетном расходе, равном расходу 6-месячной, а тем более 9-месячной обеспеченности, мощность станции оказывается недостаточной для указанного более полного использования энергии реки.

В практике работы гидростанций, особенно малых ГЭС, случается, что в начале станция работает при суточном регулиро-

вании стока, а затем с ростом потребителей начинают искать и находят водохранилища, которые обеспечивают сезонное или годичное регулирование. В этих случаях величина первоначально выбранного расчетного расхода имеет решающее значение для перехода на новое, более полное регулирование стока. При достаточной величине расчетного расхода этот переход происходит автоматически, и станция сразу же начинает вырабатывать больше энергии; при недостаточном расходе станцию приходится достраивать, чтобы довести ее мощность до требуемого предела.

Одним из примеров непосредственного повышения выработки станции за счет перехода на более полное регулирование стока является построенная до войны Букская гидростанция в с. Буки Киевской области на р. Горный Тикич, мощностью 625 *квт*.

Расчетный расход станции был выбран равным 3,9 *м*^{3}/*сек* при величине расхода 3-месячной обеспеченности 5,10 *м*^{3}/*сек* и 4-месячной обеспеченности 3,34 *м*^{3}/*сек*. Вначале станция работала на суточном регулировании, но выработка ее была совершенно недостаточной. Тогда были образованы 5 водохранилищ в прудах, расположенных выше станции на самой реке и ее притоке, позволивших перейти к годичному регулированию. Расчетный расход удовлетворял требованию годичного регулирования, переустройства станции не потребовалось, и выработка ее сразу же увеличилась в полтора раза.

При этом использование единицы установленной мощности достигло 4800 *квт-ч* в 1 год, что свидетельствует о значительной равномерности работы станции.

Вопросы выбора расчетного расхода воды и регулирования стока, тесно связанные с рассмотренными ниже гидрологическими исследованиями, являются в основном гидрологическими вопросами. Для решения их необходимо привлечение опытного гидролога-водохозяйственника и в результате их решения необходимо составление водохозяйственного плана станции на настоящее и будущее.

Гидрологические исследования для гидроэлектрических станций

Гидрологические исследования имеют очень большое значение для правильного расчета мощности гидростанции, а также для выяснения гидрологических условий, в которых будут происходить строительство и работа станции. Исследования необходимы также для обоснования регулирования стока и расчета водохранилища.

Гидрологические исследования для гидростанций могут быть подразделены следующим образом:

1. Гидрологические исследования режима реки в районе проектируемой гидростанции, а именно:

а) наблюдения над уровнем и измерение расходов воды, приведение их к многолетнему периоду;

б) измерение количества проносимых рекой наносов;

в) изучение ледового режима реки;

г) наблюдения над режимом грунтовых вод в зоне основания сооружений и в районе будущего затопления (там, где оно предусматривается проектом станции).

2. Гидрологические исследования, связанные с устройством водохранилища или нескольких водохранилищ.

3. Гидрологические и метеорологические наблюдения по обслуживанию прогнозов на крупных стройках.

Наблюдения над уровнем и измерения расходов воды (см. гл. 4) в районе намечаемой гидростанции имеют целью определить режим уровня и расходы воды в реке, т. е. характер и величины их изменений в течение года и в различные по водности годы — многоводный, средний и маловодный. Это необходимо, прежде всего, для установления величины расчетного расхода гидростанции (см. расчетный расход, стр. 75), а также для определения величин некоторых других характерных уровней и расходов воды. Среди них особенное значение имеет величина наибольшего расхода воды. Наибольший расход,—это самый большой расход воды, который может пройти по реке у гидростанции; он должен быть пропущен плотиной, т. е. плотина гидростанции должна иметь такие размеры, чтобы наибольший расход прошел через нее, не повредив ее и не затопив станции.

Определить путем измерений величину наибольшего расхода или, вернее, величину расхода, который по гидрологическим условиям данной реки и ее водосбора может быть признан близким к наибольшему, далеко не всегда возможно. Для этого прежде всего необходимо, чтобы подобный расход повторился как раз в период гидрологических изысканий или наблюдений над уровнем и расходами на данной реке. Поэтому часто приходится устанавливать величину наибольшего расхода косвенным путем, нередко прибегая к воспоминаниям старожилов о высокой воде, меткам на берегах и т. д. При устойчивом русле реки и наличии указаний или меток, свидетельствующих о наивысшем подъеме уровня воды, величину наибольшего расхода можно определять по кривой расходов воды (см. гл. 4), построенной по данным фактических измерений и графически продолженной до наивысшего уровня (рис. 26). При отсутствии или недостаточности данных измерений определение наибольшего расхода приходится производить по специальным формулам, выведенным с учетом накопленных данных о величинах наибольших расходов воды на реках (см. литературу [10]).

Установление величины наибольшего расхода воды, от правильного выбора которого зависит целость сооружений, является серьезной и ответственной задачей и должно доверяться только опытному специалисту.

Измерение количества проносимых рекою наносов, о котором говорится в гл. 4, необходимо потому, что при преграждении реки плотиной наносы откладываются перед плотиной

или, как говорят, заиляют верхний бьеф гидростанции, и их следует периодически удалять путем промыва через специальные отверстия в плотине. Чтобы запроектировать размеры этих отверстий, надо знать количество наносов.

Наблюдения над ледовым режимом (см. гл. 4) имеют для гидростанций огромное значение.

Продолжительность и характер ледостава, вскрытие, ледоход, его характер необходимо знать, уже приступая к работам по сооружению станции. Для будущей работы станции крайне важны сведения о донном льде — шуга, шереш. Донный лед в виде мелких ледяных кристалликов или губчатой массы образуется не на всех реках. Благоприятными для его образования местами являются пороги и открытые незамерзающие участки рек. Для обнаружения донного льда иногда достаточно бывает опустить в воду сетку, корзину или доску, так как донный лед прилипает к этим предметам.

Донный лед всплывает также на поверхность, причем иногда в больших количествах. Плывущий донный лед называют шугой. Шуга крайне опасна для работы гидростанции, так как она может закупорить решетки, через которые вода поступает в турбинные камеры, и этим нарушить работу станции.

Поэтому, если установлено, что в реке выше будущей гидростанции образуется донный лед и притом в значительных количествах, то при сооружении станции предусматриваются устройства, не пропускающие его к турбинам.

При подпоре воды плотиною происходит подъем уровня воды не только непосредственно перед плотиною, но и выше по реке, иногда на равнинных реках с малым падением на протяжении многих десятков километров. Подъем уровня вызывает затопление прибрежных земель и изменения в уровне, а нередко во всем режиме грунтовых вод на землях, которые после затопления оказываются прибрежными.

Границы затоплений на местности при известном напоре определяются топографической съемкой,[1] а выяснение режима уровня грунтовых вод на подтопляемых землях до и после затопления является задачей гидрологии и гидрогеологии. При этом крайне важно так поставить наблюдения над уровнем грунтовых вод и исследование водоносных слоев грунта, чтобы по полученным данным предугадать заранее изменения в уровне и режиме грунтовых вод после затопления и тот ущерб, который это может нанести культурным землям, жилым постройкам и промышленным предприятиям. Ущерб от затоплений и от подтоплений может оказаться, особенно в условиях малых гидростанций с небольшой мощностью, не окупаемым выгодой, получаемой от работы станции, и тогда для сокращения затоплений приходится ограничивать подпор на станции или обращаться к другим способам образования напора.

