

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

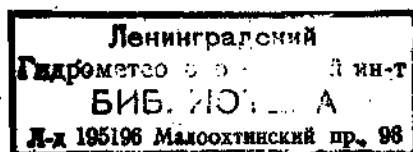
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В. Г. ОРЛОВ

ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИИ СУШИ

(учебное пособие)

Под редакцией
проф. Б. Б. Богословского



ЛЕНИНГРАД
1976

*Одобрено Ученым советом
Ленинградского гидрометеорологического института*

В учебном пособии приводятся сведения об истории и задачах гидрологии, значении ее в народном хозяйстве. Рассматриваются основные процессы, совершающиеся в гидросфере, вопросы формирования режима различных водных объектов, элементов водного баланса; приводятся сведения по гидрометрии, методике гидрологических расчетов и другие вопросы гидрологии суши.

Пособие предназначено для студентов метеорологических специальностей гидрометеорологических институтов и государственных университетов.

ВВЕДЕНИЕ

Вся жизнь и деятельность человека связаны с водой. «Нет земного вещества, минерала горной породы, живого тела, которое ее бы не заключало. Все земное вещество ею проникнуто и охвачено», — так писал о воде академик В. И. Вернадский.

Вода — это величайшее народное богатство, требующее к себе бережного отношения. Ценность и значение воды прогрессивно возрастают по мере развития экономики и культуры. Но любой природный источник не является бесконечным, в своем использовании, и чтобы правильно и рационально расходовать то, что нам дано природой, мы должны подробно изучить свойства, физические закономерности, уметь рассчитывать и прогнозировать все необходимое нам для развития народного хозяйства и создания наилучших условий жизни.

Нельзя забывать, что вода — это грозная стихия, избыток или недостаток ее приносит величайшие бедствия — наводнения, засухи.

Рациональное использование воды и осуществление мероприятий по борьбе с наводнениями, засухами, неурожаями требуют глубокого знания гидрологических явлений и процессов, а все это мы можем получить с помощью науки гидрологии и смежных с ней дисциплин.

Кроме того специалисту метеорологу просто невозможно правильно подходить к изучению атмосферы и процессов в ней происходящих без знания основных особенностей водных объектов суши — гидросферы.

Задача настоящего курса познакомить студентов—метеорологов с основами гидрологии.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность профессору, доктору географических наук С. А. Чечкину за сделанные им при просмотре рукописи указания и замечания.

Глава I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

§ 1. Наука гидрология, ее задачи, подразделение и связь с другими науками

Водная оболочка земного шара, или гидросфера, состоит из океанов, морей, рек, озер, болот, ледников и подземных вод.

Изучение свойств гидросферы и взаимодействия ее с окружающей средой, а также исследование процессов, в ней происходящих, и их закономерностей составляет содержание науки, называемой гидрология. Иными словами гидрология изучает водные объекты земного шара в тесной связи с окружающей средой, с жизнью и деятельностью человека.

Гидрология относится к комплексу наук, изучающих географические и физические свойства Земли, в частности ее гидросферы. Каждый водный объект является частью географического ландшафта, но в то же время он представляет собой комплекс взаимосвязанных физических явлений. Водная оболочка Земли тесно связана с водами атмосферы и с водами земной коры (литосферы), поэтому ряд вопросов одновременно рассматривается гидрологией, метеорологией, гидрогеологией и другими науками.

Изучение взаимодействия гидросферы, атмосферы и литосферы не должно быть оторвано от нужд человечества. Каждая наука, каждая отрасль знаний имеет своей конечной целью повысить степень управления природы человеком. Именно этому и служат географические и геофизические науки, и в частности гидрология.

Первоначально гидрология как наука подразделялась на две части — гидрологию моря и гидрологию суши. В настоящее время гидрология моря выделилась в самостоятельную науку — океанологию, в задачу которой входит комплексное изучение процессов, протекающих в Мировом океане.

По объектам исследования гидрология суши подразделяется на:

- 1) учение о реках — потамологию;
- 2) озероведение — лимнологию;
- 3) болотоведение;
- 4) учение о ледниках — гляциологию;
- 5) гидрогеологию.

Помимо деления по объектам исследования гидрология суши подразделяется по основным направлениям и методам исследования на:

общую гидрологию, которая ставит своей задачей изучение общих свойств водных объектов суши, законов, управляющих протекающими в них процессами, и общего взаимодействия этих вод с окружающей средой, включая и те изменения, которые происходят под влиянием деятельности человека;

гидрографию, которая занимается описанием конкретных водных объектов и вод отдельных территорий, а также закономерностей их географического распределения;

гидрометрию, в задачу которой входит разработка методов и приборов для наблюдений и измерений различных гидрологических величин (скорость течения, расход воды, твердый сток, ледовые явления и т. д.);

инженерную гидрологию (гидрологические расчеты), которая решает вопросы, связанные с запросами народного хозяйства по определению различных гидрологических характеристик для нужд гидротехники, ирригации, мелиорации, дорожного строительства и других отраслей;

гидрологические прогнозы, в задачу которых входят разработка и применение научно обоснованных методов предвычисления гидрологического режима, развития гидрологических явлений во времени и в пространстве.

Изучением подземных вод, находящихся в земной коре, занимается гидрогеология, а аналогичное изучение почвенных вод является одной из задач почвоведения. Воды атмосферы, особенно атмосферные осадки, изучают метеорология и климатология.

Почвенные, подземные воды, воды атмосферы изучаются в гидрологии при исследовании взаимодействия гидросферы с другими сферами, круговорота воды в природе и формирования гидрологического режима.

Законы движения жидкости и способы применения их к решению практических задач в конкретных условиях, создаваемых природой или человеком, — задачи гидромеханики и ее раздела гидравлики.

Гидрофизика занимается изучением физических свойств природной воды, а изучением состава и химических свойств природных вод и их изменениями во времени и пространстве занимается раздел геохимии — гидрохимия.

Биологическими процессами, протекающими в воде, и их взаимодействием с окружающей средой занимается гидробиология.

Законы, устанавливаемые гидромеханикой и гидравликой, гидрофизикой, гидрохимией и гидробиологией, служат основой для исследования сложных процессов, происходящих в океанах, морях и водных объектах суши.

В последние годы появилось новое направление в гидрологии, в задачу которого входит разработка научных основ комплексного использования и охраны водных ресурсов.

§ 2. Значение гидрологии в народном хозяйстве

Общей задачей гидрологии является обоснование наиболее рационального использования водных ресурсов. При этом необходимо знать все особенности режима водного объекта в прошлом и уметь предвидеть те изменения, которые возникнут при проведении тех или иных водохозяйственных мероприятий. Поэтому применение результатов гидрологических исследований весьма разнообразно.

Особенно широко они используются в гидротехническом строительстве, при строительстве мостов, переходов через водотоки, плотин, водохранилищ, каналов, так как размеры этих сооружений, а следовательно и их стоимость, определяются расчетными гидрологическими характеристиками. Гидрология решает вопросы водоснабжения, орошения, осушения и, конечно, использования рек как водных путей.

Водоснабжение. Задача водоснабжения — снабжение водой населения и промышленных предприятий, установление сведений о количестве воды и о возможном изъятии воды на питьевые и промышленные нужды. Вопрос этот без участия гидрологов решить невозможно. Поэтому при строительстве села, города, промышленного предприятия должны быть проведены специальные изыскания для оценки водных запасов в районе.

В настоящее время в промышленном городе больше половины используемой воды идет на нужды теплоэлектроцентралей, почти все остальное — в промышленность и лишь 5% идет на нужды населения. И тем не менее в Москве и Ленинграде на одного человека в сутки подается более 500 л воды. Это больше, чем в Париже и Берлине (450 л), но меньше, чем в Нью-Йорке и Сан-Франциско (800 л).

Орошение. В СССР пустыни и полупустыни занимают 12% всей территории, а в Узбекистане, Казахстане, Туркмении — до 50—60% их площади. Многие районы имеют постоянный недостаток влаги для получения необходимого урожая. Так в засушливые годы недостаток влаги может доходить на территории СССР до 100 млрд. м³, а имеющаяся оросительная система дает в год 80 млрд. м³. Все это влияет на урожайность. Строительство оросительных систем позволяет регулировать подачу влаги на поля, но несоблюдение режима орошения (норм орошения) может привести к засолению почв.

В 1913 г. в России площадь орошаемых земель составляла 3,5 млн. га, а в настоящее время она превысила 10 млн. га и продолжает расти.

Осушение. Наряду с районами, где наблюдается недостаток воды, есть области с избытком влаги, что тоже наносит вред народному хозяйству. Эта проблема решается путем осушения земель, строительства специальной осушительной системы. В настоящее время в Советском Союзе осушенные земли составляют около 13,0 млн. га, что в пять раз больше, чем было в России в 1913 г. — 2,6 млн. га.

Строительство мостов, мостовых переходов через водотоки при проектировании авто- и железных дорог не может быть осуществлено без специальных гидрологических расчетов на водопропускную способность этих объектов. При неправильном расчете водопропускной способности сооружения (занижений) может произойти катастрофа, а в случае завышения этой величины — будет неоправданно завышена стоимость сооружения.

Издавна реки использовались как водные пути, транспортные артерии и это сыграло большую роль в истории географических открытий. Для сокращения пути следования из одного района в другой строились и строятся каналы.

В настоящее время на территории нашей страны длина судоходных рек составляет более 152000 км, а каналов 15000 км.

§ 3. Краткие сведения об истории гидрологии

Гидрология как самостоятельная наука сформировалась лишь в конце прошлого столетия. Однако накопление знаний по рекам, морям и подземным водам началось очень давно, задолго до нашей эры. Ведь водные объекты с древних времен играли большую роль в жизни народов — на берегах крупных рек и озер строились города, по рекам проходили торговые пути.

Около 4000 лет назад египтяне вели регулярные наблюдения за уровнем воды р. Нил.

На территории СССР начало водомерных наблюдений относится к первому тысячелетию до нашей эры. На реках Зеравшане, Аму-Дарье и Мургабе были установлены приспособления для распределения воды на оросительных системах. В записях летописцев XV и XVI вв. отмечались такие явления, как вскрытия рек и их замерзание, наводнения, паводки, описание некоторых путей сообщения.

В середине XVII в. в Москве уже велись наблюдения за уровнем воды на р. Москве, за состоянием погоды.

Инженерные исследования рек, озер и водоемов начались со времени Петра I. Развитие промышленности, расширение торговли, потребность в обороне вызвали необходимость улучшения водных путей сообщения.

В 1703—1709 гг. были проведены изыскания и построена Вышневолоцкая система, соединяющая Волгу с Балтийским морем. При участии Петра I проведены изыскания будущего Мариинского водного пути (теперь Волго-Балтийского), построенного в 1719—1731 гг., осуществлено строительство Ладожских каналов. Впервые в России в 1700 г. был измерен расход воды Волги у г. Камышина, а на р. Неве у Петропавловской крепости установлен первый водомерный пост. (1715 г.). Несколько позднее начаты водомерные наблюдения на Ладожском и Валдайских озерах, на Уральских прудах. Было начато строительство соединительного водного пути между Волгой и Доном, но не там, где он построен сейчас, а в верховьях Дона.

Большую работу по изучению рек производила Академия наук, основанная в 1724 г. В 1760 г. в географическом департаменте Академии М. В. Ломоносов организовал исследования вскрытия и замерзания рек, весенних половодий.

В 1767 г. создается Главное управление водяных коммуникаций, в задачу которого входило исследование рек с целью судоходства.

В первой половине XIX в. улучшается аппаратура гидрометрических измерений. Вторая половина XIX в. характеризуется широкими гидрологическими исследованиями.

Планомерное изучение русских рек и озер относится к 1874 г., когда при Министерстве путей сообщения была создана навигационно-описная комиссия, которая действовала в течение 20 лет, а работы ее имели большое значение как в изучении гидрографии нашей страны, так и в развитии методов гидрометрии. Было организовано около 500 водомерных постов, на ряде рек велись измерения скоростей течения и определение расходов воды.

Одновременно с изучением рек для целей судоходства с 1873 г. развивались исследования рек, озер и болот для использования их при сельскохозяйственных мелиорациях (орошение и осушение). Были организованы экспедиции по осушению болот Полесья (1873—1898 гг.), по орошению на юге России (1880—1891 гг., И. И. Жилинский); по исследованию источников главных рек европейской России (1894—1903 гг., А. А. Тилло) и др.

Крупнейший русский климатолог и географ А. И. Воейков в работе «Климаты земного шара, в особенности России», вышедшей в 1884 г., впервые сформулировал положение, что реки — это продукт климата, и дал климатическую классификацию рек.

В конце XIX в. большое развитие получили исследования, связанные с изучением механизма речного потока, движения наносов и формирования речного русла. В 1897 г. появляется работа В. М. Лохтина «Механизм речного русла», которая дает право считать Лохтина основоположником гидрологии речного русла.

В начале XX в. проведены исследования по различным вопросам гидрологии, появились работы Э. М. Ольдекопа по испарению с поверхности речных бассейнов (1911 г.), Н. Е. Жуковского о дви-

жении воды на повороте реки (1914 г.) и о заилении (1915 г.), Н. Е. Долгова по теории стока ливневых вод (1916 г.) и др.

Однако бурное развитие гидрологических исследований и гидрологии как единой науки начинается в нашей стране только после Великой Октябрьской революции. Социалистическая система хозяйства ставит вопрос о комплексном использовании водных объектов для целей судоходства, энергетики, водоснабжения, мелиорации и т. д.

Важным событием в истории изучения водных ресурсов страны было учреждение в 1919 г. Российского, ныне Государственного гидрологического института (ГГИ), в задачи которого входило объединение всех водных исследований в СССР.

В 1920 г. по инициативе В. И. Ленина принято историческое решение об электрификации России (план ГОЭЛРО). Выполнение этого плана потребовало всестороннего изучения естественного режима водоемов.

Большое значение в развитии стационарных исследований рек имело учреждение в 1929 г. Гидрометеорологического комитета при Совете Народных Комиссаров СССР, который в 1933 г. был преобразован в Центральное управление Гидрометеорологической службы, а в 1936 г. — в Главное управление Гидрометслужбы (ГУГМС). Это способствовало резкому возрастанию сети гидрологических станций, установлению единой методики работ, улучшению качества гидрологических исследований.

В 1924 и 1928 гг. были созваны I Всероссийский и II Всесоюзный гидрологические съезды, на которых рассматривались вопросы водного баланса и речного стока, морфометрии речного русла и др. Эти съезды оказали решающее влияние на формирование гидрологии как науки, на применение гидрологических исследований к задачам экономики молодого Советского государства, на расширение опорной гидрологической сети, методику гидрометрических работ, создание водного кадастра и публикацию гидрометрических материалов.

В 1957 г. состоялся III Всесоюзный гидрологический съезд, на котором были рассмотрены достижения в области советской гидрологии за 30 лет, прошедших после II съезда, и выработано направление дальнейших гидрологических исследований.

Со времени III гидрологического съезда прошло более 16 лет. За эти годы резко возросло водохозяйственное строительство, широкий размах получила мелиорация земель, осуществлены мероприятия по регулированию режима водных объектов. В этот период партией и правительством принят ряд важнейших постановлений по борьбе с загрязнением водных бассейнов, о развитии орошаемого земледелия, о перераспределении речного стока и др., направленных на рациональное использование и охрану водных ресурсов страны. Верховным Советом СССР в декабре 1970 г. приняты «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик».

В октябре 1973 г. в Ленинграде состоялся IV Всесоюзный гидрологический съезд, на котором не только подведены итоги гидрологических исследований, но и намечены направления дальнейшего развития гидрологической науки. На съезде обсуждены актуальные проблемы современной гидрологии, связанные с осуществлением мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов СССР и их охране от загрязнения и истощения.

Среди советских ученых, которые внесли свой вклад в развитие гидрологических исследований и отдельных разделов гидрологической науки, необходимо назвать Д. И. Кочерина, М. А. Великанова, Д. В. Полякова, Д. Л. Соколовского, Е. В. Близняка, Б. А. Аполова, Б. Д. Зайкова, А. И. Чеботарева, К. П. Воскресенского, А. А. Соколова, В. А. Урываева, А. В. Огиевского, Г. А. Алексеева, Л. К. Давыдова и многих других, чей труд способствовал развитию и укреплению науки гидрологии.

Методы исследований

Основными методами исследований современной гидрологии являются: 1) стационарный, 2) экспедиционный, 3) экспериментальный и 4) теоретический.

Стационарный метод заключается в производстве наблюдений и измерений отдельных характеристик гидрологического режима по определенной программе в постоянном пункте водного объекта в течение длительного времени.

Экспедиционный метод сводится к тому, что в течение сравнительно короткого периода времени исследуется довольно обширный участок водного объекта по определенной программе.

Экспериментальный метод заключается в детальном исследовании того или иного гидрологического процесса в лабораторных или природных условиях. Для проведения экспериментальных работ созданы специальные научно-исследовательские лаборатории, стоковые станции, где в естественных условиях изучаются процессы стока воды, испарения и т. д.

Теоретический метод исследования заключается в использовании общих физических законов и математических методов решения гидрологических задач. Результаты, полученные теоретическим методом, проверяются на фактическом материале.

Наиболее полные сведения о водных объектах и их режиме могут быть получены при совместном использовании всех четырех методов исследований.

§ 4. Вода, ее свойства, распространение и круговорот в природе

Вода имеет большое значение в жизни нашей планеты. Она является наиболее распространенным элементом и участвует почти во всех физических, химических и биологических процессах, совершающихся на Земле. Вода — одно из немногих веществ, которое

находится на Земле в трех физических состояниях: жидком, твердом и парообразном. Вода содержит по весу 11,11% водорода и 88,89% кислорода, а по объему одну часть кислорода и две части водорода (H_2O).

Жидкая вода в тонких слоях бесцветна, в толстых она имеет голубовато-зеленый оттенок. Температура замерзания дистиллированной воды — 0° , а температура кипения при нормальном давлении — 100° .

Плотность дистиллированной воды при 0° равна 0,99987. Значения плотности воды при 4° (0,99997) и теплоемкости при 15° (1,000 кал/г·град) положены в основу определения веса и количества тепловой энергии (грамм и калория). Вода имеет наибольшую плотность при 4° , а при значении температуры выше и ниже 4° плотность ее уменьшается.