[1] Топографической съемкой называются полевые работы, производимые при помощи специальных инструментов (теодолитная съемка, мензульная съемка) и служащие для составления межевых и высотных планов местности.

Гидрологические исследования, связанные с устройством водохранилища, в общем однородны по составу и содержанию с исследованиями, производимыми в районе сооружения гидростанции. Измерения уровня и расхода воды имеют при этом целью установление величины и распределения стока реки в месте будущего водохранилища, т. е. определение того притока воды, который будет поступать в водохранилище после его образования, тогда, когда сток из водохранилища будет искусственно регулироваться. Измерение количества проносимых водою наносов имеет здесь то значение, что позволяет подсчитать примерно размеры и сроки возможного заиления водохранилища и предусмотреть меры борьбы с этим злом.

Существенное значение при образовании водохранилищ с большой площадью зеркала воды имеют наблюдения над испарением с поверхности воды, так как потери воды на испарение с поверхности водохранилища больше потерь с поверхности почвы, и их необходимо учитывать при проектировании водохранилища. Наблюдения над испарением производятся при помощи специальных приборов, называемых испарителями.

Прогнозы, т. е. предсказания гидрологических явлений — величин расходов воды, уровней, наступления вскрытия, замерзания, силы ледохода, — имеют для гидростанций большое значение как в период строительства, так и во время эксплоатации. Служба прогнозов должна опираться на наблюдения ряда постоянных водомерных постов и метеорологических станций, расположенных в бассейне реки и связанных телефоном или радиосвязью со штабом прогнозов. При необходимости должны производиться экспедиционные полевые работы, например снегомерные съемки в бассейне реки в период перед ее вскрытием (для прогноза высоты весеннего подъема воды) и обследования толщины и состояния льда.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Жизнь человека и существование всего животного и растительного мира, как это ясно из всего ранее сказанного, неразрывно связаны с водой. Без воды не может развиваться ни один животный организм, не может произрастать ни одно растение.

Из растений для человека наибольшее значение имеют сельскохозяйственные культурные растения. Для нормального развития их требуется определенный режим влажности почвы и воздуха.

Между тем, на значительной части земной суши этот режим не соответствует требованиям растений. Часто встречаются земли с постоянным или периодическим недостатком влаги в почве. Этот недостаток влаги объясняется малым количеством

выпадающих атмосферных осадков или неблагоприятным распределением их во времени; кроме того, на уменьшение влаги в почве влияют высокие температуры воздуха, вызывающие чрезвычайно сильное испарение влаги с поверхности почвы. В подобных районах, называемых засушливыми, растительность или совершенно отсутствует, или существует только в продолжение незначительной части года.

Широко наблюдается и противоположное явление — избыток влаги в почве, получающийся в результате выпадения чрезмерного количества осадков или от застоя воды при затрудненном стоке и незначительном испарении. Избыток влаги в почве вызывает ее заболачивание.

Возделывание сельскохозяйственных растений и получение высоких и устойчивых урожаев в обоих случаях ненормального водного режима почвы невозможны без искусственного регулирования влажности почвы. Регулирование влажности оказывает наиболее существенное влияние на всю жизнь почвы, отражаясь на воздушном и солевом режиме ее, видоизменяя течение физико-химических и микробиологических процессов в ней и т. п. Искусственное регулирование водного режима почвы и создание таким путем благоприятных условий для развития и роста растений носит название мелиорации, т. е. улучшения. Мелиоративные мероприятия, направленные к повышению влажности почвы, называют оросительными мелиорациями, или орошением. Мелиоративные мероприятия, направленные к понижению влажности избыточно увлажненных почв, называют осушительными мелиорациями, или осушением.

Орошение

Орошение, или ирригация, известно человечеству с незапамятных времен. Широкое развитие оно получило за много столетий и даже тысячелетий до нашего времени в тех странах земного шара, где почва требовала дополнительной влаги, где без орошения замирала вся культура и жизнь страны. К таким странам относились в первую очередь Китай, Египет, Месопотамия, Индия и Туркестан, а несколько позднее и страны Европы: Италия, Франция, Испания и Португалия.

В настоящее время орошение имеет еще большее распространение, чем в древности; оно захватило, кроме упомянутых стран, обширные участки в Северной и Южной Америке, в северной, центральной и южной Африке, в Австралии и на крупных островах Индийского и Тихого океанов.

В пределах СССР вопросы орошения являются весьма важными и актуальными для районов Средней Азии, Закавказья, юга Украины, Центрально-Черноземной области, Заволжья, Крыма и Дальнего Востока.

Значение орошения для развития хозяйства в СССР огромно. Развитие орошения в Средней Азии и Закавказье, а также в некоторых других районах позволило Советскому Союзу из-

бавиться от ввоза хлопка из-за границы и этим достигнуть независимости нашей текстильной промышленности от заграничного рынка. В некоторых районах СССР при помощи орошения удалось широко развернуть культуру новых волокнистых растений — кенафа и кендыря. Развитие орошения на юге Украины, на Дальнем Востоке и севере Средней Азии позволило распространить культуру риса на новые районы, а также привело к развитию огородничества и культурного животноводства во многих районах СССР.

Законом о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг. предусмотрено получение прироста орошаемых земель в Среднеазиатских республиках, Закавказье, Казахской ССР, РСФСР, УССР и Молдавской ССР в количестве 656 тыс. *га* и освоение 627 тыс. *га* орошенных земель.

Основной задачей орошения является создание такого водного, воздушного, солевого и биологического режима почвы, при котором достигаются наилучшие и устойчивые урожаи взращиваемых сельскохозяйственных культур.

Для правильного решения этой задачи необходимо проанализировать гидрологическое состояние района в связи с его климатическими условиями, а также установить почвы, требующие орошения, и воды, подлежащие использованию на полях орошения. При этом следует определить стоимость орошения и экономические выгоды, которые оно может принести.

Понятие о почве и ее влагоемкости. Почва состоит из зерен различного состава и размера. Во всякой почве имеются поры, т. е. пространства, заполненные воздухом или водой. Размеры почвенных зерен бывают весьма различны — от стотысячных долей миллиметра до нескольких миллиметров. Структура почвы, т. е. размеры отдельных зерен и их расположение, имеет большое значение для решения вопросов ирригации, так как этим определяются водные свойства почвы.

Способность почвы удерживать в себе то или иное количество воды называется влагоемкостью почвы, которая определяется в процентах от объема почвы.

Влажностью почвы называется фактическое содержание влаги в почве. Выражается влажность отношением (в процентах) объема воды к тому объему почвы, в котором эта вода содержится.

Для роста растения необходим приток к его корневой системе как воды, так и воздуха. В противном случае нарушаются физиологические процессы развития растения, и оно начинает увядать. Поэтому недостаток воды в почве так же вреден, как и избыток ее, когда все поры грунта заполнены водой, вытесняющей воздух.

Содержание влаги в почве, отвечающее наиболее благоприятным условиям развития растения и созревания урожая, носит название оптимальной влажности. Оптимальной влажности соответствует такое содержание влаги в почве, когда все

мельчайшие поры в почве заполнены водой, а более крупные — воздухом, что соответствует примерно 40—60% полной влагоемкости почвы. Наибольшее насыщение почвы водою после полива не должно превышать 85—90% полной влагоемкости, так как часть пор должна быть всегда доступна для проникновения воздуха.

Наименьшая влажность почвы является влажностью увядания, и она составляет всего 15—20% полной влагоемкости почвы.

Количество содержащейся влаги в слое почвы вообще определяется уравнением:

$$m = \frac{\beta}{100} \cdot \frac{p}{100} \cdot H \cdot \omega \ м^3,$$

где m — количество содержащейся влаги в слое почвы в 1 $м^3$,
H — глубина слоя почвы в метрах,
ω — площадь в квадратных метрах,
β — искомая влажность в процентах от полной влагоемкости (относительная влажность),
p — полная влагоемкость в процентах от объема почвы.

Для 1 *га* ($\omega = 10\,000\ м^2$) и при активном слое почвы $H = 1\ м$ это уравнение примет вид:

$$m = \beta \cdot p \ м^3.$$

При оптимальной влажности содержание влаги в почве соответствует:

$$\beta_{опт} = 40 - 60\%$$

при наибольшей влажности:

$$\beta_{наиб} = 85—90\%,$$

при наименьшей влажности:

$$\beta_{наим} = 10—15\%.$$

Величина полной влагоемкости, т. е. p (в процентах) для разных почв различна:

	p %
для песчаной почвы	40
„ супесчаной „	45
„ суглинистой „	50
„ глинистой „	53
„ тяжелой глины	55

Подставляя в указанное выше уравнение приведенные величины β и p, можно получить количества воды, необходимые для приведения почвы в различное состояние влажности. Так, для полного насыщения водой 1 *га* суглинистых грунтов необходимо, чтобы слой почвы, мощностью $H = 1\ м$, содержал влаги:

$$m_{наиб} = 80 \times 50 = 4000 \ м^3,$$

при оптимальном насыщении:

$$m_{опт} = 40 \times 50 = 2000 \ м^3,$$

при влажности увядания:

$$m_{наим} = 15 \times 50 = 750 \ м^3.$$

Отсюда получается, что для обеспечения оптимальной влажности почвы при условии, что начальная ее влажность не превышает $\beta_{наим}$, на 1 *га* необходимо введение расхода воды, равного

$$2000 - 750 = 1250 \ м^3.$$

При определении области нормального увлажнения почвы допускаются отклонения от оптимальной влажности в ту и другую сторону до 20%. Таким образом, нормальное увлажнение почвы может колебаться в пределах 1,2—0,8 оптимальной влажности.

Влажность почвы в засушливых районах может быть доведена до надлежащего состояния путем поливов. Поливная вода только частично расходуется на питание растений, а другая ее часть пропадает бесполезно, уходя, например, на испарение.

Испарение происходит с поверхности воды при поливе и до момента просачивания ее в почву, а также и с открытой поверхности почвы. Кроме того, часть воды идет на поверхностный сток при производстве полива, на питание грунтовых вод и на сбросы из канав по окончании орошения.

Поливная вода, просачиваясь до грунтовых вод и поднимая их уровень, может оказаться даже вредной, вызывая заболачивание и засоление почв. Поэтому излишне поданная на участок вода должна собираться и отводиться за пределы орошаемого района.

Из всего этого видно, что количество воды, необходимое для орошения данного участка, должно быть строго подсчитано с учетом всех возможных потерь.

Качество поливной воды. Вода, употребляемая для орошения, не должна содержать вредных примесей.

Значительное количество растворенных в воде вредных для растений солей может сделать воду совершенно непригодной для орошения. Из таких вредных солей следует отметить соду (химическое обозначение Na_2CO_3), поваренную соль (NaCl), глауберову соль (Na_2SO_4), хлористый кальций ($CaCl_2$), хлористый магний (Mg_2Cl_2), сернокислый магний ($MgSO_4$) и др.

Судить о пригодности воды можно на основании опыта, химического анализа, цвета воды и растительности по берегам реки и ее притоков, а также по происхождению реки или притока.

Мутная вода содержит больше питательных веществ, нежели чистая. Ржавый цвет, в особенности ржавость пены, указывает на содержание в воде большого количества железа. Такая вода

будет годиться для орошения, если ее пропустить на значительном расстоянии по канавам, выложенным булыжником, на котором железо оседает.

Темнокоричневый цвет воды указывает на содержание в ней большого количества перегнойных кислот. Такая вода не всегда хороша для орошения.

Вообще же вода из местности, в которой преобладают хорошо удобренные поля, более богата питательными веществами, нежели вода пустошей, лесных и болотистых областей. Вода ручьев и рек районов, бедных осадками, нередко содержит в себе настолько много поваренной соли, что разъедает корни растений.

Реки, берущие начало в массивно-кристаллических горных породах, несут воду мягкую, содержащую больше питательных (зольных) веществ, нежели жесткая вода известняково-щебнистых пород.

Качество поливной воды сильно зависит также от содержания в ней взвешенных и донных наносов. Плодородие орошаемых земель нередко определяется тем количеством ила, которое вода при поливах приносит с собой на поля орошения.

Вода различного происхождения имеет и различную ценность в деле орошения. Практика орошения в Средней Азии отдает предпочтение мутной воде потоков ледникового происхождения перед прозрачной родниковой водой. На полях орошения Средней Азии было особо проверено действие на урожай воды того и другого происхождения. В Хивинском оазисе и в низовьях р. Аму-Дарьи наблюдалось следующее явление: поля орошения, питающиеся мутной водой Аму-Дарьи, веками дают прекрасный урожай, но достаточно перейти на орошение той же водой, но осветленной путем устройства отстойников, как через 2—3 года почва засолоняется и эти участки орошения выходят из строя.

Не следует забывать, что положительные качества имеют лишь мелкие взвешенные наносы. Что же касается крупных наносов, то их попадания на поля орошения надлежит всячески избегать, так как они могут закупорить поры почвы и повредить ее влагоемкости. Необходимость улавливания крупных наносов предусматривается в конструкциях водозаборных сооружений ирригационной сети, и нередко для борьбы с такими наносами устраиваются специальные сооружения.

Потребление воды ирригационной (оросительной) системой. Для определения величины расхода воды, потребной для орошения данного участка земли (рис. 37 и 38), необходимо знать:

1) состав, распределение и фазы вегетации (произрастания) растений;

2) поливные и оросительные нормы и время производства поливов;

3) величину орошаемой площади;

4) потери воды из каналов;

5) дополнительные потребности системы в воде.

Вопрос о том, какие культуры могут и будут возделываться на системе, должен быть решен в первую очередь. Вследствие того, что состав и распределение культур по отдельным участ-

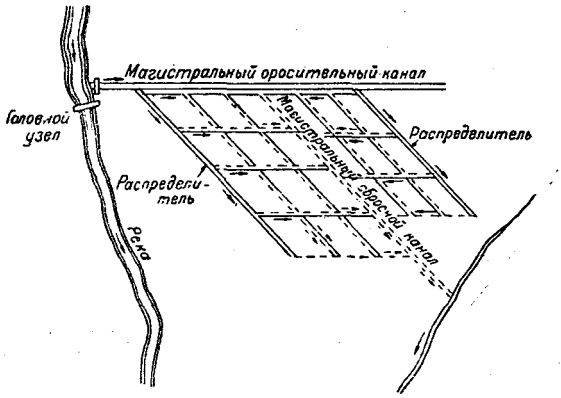


Рис. 37. Схема ирригационной сети каналов.

кам орошаемой площади могут меняться, надо установить возможные пределы этих изменений, так как система должна удовлетворять потребность растений в воде при всех условиях.