По сравнению с другими веществами, вода характеризуется наибольшей удельной теплоемкостью.

Теплопроводность воды весьма незначительна, но зато вода обладает очень высокой скрытой теплотой плавления и испарения. Для того, чтобы превратить 1 кг льда в воду (скрытая теплота плавления), необходимо затратить 80 кал/г, а при испарении 1 кг воды (скрытая теплота испарения) затрачивается 597 кал/г. Эти особенности воды имеют важное значение для теплового баланса Земли.

При замерзании вода расширяется на 9% по отношению к первоначальному объему.

Из всех жидкостей, кроме ртути, вода имеет самое большое поверхностное натяжение.

И последнее, что нужно отметить — вода лучший в мире растворитель. Все природные воды всегда содержат примеси различных веществ.

Распространение воды на земном шаре

Водное пространство земного шара, занятое океанами и морями, образует единый Мировой океан, представляющий непрерывную водную оболочку Земли. Из общей площади земного шара в 510 млн. км² Мировой океан занимает 361,1 млн. км², или 70,5%, а суша — 148,8 млн. км², или 29,5%.

Суша расположена главным образом в северном полушарии, где она занимает 39% всей поверхности, в южном полушарии на сушу приходится 19% поверхности.

Часть суши, с которой реки приносят воду в моря, соединенные с Мировым океаном, называется периферийной, а та часть, с которой вода поступает в замкнутые водоемы, не имеющие стока в океан, называется бессточной (область внутреннего стока):

Общий объем воды, заключенный в Мировом океане, равен приблизительно 1330 млн. км³, что превосходит объем суши, расположенной выше уровня океана, в 13 раз.

По приблизительным подсчетам, запас воды в руслах рек земного шара 2120 км³, а в озерах 176000 км³, в водохранилищах 44540 км³, что дает суммарный объем вод суши 222660 км³. По сравнению с запасами Мирового океана это очень малая доля, однако, как мы знаем, роль этих вод в жизни человека весьма велика*.

Объем годового стока всех рек земного шара приблизительно равен 35,2 тыс. км³, сток воды за счет таяния ледников в Антарктиде и Гренландии — 1,8 тыс. км³. Таким образом, общий сток воды с поверхности суши за год составляет 37 тыс. км³. Количество воды, находящейся в атмосфере, приблизительно равно 13 тыс. км³.

Сток с поверхности суши распределяется неравномерно: 98% общего объема стока сбрасывается в моря и океаны, на долю же бессточных областей приходится всего лишь 2% общего стока. Из 700 км³ стока, формирующегося в бессточных областях, на бассейны Каспийского и Аральского морей, озеро Балхаш и реки Казахстана приходится 425 км³.

Круговорот воды в природе

Под влиянием нагревания солнечными лучами огромные массы воды испаряются с поверхности суши, морей и океанов. Эта величина составляет около 519 тыс. км³ в год.

Часть воды, испарившейся с поверхности океанов, вновь выпадает на их поверхность в виде осадков, следовательно, возвращается снова в океан, совершив так называемый малый круговорот.

Водяной пар, перенесенный воздушными течениями на сушу, при благоприятных условиях также конденсируется и выпадает в виде атмосферных осадков. Выпадая на сушу, атмосферные осадки частью стекают по земной поверхности, образуя ручьи и реки, частью просачиваются, а какая-то часть снова испаряется. Та часть, которая стекает и в конце концов снова достигает океана, совершает так называемый большой круговорот воды.

Большой круговорот включает местный, или внутриматериковый, влагооборот, происходящий непосредственно на суше, когда часть выпавших осадков не попадает в реки, а испаряется и снова конденсируется (превращаясь в облака), затем снова выпадает в виде дождя или снега на поверхность Земли. Эта влага, прежде чем вернуться в океан, совершает несколько оборотов, снабжая влагой территории, далеко отстоящие от океана.

* Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., Гидрометеоздат, 1974, стр. 49—58.

Небольшая часть воды из общего объема, участвующего в круговороте ($7,7$ тыс. км³ в год), совершает круговорот в пределах бессточных областей, который является в некоторой

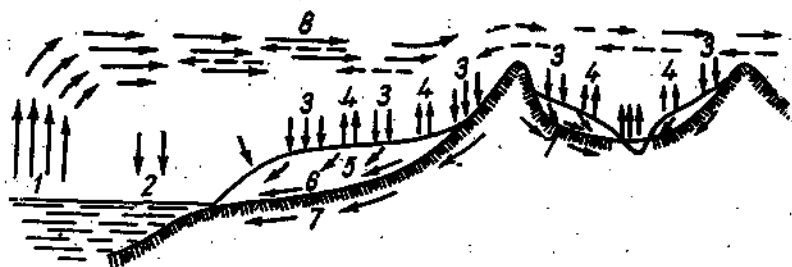


Рис. 1. Схема круговорота воды в природе:

1 — испарение с поверхности океана; 2 — осадки на поверхность океана; 3 — осадки на поверхность суши; 4 — испарение с поверхности суши; 5 — поверхностный и подземный сток в реки; 6 — речной сток в океан; 7 — подземный сток в океан; 8 — влагообмен между сушей и океаном через атмосферу

мере самостоятельным. Чтобы испарить 519 тыс. км³ воды, участвующей в круговороте, требуется около $3,0 \cdot 10^{20}$ ккал. Солнце посылает на Землю около $13,4 \cdot 10^{20}$ ккал. Отсюда видно, что примерно 22% всей падающей на Землю солнечной энергии расходуется на круговорот влаги на земном шаре (рис. 1).

Глава II

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕК И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

§ 1. Общие сведения о реках

Вода, поступающая на поверхность земли в виде осадков или выходов подземных источников, собирается в понижениях рельефа и, стекая под действием силы тяжести в направлении уклона местности, образует поверхностные водотоки. Иными словами, рекой называется водный поток, протекающий в естественном русле и питающийся за счет поверхностного и подземного стока.

Все водные потоки можно разделить на две большие группы: а) постоянные водотоки (реки) и б) временные водотоки.

Еще в 1884 г. известный русский климатолог и географ А. И. Воейков сказал, что «реки можно рассматривать как продукт климата». Однако на современном этапе развития науки это положение нуждается в некотором уточнении, так как известно, что на формирование режима реки оказывает влияние не только климат, но и другие природные условия. Поэтому положение Воейкова может быть сформулировано следующим образом: *реки являются продуктом развития географического ландшафта*. Под этим понимается совокупность всех физико-географических элементов (климата, рельефа, геологии, почв, растительности). Связь между рекой и географической средой нашла свое отражение в выделении различных классов рек или делении рек в зависимости от того или иного фактора.

Так в зависимости от характера рельефа реки можно разделить на:

1) равнинные — протекающие по низменностям, равнинам с высотами до 300—500 м и имеющие малые уклоны. Течение их спокойно и медленно;

2) горные — реки хребтов, нагорий с высотами более 500 м. Эти реки имеют большие уклоны, течение их бурное и стремительное.

В зависимости от ландшафтных зон различают реки: арктической, тундровой, лесной, степной, полупустынной и пустынной зон. При переходе из одной зоны в другую происходит и изменение характера водного режима реки, что указывает на связь природной зоны с режимом реки.

Кроме того, выделяют реки озерные и болотные, которые вытекают или протекают через озера и болота.

По величине площади водосбора можно предложить следующее деление рек:

1) большая река — протекает в пределах нескольких географических зон, режим ее смешанный и зависит от климатических факторов той или иной зоны;

2) средняя река — протекает в пределах одной географической зоны;

3) малая река — имеет сток в течение всего года или кратковременно пересыхает и промерзает и неполностью дренирует подземные воды.

Кроме этой, существует целый ряд других классификаций.

§ 2. Понятие о гидрографической сети.

Речные системы. Главная река и ее притоки. Извилистость реки. Густота речной сети

Система постоянных и периодических водотоков, озер, болот данной территории составляет гидрографическую сеть этой территории.

В строении гидрографической сети выделяют следующие звенья, последовательно сменяющиеся от верховьев вниз по течению (рис. 2):

1) **ложбина** — самый верхний элемент гидрографической сети, верхнее звено; представляет собой слабо выраженную впадину с пологими задернованными склонами и ровным наклонным дном;

2) **лощина** — следующее звено гидрографической сети, отличается большей глубиной вреза, высотой и крутизной склонов;

3) **суходол** — характеризуется асимметричными склонами, извилистым руслом без постоянного водотока;

4) **долина** — последнее звено гидрографической сети, служит началом постоянного речного потока.

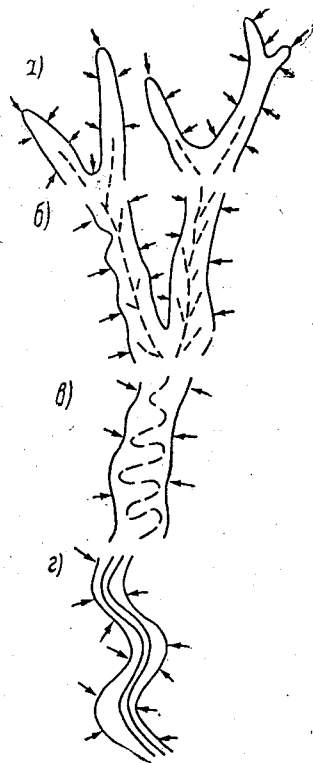


Рис. 2. Схема основных звеньев гидрографической сети:

а — ложбина; б — лощина;
в — суходол; г — долина

Совокупность всех рек, водотоков, сбрасывающих свои воды в море или озеро называют речной системой.

В речной системе различают главную реку и ее притоки. Причем, притоки выделяют различных порядков. Один из методов предусматривает в качестве притока I порядка приток, непосредственно впадающий в главную реку, приток II порядка впадает в приток I порядка и т. д. (рис. 3 а).

Американский гидролог Р. Хортон предложил другую систему классификации притоков: самые верхние звенья гидрографической сети, не имеющие притоков, — притоки I порядка, слияние двух притоков I порядка дает начало притокам II порядка и т. д. По

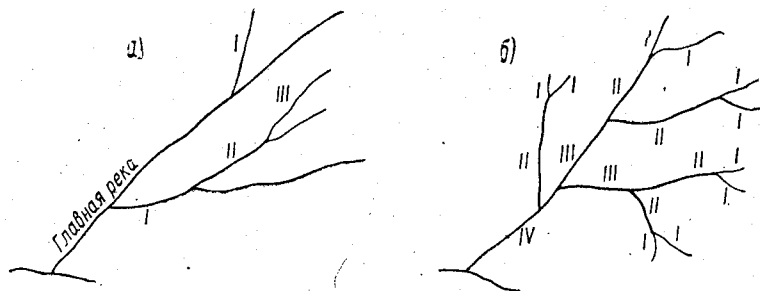


Рис. 3. Схема выделения порядков притоков

этой схеме наибольший порядок получает главная река (рис. 3 б). Чем больше номер порядка главной реки, тем более сложный характер носит рисунок речной системы, тем большую водность имеет главная река.

Речные системы очень разнообразны по своему рисунку, но тем не менее среди них можно выделить ряд основных типов, наиболее часто встречающихся в природе: 1) радиальный — когда реки от истоков расходятся как бы по радиусам; 2) центростремительный — притоки направлены по радиусу к центру; 3) древовидный — речная сеть напоминает рисунком дерево; 4) прямоугольный — притоки впадают в реку под прямым углом; 5) перистый — напоминает строение пера (рис. 4). Встречаются и другие рисунки.

Рисунок речной системы характеризует ряд особенностей реки и ее бассейна, связанных с физической географией района.

В каждой реке различают исток и устье.

За исток — начало реки, принимается то место, где река впервые ясно определяется в виде постоянного поверхностного водотока. При слиянии двух рек за исток принимается начало более длинной составляющей, а при равных условиях за исток принимается начало левой составляющей.

Устье — это место впадения реки в другой водный объект.

На крупных реках выделяют характерные участки верхнего, среднего и нижнего течений. Это деление производится с учетом изменения рельефа местности, водности потока, уклона, скорости и т. д.

Для участка верхнего течения характерны большие скорости, значительные уклоны, малые глубины.

В среднем течении река более многоводна, уклоны уменьшаются, глубины увеличиваются.

Для участка нижнего течения характерна наибольшая водность, малые уклоны и скорости.

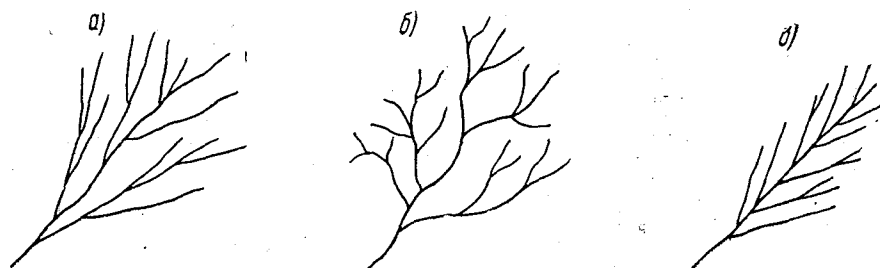


Рис. 4. Типы рисунков речных систем:
а — центростремительная; б — древовидная; в — перистая

Как правило, крупные реки судоходны на участках среднего и нижнего течений.

Длина реки — это расстояние между устьем и истоком. Измеряется длина реки по картам циркулем с раствором 2 мм. Но измеряя длину реки таким образом, мы не можем учесть все изломы русла в плане. Поэтому, чтобы получить истинное значение длины реки, мы должны учесть ее извилистость, т. е. умножить длину, которая определена циркулем, на коэффициент извилистости, характеризующий отношение истинной длины реки к длине прямой, соединяющей устье и исток. Это коэффициент всегда больше единицы.

Для характеристики развития речной сети в каком-то районе или бассейне реки вводится понятие густоты речной сети. Эта величина определяется из отношения суммы длин всех рек бассейна, включая и временные водотоки, к площади речного бассейна:

$$D = \frac{\sum l}{F} \text{ км/км}^2,$$

где $\sum l$ — длина всех русловых образований в км; F — площадь бассейна в км²; D — коэффициент густоты речной сети в км/км².

Коэффициент густоты речной сети зависит от климатических и физико-географических условий. На севере нашей страны он равен 0,20—0,30 км/км², к югу уменьшается до 0,15—0,05 км/км². В горных районах он значительно больше единицы.

§ 3. Речной бассейн. Водораздел, виды водоразделов. Морфометрические и физико-географические характеристики речного бассейна и их определение

Речные системы отделяются друг от друга водоразделом.

Водораздел — это линия пересечения двух смежных склонов, она делит воды выпадающих атмосферных осадков на сток по двум склонам и проходит по наивысшим отметкам рельефа. Нередко водоразделы совпадают с гребнями высоких гор (Кавказ, Урал и др.).

Водоразделы, представляя возвышенности и горы, являются преградой на пути движения воздушных потоков, меняют их структуру, оказывают большое влияние на климат, а следовательно и на режим рек. Поэтому нередко не только два смежных речных бассейна, но и их отдельные участки, разделенные хребтами и возвышенностями, могут иметь существенное различие в климате, ландшафте и стоке рек.

Водораздельную линию можно провести для любого пункта (створа) на реке и определить ту площадь реки, с которой сток поступает к замыкающему створу.

Водоразделы могут быть ясно выражены, что имеет место в горных районах, и неявно выражены (равнинные, заболоченные реки). Кроме того, выделяют поверхностный и подземный водоразделы, последний участвует в распределении подземных вод.

Ограниченная водораздельной линией площадь, питающая речную систему поверхностными и подземными водами, называется речным бассейном.

Бассейн главной реки состоит из частных бассейнов ее притоков. Водораздельная линия, являясь границей бассейна, ограничивает своим контуром площадь бассейна реки (F), которая может быть определена различными способами — палеткой или планиметрированием с учетом масштаба карты.

Чтобы иметь представление о бассейне реки, мало знать одну площадь. Поэтому для полной характеристики бассейна мы должны определить:

- 1) длину бассейна — L , которая определяется по прямой линии от истока до устья в км;
- 2) среднюю ширину бассейна — B , как отношение $\frac{F}{L}$ км;
- 3) коэффициент асимметрии бассейна по отношению

$$a = \frac{f_{\text{л}} - f_{\text{п}}}{\frac{f_{\text{л}} + f_{\text{п}}}{2}},$$

где $f_{\text{л}}$, $f_{\text{п}}$ — площадь бассейна с левого и правого берега;

4) средний уклон бассейна — $I_{\text{ср}}$ по формуле

$$I_{\text{ср}} = \frac{h(0,5 l_0 + l_1 + l_2 + \dots + 0,5 l_n)}{F},$$

где h — расстояние между горизонталями; l — длина горизонталей;

5) среднюю высоту бассейна — $H_{\text{ср}}$ по формуле

$$H_{\text{ср}} = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n}{F},$$

где f — площадь между горизонталями; h — средняя высота между горизонталями;

6) график нарастания площади бассейна, который представлен на рис. 5. На этом графике по горизонтальной оси

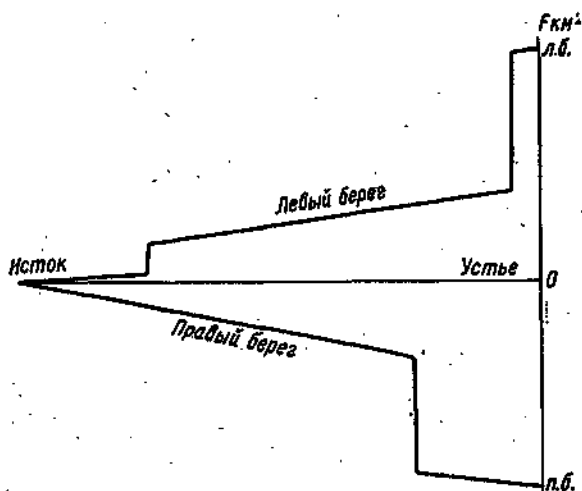


Рис. 5. График нарастания площади бассейна

изображается длина главной реки, по вертикальной — площади водосбора главной реки между притоками и площади бассейнов притоков;

7) высотное распределение бассейна — гипсографическую кривую. Для ее построения определяются площади, заключенные в пределах заданных высотных интервалов, в зависимости от

высотной структуры бассейна. По результатам этих вычислений сначала строится график распределения площадей бассейна по высотным зонам, а затем, путем последовательного суммирования площадей каждой зоны, получается гипсографическая кривая (рис. 6).