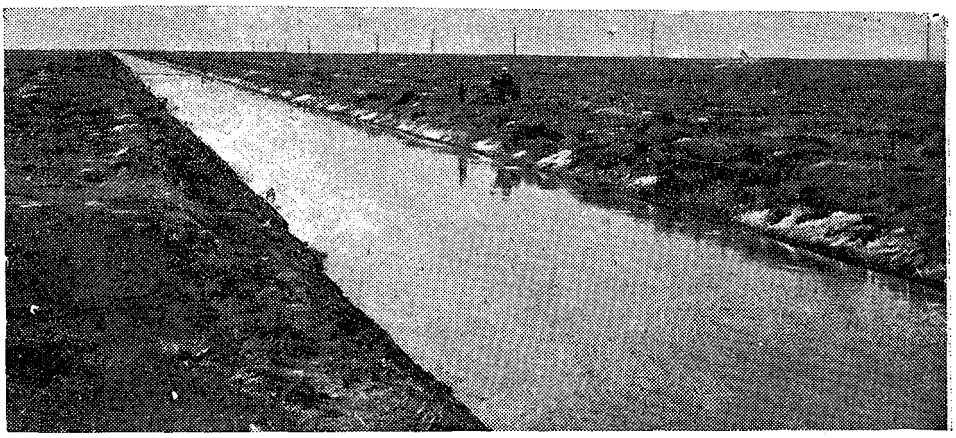


Рис. 38. Оросительный канал.

После установления состава культур определяются фазы вегетации, т. е. периоды развития растений. Определение фаз вегетации имеет весьма большое значение, так как именно по ним устанавливается потребность ирригационных систем в воде.

Различают следующие периоды развития растений:

1) от начала посева до всхода;

2) от всходов до колошения, выбрасывания метелки или до цветения;

3) от цветения до начала созревания;

4) от начала созревания до уборки.

Каждая культура для своего развития и созревания требует определенного количества воды, причем вода эта подается на поля не вся сразу, а постепенно, в ряд приемов - поливов, число которых зависит от фазы развития растения.

Количество воды, подаваемое за 1 раз для полива площади в 1 *га*, занятой данной культурой, называется нормой полива. Для разных культур норма полива будет разная. Она зависит не только от оптимальной влажности почвы для данной культуры, но еще и от способа полива, рельефа местности и других причин.

Сумма всех поливных норм, т. е. количество воды, подаваемое для орошения площади в 1 *га*, занятой данной культурой в течение всего вегетационного периода,[1] называется оросительной нормой. В оросительную норму включается также и норма предпосевного полива, который производится для увлажнения почвы. Число поливов для разных культур, а также для одной и той же культуры в разных районах различно, вследствие чего величина их оросительных норм также различна.

Как уже сказано, полив той или иной культуры производится не одновременно, а растягивается на некоторый период времени, называемый растяжимостью полива. Сроки начала и конца полива (т. е. межполивные периоды) устанавливаются в результате наблюдений на практике существующих поливных хозяйств или на опытных станциях и соответствуют периодам развития растений. Недостаток воды во время плодообразования (в период цветения), а также излишек ее вызывают опоздание завязей, и тем большее, чем больше недостаток или излишек воды. Избыток в воде в период до цветения вызывает развитие большой надземной травяной и листовой массы, что в дальнейшем плохо отражается на урожае, так как корневая система не в состоянии доставить растению влагу в необходимом количестве.

Тот период, в течение которого без вреда для культуры можно производить полив, называется периодом полива. Продолжительность полива большинства сельскохозяйственных культур колеблется от 15 до 30 дней.

Чтобы выяснить величину расхода воды, потребной для орошения, необходимо знать величину предполагаемой к орошению площади.

В практике орошения различают следующие площади:

1) площадь района, куда входят все земли, независимо от пригодности их для сельскохозяйственного использования;

---

[1] Вегетационным периодом называется период развития и созревания растений.

2) валовая площадь орошения: а) площадь всех пригодных к культуре земель (включая небольшие ямы, бугры и т. п.); б) действительно орошаемая площадь, т. е. площадь, которая может быть целиком засеяна и орошена.

Расход воды в литрах в 1 секунду на 1 *га* действительно орошаемой площади данной культуры называется гидромодулем. Обозначается он буквой q и равен запасу влаги в почве m, деленному на 86 400 (число секунд в сутках) и на длительность межполивного периода U в днях, в течение которого запас влаги расходуется, т. е.

$$q = \frac{m}{86\,400 \cdot t} \; м^3/сек$$

или

$$q = \frac{1000 \cdot m}{86\,400 \cdot t} = 0{,}0115 \cdot \frac{m}{t} \; л/сек.$$

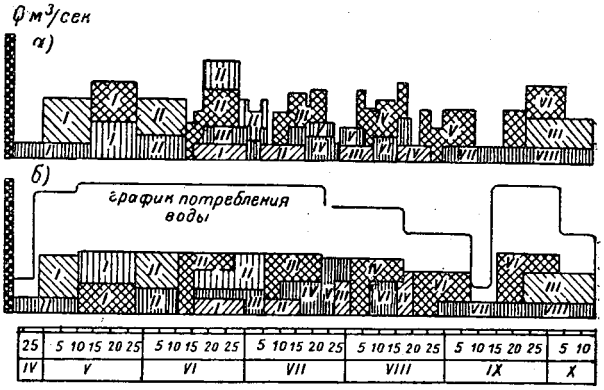


Рис. 39. График отдачи воды на поля и потребления воды ирригационной системой из источника орошения: *а*) неувязанный график, *б*) увязанный график.

Для того чтобы правильно запроектировать и осуществить орошение, необходимо установить, какое количество воды и в какое время надо подавать на поля, чтобы обеспечить нормальное развитие растений. Для этого на основании данных о составе и распределении культур, величин поливных и оросительных норм и сроков поливов строится график отдачи воды на поля для всей действительно орошаемой площади ирригационной системы. На рис. 39, *а* приводится пример такого графика.

Этот график, обеспечивая равномерную подачу воды в необходимом количестве в продолжение поливного периода для каждой культуры, имеет, как видно на рисунке, неровное (ступенчатое) очертание и не может быть положен в основу расчета, так как требует увеличения сечения каналов, больших разме-

ров гидротехнических сооружений и т. д., а кроме того, и источник орошения не всегда может удовлетворить потребность в воде по такому графику. Поэтому полученный график отдачи воды перестраивают, сохраняя, по возможности, поливной режим культур, и придают ему плавные очертания (см. рис. 39, *б*).

Последним вопросом, решающим величину необходимого расхода воды для данной ирригационной системы, является определение потерь воды из каналов и размеров дополнительной потребности системы в воде.

Чтобы обеспечить подачу воды на поля в требуемом количестве, из источника орошения необходимо забрать воду в значительно большем количестве, так как при проходе по каналам часть воды теряется на фильтрацию в дно и боковые стенки каналов, испарение, утечку через искусственные сооружения и на эксплоатационные сбросы.

Если расход воды, подаваемой на поля орошения, обозначить через Q_1, а расход воды, забираемой из источника орошения, через Q_2, то отношение их дает коэфициент полезного действия системы:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2}.$$

Величина коэфициента полезного действия системы η показывает, какая часть воды, забираемой из источника орошения, подается на поля для производства полива.

Коэфициент полезного действия системы с каналами в земляном русле колеблется от 0,40 до 0,70.

Зная коэфициент полезного действия системы и имея график отдачи воды, можно определить то количество воды, которое необходимо забирать из источника орошения. Для этого, подобно графику отдачи воды, строится график потребления воды ирригационной системой из источника орошения. При построении последнего следует учесть, что он по отношению к графику отдачи воды должен быть сдвинут влево на величину времени добегания полученной из источника орошения воды до места ее потребления. На рис. 39, *б* график потребления воды представлен площадью, ограниченной сверху сплошной ступенчатой линией.

По обоим указанным графикам, путем деления расхода на величину площади, для орошения которой построен график, определяется величина гидромодуля, причем по графику отдачи определяется величина гидромодуля нетто в литрах в 1 секунду, а по графику потребления — величина гидромодуля брутто в литрах в 1 секунду.

Величиной гидромодуля, в особенности его наименьшим и наибольшим значениями, обычно пользуются при определении размеров каналов и сооружений, а также для сравнительной оценки водопотребления системы.

Источники орошения. Источниками орошения обычно являются большие и малые реки района и реже грунтовые воды.

Забор воды на орошение производится из рек — путем устройства так называемых головных водозаборных сооружений, забор же грунтовых вод, в зависимости от характера их залегания, производится либо путем устройства ряда колодцев, снабженных насосами, которыми вода поднимается на поверхность земли и направляется на поля орошения (иногда через водоем), либо путем устройства кяризов — подземных водосборных галлерей, из которых вода выводится непосредственно в ирригационные системы или каким-либо другим путем.

На практике чаще всего приходится иметь дело с реками и водохранилищами. Прежде чем приступить к составлению проекта орошения, необходимо всесторонне изучить режим источника орошения. Методы изучения режима рек и других водных объектов разъяснены в гл. 2 и 4, поэтому здесь следует только указать, что для орошения представляют осо-

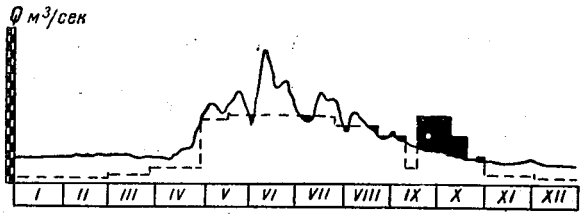


Рис. 40. График естественного режима источника орошения и забор воды из него.

бый интерес колебания уровней и расходов воды, по возможности за многолетний период, содержание донных и взвешенных наносов и растворимых солей, а также продольный профиль и поперечные сечения реки, необходимые для выяснения ее режима при преграждении плотиной, для установления возможного района затопления и т. п,

Гидрологический режим источника орошения обычно не совпадает с графиком потребления воды, и нередко случается так, что, например, в отдельные периоды расход воды в реке больше, нежели это требуется по графику потребления для орошения данного участка, а затем картина меняется, и расход воды в реке уже не может удовлетворить требования графика потребления. Такой случай изображен на рис. 40. Здесь сплошной линией изображен график колебания расходов воды в реке в течение года, а прерывистой — график потребления воды ирригационной системой; заштрихованные площади представляют собою объем того количества воды, которого недостает для орошения земли в данном пункте. Такое пополнение воды возможно только при зарегулированных реках из запасов водохранилища.[1] В противном случае, т. е. при отсутствии водо-

[1] Регулирующее водохранилище представляет собою искусственно образованный водоем, в котором скопляется вода, расходуемая в период маловодья на дополнительное питание реки.

хранилищ, приходится или уменьшать площадь орошения, или изменять состав проектируемых на полях орошения культур с таким расчетом, чтобы график потребления воды ирригационной системы согласовывался с графиком колебания расходов воды в реке. Несогласованность этих графиков влечет за собою снижение, а иногда и полную гибель урожая.

Для обычных расчетов расхода воды в незарегулированной реке исходят не из гидрологического режима самого маловодного года, а из режима расходов воды в так называемый расчетный год, близкий к среднему за многолетний период.

Выбор расчетного года производится на основе многолетних наблюдений над уровнями и расходами воды в реке в данном или близлежащем пункте и требует серьезного специального анализа материалов (см. литературу [14, 15]).

Наиболее простым способом определения ориентировочного расчетного расхода реки для того или иного периода является подсчет среднеарифметического или ниже среднеарифметического расхода воды за рассматриваемый период.

Имея график колебания расходов расчетного года, совпадающий с графиком потребления воды, можно приступать к составлению технического проекта головных сооружений и сооружений ирригационной сети для орошения заданной площади.

Из других способов орошения в последние годы уделяется большое внимание дождеванию. При применении этого способа орошения (разбрызгиванием по площади) уменьшается величина потерь воды при подаче ее от места забора до орошаемых участков, так как вода подается на участки не открытыми каналами, преимущественно земляными, а по особым трубам. На величину уменьшения потерь должен быть изменен соответственно и график потребления воды системой. В остальном расчет необходимого для поливов количества воды и согласование его с режимом источника орошения остается таким же, как это описано выше. Дождевание применяется в течение периода вегетации в несколько приемов.

Следует, конечно, отметить, что и при поливном орошении, и при дождевании выпадение естественных дождей отодвигает или отменяет на время соответственные очереди поливов.

Осушение

Осушение предпринимается на болотах и избыточно-увлажненных минеральных землях, где излишнее количество воды препятствует произрастанию культурных растений. В СССР подобные земли распространены главным образом в северных и северо-западных частях страны: в Сибири, в северных областях Европейской части Союза, в Ленинградской, Псковской, Новгородской и других областях, в Белоруссии. Для изменения на заболоченных землях водных условий и удаления излишней воды требуется, во-первых, понизить уровень грунтовых вод

настолько, насколько это необходимо для будущей луговой или полевой культуры, и, во-вторых, отводить излишние грунтовые и поверхностные воды с осушаемой площади в ближайший водоприемник (ручей, реку, озеро), подготовленный для принятия отводимых вод.

Осушение производится при помощи прорытия сети каналов, или так называемой осушительной сети (рис.41). Осушительная сеть обычно состоит из каналов двух родов — более мелких и часто расположенных, служащих для понижения уровня грунтовых вод на осушаемых землях, и более глубоких и редко расположенных, служащих для принятия и отвода воды, отсасываемой мелкими каналами.

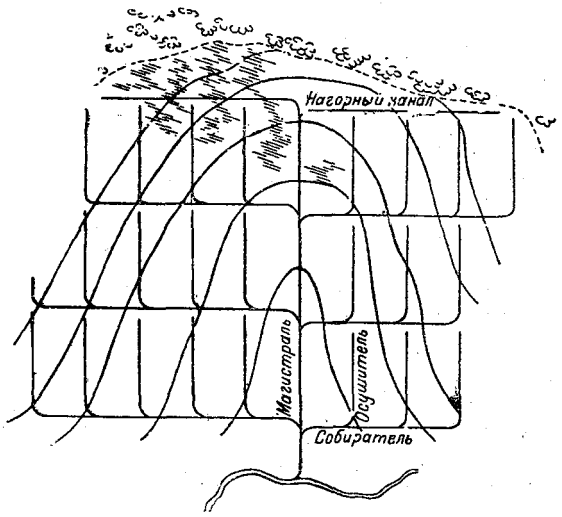


Рис. 41. Схема осушительной сети.

Первая сеть называется регулирующей, вторая — проводящей.

Регулирующая сеть делается открытой (каналы) или закрытой (дренаж).