При исследовании реки и ее режима необходимо детально изучить физико-географические характеристики речного бассейна, которые оказывают существенное влияние на процессы стока:

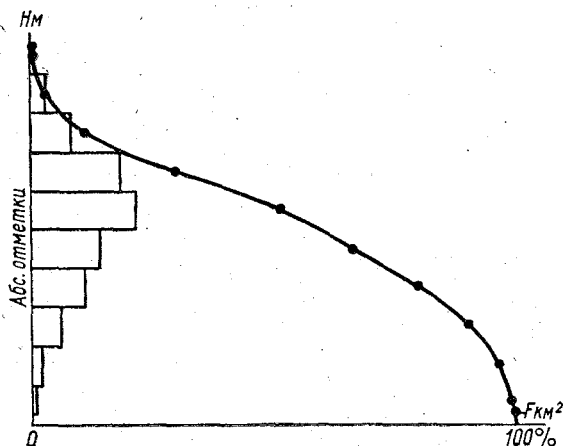


Рис. 6. Гипсографическая кривая

1) *географическое положение* бассейна, которое определяется координатами крайних точек, указывающих его расположение по отношению к бассейнам других рек, горных хребтов и т. д.;

2) *климатические условия*, характеризующие количество осадков, высоту и плотность снежного покрова, интенсивность дождей, температуру и влажность воздуха и др.;

3) *геологическое строение и почвы*, определяющие размеры и характер подземного питания рек, величину потерь осадков на просачивание и пр.;

4) *рельеф* является существенным фактором, определяющим водность рек и характер их режима. Он влияет на величину, характер выпадения и распределение осадков по территории бассейна, а также на условия стекания воды по поверхности;

5) *растительный покров* бассейна, который обычно характеризуется основными видами растительности в пределах водосбора, с указанием размеров занимаемых ими площадей. Количественной характеристикой являются коэффициенты лесистости, заболоченности и др.

§ 4. Речные долины. Элементы речной долины. Образование долин и их формы

Реки протекают в долинах, которые имеют различные формы в поперечном и продольном сечениях.

Долиной называют вытянутые неширокие, обычно извилистые углубления земной поверхности с общим однообразным падением их ложа. Долины встречаясь между собой, никогда не пересекаются, а сливаются вместе в одно общее понижение. Размеры долин, их очертания, а также происхождение весьма различны, по во всякой долине различают следующие составные части:

1) дно или ложе — самая низкая часть долины. Линия, соединяющая самые глубокие точки долинного ложа, называется тальвегом. Часть дна долины, занятая водами реки, называется руслом;

2) склоны долины — повышенные участки суши, ограничивающие с боков дно долины;

3) подошвой склонов называют место сопряжения дна долины со склонами;

4) зону сопряжения склонов долины с прилегающей местностью называют бровкой долины;

5) террасы — относительно горизонтальные площадки на склонах долины.

6) пойма — часть дна долины, заливаемая в период высокой воды (половодье, паводки).

Глубина речных долин колеблется в довольно широких пределах: в равнинных странах — от нескольких десятков метров до 200—300 м; в горных — глубина долины может достигать 2—4 км.

В происхождении и развитии долин кроме текущих вод существенное участие принимают и геологические факторы — тектонические, вулканические и карстовые процессы, процессы оледенения и др.

В зависимости от того, какой именно фактор оказал наибольшее влияние на процесс формирования долин, они носят и соответствующие названия: тектонические, эрозионные, ледниковые, вулканические и т. д.

Речные долины, в зависимости от геологического возраста и характера горных пород, из которых сложены их дно и склоны, имеют различные продольные уклоны и очертания в плане и поперечном разрезе.

Долины молодые имеют поперечный профиль с отвесными вертикальными стенками и узким дном. В зависимости от крутизны склонов и ширины различают: щели, каньоны и ущелья.

Более старые долины в поперечном разрезе могут быть трапцевидными, корытообразными и V-образными.

§ 5. Речное русло. Русловые образования. Поперечное сечение реки, его элементы. Продольный профиль реки

Руслом реки называется та часть дна долины, по которой осуществляется речной сток.

Так как количество воды, протекающей в реке, изменяется в зависимости от времени года и питания, то и размер русла является величиной переменной.

Принято различать меженнее русло, или малое русло, по которому сток идет в течение всего года, и пойменное русло, которое покрывается водой лишь на сравнительно короткое время, на период паводков и половодий.

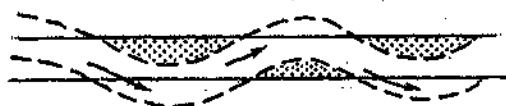


Рис. 7. Схема образования речных извилины

В плане русло реки имеет извилистую форму, т. е. оно меандрирует (от названия реки Меандр в Турции). Прямолинейные участки встречаются весьма редко и объясняется это тем, что извилистая форма является наиболее устойчивой для рек, протекающих в сравнительно легко размываемых грунтах. При наличии



Рис. 8. Схема передвижения речных извилины

прямолинейного участка, сложенного однородным грунтом, случайное отклонение потока от прямолинейного направления способствует размыву берега, увеличению вогнутости и отложению продуктов размыва ниже образовавшейся вогнутости (рис. 7). В местах отложения наносов возникает выпуклость берега. Раз возникнув, этот процесс будет продолжаться непрерывно, пока все протяжение реки не примет извилистую форму.

Вследствие того, что струи воды на изгибе реки ударяются в берег под острым углом, в процессе размыва происходит не только увеличение вогнутости, но со временем и смещение излучины в направлении течения реки. (рис. 8).

Вся река представляет собой чередование плесов — глубоких участков и перекатов — мелких участков, причем плесы соответствуют изогнутым в плане частям русла, а перекаты — перегибам, т. е. переходам от одного закругления к другому.

В русле реки встречается ряд характерных речных образований, среди которых следует различать (рис. 9):

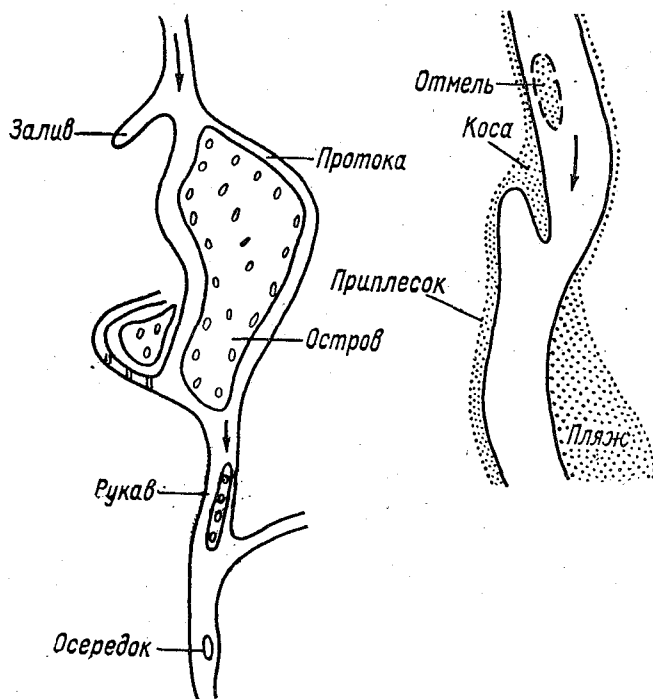


Рис. 9. Речные образования

остров — часть поймы, ограниченная рукавами или протоками реки; затопляемый остров называется осередком;

рукав — часть реки, отделенная островом, причем выделить главное русло среди рукавов нередко бывает трудно;

протока — ответвление реки, обычно отходящее далеко от основного русла и отличающееся от него меньшей шириной, глубиной и скоростями течения;

залив — глубоко вдающееся в берег речное образование;

отмель — мелководное место в русле;

приплесок — узкая полоса (песчаная, галечная) по береговому склону, заливаемая даже при небольших подъемах уровня воды;

п л я ж — широкая, ровная береговая полоса, сложенная речными наносами;

к о с а — выходящее в русло песчаное образование.

Поперечное сечение реки является важной характеристикой, определяющей пропускную способность русла. Это плоскость, перпендикулярная к направлению течения потока, ограниченная снизу дном, с боков откосами русла, сверху линией горизонта воды.

Следует различать:

1) общую площадь поперечного сечения русла реки до линии наивысшего уровня;

2) полную площадь поперечного сечения до линии уровня воды, наблюдающегося в данный момент;

3) площадь водного сечения — это площадь за вычетом площади погруженного льда;

4) площадь живого сечения — это площадь водного сечения, в которой скорости течения больше нуля;

5) площадь мертвого пространства — подразумевается площадь водного сечения, где скорости течения практически равны нулю.

Водное сечение изменяется с изменением уровня воды и характеризуется следующими морфометрическими элементами:

площадью водного сечения — ω ; определив площади для различных уровней воды, можно построить зависимость $\omega = f(h)$;

шириной водного сечения — b , которая также зависит от высоты уровня h ;

смоченным периметром — P , т. е. длиной линии подводного контура водного сечения;

средней глубиной — $h_{\text{ср}} = \frac{\omega}{b}$.

Иногда для характеристики водного сечения вычисляют так называемый гидравлический радиус, представляющий частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра

$$R = \frac{\omega}{P}.$$

Продольный профиль реки характеризуется изменением уклонов ее дна и уклонов поверхности воды вдоль по течению реки. Уклон i выражается отношением разности отметок (дна или поверхности воды) в начале h_1 и в конце h_2 рассматриваемого участка, называемой падением, к длине этого участка

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}.$$

Продольный профиль реки в своем развитии проходит ряд стадий.

В стадии юности и ранней молодости речной системы продольные профили бывают недостаточно выработаны, изобилуют изломами и носят ступенчатый характер. В этих случаях различают:

1) пороги — короткие участки с большим падением и бурным течением;

2) порожистые участки — ряд следующих друг за другом порогов;

3) водопады — падение воды реки с высоты, вследствие отвесного уступа в речном ложе.

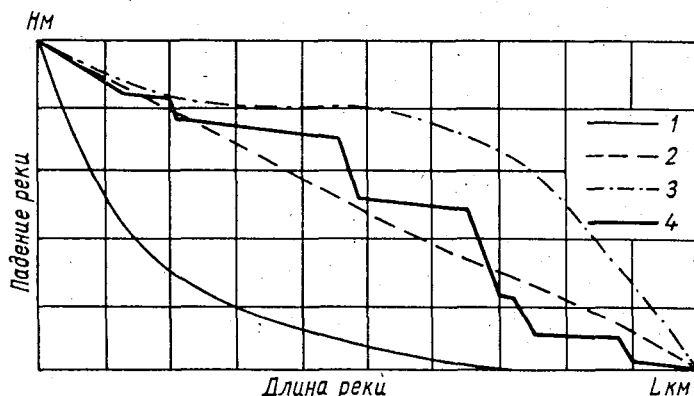


Рис. 10. Типы продольных профилей:

1 — профиль равновесия; 2 — прямолинейный; 3 — сбросовый;
4 — ступенчатый

В этой стадии наблюдается интенсивный размыв речного русла, так как имеет место значительное превышение истока над устьем — базисом эрозии, или базисом размыва.

В зависимости от характера распределения уклонов по реке можно выделить четыре основных типа продольных профилей (рис. 10):

1) плавновогнутый, или профиль равновесия, являющийся наиболее распространенным;

2) прямолинейный, характерен для малых рек;

3) сбросовый, имеет малые уклоны в верховьях и большие в нижнем течении реки, встречается редко;

4) ступенчатый, возникает при наличии промежуточных базисов эрозии — проточных озер.

§ 6. Гидрометрические наблюдения

Гидрометрия является измерительной частью гидрологии и занимается изучением и разработкой методов и приборов для количественного определения и учета различных элементов режима водных объектов. Слово «гидрометрия» происходит от сочета-

ний двух греческих слов «вода» и «мерить» — «водомерие», измерение воды.

Гидрометрия дает основные материалы для познания явлений, происходящих в водных объектах, для выявления зависимостей между отдельными элементами режима, для надежного обоснования расчетов, связанных с проектированием и эксплуатацией гидротехнических сооружений.

В состав основных гидрометрических работ входят:

- 1) устройство и оборудование постов и станций;
- 2) производство промерных работ по изучению глубин;
- 3) наблюдения за колебаниями уровней воды;
- 4) измерение температуры воды, наблюдения за замерзанием и вскрытием водоемов, изменением и состоянием ледового покрова;
- 5) наблюдения за уклоном водной поверхности;
- 6) измерение скорости и направления течений;
- 7) определение расходов воды и наносов;
- 8) изучение механического состава наносов и донных отложений и др.

Указанные работы ведутся на сети гидрометрических станций и постов, которые подразделяются на наблюдательскую и оперативную сеть.

Наблюдательская сеть ведет регулярные (стационарные) наблюдения на водных объектах и в свою очередь делится на опорную и специальную сеть.

В состав опорной сети включаются станции и посты, которые в зависимости от объекта исследования называются: речные, озерные, болотные, морские и др.

Специальная сеть открывается на водных объектах, в период экспедиционных работ в этом районе.

Оперативная сеть станций и постов служит для оперативного обслуживания народного хозяйства и оборудована специальной аппаратурой.

Общее число действующих на территории СССР пунктов наблюдений на реках, озерах, водохранилищах и др. составляет около 35000. Опорная сеть Гидрометслужбы состоит из 6243 пунктов (цифры приведены на 1972 г.)*. С целью изучения гидрометеорологического режима крупных рек и водохранилищ, обеспечения нужд энергетики, речного транспорта, рыбного хозяйства и других потребителей информацией прогнозами и предупреждениями, создана сеть специализированных гидрометеорологических обсерваторий (15), озерных станций (58) и постов (618).

* См.: Корзун В. И., Соколов А. А. Состояние и перспективы развития гидрологии. Генеральные доклады IV Всесоюзного гидрологического съезда. Л., Гидрометеиздат, 1973, стр. 9.

§ 7. Наблюдения за уровнем воды. Водомерный пост, его устройство и типы

Уровни поверхности воды в реках, озерах, болотах и т. д. находятся в непрерывном изменении. Изучение колебаний уровней воды имеет большое научное и хозяйственное значение. Строительство мостов, плотин, гидроэлектростанций и других сооружений, а также дорог и населенных пунктов вдоль рек не может быть рациональным без учета режима и возможных колебаний уровня воды в районе расположения сооружений.

Наблюдения за уровнем воды производятся на водомерном посту при помощи гидрометрической рейки или другого приспособления для измерения уровней.

Каждый водомерный пост состоит из: 1) приспособления для измерения уровней (рейки, сваи, самописцы); 2) постоянных высотных знаков (реперов), от которых измеряются уровни.

Наблюдения на водомерном посту должны быть организованы так, чтобы материалы наблюдений за весь период его действия были сравнимы и допускали сопоставление результатов наблюдений с другими постами. Для этого на всех постах применяется единая система отсчетов. В качестве исходной плоскости для отсчетов применяется плоскость нуля графика поста (или просто нуль графика поста).

Отметка нуля графика поста принимается с таким расчетом, чтобы она находилась не менее чем на 0,5 м ниже самого низкого уровня воды на данном посту.

Высотное положение плоскости нуля графика поста определяется расстоянием h_0 по вертикали от репера водомерного поста.

Вычитая из отметки репера h_0 , получаем абсолютную отметку нуля графика поста.

На водомерном посту имеется один или несколько «нулей наблюдений». Это высотная плоскость, от которой производится отсчет уровней воды в момент наблюдений. Высотное положение нулей наблюдений определяется «приводкой», т. е. превышением отметки головки сваи над нулем графика поста. На рис. 11 показано устройство свайного водомерного поста. Точность отсчета на водомерных постах — 1 см.

По конструкции водомерные посты подразделяются на: 1) простые, 2) передаточные, 3) самопишущие, 4) дистанционные.

1. Простые водомерные посты бывают трех типов:

а) *реечные* — широко применяются на реках, озерах и каналах со сравнительно небольшими амплитудами колебания уровня воды. Реечные посты оборудованы постоянными водомерными рейками. Обычно применяются водомерные рейки длиной 2 м, шириной 13 см и толщиной 2,5 см. Лицевая сторона имеет разбивку на сантиметровые деления;

б) *свайные водомерные* посты — наиболее удобны на равнинных реках с большими амплитудами колебания уровней, широкой

долиной и пологими берегами. Эти посты оборудованы системой свай, расположенных в одном створе, перпендикулярном к направлению течения реки (рис. 11). Количество свай зависит от амплитуды колебания уровня воды и от крутизны берега. Площадка нижней сваи располагается на 0,5 м ниже наинизшего уровня, а верхней — на 0,5 м выше наивысшего уровня, наблюдавшегося в данном пункте. Разность отметок двух смежных свай должна быть не более 0,8 м, а расстояние между ними — около 2 м. Сваи изготавливаются из прочных пород деревьев толщиной 20—25 см, длина их не менее 1,5 м и забиваются они почти на полную длину.

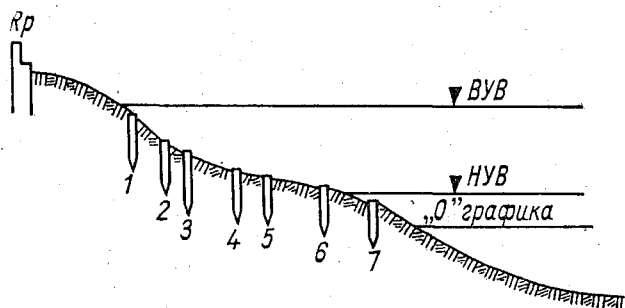


Рис. 11. Свайный водомерный пост:

1 — 7 — номера свай

Сваи нумеруются от репера сверху вниз. Вместо деревянных свай могут применяться чугунно-винтовые сваи. Отсчеты производятся переносной водомерной рейкой;

в) *смешанные водомерные посты* оборудуются рейками и сваями. В зависимости от поперечного профиля реки сочетание реек и свай может быть различным.

Устройства для регистрации максимальных и минимальных уровней. На всех рассмотренных водомерных постах наблюдения производятся обычно два раза в сутки (8 ч. и 20 ч.) и естественно между сроками колебания уровня не фиксируются. Для регистрации максимальных и минимальных уровней в течение суток посты оборудуются дополнительными устройствами — специальными рейками для регистрации максимальных и минимальных уровней (например, рейки Фролова).