В настоящее время при механической обработке полей и уборке урожая закрытая сеть, не препятствующая передвижению машин и сберегающая осушенную землю, приобретает все большее значение по сравнению с сетью открытой.

Расчет количества отводимой воды. Для того чтобы осушительные каналы, или дрены, отводили воду, согласно требованиям сельского хозяйства, в определенные сроки, необходимо правильно рассчитать их размеры (поперечные сечения, уклоны дна), а для этого нужно знать количество воды, стекающее с осушаемых земель. Поступление воды в редко расположенные открытые проводящие каналы и в регулирующую закрытую сеть различно. Для проводящих каналов и вообще для откры-

той сети главную массу воды дает сток по поверхности, а для регулирующей закрытой сети — внутренний сток, т. е. часть осадков, просочившихся в почву. Поэтому и расчет количеств отводимой воды производится для проводящих и вообще открытых каналов в основном на отведение поверхностных вод, а для регулирующей закрытой сети — на внутренний сток.

Количество воды, стекающее с осушаемых земель, необходимо определять для периодов наиболее важных с хозяйственной и сельскохозяйственной точек зрения.

Такими периодами являются:

1) время весеннего паводка талых вод,
2) период перед севом,
3) период летних дождей,
4) период летних бытовых вод.

Выбор указанных периодов объясняется следующим: весенние талые воды дают обычно в северных и северо-западных районах СССР, где требуются главным образом осушительные мелиорации, наибольшие расходы воды даже при малых площадях водосбора. Каналы должны отводить эти расходы полным сечением, причем вода не должна выступать из берегов, а также не должна размывать каналы.[1]

Поэтому все проводящие каналы необходимо рассчитать на весенние воды.

Предпосевные воды, питаемые остатками талых вод и весенними дождевыми осадками, могут представить опасность для полевых культур и помешать севу. Поэтому для каналов на осушаемых землях, отводимых под полевые культуры, обязателен расчет на отведение предпосевных вод до сева, с тем чтобы перед севом поля нигде не были подтоплены водой и уровень воды в каналах, как проводящих, так и регулирующих, находился ниже бровок каналов настолько, насколько это необходимо для установления нормального водного режима в почве.

Летние дождевые воды, под которыми обычно понимают средние из наибольших месячных дождевых вод за ряд лет, вообще ниже предпосевных вод. Расчет на отведение летних дождевых вод производится для каналов на землях, используемых под луговые культуры, так как луговые культуры не требуют срочного отведения предпосевных вод. Каналы должны отводить летние дождевые воды при уровне, обеспечивающем неподтопление осушаемых земель.

Наконец, летние бытовые воды или близкие к ним средние летние воды, под которыми понимают сток, наблюдающийся наиболее продолжительное время в течение вегетационного периода, т. е. периода роста растений, имеют значение для установления нормального водного режима и уровня грунтовых вод на осушенных землях в самый важный для растений период. При закрытой регулирующей сети уровень летних бытовых вод в открытых каналах должен быть ниже устьев (выходов)

[1] Последнее условие в слабых грунтах практически почти невыполнимо.

впадающих в каналы дрен, чтобы вода из дрен могла беспрепятственно поступать в каналы.

Расчетные количества стекающих поверхностных вод принято выражать в величинах стока (в литрах в 1 секунду с 1 гектара). Модуль стока, умноженный на величину площади, дает, как известно (см. гл. 2), расход воды с этой площади. Зная модуль стока, можно для любого канала и в любом его сечении при известной величине площади, с которой канал собирает воду, установить расчетный расход воды и по нему подобрать поперечные размеры канала.

В соответствии с указанными выше критическими периодами различают следующие модули стока: весенних, предпосевных, летних дождевых и летних бытовых вод, или близкий к нему модуль стока средних летних вод.

Установление величин модулей стока возможно двумя путями:

1) по непосредственным гидрологическим наблюдениям на реках и каналах того бассейна, где расположены осушаемые земли;

2) по приближенным общим зависимостям, выведенным на основании наблюдений в других бассейнах.

Первый путь непосредственных гидрологических наблюдений требует наличия или открытия гидрометрических станций с водомерными постами и гидростворами, т. е. наблюдений над уровнем и измерений расходов воды на реках и каналах осушаемого бассейна и точного установления величин водосборов этих речек в местах определений расходов воды. Данные наблюдений за ряд лет над величинами весенних и летних расходов, а отсюда и модулей стока, кладут затем в основу расчетных модулей стока, причем эти последние несколько увеличивают для учета возрастания стока в результате проведения осушительной сети. Путь непосредственных наблюдений является лучшим, однако не всегда применим, так как даже при наблюдающемся большом развитии гидрометрических работ трудно обслужить ими заранее все возможные объекты осушения.

Поэтому во многих случаях при установлении величин модулей стока приходится итти вторым путем, по возможности проверяя и исправляя общие зависимости на основании непосредственных наблюдений. Общие зависимости основаны на связи между величиной того или иного модуля стока и значениями ряда природных факторов, а также некоторыми условиями мелиорации. Они имеют вид формул.

Величины модулей стока зависят главным образом от следующих природных факторов:

1) количества осадков за тот или иной расчетный период;

2) характера почвы (ее проницаемости);

3) характера водосбора (уклон местности, растительность) и его величины, а также от следующих условий мелиорации: а) частоты осушительной сети; б) рода культуры, выращиваемой на осушаемых землях.

Влияние указанных факторов таково, что величина модуля стока тем больше, чем значительнее количество осадков, чем меньше площадь водосбора и больше уклон ее поверхности и чем чаще проведена осушительная сеть. Влияние рода культуры на величину модуля стока выражается в том, что одна какая-либо более требовательная культура нуждается в отведении излишних вод (положим, предпосевных вод) в более короткий срок, нежели другая менее требовательная, и поэтому при равном количестве отводимой воды модуль стока и расчетный расход при первой культуре получаются бо́льшими, чем при второй.

Общие зависимости выводятся, как уже указывалось, на основании имеющихся данных наблюдений над стоком рек и каналов, прорезающих заболоченные земли, причем эти данные соответствующим образом обрабатываются и обобщаются. К настоящему времени имеется ряд формул, предложенных различными специалистами и выражающих общие зависимости модулей стока от указанных выше факторов.

Некоторые формулы выведены только на основании материалов одной какой-нибудь области и предназначены для применения только в ее пределах. Имеются, например, формулы модулей стока для Ленинградской области, для Белоруссии и др.

Из-за необходимости учета влияния многих факторов формулы для модулей стока довольно громоздки. Если бы для получения модуля стока достаточно было только рассчитать отведение известного количества выпавших осадков в определенный срок, без учета каких-либо потерь воды при ее стекании, формулы для модуля стока имели бы простой вид. В простейшем случае, если, например, рассчитать отведение слоя осадков в 1 *мм*, или 0,001 *м*, в течение одних суток (в сутках 86 400 секунд), не учитывая потерь при стоке, модуль стока q получается:

$$q = \frac{\text{слой осадков (в метрах)} \times \text{площадь 1 } га \text{ (в кв. метрах)}}{\text{число секунд в сутки}} =$$

$$= \frac{0{,}001 \times 10\,000}{86400} = 0{,}000116 \; м^3/сек = 0{,}116 \; л/сек. \text{ с 1 } га.$$

Однако подобный случай на практике невозможен, и в формулах приходится, помимо осадков и срока их отведения, учитывать и все указанные выше факторы, влияющие на величину модуля. Это и приводит к усложнению формул.