Рейки деревянные длиной 2 м и сечением 2×10 см. На гранях реек насаждаются зубцы через 1 см. Рейка для регистрации максимальных уровней отличается от рейки для регистрации минимальных уровней обратным расположением зубцов (рис. 12).

На каждую рейку одевается деревянный поплавок, который благодаря пластинчатым пружинам может свободно передвигаться по рейке только в одном направлении, следуя за возрастаю-

щим или снижающимся уровнем. В крайнем положении он фиксируется с помощью пружин.

2. Передаточные посты применяются в случае затрудненного подхода к урезу воды. Основная часть такого поста — вынос — консоль. Вдоль консоли закрепляется горизонтально водомерная рейка, нулевое деление которой обращено в сторону реки. На конце выноса крепится блок, через который идет гибкий тросик. На конце тросика имеется груз; при измерении уровня тросик разматывается, пока груз не соприкасается с водой, отсчет уровня производится по рейке в соответствии с положением указателя (рис. 13).

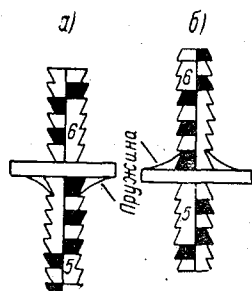


Рис. 12. Рейки для регистрации предельных уровней:

а — максимальная; б — минимальная

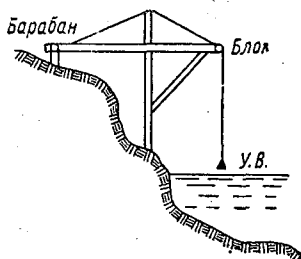


Рис. 13. Схема передаточного водомерного поста

3. Самопишущие водомерные посты непрерывно регистрируют колебания уровня воды с помощью специальных самописцев в течение суток. Самописцы состоят из датчика уровней (поплавка) и регистрирующего устройства (барабан с часовым механизмом). Наиболее распространены самописцы типа «Валдай».

4. Дистанционные водомерные посты имеют большое значение для диспетчерской службы на водохранилищах, ГЭС и в труднодоступных районах. Посты этого типа оборудованы приборами, автоматически передающими показания высоты уровня в данный момент на расстояние до 300 км от места наблюдения.

Промерные работы. Для выяснения характера рельефа дна, распределения глубин проводятся промерные работы.

Промеры удобнее производить при низких летних уровнях, так как в этом случае сокращается объем работ и достигается большая точность в результатах измерений, а также со льда.

В зависимости от величины и точности измерения глубин рек и озер применяются различные приборы и приспособления:

рейка (водомерная или специальная) — применяется для промеров в водоемах с глубинами не более 1—2 м;

наметка — применяется при глубинах до 6 м. Это шест из гибкого и прочного дерева, диаметром 4—6 см, длиной 6—7 м, имеет разметку через 10 см. На конце имеется специальный металлический поддон;

ручной лот — состоит из груза, прикрепленного к прочной бечеве толщиной 3—5 мм и размеченной разноцветными лоскутами через 10—20 см. Вместо бечевы можно применять стальной трос.

В современной практике промерных работ на морях, озерах и водохранилищах, а в последнее время и на реках, широкое применение получил эхолот — акустический промерный прибор, основанный на распространении звуковых волн в воде. Эхолот при большой скорости и непрерывности измерения глубин обеспечивает высокую точность промеров и может регистрировать глубины от 0,5 до 12000 м.

§ 8. Измерение скорости течения и расхода воды в реке.

Кривая расходов. Гидрограф стока

Движение воды в естественных потоках представляет собой очень сложное явление. В зависимости от очертания реки в плане, чередования глубин на отдельных участках, от различия уклонов, строения дна и берегов, а также от высоты уровня, распределение скоростей в потоке может довольно резко изменяться. Изучение скоростей в потоке значительно осложняется вследствие явления пульсации, которое заключается в том, что в любой точке потока скорость непрерывно колеблется как по величине, так и по направлению около некоторого их среднего значения.

Среднее значение скорости относительно устойчиво, и непосредственное измерение скорости в различных точках потока является одной из основных задач гидрометрии.

Измерение скоростей необходимо для подсчета количества протекающей воды в потоке, проектирования переправ, мостов, плотин, обеспечения судоходства и др.

Несмотря на сложность скоростного режима рек имеются некоторые закономерности в распределении скоростей по ширине и глубине реки.

По ширине реки обычно наблюдается увеличение скоростей по мере удаления от берегов; в русле скорости больше, чем на пойме. Максимальная поверхностная скорость располагается на участке наибольших глубин.

По глубине (вертикали) при отсутствии ледяного покрова наблюдается уменьшение скоростей в направлении от поверхности ко дну. Ледяной покров создает дополнительное сопротивление движению воды, вследствие чего максимальные скорости располагаются на некоторой глубине, уменьшаясь от нее вверх и вниз.

На рис. 14 представлены типовые графики распределения скоростей по ширине и глубине реки.

График распределения скоростей по глубине потока называется эпюрой распределения скоростей или годографом скоростей.

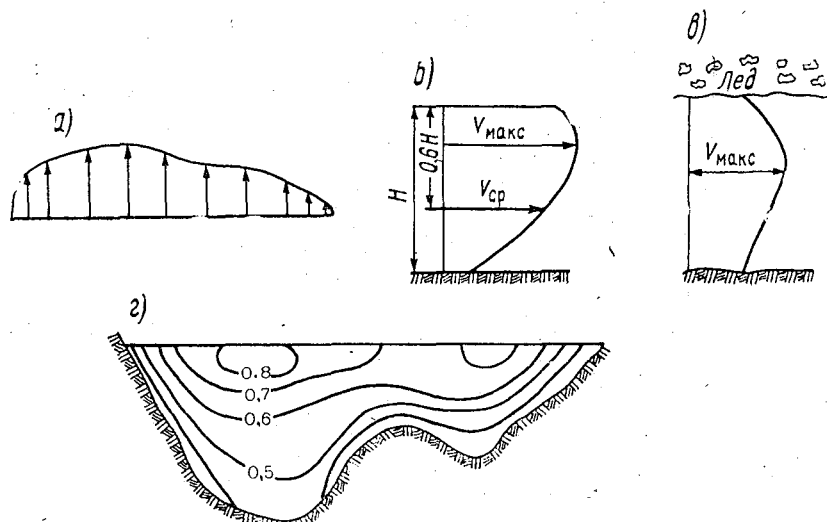


Рис. 14. Типовой график распределения средних скоростей в потоке:
а — по ширине реки; б — по глубине потока; в — под ледяным покровом; г — изотакхи

Надежное построение эпюры возможно при измерении скоростей в пяти точках по вертикали: 1) у поверхности, 2) на 0,2 глубины от поверхности (0,2 h), 3) на 0,6 h , 4) на 0,8 h и 5) у дна.

Эти точки и принимаются в качестве стандартных при измерении скоростей в потоках. Для детального выяснения картины распределения средних скоростей течения в поперечном сечении потока необходимо измерение скоростей в стандартных точках на нескольких вертикалях. При наличии таких данных могут быть построены линии равных скоростей — изотакхи (рис. 14).

В практике расчетов часто возникает необходимость вычисления средней скорости (v_{cp}) для всей вертикали. Эта скорость может быть получена делением площади эпюры скоростей на глубину потока в данной точке

$$v'_{cp} = \frac{\omega}{h}.$$

Существуют и другие способы подсчета v_{cp} . Наиболее распространенным является аналитический способ, при котором вели-

чина средней скорости на вертикали в зависимости от количества точек измерения вычисляется по одной из следующих формул:

1) при измерении в пяти точках

$$v_{\text{ср}} = 0,10 (v_{\text{п.в}} + 3v_{0,2г} + 3v_{0,5г} + 2v_{0,8г} + v_{\text{дн}});$$

2) при измерении в трех точках

$$v_{\text{ср}} = 0,25 (v_{0,2г} + 0,50v_{0,5г} + v_{0,8г});$$

3) при измерении в двух точках

$$v_{\text{ср}} = 0,50 (v_{0,2г} + v_{0,8г});$$

4) при измерении в одной точке

$$v_{\text{ср}} = v_{0,6г}.$$

В практике гидрометрических работ измерение скоростей течения производится, как правило, 1) поплавками и 2) гидрометрической вертушкой.

Поплавки являются простейшими приборами и позволяют определить скорость течения воды путем деления длины пути L , пройденного поплавком, на время t :

$$v = \frac{L}{t}.$$

Поплавки бывают поверхностные — для измерения поверхностных скоростей течения и глубинные — для измерения скорости на заданной глубине.

Вертушки гидрометрические дают наиболее точные результаты измерения скоростей в отдельных точках. Основными частями любой вертушки являются: 1) корпус, 2) лопастной винт, 3) ось, 4) счетно-контактный механизм, 5) хвост.

Измерение скорости течения вертушкой основано на принципе вращения ее лопасти под действием движущейся воды. Между скоростью течения (v м/с) и количеством оборотов лопасти вертушки в одну секунду (n об/с) существует определенная зависимость:

$$\bar{v} = f(n).$$

Эта зависимость для каждой вертушки определяется с помощью тарировки в специальных бассейнах и обычно представляется в виде тарировочной кривой (рис. 15) и таблицы к ней.

Вертушка опускается в воду на металлической штанге или тросе. Под действием течения воды лопасти вертушки начинают вращаться. Через 20 оборотов лопасти происходит замыкание контактного устройства, которое подает световой или звуковой сигнал. Время между сигналами засекается по секундомеру.

Для питания сети электрической сигнализации используются батареи, а в качестве индикатора сигналов применяется звонок или лампочка.

Для работы с вертушкой необходимо иметь: секундомер, штангу, трос, лебедку, груз и принадлежности для ухода за вертушкой.

Расходом воды называется ее объем, протекающий через поперечное сечение потока в единицу времени. Обычно он выражается в м³/с или л/с.

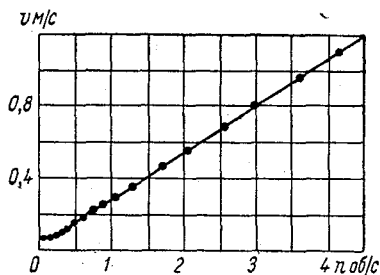


Рис. 15. Тарировочная кривая гидрометрической вертушки

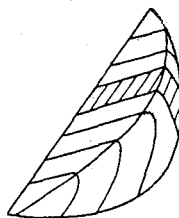


Рис. 16 Модель расхода воды

Расход является одним из основных элементов потока и определяет другие его параметры — уровень, скорость, уклон и др.

Величина расхода необходима при расчетах различных гидротехнических сооружений.

На основе систематических определений расходов воды вычисляются среднесуточные его значения — максимальные, минимальные, среднегодовые, а также соответствующие им объемы.

Наглядно представление о расходе воды может быть составлено при рассмотрении его модели в виде тела, ограниченного двумя плоскостями — вертикальной и горизонтальной и одной криволинейной поверхностью (рис. 16). Вертикальной плоскостью модели является площадь поперечного сечения реки, горизонтальной — площадь, ограниченная кривой, огибающей концы векторов поверхностных скоростей, измеренных в ряде точек выбранного створа. Криволинейная поверхность проходит через концы векторов скоростей в стандартных точках всех вертикалей.

Делением общего расхода на площадь поперечного сечения может быть получена средняя скорость для всего сечения

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega}.$$

Откуда следует, что

$$Q = v_{\text{ср}} \cdot \omega.$$

Измерение расхода из-за его сложности производится не каждый день. Для того чтобы иметь ежедневные расходы, пользуются кривой расходов, т. е. зависимостью расходов от уровней

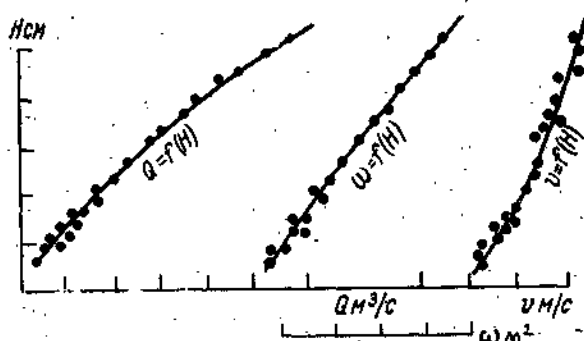


Рис. 17. Кривая расходов воды

$Q=f(H)$, которая довольно устойчива для конкретного створа. Одновременно с этой кривой строят зависимости площади живого сечения и скорости течения от уровней (рис. 17).

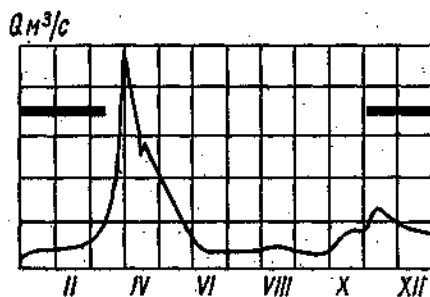


Рис. 18. Гидрограф стока

Зная ежедневные уровни, по кривой расходов определяется ежедневный расход. По данным ежедневных расходов строятся календарные графики колебаний расходов или гидрографы (рис. 18).

Реки — источники энергии. Воды рек обладают способностью производить работу, которая зависит от массы воды (расхода воды) и величины падения (уклона реки) на данном участке

$$A = Q \cdot H \cdot \gamma \text{ кгм/с,}$$

где A — работа реки на каком-то участке; Q — расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; H — величина падения участка; γ — объемный вес воды $\text{кг}/\text{м}^3$.

Зная, что $1 \text{ кВт} = 102 \text{ кгм/с}$, можно определить мощность реки на участке

$$N = \frac{1000 \cdot Q \cdot H}{102} = 9,81 \cdot Q \cdot H \text{ кВт.}$$

Реки Советского Союза обладают огромными запасами энергии, а по потенциальной мощности занимают ведущее место в мире. Потенциальные запасы гидроэнергии в СССР оцениваются

примерно в 340 млн. кВт, в то время как в США они составляют 43 млн. кВт, Канаде — 22 млн. кВт, Норвегии 20 млн. кВт.

Наибольшее количество гидроэнергоресурсов нашей страны находится в восточных районах. Так, ресурсы одного Енисея оцениваются в 30—32 млн. кВт.

Для использования энергии рек на них строят гидроэлектростанции — ГЭС, причем без гидрологических расчетов и обоснования строительство их невозможно. Сооружение плотины изменяет естественный режим реки, создает водохранилище. Здесь необходимо знать потери воды на испарение, количество твердого материала, переносимого рекой, и конечно условия плавания на водохранилище.

Первые советские электростанции были построены по плану ГОЭЛРО в 1926 г. — Волховская ГЭС мощностью 56 000 кВт и в 1932 г. — Днепроовская ГЭС. К началу Великой Отечественной войны на реках нашей страны было построено 37 крупных ГЭС, суммарная мощность которых составила 1,5 млн. кВт. К 1957 г. в эксплуатации находилось уже 120 ГЭС с общей мощностью 9 млн. кВт, а к 1980 г. мощность всех ГЭС должна быть доведена до 70 млн. кВт.

Наиболее крупные гидроэлектростанции имеют мощность: Красноярская — 5 млн. кВт; Братская — 4,1 млн. кВт; Волжская им. XXII съезда КПСС — 2,5 млн. кВт; Волжская им. В. И. Ленина — 2,3 млн. кВт; Саратовская — 1,2 млн. кВт; Токтогульская — 1,0 млн. кВт.

В табл. 1 приводятся основные параметры главнейших рек СССР, имеющих площадь водосбора более 200 000 км².

Таблица 1

Главнейшие реки СССР, имеющие площадь водосбора более 200 000 км²

Река	Куда впадает (море)	Площадь водо- сбора тыс. км ²	Длина, км	Годовой сток	
				объем, км ³	расход, тыс. м ³ /с
Обь	Карское	2975	4338	397	12,6
Енисей . . .	Карское	2580	4090	623	19,8
Лена	Лаптевых	2190	4400	508	16,3
Амур	Охотское	1855	4440	343	10,8
Волга	Каспийское . . .	1360	3530	254	8,12
Колыма . . .	Восточно-Сибирское	647	2510	123	3,90

Продолжение

Река	Куда впадает (море)	Площадь водо- сбора тыс. км ²	Длина, км	Годовой сток	
				объем км ³	расход, тыс. м ³ /с
Днепр . . .	Черное	504	2200	53,5	1,70
Дон	Азовское	422	1570	29,5	0,94
Хатанга . . .	Лаптевых	364	1640	121	3,84
Индигирка . .	Восточно-Сибирское	360	1980	57,0	1,81
Сев. Двина . .	Белое	357	1300	110	3,50
Печора	Баренцево	322	1810	130	4,12
Нева	Балтийское	281	74	79,7	2,52
Яна	Лаптевых	228	1490	31,5	1,00
Оленек	Лаптевых	219	2270	58,3	1,85
Аму-Дарья . .	Аральское	227	2540	63,1	2,09

Примечание: данные взяты из книги А. В. Плещева и В. А. Чекмарева «Гидрография СССР». Л., Гидрометеонадат, 1967.

Глава III

ПИТАНИЕ РЕК. ВОДНЫЙ, ТЕРМИЧЕСКИЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМЫ РЕК

§ 1. Общее понятие о питании рек

Основной источник питания рек на земном шаре — атмосферные осадки.

В зависимости от условий поступления атмосферной влаги, реки имеют четыре источника питания: дождевое, снеговое, ледниковое и подземное. Преобладание одного из источников питания или характерное их сочетание определяет основные черты водного режима рек. В различных физико-географических условиях удельный вес отдельных источников питания неодинаков.

На территории СССР основная масса рек (около 60%) получает водное питание за счет таяния сезонных снегов. В южных и степных районах ЕТС, где грунтовые воды залегают глубоко, а дожди не дают поверхностного стока, реки целиком питаются водами, образующимися весной от таяния снега.

По мере продвижения на север доля снегового питания уменьшается, а доля грунтового питания возрастает. В условиях вечной мерзлоты роль подземных вод резко снижается.

На Дальнем Востоке и в районах с теплой зимой основной источник питания — дождевой, так как снежный покров незначительный, а основная масса осадков выпадает в теплое время года.

В горных районах возрастает роль снегового питания, а в местах распространения ледников — ледникового питания.

Таким образом, различия в источниках питания вызваны климатическими условиями.

Впервые роль климата в питании рек и влияние его на их режим оценил, как мы указывали в § 3 гл. I, известный русский ученый А. И. Воейков. В настоящее время его положение формулируется более широко: «Реки и их режим представляют собой про-

дукт климата на общем фоне воздействия и других компонентов ландшафта и хозяйственной деятельности»*. Этим подчеркивается ведущая роль климата и указывается, что помимо климата определенное значение имеют геологическое строение бассейнов, их почвы, растительность, озерность и заболоченность, а также хозяйственная деятельность человека.

Рассматривая реки как продукт климата их бассейнов, Воейков считал возможным использовать особенности их режима как индикатор климата. Для этой цели им была разработана климатическая классификация рек, которая в настоящее время имеет чисто иллюстративное значение.

§ 2. Водный режим

В годовом ходе водности рек можно выделить несколько характерных периодов, называемых фазами водного режима. Особенности этих фаз и их продолжительность определяются условиями питания, изменением этих условий в течение года, что в свою очередь зависит от климата речных бассейнов.

Как правило, на большинстве рек наблюдаются следующие фазы: весеннее половодье, летняя межень, осенние паводки, зимняя межень.

Половодье — фаза водного режима, характеризующаяся ежегодно повторяющимися в один и тот же сезон длительным и значительным увеличением водности реки, вызывающим подъем ее уровня. Во время половодья воды реки обычно затопляют пойму, а значительные подъемы приводят иногда к катастрофическим наводнениям.

Дождевыми паводками называются относительно кратковременные и быстрые подъемы уровней и увеличение расходов воды под влиянием выпадающих в речном бассейне дождей и столь же быстрый спад их.

Межень — фаза водного режима, характеризующаяся малой водностью относительно периода половодья или фазы паводков. Причина малой водности — резкое снижение поступления воды с водосборной площади реки.

Выделяется летняя и зимняя межень. В период межени река питается подземными водами. Межень может быть устойчивой, продолжительной, прерывистой.

Основная фаза водного режима рек со снеговым питанием — весеннее половодье. Основными элементами весеннего половодья являются: начало и конец половодья, его продолжительность, максимальный уровень и расход, продолжительность подъема и спада и объем стока.

* См.: Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. Л., Гидрометеониздат, 1973, стр. 247.

Весеннее половодье начинается с интенсивного роста уровней и расходов. Это происходит после перехода температуры воздуха через 0°C , так как отдача воды снежным покровом начинается только после того, как снег пропитывается водой.

Если начало половодья определяется только климатическими условиями, то конец его зависит от величины запасов воды в снежном покрове в речном бассейне, интенсивности снеготаяния и морфологических особенностей бассейна (размеры, уклон местности, развитие речной сети), определяющих скорость стекания и время добегания талых вод до замыкающего створа. Очевидно, что и продолжительность половодья зависит от этих же факторов и может меняться в широких пределах (от 10—15 дней до 4—5 месяцев).

Максимальные расходы и уровни держатся на некоторых реках недолго (1—2 дня).

Объем половодья численно равен суммарному количеству воды, проносимому рекой за этот период. За время весеннего половодья реки проносят от 50% до 90% годового стока.

Основываясь на особенностях водного режима рек, Б. Д. Зайков разработал *классификацию рек нашей страны по характеру водного режима*. Все реки СССР, за исключением рек с естественным или искусственно зарегулированным режимом, Зайков разделяет на три группы: 1) реки с весенним половодьем, 2) реки с половодьем в теплую часть года и 3) реки с паводочным режимом.

На территории СССР наиболее распространены реки с весенним половодьем.

§ 3. Термический и ледовый режимы рек

Термический режим рек формируется в результате теплообмена между массой воды и окружающей ее средой — атмосферой и ложем русла.

Характер водного питания оказывает влияние на тепловой режим рек. Так, ледниковое и высокогорное снеговое питание обуславливают низкую температуру воды рек; реки, вытекающие из крупных озер, имеют низкую температуру воды весной и относительно высокую осенью; грунтовое питание повышает температуру воды в холодное время года и т. д.

В ходе температуры воды и воздуха имеет место ярко выраженная аналогия. Однако значительно большая теплоемкость воды приводит к тому, что изменение температуры воды происходит более плавно и с меньшей амплитудой, чем колебания температуры воздуха.

Наличие течений в реках создает условия для непрерывного перемешивания воды и интенсивного выравнивания температуры по живому сечению. Однако некоторая разница в температуре воды

отдельных участков живого сечения остается: осенью у берегов она ниже, чем на середине, а летом наблюдается обратная картина. По глубине также наблюдается некоторое различие: летом в дневное время у поверхности температура более высокая, а ночью — у дна.

Изменение температуры воды по длине рек большой протяженности связано с расположением отдельных их участков в различных климатических зонах и зависит от характера водного питания.

Величина суточной амплитуды колебаний температуры воды зависит от водности реки. Чем больше водность, тем меньше амплитуда, и наоборот. Величина амплитуды также зависит и от широты местности.

В годовом ходе температуры воды обычно наблюдаем следующее: зимой температура воды близка к нулю; весной температура воды быстро повышается, достигая максимума в июле — августе. Затем происходит постепенное понижение температуры вплоть до ледостава, когда она вновь становится близкой к 0° .

С образованием ледяного покрова реки вступают в фазу зимнего режима, за начало которого принимают устойчивое наступление отрицательных температур воздуха, за конец — очищение реки от льда.

Весь период с наличием ледовых явлений на реках делят на три части: 1) замерзание, 2) ледостав и 3) вскрытие.

Замерзание рек. В результате понижения температуры воды создаются благоприятные условия для появления ледовых образований. Это сало — тонкая ледяная пленка, состоящая из ледяных кристаллов в виде мелких игл, по форме она напоминает пятна разлитой масляной жидкости.

За береги — узкие полосы неподвижного льда вдоль берегов.

В результате переохлаждения водных масс создаются благоприятные условия для образования внутриводного льда. Он образуется только на участках с открытой водной поверхностью, а всплывая образует шугу.

Осенью на реках может наблюдаться осенний ледоход и связанные с ним заторы льда, которые вызывают значительные и резкие подъемы уровня воды.

Ледостав. В результате смерзания образовавшихся льдин и за берегов образуется сплошной ледяной покров, который характеризует начало ледостава. В период ледостава отдельные участки реки остаются свободными от льда и называются полыньями. Многие реки Севера и Сибири, особенно в районах вечной мерзлоты, промерзают до дна.

Толщина льда на реках зависит от температуры воздуха и различных местных условий (снежный покров, скорость течения и др.).

Имеются эмпирические зависимости толщины льда от суммы отрицательных температур воздуха, например формула Ф. И. Быдина

$$H = \varphi \sqrt{\Sigma t},$$

где H — толщина льда в см в данный момент времени; φ — коэффициент влияния естественных условий; Σt — сумма отрицательных температур воздуха за период намерзания льда.

Вскрытие рек. С наступлением тепла начинается таяние снега и льда на реках. Наиболее интенсивно это происходит у берегов, где образуются полосы чистой воды — закраины. Оторвавшийся от берега ледяной покров на отдельных участках перемещается на короткие расстояния. Возникают так называемые подвижки льда.

Глава IV

ВОДНЫЙ БАЛАНС РЕЧНОГО БАСЕЙНА И РАСЧЕТЫ РЕЧНОГО СТОКА

§ 1. Единицы измерения стока воды

Расход воды Q — это основная характеристика стока, которая показывает, какое количество воды протекает через поперечное сечение реки в одну секунду. Расход выражается в м³/с или л/с и может быть секундным (измеренным), среднесуточным, среднемесячным, среднесезонным, среднегодовым и среднемноголетним.

Объем стока W — это количество воды, протекающее через данное сечение реки за некоторый промежуток времени, т. е.

$$W = Q \cdot T,$$

где T — число секунд в рассматриваемом периоде.

Объем стока выражается в м³, км³ и может быть вычислен за любой промежуток времени: сутки, месяц, сезон, год.

Модуль стока M — характеризует расход с единицы площади водосбора и выражается в л/с с 1 км²

$$M = \frac{Q \cdot 10^3}{F} \text{ л/с с 1 км}^2,$$

где 10^3 — переходный коэффициент от м³/с в л/с; F — площадь водосбора, км². Модуль стока, как и расход, может быть средним за сутки, месяц, сезон, год и средним многолетним.

Слой стока h , — выраженный в мм, получается в результате деления объема стока на площадь водосбора

$$h = \frac{W}{F \cdot 10^3} \text{ мм},$$

где W — объем стока в м³; F — площадь водосбора в км².

Годовая величина слоя стока и модуля связана зависимостью

$$h = 31,5 \cdot M.$$

Норма стока — это средняя величина годового стока за многолетний период, включающий один или несколько циклов колебаний водности, с неизменными физико-географическими условиями и уровнем хозяйственной деятельности человека.

Норма стока может быть выражена через любую характеристику стока: расход, модуль, слой или объем стока

$$Q_0 = \frac{\sum_1^n Q_i}{n}; \quad M_0 = \frac{\sum_1^n M_i}{n}; \quad h = \frac{\sum_1^n h_i}{n}; \quad W_0 = \frac{\sum_1^n W_i}{n},$$

где n — период наблюдений.

Модульный коэффициент K — это отношение величины стока за какой-то период к среднему многолетнему стоку

$$K = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{M_i}{M_0} = \frac{h_i}{h_0} = \frac{W_i}{W_0}.$$

Коэффициент стока α — отношение слоя стока h к слою выпавших осадков x за один и тот же период

$$\alpha = \frac{h}{x}.$$

Коэффициент стока показывает, какая часть выпавших осадков идет на формирование стока.

§ 2. Уравнение водного баланса речного бассейна

Водный режим рек является результатом взаимодействия ряда факторов, таких, как осадки, испарения, сток, просачивание и др.

Количественное соотношение между отдельными факторами имеет важное значение в гидрологии и решается методом водного баланса.

Сущность метода водного баланса заключается в том, что для любого объема пространства, ограниченного произвольной замкнутой поверхностью, количество воды, вошедшей внутрь объема, за вычетом количества воды, вышедшей наружу, должно равняться увеличению или уменьшению ее количества внутри данного объема. Это равенство может быть получено для любого пространства, ограниченного замкнутой поверхностью, и за любой период времени.

Общее уравнение баланса влаги для речного бассейна. Рассмотрим произвольно взятую область, ограниченную боковыми поверхностями, уходящими до водонепроницаемого слоя грунта. Пусть эта область пересекается входящими и выходящими водотоками

Приходная часть водного баланса будет состоять из следующих элементов:

- 1) осадков x , выпавших на рассматриваемую поверхность в принятый период времени;
 - 2) количества влаги z_1 , конденсирующейся в почве и на ее поверхности;
 - 3) количества воды w_1 , поступившей путем подземного стока;
 - 4) количества воды y_1 , поступившей поверхностным путем.
- Расходная часть будет включать:

- 1) испарение z_2 с поверхности воды, снега, почвы, растительного покрова и т. д.;
- 2) отток воды w_2 путем подземного стока;
- 3) стекание воды y_2 поверхностным путем.

Превышение приходной части баланса над расходной u_2 приводит к увеличению запасов воды в объеме. Обратное соотношение — превышение расходной части над приходной u_1 возможно в случае уменьшения запасов влаги. Если учесть эти изменения, то, выражая все рассмотренные величины в миллиметрах слоя, получим общее уравнение водного баланса влаги для произвольной площади и для любого периода времени в виде

$$x + z_1 + y_1 + w_1 + u_1 = z_2 + y_2 + w_2 + u_2.$$

В случае речного бассейна, когда линия водосбора пересекает только один вытекающий водоток и величины y_1 и y_2 могут быть заменены на y , получим уравнение

$$x = y + (z_2 - z_1) + (w_2 - w_1) + (u_2 - u_1).$$

Или, заменив выражения с скобках одной буквой, получим

$$x = y + z \pm w \pm u.$$

Для больших рек членом w можно пренебречь, так как с увеличением площади речного бассейна значение его уменьшается.

В многолетнем периоде при достаточно большом числе лет наблюдений n величина u близка к нулю, и уравнение принимает вид

$$\bar{x} = \bar{y} + \bar{z},$$

где $\bar{x}$ — среднее многолетнее значение (норма) осадков; $\bar{y}$ — норма стока; $\bar{z}$ — норма испарения.

Для бессточного бассейна за многолетний период имеем

$$\bar{x} = \bar{z}.$$

Из всех рассмотренных членов уравнения водного баланса в настоящее время лишь осадки и сток измеряются достаточно точно, испарение определяется приближенно (по специальным формулам), а остальные члены не учитываются совсем.

Водный баланс территории СССР в среднемноголетнем разрезе включает следующие величины: осадки $x=500$ мм; сток $y=198$ мм; испарение $z=302$ мм.

§ 3. Средний многолетний сток

Под средним многолетним стоком, выраженным в виде объема, расхода, слоя или модуля, понимается среднее арифметическое значение, получаемое из ряда значений соответствующих годовых его величин. Годовой сток рек меняется из года в год. В этих колебаниях нет строгой закономерности, но в ходе стока, так же как и в ходе увлажнения территории, общепризнаны периодические циклы повышенной и пониженной водности. Вместе с тем значения годового стока колеблются около некоторой средней величины, причем амплитуда таких колебаний неодинакова в различных физико-географических районах и зависит от климатических факторов. Эта средняя величина является нормой стока. Принято считать нормой стока среднюю арифметическую его величину, за длительный период, включающий не менее двух полных циклов колебаний стока при неизменном уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки. Цикл водности состоит из двух фаз — многоводной и маловодной.

Характерной особенностью в распределении среднемноголетнего стока на территории СССР является широтная зональность, проявляющаяся в уменьшении стока с севера на юг.

Помимо зональности в распределении стока на территории СССР отмечается отчетливо выраженное влияние рельефа. Даже небольшие возвышенности вызывают увеличение стока.

Средний модуль (норма) стока для СССР составляет около 6,3 л/с с 1 км², при максимальном значении 25—50 л/с с 1 км² — в горах Кавказа и минимальном 0,1 — в Казахстане.

Определение нормы стока

При наличии многолетних гидрометрических наблюдений норма стока определяется как среднее арифметическое значение из годовых величин стока

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n},$$

где Q_i — годовые величины стока; n — число лет наблюдений.

При недостаточном количестве гидрометрических данных норму годового стока можно определить по графику связи годовых величин стока за совместный ряд наблюдений в изучаемом бассейне и бассейне-аналоге с многолетними данными по стоку.

Бассейн-аналог выбирается с учетом физико-географической однородности и одинаковыми условиями формирования стока.

По построенному графику связи среднегодовых модулей стока за совместный ряд наблюдений по значению нормы стока реки-аналога снимается норма стока для интересующей реки (рис. 19).

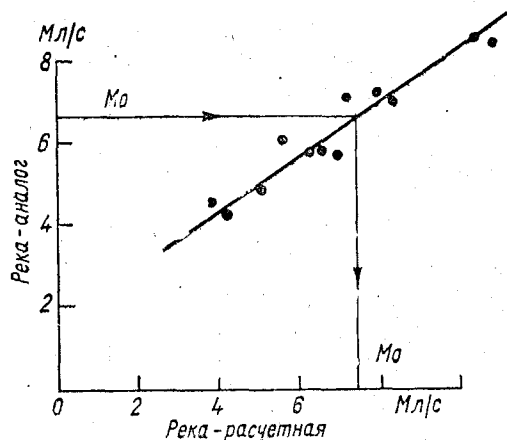


Рис. 19. График связи среднегодовых модулей стока

Для построения удовлетворительной линейной связи необходимо не менее шести соответственных точек при достаточно тесной их связи, отвечающей коэффициенту корреляции порядка 0,7—0,8. Особенно важно иметь на графике связи точки, близкие к средним значениям стока.

При отсутствии гидрометрических данных норму стока можно определить: по карте изолиний среднего многолетнего стока; по уравнению водного баланса и по эмпирическим формулам.

Построение карт среднего многолетнего стока основано на допущении плавного изменения стока по территории соответственно распределению климатических и других физико-географических факторов.

Первая карта среднего многолетнего стока для ЕТС была построена в 1927 г. Д. И. Кочериным.

Наиболее обоснованной является карта составленная в Государственном гидрологическом институте в 1961 г. К. П. Воскресенским.

Карты речного стока в отличие от климатических карт составляются по величинам, отнесенным не к точке наблюдений, а

к центру бассейна, так как предполагается, что сток реки, наблюдающийся в каком-нибудь пункте, равномерно распределен по всему бассейну. Из этого принципа построения карты непосредственно следует и методика ее использования для определения нормы стока, а именно: для нахождения по карте среднего многолетнего модуля стока — нормы какого-нибудь бассейна нужно оконтурить на карте рассматриваемый бассейн до замыкающего створа и найти его центр тяжести. Для центра тяжести бассейна определяют норму стока путем линейной интерполяции между ближайшими изолиниями.

Карта с достаточной точностью используется для средних и больших рек (до площади водосбора 50000 км²), а для определения нормы стока малых рек вносятся поправки на учет местных факторов. Норма стока горных рек устанавливается по районным зависимостям изменения стока с высотой. Средняя ошибка определения нормы стока по карте не превышает 5%.

Решая уравнение водного баланса речного бассейна относительно слоя стока, с учетом среднемноголетнего слоя осадков и испарения, можно определить норму стока

$$\bar{y} = \bar{x} - \bar{z}.$$

§ 4. Основы методики расчета годовых колебаний стока

В практике гидрологических расчетов часто недостаточно знание одной только нормы стока, так как годовой сток под влиянием климатических и физико-географических факторов может значительно отличаться от нее. Вследствие этого при расчете гидротехнических сооружений, кроме нормы, учитываются величины стока различной повторяемости (обеспеченности).

Колебания годового стока и других его характеристик (максимальные, минимальные расходы и т. д.) можно рассматривать как изменения случайных величин. Случайными считают какие-либо значения одной и той же величины, последовательность появления которых не связана с появлением предыдущих значений этой же величины.

Рассматривая средние годовые расходы как совокупность случайных значений варьирующей величины, к исследованиям многолетних колебаний стока можно применить методы математической статистики.