Акад. Костяковым предложена для вычисления модулей типовая формула следующего общего вида:[1]

$$q = \frac{P}{\frac{x}{\sqrt{\omega}}} \; л/сек \text{ с 1 } га,$$

[1] В развернутом виде формула дана в труде акад. Костякова „Основы мелиораций", ОГИЗ, Сельхозгиз, М., 1938.

где числитель P выражает влияние количества осадков, времени их отведения и проницаемости почвы, а знаменатель — влияние величины водосборной площади ω и степени замедления стока в зависимости от климатических факторов и особенностей водосбора (через показатель корня x).

Акад. Костяковым установлены значения P и x для определения некоторых из расчетных модулей, причем для одного и того же модуля он приводит несколько значений, в зависимости от изменения природных факторов.

В качестве примера ниже приведена формула для модуля стока весенних вод при средних по благоприятности условиях стока:

$$q_{\text{вес}} = \frac{6{,}0}{\sqrt[5]{\omega}}$$

и формула для летних бытовых вод при таких же условиях стока:

$$q_{\text{быт}} = \frac{0{,}6}{\sqrt[3{,}6]{\omega}}.$$

В приведенные формулы для получения значений модулей стока достаточно подставить величину водосборной площади.

Пусть площадь водосбора проводящего осушительного канала равна 1000 *га* при средних условиях стока (т. е. среднем количестве осадков, средней по проницаемости почве не особенно крутой, но и не слишком плоской местности и т. д.).

Тогда величина модуля стока весенних вод составит:

$$q_{\text{вес}} = \frac{6{,}0}{\sqrt[5]{1000}} = 1{,}51 \text{ } л/сек. \text{ с } 1 \text{ } га,$$

а модуль стока летних бытовых вод[1]

$$q_{\text{быт}} = \frac{0{,}6}{\sqrt[3{,}6]{1000}} = 0{,}088 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } га.$$

Расчетные расходы для канала получатся:
расход весенних вод, отводимый полным сечением:

$$Q_{\text{вес}} = q_{\text{вес}} \cdot \omega = 1{,}51 \cdot 1000 = 1510 \text{ } л/сек = 1{,}51 \text{ } м^3/сек.$$

расход бытовых вод:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} \cdot \omega = 0{,}088 \cdot 1000 = 88 \text{ } л/сек. = 0{,}088 \text{ } м^3/сек$$

Поэтому модуль стока летних бытовых вод или средних летних вод в первом приближении может быть оценен неко-

[1] Акад. Костяков считает необходимым прибавлять к модулю стока летних бытовых вод 0,01 — 0,03 *л/сек* за счет внутреннего стока.

торым средним значением, постоянным для стока с площадей любой величины в пределах определенного района с более или менее однородными климатическими и почвенными условиями.

Для общего представления о величинах модуля стока средних летних вод ниже приведены приближенные средние значения его для некоторых районов Союза (в *л/сек* с 1 *га*):

Западная Украина	0,02
Московский район	0,03
Белоруссия	0,04
Ленинградская область	0,06

Модули стока служат для расчета открытой сети. Для расчета закрытой сети — дренажа, например, для определения сечения закладываемых в землю гончарных труб-собирателей, т. е. труб, принимающих в себя сток из мелких дрен, устанавливается не модуль поверхностного стока, а модуль внутреннего стока. Модуль внутреннего стока должен выражать то количество воды, которое стекает с 1 га в 1 секунду единственно за счет части осадков, просочившейся в землю и при наличии дренажа поступившей в трубы. Для установления модуля внутреннего стока особенно важно иметь данные о стоке с дренированных площадей. Таких данных, к сожалению, пока немного. Модуль внутреннего стока обычно или подсчитывается по формулам (см. литературу [14]) или берется из приближенных норм, т. е. из средних значений для него, выведенных для того или иного района на основании наблюдений.

Водоприемники и их регулирование. Водоприемником для вод, отводимых с осушаемых земель, является обычно река или ручей, реже озеро. В заболоченных районах единственным водоприемником часто является небольшая речка с захламленным руслом, в летний период сплошь порастающим травой. Течение воды в такой речке крайне медленное и уровень воды в ней и летом держится почти вровень с берегами. Подобная речка служит обычно сама причиной заболачивания прибрежных земель. Относительно такого рода водоприемника уже с первого взгляда ясна необходимость его расчистки и производства регулировочных работ, т. е. увеличения его пропускной способности за счет уширения и углубления русла и спрямления извилин.

Однако не всегда можно сразу установить пригодность или непригодность водоприемника.

Для этого необходимо бывает знать уровни воды, которые держатся в водоприемнике в критические для сельскохозяйственных работ периоды, а также расходы воды в нем в эти периоды до осушения. С целью получения указанных сведений, на водоприемнике в районе проектируемого примыкания к нему осушительных каналов открываются водомерные посты и производятся измерения уровней и расходов, причем наблюдения надо, по возможности, производить в течение ряда лет.

(судоходство и сплав, мостовое и дорожное строительство, рыбное хозяйство, лечебное и солевое использование вод и пр.).

Мероприятия по судоходству и сплаву требуют в первую очередь сведений об уровне воды (см. гл. 4).

Сведения, или данные, об уровне воды необходимы прежде всего при повседневном обслуживании судоходства. На свободных нешлюзованных реках наблюдения над уровнем воды на расположенных соответствующим образом водомерных постах дают возможность, при наличии данных об отметках (высоте) дна реки, по судовому ходу, или так называемому фарватеру, судить о глубинах воды в наиболее мелководных местах судового хода — на порогах и перекатах. Это позволяет в периоды мелководья на основании уровней воды, не производя специальных промеров, регулировать допустимую осадку или загрузку судов. [1]

Кроме того, уровни воды, в частности наивысшие уровни, необходимо знать при устройстве постоянных пристаней, набережных, складов (в том числе складов леса) и при сооружении плотин, так как все эти устройства и сооружения должны быть обеспечены от затопления; при сооружении шлюзов особенно важны данные о наинизшем уровне воды, так как порог шлюза должен быть заложен на такой высоте, чтобы вход судов в шлюз с низовой стороны реки был обеспечен при самой низкой воде. Судоходство и сплав нуждаются также в сведениях о вскрытии и замерзании рек.

Если при эксплоатации судоходных и сплавных рек решающее значение имеют сведения об уровнях воды, то при улучшении водных путей, в частности при перераспределении с этой целью стока и устройстве водохранилищ (см. гл. 6), необходимы также подробные сведения о расходах воды и о связи их с уровнями, например, в местах особо затруднительных для судоходства или сплава.

Крайне важное значение для судоходства и сплава имеют также гидрологические прогнозы в части предсказания уровней воды и времени вскрытия и замерзания водных путей.

Гидрологические сведения необходимы также в дорожном строительстве. Постройка железной, шоссейной и других дорог неизменно связана с сооружением мостов через большие и малые реки, речки и ручьи или с укладкой в полотне (насыпи) дороги специальных водопропускных труб, через которые вода пересекает трассу (линию) дороги. Иногда мосты или трубы перекрывают не речку, а сухие лога, в которых вода наблюдается только в периоды паводков (снегового или дождевого), в другое же время года воды в логах нет.

Размеры отверстий мостов и труб, через которые должен пройти весь паводковый водный поток, устанавливаются, исходя из возможного максимального поднятия уровня воды в реке

---

[1] Осадкой называется глубина погружения судна в воду. С увеличением загрузки судна увеличивается и его осадка.