Установив вероятные колебания стока по наблюдениям за сравнительно короткий отрезок времени, экстраполируют пределы колебаний стока на более продолжительные периоды времени, выходящие за пределы периода наблюдений. С этой целью строят кривые распределения и обеспеченности стока. Значения годовых величин стока располагаются не в календарной последовательности, а в виде статистического ряда, расположенного в убывающем порядке. Если такой ряд разбить на одинаковые интервалы по величине стока (Δy) и определить частоту повторений его значений

в каждом интервале ($n_1, n_2 \dots n_i$), то можно построить ступенчатый график распределения частоты или вероятности (рис. 20). Из графика (гистограммы распределения стока) видно, что чем ближе значения числа ряда к среднему, тем повторяемость больше. И наоборот, по мере удаления от среднего значения вправо и влево все меньше членов ряда попадает в интервал, т. е. повторяемость (частота) падает. Это обстоятельство соответствует закону больших чисел относительно случайных величин, из которого следует, что чем больше отклонение какого-либо значения в данном ряду от среднего, тем меньше вероятность появления такой величины.

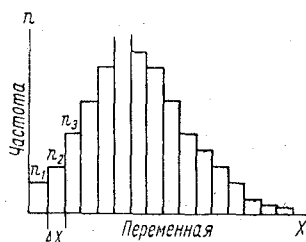


Рис. 20. Гистограмма распределения стока

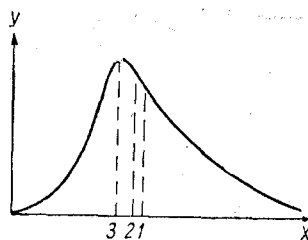


Рис. 21. Кривая распределения вероятностей:

1 — центр распределения; 2 — медиана; 3 — мода

При уменьшении интервала и увеличении членов ряда гистограмма распределения стока превращается в плавную кривую распределения или кривую вероятностей. Эта кривая имеет три характерные точки (рис. 21): 1 — центр распределения, соответствует среднеарифметическому значению ряда; 2 — медиану, которая делит ряд на две равные части; 3 — моду, соответствующую наибольшей частоте.

Кривые распределения бывают симметричными и асимметричными. В симметричной кривой все три ординаты совпадают и образуют ось симметрии. В асимметричных — они не совпадают и расстояние между центральной ординатой 1 и модальной 3 называется радиусом асимметрии d и показывает степень асимметричности кривой.

Гидрологические явления обычно характеризуются асимметричным распределением.

Если, начиная от наибольшего значения интервала, последовательно просуммировать случаи появления (частоты) изучаемой величины в пределах выделенного интервала и эти суммарные значения выразить в процентах от общего числа случаев $P = \frac{n}{N} \%$,

то, откладывая значения Δy и P по осям координат, получим плавную кривую обеспеченности годовых величин стока.

Таким образом, кривая обеспеченности получается из гистограммы распределения путем последовательного суммирования частот появления изучаемой величины в пределах выделенных интервалов (рис. 22).

Для возможной экстраполяции полученной (эмпирической) кривой обеспеченности строится теоретическая кривая обеспеченности, наиболее полно отражающая характер изменения гидрологических величин (осредняющая эмпирические точки).

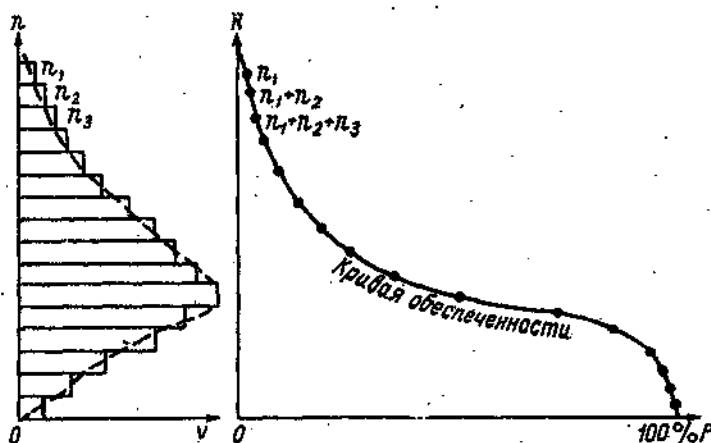


Рис. 22. Схема построения кривой обеспеченности из кривой распределения

Теоретическая кривая обеспеченности характеризуется тремя параметрами:

- $\bar{x}$ — среднее арифметическим значением ряда;
- C_v — коэффициентом изменчивости (вариации) ряда;
- C_s — коэффициентом асимметрии.

При наличии достаточного числа лет наблюдений эти параметры определяются следующим образом.

Среднее арифметическое значение ряда $\bar{x}$ находится суммированием значений всех членов ряда и делением полученной суммы на число членов

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Коэффициент вариации C_v вычисляется по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}},$$

где $K_i = \frac{Q_i}{Q_0}$ — модульный коэффициент; n — число членов ряда.

Коэффициент асимметрии C_s находится по формуле

$$C_s = \frac{\sum (K_i - 1)^3}{n \cdot C_v^3}.$$

Все расчеты ведутся в специальной таблице.

Рассчитав параметры кривой обеспеченности, можно экстраполировать эмпирическую кривую до интересующего нас предела.

Координаты теоретической кривой обеспеченности (K , P) находятся в специальных таблицах по значениям C_v и C_s [6]. Расход любой обеспеченности в этом случае находится по соотношению

$$Q_{P\%} = K_{P\%} \cdot Q_{\text{ср}},$$

где $Q_{P\%}$ — расход $P\%$ -ной обеспеченности; $K_{P\%}$ — модульный коэффициент $P\%$ -ной обеспеченности, взятый из таблиц по C_v и C_s ; $Q_{\text{ср}}$ — средний многолетний расход данного ряда.

Обеспеченность расхода в ряду наблюдений находится по формуле

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\%,$$

где m — порядковый номер числа ряда; n — число членов ряда.

Построение кривых обеспеченности (эмпирической и теоретической) осуществляется на специальной логарифмической клетчатке.

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений параметры теоретической кривой обеспеченности могут быть получены следующим путем: $Q_{\text{ср}}$ — по карте среднегодового стока; C_v — по различным эмпирическим формулам; C_s — может быть принято для среднегодового и максимального весеннего стока равным C_v , для максимального дождевого стока 3—4 C_v .

Наиболее широкое применение получила формула Д. Л. Соколовского для расчета C_v :

$$C_v = a - 0,063 \lg (F^{+1}).$$

Здесь C_v — коэффициент вариации годового стока; F — площадь водосбора, км^2 ; a — географический параметр, определяемый по карте или по формуле М. Э. Шевелева

$$a = 0,78 - 0,29 \lg M_0,$$

где M_0 — норма стока (среднемноголетний модуль).

§ 5. Внутригодовое распределение стока

При гидрологических расчетах возникает необходимость в учете распределения стока в течение года. Это обусловлено не только практическими запросами, но и задачами изучения водного режима того или иного объекта.

Вместе с тем установить распределение стока в году очень сложно, поскольку оно в первую очередь зависит от изменения в течение года осадков и температуры воздуха, а следовательно и испарения. Кроме климатических, на распределение стока влияют физико-географические факторы, выражающие естественную зарегулированность стока в бассейне. Сюда относятся: рельеф и величина бассейна, геологическое и гидрогеологическое строение, озерность, залесенность, заболоченность. В общем случае с увеличением зарегулированности стока распределение его в течение года выравнивается: уменьшается величина паводков и увеличиваются расходы в межень.

Наибольшей регулирующей способностью обладают озера, задерживающие большое количество талых и ливневых вод, что приводит к растягиванию половодья или паводка и уменьшению максимальных расходов. В период межени происходит подпитывание реки из озера и минимальный сток увеличивается.

Таким образом, озера выравнивают сток в течение года. Регулирующая способность озер зависит от их площади, объема и расположения в бассейне.

Влияние леса на распределение стока в году состоит в увеличении продолжительности половодья (вследствие удлинения снеготаяния) и в перераспределении поверхностного и подземного стока. Лесные почвы обладают большой инфильтрационной способностью, благодаря чему часть поверхностного стока переходит в подземный, попадающий в реку, дренирующую подземные воды в период межени. В связи с этим в лесных бассейнах наблюдается снижение половодного и повышение меженного стока.

Почвенно-геологические условия также играют значительную роль в распределении годового стока. Если почвы в бассейне водонепроницаемые, то большая часть выпавших осадков просачивается в землю и идет на пополнение запасов грунтовых вод. Наличие в бассейне мощных водоносных горизонтов, дренируемых рекой, приводит к увеличению меженного стока, а следовательно, к выравниванию годового стока. С увеличением площади бассейна река обычно дренирует более глубокие и водообильные водоносные горизонты. Поэтому площадь бассейна является косвенным показателем подземного питания и меженного стока (выравнивания внутригодового распределения стока).

Распределение стока в году может значительно измениться в результате хозяйственной деятельности человека: строительства прудов и водохранилищ, осушения болот, устройства лесозащитных

полос и других мероприятий. Основное назначение прудов и водохранилищ состоит в регулировании стока, т. е. в его перераспределении из многоводных сезонов (весна и осень) в маловодные (лето) с целью использования накопленной воды для орошения, водоснабжения, энергетики и т. д. Водохранилища, как и озера, увеличивают продолжительность весеннего половодья и повышают меженный сток.

Осушение болот приводит к снижению уровня грунтовых вод, в результате чего увеличивается мощность деятельного аккумулялирующего слоя, что способствует задержанию талых и дождевых вод с последующей сработкой их в меженный период.

Влияние полезационных полос на распределение стока в году аналогично влиянию леса, но оно сказывается несколько сильнее благодаря целесообразному размещению растительности по водосбору.

Различные агротехнические мероприятия влияют на задержание влаги на полях и пополнение запасов грунтовых вод, что приводит к уменьшению весеннего стока и увеличению меженного, т. е. к выравниванию стока в течение года.

Наиболее реальное представление о распределении стока внутри года дает обычный гидрограф стока, на котором мы можем выделить типы питания и рассчитать их долю в годовом стоке.

При исследовании внутригодового распределения стока обычно рассматривают сток по сезонам и месяцам. Для удобства сравнения месячный и сезонный сток выражают в процентах от объема годового стока или в долях от среднегодового расхода, приняв его за единицу.

В случае отсутствия данных наблюдений расчет может быть произведен по картам распределения соответствующего элемента, по формулам или по соответствующим типовым схемам.

Кроме того, внутригодовое распределение стока может быть представлено в виде кривой продолжительности или обеспеченности средних суточных расходов, которая показывает продолжительность стояния расходов, превышающих данный или равных ему. Эта кривая отражает распределение расходов в течение года.

Существует два способа построения кривой обеспеченности суточных расходов: обобщенной, или абсолютной кривой, и средней.

Обобщенная кривая строится по среднесуточным расходам за весь период наблюдений (n лет), которые располагают в убывающем порядке от абсолютного максимума до абсолютного минимума. Для каждого расхода вычисляется эмпирическая обеспеченность. Построение этой кривой довольно трудоемко, особенно при наличии продолжительных наблюдений, так как все расходы ($365 \cdot n$ расходов) располагаются в убывающем порядке.

Средняя кривая обеспеченности суточных расходов строится по средним значениям расходов различной обеспеченности, получен-

ным по кривым обеспеченности за отдельные годы. Эта кривая дает представление о распределении расходов в течение года, близкого к среднему по водности.

Кривые продолжительности суточных расходов (рис. 23) используются в практике водохозяйственных расчетов. Недостатком их является отсутствие представления о календарной последовательности расходов.

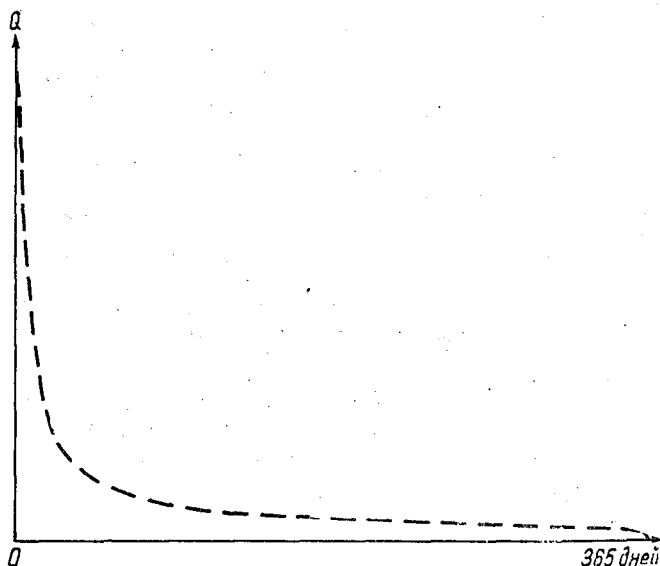


Рис. 23. Кривая обеспеченности суточных расходов

§ 6. Максимальный сток

Расчет максимальных расходов представляет большой практический интерес. Очевидно, что ошибки в расчете любого элемента гидрологического режима непосредственно сказываются на условиях работы гидротехнического сооружения, вызывая нежелательные затруднения в эксплуатации. Ошибки же в расчете максимальных расходов, помимо отмеченного, влекут (в случае необоснованного завышения максимального расхода) резкое увеличение стоимости сооружения, определяя в ряде случаев вообще экономическую целесообразность его постройки, или (в случае ошибки в сторону приуменьшения) могут обусловить частичное или полное разрушение сооружения.

Максимальные расходы воды по генетическому признаку делятся на два вида: снеговые и дождевые.

Максимальный снеговой сток наблюдается в период весеннего половодья, которое типично для большинства рек СССР. К основным факторам стока весеннего половодья относятся запасы воды в снежном покрове, интенсивность и продолжительность снеготаяния. Кроме того, на весеннее половодье оказывают влияние величина и форма бассейна, рельеф, характер почв, геологическое строение бассейна, наличие в бассейне озер, лесов, болот.

Основными метеорологическими факторами, определяющими интенсивность образования талых вод из снега, являются солнечная радиация и теплообмен с воздухом.

Интенсивность снеготаяния оказывает большое влияние на величину максимального стока (расхода) и может быть рассчитана различными способами.

Наиболее точными, но и трудоемкими, являются *способы, основанные на уравнении теплового баланса*, которое для периода снеготаяния может быть написано в общем виде

$$P_0 = P_c + P_a + P_{\text{н}} + P_{\text{п}},$$

где P_0 — общий приток тепла; P_c — приток тепла от солнечной радиации; P_a — приток (расход) тепла за счет теплообмена с атмосферой; $P_{\text{н}}$ — расход (или приток) тепла за счет испарения и конденсации; $P_{\text{п}}$ — приток (или расход) тепла за счет теплообмена с почвой.

Расчет компонентов уравнения теплового баланса может быть произведен по формулам или специальным номограммам (метод П. П. Кузьмина) по обычным сетевым метеорологическим данным (облачность, температура воздуха, скорость ветра и др.).

Величины $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{п}}$ незначительны и их можно не учитывать. Поэтому можно написать

$$P \approx P_c + P_a,$$

т. е. основными источниками тепла являются солнечная радиация и теплообмен с атмосферой.

К приближенным методам расчета интенсивности снеготаяния относится *метод температурных коэффициентов*. Слой снеготаяния в этом случае определяется по соотношению

$$h_c = k_T \cdot (\Sigma t),$$

где h_c — слой воды, образовавшийся от таяния снега, в мм; Σt — сумма положительных температур воздуха за период снеготаяния в градусах; k_T — температурный коэффициент.

Метод водного баланса также позволяет определить интенсивность снеготаяния с использованием данных снегосъемок.

Слой талой воды, образовавшийся за какой-либо промежуток времени между двумя снегосъемками, по уравнению водного баланса равен

$$h_r = h_{cl} + x - z - h_{cll},$$

где h_c — слой талой воды, образовавшийся между двумя снегосъемками; h_{cl} и h_{cll} — запасы воды в снеге по данным первой и второй снегосъемки; x — осадки в период между снегосъемками; z — испарение со снега с учетом конденсации за этот период.

Расчет максимальных расходов весенних половодий при наличии данных гидрометрических наблюдений производится по кривым обеспеченности, с определением по известным формулам параметров этих кривых Q_0 , C_v и C_s .

При отсутствии данных наблюдений максимальные расходы могут быть вычислены по формулам, которые делятся на две группы:

1) редукционные формулы, отражающие в явном виде редукцию (уменьшение) модулей максимального весеннего стока с увеличением площади водосбора:

$$M_{\max} = \frac{A_c}{(F+C)^n},$$

где $M_{\max}$ — максимальный модуль весеннего стока, л/с; A_c — максимальный предельный модуль стока, л/с; F — площадь водосбора, км²; C — поправка на нелинейность для зоны малых площадей; n — показатель степени редукции (тангенс угла наклона зависимости);

2) объемные формулы, выражающие максимальный расход как функцию объема половодья, его продолжительности и геометрической формы.

Максимальный дождевой сток

Максимальные дождевые (ливневые) расходы наблюдаются в летне-осенний период в результате прохождения интенсивных ливней.

Основными факторами, формирующими дождевой сток, являются 1) интенсивность ливня, его продолжительность и площадь охвата дождем (ливнем); 2) просачивание (инфильтрация) воды в почву и 3) добегание ливневых вод по руслу реки.

Главное значение в формировании максимальных расходов имеет максимальная интенсивность водоотдачи и слой дождевых осадков.

Средняя интенсивность ливня за любой интервал времени может быть определена по зависимости

$$a_T = \frac{S}{(T+1)^n},$$

где a_T — средняя интенсивность ливня за интервал времени T , мм/мин; T — расчетный интервал времени, мин; S — предельная, или мгновенная интенсивность ливня, мм/мин; n — показатель редукции (уменьшения) интенсивности ливня от его продолжительности, в среднем для территории Советского Союза он равен 0,67.

Слой осадков за соответствующий интервал времени равен

$$H_T = a_T T \text{ мм.}$$

Потери стока за счет инфильтрации и аккумуляции в понижениях микрорельефа местности учитываются коэффициентом стока.

Расчет максимальных дождевых расходов при наличии данных наблюдений производится также методами математической статистики по кривым обеспеченности, а при отсутствии — по формулам.

Расчетные формулы максимальных дождевых расходов более многочисленны, чем формулы максимального снегового стока.

По характеру и содержанию эти формулы можно разбить на четыре группы:

1) формулы, основанные на учете максимальной интенсивности дождя за время добегания и учитывающие лишь одну фазу паводка — фазу максимума;

2) формулы редукционного типа, учитывающие в явной форме редукцию максимальных модулей стока от площади водосбора или времени добегания, а также максимальную расчетную интенсивность дождя;

3) формулы и методы расчета, основанные на гидромеханической теории поверхностного стекания;

4) объемные формулы, связывающие максимальный расход с объемом и формой паводка.

Наиболее часто в практике расчета используют формулы редукционного типа

$$M_{\max} = \frac{A_d}{(F+C)^n}$$

(обозначения те же, что и для весеннего стока) и объемные формулы типа Д. Л. Соколовского

$$Q_{\max} = \frac{0,28 (H_T - H_0) \cdot \alpha \cdot F}{t_{\Pi}} f \cdot \delta + Q_{\text{гр}},$$

где H_0 — слой начальных потерь, мм; H_T — расчетный слой осадков, мм; α — коэффициент стока; F — площадь водосбора; f —

коэффициент формы гидрографа, характеризующий отношение подъема к спаду; δ — коэффициент учета влияния озер, болот и леса на максимальный сток; t_n — время подъема; $Q_{гп}$ — расход грунтового питания, предшествующий паводку.

Расчеты по всем существующим формулам проводятся согласно рекомендациям авторов.

Кроме того, последние рекомендации по расчету опубликованы в строительных нормах СН 435-72, которые приняты и утверждены в качестве нормативного документа по расчетам стока [7].

§ 7. Минимальный сток

Минимальный сток является одной из характеристик внутригодового распределения стока и имеет важное значение при проектировании промышленного и бытового водоснабжения, так как минимальные расходы лимитируют не только размеры предприятий, но и вообще возможность их расположения в данном районе.

Минимальный сток на реках отмечается в период межени, когда река переходит на грунтовое питание. Этот период наступает на реках зоны избыточного увлажнения и горных районов зимой, а на реках зоны недостаточного увлажнения — летом.

Продолжительность меженного периода и величина меженного стока находится в тесной зависимости от физико-географических факторов, оказывающих большое влияние на условия его формирования и режим.

Климат определяет как общий режим реки, так и режим минимального стока. В северной части СССР большое количество выпадающих осадков и сравнительно незначительное испарение обуславливают довольно устойчивый минимальный сток. В южных засушливых районах, где осадков выпадает мало, а испарение велико, минимальные расходы ничтожно малы, реки могут пересыхать.

Величина минимального стока зависит от величины и характера грунтового питания рек и от тех же факторов, которые определяют величину и характер подземного стока, в первую очередь почвенно-геологических и гидрогеологических условий.

Количество грунтовых вод, накапливающихся в верхних почвенных горизонтах, зависит от свойств почв, их водопроницаемости и удерживающей способности. Лесные почвы способствуют образованию подземных вод под лесом, поэтому минимальный сток рек с залесенными бассейнами обычно значительно выше, чем с незалесенных водосборов.

В зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения запасы верхних грунтовых вод незначительны, и основную роль в питании рек играют глубокие подземные воды. В этих районах величина минимального стока зависит от глубины эрозионного вреза русла, числа и характера водоносных горизонтов и геологического строе-

ния пород. Рыхлые и пористые породы (песчаники, известняки, галечники) создают благоприятные условия для аккумуляции подземных вод, а плотные и кристаллические (глины, граниты, гнейсы и др.), наоборот, уменьшают инфильтрацию воды и аккумулирующую емкость бассейна.

Наземными аккумуляторами стока являются озера и отчасти болота. Озера повышают минимальный сток. Влияние болот на минимальный сток зависит от типа болот и высоты стояния уровня грунтовых вод.

С увеличением площади водосбора, как правило, увеличивается минимальный сток, так как усиливается глубина эрозионного вреза русла.

Минимальный сток находится в большой зависимости от различных местных факторов, однако по мере увеличения площади водосбора влияние их сглаживается и величина минимального стока определяется главным образом климатическими факторами и запасами грунтовых вод. В связи с этим распределение минимального стока подчинено закону географической зональности. Это дало возможность построить карты изолиний средних многолетних величин минимального стока.

Наиболее обоснованы карты, составленные Государственным Гидрологическим институтом (приложение к СН 435-72), в соответствии с которыми норма месячного минимального стока изменяется для летнего периода от 10—8 л/с с 1 км² на севере ЕТС и 20—15 л/с на северном Урале до 0—0,5 на юге и юго востоке. Зимой эта величина колеблется от 2—3 л/с на севере ЕТС до 0—0,25 л/с с 1 км² на юге и юго-востоке.

В период минимального стока река питается только за счет грунтовых вод. В тех случаях, когда поверхностный сток практически отсутствует в течение длительного времени, а запасы грунтовых вод невелики, река пересыхает, а зимой промерзает. Следовательно, в ряде случаев минимальный сток падает до нуля. Пересыхание наиболее характерно для весьма малых рек с неглубоким врезом русла, недренирующих основные водоносные горизонты.

Промерзание рек связано не только с истощением запасов грунтовых вод, но и с увеличением толщины льда, перекрывающего живое сечение малых рек. Изменение толщины льда, как известно, зависит от климата, поэтому пределы площадей водосборов промерзающих рек имеют зональное изменение и увеличиваются с юго-запада на северо-восток. Так, в Ленинградской области систематически перемерзают реки с площадью водосбора 50—100 км², а в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке промерзают многие крупные реки — р. Индигирка у п. Майор-Крест ($F=172000$ км²), р. Яна на площади в 200000 км² и др. [8].

Расчеты минимального стока проводятся согласно СН 435-72 для суточных и месячных значений, для больших и малых рек, а также по существующим эмпирическим формулам.

§ 8. Твердый сток

Стекающие по поверхности речного бассейна талые и дождевые воды увлекают за собой почвенные частицы, которые, попадая в русло потока, образуют сток наносов, или твердый сток.

Из попавших в поток частиц наносов мелкие фракции взвешиваются потоком и составляют взвешенные наносы, более крупные частицы перемещаются влечением по дону и образуют влекомые, или донные, наносы. Наконец, к твердому стоку относятся растворенные в воде соли и другие химические соединения.

Таким образом, твердый сток состоит из трех частей: 1) взвешенных наносов, 2) влекомых наносов и 3) растворенных веществ.

На величину твердого стока оказывают влияние как климатические факторы, так и факторы подстилающей поверхности (характер рельефа, растительность и почвы).

Кроме естественных факторов на величину твердого стока влияет также в значительной степени и хозяйственная деятельность человека.

Твердый сток реки характеризуется мутностью, количеством наносов в граммах, которое содержится в 1 м³ воды:

$$\rho = \frac{R}{Q} \cdot 1000 \text{ г/м}^3,$$

где R — расход твердого стока, кг/с; Q — расход жидкого стока, м³/с.

Мутность имеет зональное распределение по территории. Составлена карта, которая отражает общий характер распределения средней величины твердого стока по территории (Г. В. Лопатин, 1941 г.; Г. И. Шамов, 1944 г.). В отличие от карты среднего стока, распределение твердого стока дается не в виде изолиний, а в виде зон с одинаковыми значениями средней мутности.

Средняя мутность изменяется от 20 г/м³ на севере ЕТС до 250—1000 г/м³ на юге. В горных районах мутность имеет повышенное значение — до 2000—5000 г/м³.

С твердым стоком рек в горных районах связано одно из грозных явлений природы — селовые паводки. «Сель» происходит от арабского слова и означает «бурный горный поток».

В зависимости от состава сель может быть водокаменный, грязекаменный и грязевой.

Для образования селя необходимы: 1) ливневой характер осадков; 2) крутые склоны, сложенные легкоразмываемыми породами; 3) отсутствие растительности на склонах.

Селовые паводки всегда неожиданны и приносят большие разрушения.

Борьба с селом — облесение склона, строительство дамб и специальных горизонтальных площадок.

Глава V

ОЗЕРА. ВОДОХРАНИЛИЩА

§ 1. Общие сведения

Озерами называются котловины или впадины земной поверхности, заполненные водой и не имеющие прямого соединения с морем.

Размеры озер колеблются в весьма широких пределах и к озерам могут быть отнесены и такие крупные водоемы, как Каспийское и Аральское моря.

Искусственно созданное озеро называется водохранилищем. Если размеры его невелики, то этот искусственный водоем называется прудом.

В природе встречается большое разнообразие озер, но среди них можно выделить определенные типы, имеющие сходство по ряду признаков. Так, можно привести классификацию озер по характеру происхождения.

Тектонические — образуются в прогибах земной коры на равнинах, в горах, в предгорных впадинах и т. д. (Ладожское, Онежское, Ильмень, Иссык-Куль, Байкал и др.). Большинство тектонических озер большие по площади и глубине.

Вулканические — возникают в кратерах и кальдерах потухших вулканов (Кроноцкое озеро на Камчатке).

Метеоритные — образуются в углублениях, возникших при падении метеоритов.

Ледниковые — их возникновение связано с деятельностью древних и современных ледников (озера Карелии).

Водно-эрозионные и водно-аккумулятивные — это озера речных долин, дельт, морских побережий.

Провальные — озера, котловины которых возникли в результате выщелачивания грунтов и горных пород поверхностными и

главным образом подземными водами, а также при протаивании многолетнемерзлого грунта или вытаивании льда в нем.

Доловые — озера, возникшие в котловинах выдувания, а также между дюнами и барханами.

Подпрудные — возникновение этих озер связано с горными обвалами, оползнями, перегораживающими речные долины.

Органогенные — внутриболотные озера и озера-лагуны среди коралловых построек (атоллы).

Широкое распространение имеют озера, созданные человеком. Это водохранилища.

С момента возникновения озера внешний вид первоначальной котловины меняется под действие водных масс, течения, накопления донных отложений. Под действием волн формируются берега и видоизменяются очертания береговой линии. Перемещение наносов вдоль берегов, а также продуктов разрушения берегов, ведет к образованию отмелей и сглаживанию неровностей рельефа дна. В прибрежной части озера появляются прибрежные заросли влаголюбивой растительности, которая, отмирая, дает начало образованию торфа. Конечной стадией развития озера является болото.

§ 2. Морфометрические характеристики озер

Озера отличаются друг от друга по величине и форме. Количественное выражение размеров озер и их формы называются морфометрическими характеристиками озера, основными из которых являются:

площадь водной поверхности озера — F_0 ;

длина озера — L — кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными друг от друга точками его береговой линии, измеренное по поверхности водоема;

ширина озера — максимальная $B_{\max}$ — расстояние между наиболее удаленными точками береговой линии по направлению, перпендикулярному длине озера, и средняя $B_{\text{ср}}$ — отношение площади озера к его длине, т. е. $B_{\text{ср}} = \frac{F_0}{L}$;

длина береговой линии — l — измеряется по нулевой изобате (изобата — линия равных глубин);

изрезанность береговой линии — K — характеризуется отношением длины береговой линии l к длине окружности круга, площадь которого равна площади озера

$$K = \frac{l}{2\sqrt{F_0} \cdot \pi} = 0,282 \cdot \frac{l}{\sqrt{F_0}};$$

объем озера — V , или объем котловины, заполненной водой до определенного уровня H — вычисляется приближенно как сумма объемов отдельных слоев воды, заключенных между горизонтальными плоскостями, проведенными друг от друга на расстоянии сечения изобат h . Полный объем озера определяется по уравнению

$$V = h_1 \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} + h_2 \cdot \frac{\omega_2 + \omega_3}{2} + \dots + h_{n-1} \cdot \frac{\omega_{n-1} + \omega_n}{2},$$

где h — расстояние между изобатами; ω — площадь водной поверхности, ограниченная изобатой;

глубина озера — средняя $H_{\text{ср}} = \frac{V}{F_0}$ и максимальная H_{max} .

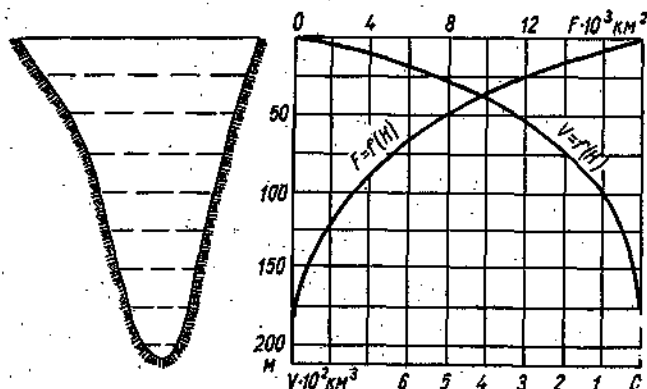


Рис. 24. Кривые площадей и объемов озера

При определении морфометрических характеристик указывается, к какому уровню они относятся. С изменением положения уровня меняются все морфометрические характеристики озера. Изменение объема и площади озера в связи с изменением положения уровня озера (глубины) может быть отчетливо представлено кривыми площадей и объемов (рис. 24).

Сведения о размерах наиболее крупных озер СССР приведены в табл. 2.

Таблица 2

Морфометрические характеристики некоторых наиболее крупных озер Советского Союза

Озеро	Площадь водной поверхности, км ²	Наибольшая глубина, м	Объем воды, км ³
Каспийское море	395000	980	76000
Аральское море	63400	68	1023
Байкал	31500	1741	23000
Балхаш	18300	26	112
Ладожское	17700	225	908
Онежское	9720	110	295
Иссык-Куль	6280	702	1730
Чудско-Псковское	3550	14,6	24,1
Севан	1415	98	58,5
Белое	130	11	—

Примечание: данные взяты из книги А. В. Плещева и В. А. Чекмарева «Гидрография СССР». Л., Гидрометеоиздат, 1967.

§ 3. Водный баланс озер

Объем воды в озере не остается постоянным — часть воды удаляется из озера, часть поступает извне. Между количеством воды, которое поступило в озеро (питание), тем, которое ушло (расходование), а также тем изменением объема водной массы озера, которое наблюдается за некоторый промежуток времени, существует равновесие, называемое водным балансом.

Питание происходит за счет атмосферных осадков x , выпадающих на поверхность озера, притока речных y_n и грунтовых $y_{гр}$ вод, конденсации водяных паров атмосферы на поверхности озера k . Расходование происходит вследствие испарения с поверхности водоема z , руслового стока $y_{ст}$, фильтрации $y_{ф}$.

За период времени T водный баланс озера может представить следующим уравнением:

$$x + y_n + y_{гр} + k = z + y_{ст} + y_{ф} + q \pm \Delta w,$$

где Δw — изменение объема воды в озере за время T ; q — безвозвратный расход воды из озера на хозяйственные нужды.

Не все члены уравнения водного баланса равнозначны. Основным источником питания озер — приток речных вод и атмосферные осадки. Расходование осуществляется главным образом за счет

речного стока и испарения. Остальными членами при определенных условиях можно пренебречь. Учитывая только основные элементы водного баланса и полагая, что $y_{\text{гр}} \approx y_{\text{ф}}$, уравнение годного баланса озера можно записать в виде: для сточных, которые сбрасывают часть своих вод в виде речного стока

$$x + y_{\text{п}} = z + y_{\text{ст}} + \Delta w;$$

для бессточных, лишенных стока воды

$$x + y_{\text{п}} = z + \Delta w.$$

Сточные озера преобладают в районах избыточного и достаточного увлажнения, бессточные — в засушливых.

Режим уровней озер не остается постоянным, а изменяется и зависит от соотношений составляющих уравнения водного баланса, от морфометрических характеристик озера и от движения водных масс в озере.

Все элементы водного баланса озера как в годовом, так и в многолетнем периоде испытывают колебания, свойственные той или иной климатической зоне. В связи с этим в течение года и многолетнего периода уровни озер испытывают периодические и циклические колебания, типичные для данной зоны.

§ 4. Водохранилища и их гидрологический режим

Водохранилища — это искусственные водоемы. Назначение их: задерживать, накапливать и перераспределять во времени воду, т. е. регулировать речной сток с целью использования его для нужд народного хозяйства — выработки электроэнергии, орошения, водоснабжения и др.

Создаются водохранилища путем возведения плотин в долине реки.

Размеры водохранилищ самые различные. Так, наибольшими по площади в СССР являются Куйбышевское (5900 км²) и Братское (5500 км²).

Водохранилища, созданные в долинах рек, совмещают в себе признаки озера и реки. С озером их сближает замедленный водообмен, а сходство с рекой заключается в постоянстве поступательного движения воды. Это создает большую проточность (водообмен) в водохранилища по сравнению с озерами.

В нашей стране сооружение водохранилищ на больших равнинных реках началось с первых лет Советской власти. Наибольшего же расцвета оно достигло в 50—60-е годы. Прежде всего это было вызвано потребностью в электроэнергии быстро развивающейся индустрии. Учитывая, что водохранилища регулируют сток и позволяют его перераспределить туда, где наблюдается недостаток воды, на крупных реках созданы целые каскады водохранилищ (реки Волга, Кама, Днепр, Тулома, Енисей, Иртыш и др.).

Создание крупных водохранилищ оказывает ощутимое влияние на окружающую их природную среду.

В настоящее время 1/4 площади водного зеркала пресноводных внутренних водоемов страны приходится на искусственные водохранилища. А через 15—20 лет площадь последних уже превысит площадь естественных водоемов.

Необходимо отметить, что размеры площадей водохранилищ, а следовательно и другие морфометрические элементы, сильно меняются при колебании уровней. А это в свою очередь оказывает влияние на изменение гидрологического режима водохранилищ, на преобразование берегов и дна котловины.

Режим уровней в водохранилище тесно связан с наполнением водохранилища, режимом работы гидроэлектростанции, забором воды на орошение и т. д.

Различают водохранилища многолетнего, сезонного, годичного, недельного и суточного регулирования стока. При многолетнем регулировании производится перераспределение стока между многоводными и маловодными годами, при сезонном — между сезонами года. Недельное и суточное регулирование стока связано с неравномерной выработкой гидроэнергии в течение недели или суток.

В годовом цикле уровненного режима водохранилищ гидроэлектростанций многолетнего и сезонного регулирования выделяют три фазы: подъем, относительно устойчивое стояние уровней и спад. Фазы подъема и спада выражены отчетливо, первая совпадает с периодом половодья. Фаза спада продолжается с середины лета до конца зимы. Относительно устойчивое стояние уровней не всегда выражено отчетливо.

В результате строительства плотин происходит нарушение естественного режима реки. Результатом этого нарушения является значительное отложение наносов выше плотины. Процесс отложения наносов или заиление очень длителен и измеряется многими сотнями лет. Однако известны случаи, когда малые водохранилища, построенные в горах, в течение нескольких лет полностью заиливаются (Фархадское водохранилище на р. Сыр-Дарье было полностью заилено за 13—15 лет).

Ориентировочно сроки заиления водохранилищ (в горах) можно оценить по соотношению

$$T = \frac{W_{\text{в}}}{W_{\text{н}} \cdot (1 - \delta)}.$$

Здесь T — средняя продолжительность заиления водохранилища в годах; δ — транзитная часть наносов, сбрасываемых из водохранилища при паводках; $W_{\text{в}}$ — объем водохранилища; $W_{\text{н}}$ — средний годовой объем наносов, равный

$$W_{\text{н}} = \frac{R_0 \cdot 31,5 \cdot 10^3}{\beta},$$

где R_0 — среднегодовой расход наносов кг/с; β — объемный вес наносов, т/м³.

Наличие озер и водохранилищ в речном бассейне определенным образом влияет на режим рек.

Так, с водной поверхности озер и водохранилищ происходит значительное испарение, которое уменьшает годовую величину стока (в зоне недостаточного увлажнения).

Озера и водохранилища являются естественным аккумуляторами влаги, которые существенно перераспределяют сток внутри года — снижая максимальный сток от паводков и половодий и увеличивая его в период межени.

Кроме того, наличие крупных водоемов оказывает заметное влияние на климатические условия окружающей местности — несколько снижается среднегодовая температура воздуха, увеличивается скорость ветра над водой и содержание влаги в воздухе.

Глава VI

БОЛОТА

§ 1. Общие сведения

Болото — природное образование, представляющее собой обильно увлажненный участок земной поверхности, имеющий слой торфа, и характеризующийся развитием специфических форм растительности, приспособленных к условиям избытка влаги и недостатка кислорода, процессами торфообразования и торфонакопления.

К болотным образованиям относятся и заболоченные земли.

Участок земной поверхности, занятый болотом в пределах одного замкнутого контура, проведенного по границе залежи торфа, называют болотным массивом.

§ 2. Образование болот

Степень заболоченности территории находится в прямой связи с условиями ее обводнения.

В зоне избыточного увлажнения, где среднее многолетнее значение осадков значительно превышает величину испарения, обуславливая этим постоянное увлажнение верхних горизонтов почвогрунтов, процессы болотообразования имеют наиболее широкое распространение.

В зоне недостаточного увлажнения болота встречаются редко и располагаются либо в поймах рек, либо в глубоких долинах, и впадинах, где избыток влаги создается в результате разливов рек или выходящими на поверхность грунтовыми водами.

Болота могут возникать как путем зарастания водоемов, так и путем заболачивания суши.

Можно выделить следующие наиболее характерные случаи образования болот:

1) равнинный рельеф и наличие на поверхности или близ нее водонепроницаемого слоя (длительное переувлажнение);

2) часто процесс заболачивания развивается на месте вырубленного леса не только в низинах, но и на возвышенностях;

3) заболачивание наблюдается также после лесного пожара; развивающаяся на пожарище растительность образует основу, на которой затем разрастаются подушки сфагнома, постепенно сливающиеся в сплошной сфагновый ковер;

4) болота могут образовываться в местах затрудненного стока весенней воды с поймы речных долин в русло реки;

5) заболачивание приречных низменностей происходит также вследствие поднятия уровня воды в реке и уровня грунтовых вод в результате строительства плотин;

6) часто заболачиваются участки, где наблюдаются выходы грунтовых вод;

7) в северных районах (тундра) причиной заболачивания является весьма малое испарение с поверхности земли и неглубокое залегание слоя вечной мерзлоты.

Общая площадь болот СССР составляет 9,5% всей территории.

По отдельным ландшафтным зонам имеем следующее распределение болот: В зоне тундры (с лесотундрой) болота занимают около 18% всей площади; в зоне тайги общая заболоченность составляет 20%; заболоченность зоны смешанных лесов — 16%, а широколиственных лесов Дальнего Востока — около 21%, лесостепная зона имеет заболоченность около 4%; в степной зоне количество болот уменьшается до 2%.

§ 3. Влияние болот на речной сток и их значение для народного хозяйства

При выяснении гидрологической роли болот и влияние их на речной сток следует исходить как из общих характерных гидрологических свойств, присущих болотам вообще, так и из специфических особенностей, свойственных различным типам болот. Кроме того, необходимо учитывать принадлежность болот к той или иной климатической зоне. В связи с этим вопрос о гидрологической роли болот не может быть решен однозначно.

В зоне достаточного и избыточного увлажнения болота практически не оказывают влияния на норму стока; они снижают максимальный и увеличивают минимальный сток. Крупные болотные массивы, в которых значительные площади заняты озерами, способствуют регулированию речного стока. Наличие болотных массивов в районах недостаточного увлажнения способствует снижению речного стока по сравнению с незаболоченными водосборами.

В соответствии с планами развития народного хозяйства СССР проводится осушение и освоение болот и заболоченных земель (Северо-Запад и Центр РСФСР, Сибирь, Дальний Восток, Белоруссия, Сев. Украина, Прибалтика). По Директивам XXIV съезда

КПСС предусматривается осушение болот на площади 5 млн. га в зоне избыточного увлажнения.

Осушенные болота представляют огромную ценность для народного хозяйства. На осушенных низинных болотах развивается высокопродуктивное сельское хозяйство: болото засевают кормовыми зерновыми и другими культурами.

Торфяные болота служат источником топлива для промышленности и электростанций. В настоящее время торф широко используется в качестве удобрения, как строительный материал и сырье для химической переработки.

Глава VII

ЛЕДНИКИ

§ 1. Общие сведения

С увеличением высоты местности температура воздуха постепенно падает, и с некоторой высоты, которая различна для каждого географического района, осадки уже выпадают только в виде снега.

Выпадающий снег в течение длительного времени постепенно перекристаллизовывается и превращается в сплошной ледниковый лед. Граница, выше которой снег не стает даже летом из-за недостатка тепла, называется климатической снеговой линией.

В зависимости от климатических условий района высота снеговой линии изменяется в широких пределах. Так, на Шпицбергене она проходит на высоте около 460 м, в Южной Америке она лежит на высоте 6120 м, а в Гималаях ее высота колеблется от 4900 до 6000 м, в Экваториальной Африке — на 6010 м, на Кавказе она лежит в пределах 2700—3800 м.

По определению академика С. В. Калесника, ледник есть масса льда, характеризующаяся постоянным закономерным движением, расположенная главным образом на суше, существующая длительное время, обладающая определенной формой и значительными размерами и образованная благодаря скоплению и перекристаллизации различных твердых атмосферных осадков.

§ 2. Ледниковые районы СССР и гидрологическое значение ледников

Ледники занимают свыше 15,5 млн. км², или более 10%, всей суши земного шара. По последним данным, объем льда во всех ледниках на Земле достигает 24 млн. км³. Если бы этот лед растаял, то уровень Мирового океана поднялся бы более чем на 60 м.

В Советском Союзе ледники сосредоточены в районе Новой Земли, Северной Земли и Новосибирских островов, на Камчатке, на Кавказе, в Средней Азии, на Алтае и Саянах.

Площадь современного оледенения Новой Земли и Северной Земли соответственно составляет 22000 км² и 37000 км², на Кавказе—около 2000 км², а в Средней Азии—примерно 11000 км².

Ледники как аккумуляторы огромных запасов воды обеспечивают водное питание горных рек, длительное половодье на них. В то время как на равнинных реках, имеющих снеговое питание, весеннее половодье проходит в 1—1,5 месяца, на реках с ледниковым питанием оно растягивается до 5—6 месяцев. Кроме того, колебания водности на ледниковых реках от года к году невелики, так как изменение их водности определяется главным образом многолетним ходом температуры воздуха, а ее изменчивость меньше, чем изменчивость многочисленных причин, определяющих водность равнинных рек.

Различная площадь оледенения оказывает существенное влияние на внутригодовое распределение стока. С увеличением площади оледенения возрастает доля стока во второй половине лета (июль — сентябрь) по отношению к стоку за март — июнь в связи с повышением роли ледникового питания.

В летний период на реках, вытекающих из ледников, хорошо выражен суточный ход уровней и расходов.

Изучение режима горных ледников и режима рек, вытекающих из них, имеет большое практическое значение, особенно для районов, где земледелие основано на искусственном орошении.

Глава VIII

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Водные ресурсы нашей страны «распределены» природой очень неравномерно — 88% их находится в малонаселенных северных и восточных районах, а там, где живет основная часть населения, где размещены индустриальные центры, сток рек составляет всего 12% от общего стока с территории СССР.

Поэтому ученые страны ставят вопрос о перераспределении стока рек с учетом нужд народного хозяйства. В наши дни это вполне реальная задача, и за годы Советской власти уже осуществлены крупные мероприятия в области водного хозяйства.

Так, ведутся работы по строительству каналов для переброски больших масс воды в районы, где испытывают в ней нехватку: каналы Днепр — Кривой Рог, Иртыш — Караганда, Днепр — Донбас. Уже действуют такие уникальные сооружения, как Каракумский канал.

Для регулирования стока и выработки электроэнергии строятся крупнейшие в мире плотины гидроэлектростанций, создаются водохранилища. Разрабатываются вопросы перераспределения стока между бассейнами для исправления диспропорции между ресурсами и потреблением. В первую очередь такая необходимость возникает в европейской части страны, где сосредоточена большая часть населения и промышленности, а значительная доля стока направлена в северные моря через малоосвоенные районы. Обоснована необходимость переброски в бассейн Волги части стока северных рек — для начала объемом 20—25 км³ в год. Эта переброска повысит водообеспеченность Поволжья, позволит пополнить водные ресурсы рек Дона и Урала, улучшит режим Каспийского моря, будет способствовать стабилизации его уровня.

Второй крупный регион, где возникает необходимость межбассейнового пополнения водных ресурсов, — Средняя Азия. Единственный реально доступный источник пополнения Аральского моря — сибирские реки, которые спасут Арал от медленного уми-

рания. Работы по составлению комплекса проектов ведутся большим коллективом ученых с привлечением целого ряда крупнейших организаций.

Жизнь, вся хозяйственная и культурная деятельность людей тесно связана с использованием природных вод, поэтому мы должны иметь полное и ясное представление о состоянии водных запасов, предвидеть их изменения.

С ростом городов, развитием промышленности, с увеличением расхода воды на производство продуктов сельского хозяйства проблема обеспечения водой с каждым годом усложняется. Однако трудности заключаются не только в обеспечении необходимым количеством воды, но гораздо в большей степени в том, что наблюдается интенсивное загрязнение водных источников сточными промышленными водами и различными отходами. Вот почему вопросы рационального использования и охраны пресных вод не только привлекают пристальное внимание ученых, инженеров, общественных деятелей и организаций, но и стали предметом обсуждения правительств всех промышленно развитых стран.

В нашей стране при громадном промышленном и сельскохозяйственном развитии и стремлении к наиболее полному удовлетворению растущих культурно-бытовых запросов населения рациональное использование и охрана водоемов от загрязнения и истощения является важной государственной задачей.

Во всех союзных республиках страны в последние годы приняты законы об охране природы. Так, например, Верховным Советом РСФСР в 1960 г. принят закон «Об охране природы в РСФСР», в котором значительное место отведено вопросам охраны воды. Законом, в частности, запрещается ввод в эксплуатацию предприятий, цехов и агрегатов, сбрасывающих сточные воды без очистки.

Законами об охране природы предусмотрена ответственность за загрязнение водных источников неочищенными и необезвреженными сточными водами, отбросами или отходами промышленных и коммунальных предприятий, если такое загрязнение может причинить вред здоровью людей, сельскохозяйственному производству или рыбным запасам. Специальной статьей Уголовного кодекса за такое преступление предусмотрено наказание.

Законодательным актом общесоюзного значения по охране водных ресурсов является постановление Совета Министров СССР от 1960 г. «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР». Этим постановлением предусмотрен целый ряд организационных мероприятий и установлены основные положения и направления работы в области охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения.

Одним из основных организационных мероприятий по указанному постановлению является создание во всех республиках спе-

циальных органов по водному хозяйству с инспекциями по бассейнам рек

В настоящее время в нашей стране проводятся грандиозные по масштабу и многоплановости работы по обоснованию использования и преобразованию водных ресурсов. Госкомитетом Совета Министров СССР по науке и технике в координационном плане научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для решения проблемы охраны водных ресурсов от загрязнения предусмотрены разработка и внедрение эффективных способов предотвращения загрязнения поверхностных и подземных вод, создание совершенных методов прогнозирования загрязнения и процессов самоочищения поверхностных вод.

В водном хозяйстве СССР широко применяется принцип комплексного использования и охраны водных ресурсов и увязки каждого частного решения с общей, предварительно составленной схемой использования водных объектов.

Подобные схемы составляются для всех наиболее крупных речных бассейнов Советского Союза. С целью обоснования важнейших водохозяйственных мероприятий, согласования между собой интересов различных отраслей народного хозяйства составлена «Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР» на период до 1980 г.

Директивами, принятыми XXIV съездом КПСС, и решением майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС подчеркнута необходимость проведения более решительной борьбы с загрязнением водных бассейнов.

В декабре 1970 г. сессия Верховного Совета СССР рассмотрела и утвердила «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик». Этим законодательным актом наше государство еще раз подтвердило, что природные воды являются общенародным достоянием, а рациональное использование их и охрана от загрязнения — дело большой государственной важности. В законе проводится принцип первоочередного удовлетворения хозяйственно-питьевых потребностей населения. На практике это означает, что никакой вид хозяйственной деятельности на водоеме не должен препятствовать нормальному снабжению населения чистой пресной водой. В этом, безусловно, еще раз проявилась работа Партии и Правительства об удовлетворении нужд народа.

В Основах водного законодательства красной нитью проходит один из центральных вопросов — охрана водных ресурсов. Специальная статья Основ обязывает все организации, учреждения и предприятия не допускать загрязнения и засоления поверхности водосборов, ледяного покрова водоемов и поверхности ледников производственными, бытовыми и другими отходами и отбросами.

Управлениям водохозяйственных систем, совхозам, колхозам и другим организациям, учреждениям и предприятиям вменено

в обязанность предотвращать загрязнение вод удобрениями и ядохимикатами.

Строгое соблюдение Основ водного законодательства создает необходимые условия для правильного использования и охраны водных ресурсов, имеющих огромное значение в развитии народного хозяйства и росте благосостояния трудящихся нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алехин Ю. М. Краткосрочные прогнозы стока на равнинных реках. Л., Гидрометеиздат, 1956, с. 19—22, 30—35.
2. Богословский В. Б. Основы гидрологии суши. Минск, изд-во БГУ, 1974, 213 с.
3. Быков В. Д. Гидрометрия. Л., Гидрометеиздат, 1949, 462 с.
4. Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. Л., Гидрометеиздат, 1973, с. 5—31, 221—444.
5. Иванов А. И., Неговская Т. А. Гидрология и регулирование стока. М., «Колос», 1973, с. 3—164.
6. Кузин П. С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л., Гидрометеиздат, 1960, с. 9—95.
7. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеиздат, 1968, с. 308—323.
8. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. СН 435-72. Л., Гидрометеиздат, 1972, с. 3—13, 17—18.
9. Чеботарев А. И. Общая гидрология (воды суши) Л., Гидрометеиздат, 1975, 542 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение	3
--------------------	---

Глава I. Общие положения

§ 1. Наука гидрология, ее задачи, подразделение и связь с другими науками	4
§ 2. Значение гидрологии в народном хозяйстве	6
§ 3. Краткие сведения об истории гидрологии	7
§ 4. Вода, ее свойства, распространение и круговорот в природе	10

Глава II. Основные параметры рек и их определение

§ 1. Общие сведения о реках	14
§ 2. Понятие о гидрографической сети. Речные системы. Главная река и ее притоки. Извилистость реки. Густота речной сети	15
§ 3. Речной бассейн. Водораздел, виды водоразделов. Морфометрические и физико-географические характеристики речного бассейна и их определение	18
§ 4. Речные долины. Элементы речной долины. Образование долин и их формы	21
§ 5. Речное русло. Русловые образования. Поперечное сечение реки, его элементы. Продольный профиль реки	22
§ 6. Гидрометрические наблюдения	25
§ 7. Наблюдения за уровнем воды. Водямерный пост, его устройство и типы	27
§ 8. Измерение скорости течения и расхода воды в реке. Кривая расходов. Гидрограф стока	30

Глава III. Питание рек. Водный, термический и ледовый режимы рек

§ 1. Общее понятие о питании рек	37
§ 2. Водный режим	38
§ 3. Термический и ледовый режимы рек	39

Глава IV. Водный баланс речного бассейна и расчеты речного стока

§ 1. Единицы измерения стока воды	42
§ 2. Уравнение водного баланса речного бассейна	43
§ 3. Средний многолетний сток	45

§ 4. Основы методики расчета годовых колебаний стока	47
§ 5. Внутригодовое распределение стока	51
§ 6. Максимальный сток	53
§ 7. Минимальный сток	57
§ 8. Твердый сток	59

Глава V. Озера. Водохранилища

§ 1. Общие сведения	60
§ 2. Морфометрические характеристики озер	61
§ 3. Водный баланс озер	63
§ 4. Водохранилища и их гидрологический режим	64

Глава VI. Болота

§ 1. Общие сведения	67
§ 2. Образование болот	67
§ 3. Влияние болот на речной сток и их значение для народного хозяйства	68

Глава VII. Ледники

§ 1. Общие сведения	70
§ 2. Ледниковые районы СССР и гидрологическое значение ледников	70

Глава VIII. Преобразование и охрана водных ресурсов

Литература	75
------------	----

Орлов Вадим Георгиевич

Основы гидрологии суши
(учебное пособие)

Редактор *Ю. П. Андрейков*

Корректоры *И. М. Морозова, Л. В. Ломакина*

М-19663	Подп. к печ. 26.04.76	Объем 47/8