Необходимо иметь в виду, что в результате осушения и срочного, ускоренного против естественных условий, отведения с осушаемых земель избыточных вод в критические периоды времени расходы воды, а следовательно, и уровни в водоприемнике могут после осушения повыситься. Это обстоятельство следует учитывать, вводя соответствующую поправку в наблюденные естественные уровни.

Наблюденные уровни в водоприемнике (если требуется, то с поправкой на повышение их после осушения) сопоставляются с проектными уровнями в устьях проводящих (магистральных) каналов — в местах их выхода в водоприемник.

Нормальный водоприемник должен удовлетворять следующим условиям:

1. Уровень воды в водоприемнике в период летних бытовых вод должен стоять не выше расчетного бытового уровня воды в устьях проводящих каналов.

2. Весенние талые, предпосевные и летние дождевые воды должны отводиться водоприемником в такие сроки и при таких уровнях, чтобы не вызывать затопления осушительной сети и подтопления осушаемых земель.

Если водоприемник не удовлетворяет указанным условиям, производится его регулирование. Для регулирования водоприемника необходимо знать его поперечные сечения в естественном состоянии. С этой целью производится съемка подлежащих регулированию участков водоприемника с промерами его поперечных сечений. Изменение поперечных сечений водоприемника в соответствии с теми расходами, которые должны им отводиться при тех или иных расчетных уровнях, является уже задачей гидротехники.

Нередко водоприемники являются сплавными реками, и по ним производится мелкое судоходство или их намечается под него приспособить.

В этих случаях задачи осушения, заключающиеся в понижении уровня в водоприемнике частично за счет увеличения в нем скоростей течения и уменьшения глубин, могут оказаться в некотором противоречии с задачами сплава и судоходства. Вопрос приходится решать с учетом требований всех указанных отраслей народного хозяйства к данному водотоку таким образом, чтобы решение его давало наибольший экономический эффект.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СВЕДЕНИЙ В ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Помимо рассмотренных отраслей народного хозяйства (водоснабжения, использования водной энергии и мелиорации земель), в гидрологических сведениях нуждаются в той или иной степени также и другие отрасли народного хозяйства, связанные с водою

или логе и возможной наибольшей величины расхода воды. Только учтя эти величины при проектировке сооружения, можно предотвратить те катастрофические последствия больших подъемов воды, которые обычно ведут к подмыву опор мостов, разрушению их и размыву дорожного полотна.

Особо опасными являются неожиданные быстрые подъемы воды, происходящие вследствие выпадения сильных дождей и ливней. У нас, в Советском Союзе, наиболее часто такие дожди наблюдаются на Украине, на Кавказе и на Дальнем Востоке.

Сильные дожди, охватывающие даже совсем небольшие пространства, могут вызвать резкое повышение уровня воды на малых реках и появление в сухих логах быстро увеличивающихся водных потоков, достигающих порой громадных размеров.

Размеры паводка, образованного снеготаянием, устанавливаются, как выше было сказано, на основе изучения снегосъемок, запасов воды в снеге и хода температур воздуха. Что же касается дождевого паводка, то величина его может быть определена только на основе тщательного изучения жидких осадков — их силы, продолжительности и площади распространения.

Наблюдения эти производятся при помощи простых и самопишущих дождемеров. Одновременно производятся наблюдения над уровнем и расходом воды в реках. Сопоставляя изменение уровня воды с изменением осадков, выпадающих в бассейне изучаемой реки, можно определить необходимые для расчета наибольшие их значения. Эти значения принимаются за основу при расчете мостовых отверстий и диаметра водопропускных труб.

Для железнодорожного водоснабжения необходимо знать дебит и по возможности режим подземного источника, питающего водой станцию, а также знать химический состав воды. Если же источником питания является река, то изучаются уровенный, расходный и ледовый режим ее, геологическое строение русла и берегов, химический и бактериологический состав воды, а также количество содержащихся в ней взвешенных наносов.

Гидрологические сведения, правда, в несколько упрощенном составе, находят применение и в ряде других отраслей народного хозяйства, которые хотя и не требуют коренных изменений в природе естественных водотоков, но нуждаются в тех или иных гидрологических данных. Таково, например, рыбное хозяйство или лечебное и солевое использование вод и др.

В рыбном хозяйстве, разделяющемся на рыболовство и рыбоводство, или рыборазведение, требуется установление водного режима эксплоатируемых рек и водоемов, т. е. знание уровней и расходов воды, определяемых согласно указаниям главы 4. Кроме того, необходимо производить один раз в сезон или ежемесячно анализы состава воды, определяя содержание в ней

кислорода, а также характер и количество мельчайших организмов, населяющих воду и служащих пищей для рыб (т. е. определять кормность водоемов).

При санаторном и лечебном использовании вод, в частности минеральных источников, требуется установление режима вод, их температуры в течение года, химического состава и его колебания и содержания бактерий, определяемого при помощи специальных анализов.

При использовании солевого состава воды (соляных озер и источников) гидрологические исследования должны установить режим уровня и сток, а также химический состав воды в его сезонном и многолетнем колебании.

ЛИТЕРАТУРА

К главам второй, третьей и четвертой

1. Близняк Е. В. и Никольский Вс. М. Гидрология и водные исследования. Изд. Мин. речн. флота СССР, М.—Л., 1946.
2. Иогансон Е. И. и Иогансон В. Е. Основы гидрологии и гидрометрии. Госэнергоиздат, М.—Л., 1947.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2, ч. I и II. вып. 3, ч. I и II, вып. 6, ч. I и II; вып. 7; вып. 8. Гидрометеоиздат, 1944—1946.
4. Огиевский А. В. Гидрология суши. ОНТИ, М.—Л., 1936.
5. Советов С. А. Основы гидрологии. ОНТИ НКТП СССР, М.—Л.—Новосибирск, 1933.
6. Соколовский Д. Л. Гидрологические расчеты при устройстве водных заграждений. Гидрометеоиздат, М.—Свердловск, 1943.

К главе пятой

7. Материалы для проектирования сельскохозяйственного водоснабжения (на правах рукописи). Гидропроиз, Л., 1936.
8. Гениев Н. Н. и Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Стройиздат Наркомстроя, М.—Л., 1944.
9. Ситковский П. А. Гидротехническое строительство в сельском хозяйстве. Сельхозгиз, М., 1947 (она же к главам шестой и седьмой).

К главе шестой

10. Соколовский Д. Л. Гидрологические и водохозяйственные расчеты при проектированим малых ГЭС. Гидрометеоиздат, Л., 1946.
11. Егиазаров И. В. Гидроэлектрические силовые установки, ч. I. ОНТИ, М.—Л., 1928.
12. Зубов И. Н. и Козловская В. К. Гидроэлектрические станции малой мощности (популярный справочник). Гидроэнергопроект, 1941.
13. Водносиловые и ветросиловые установки малой мощности в местной промышленности. Сборник статей. Гизместпром, М., 1946.

К главе седьмой

14. Костяков А. Н. Основы мелиораций. ОГИЗ, Сельхозгиз, М., 1938.
15. Трombачев С. П. Орошение и осушение. САОГИЗ. М.—Ташкент, 1932.
16. Введение в гидротехнику. Госстройиздат, М.—Л., 1932.

12833 БИБЛИОТЕКА ЛЕНИНГРАДСКОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА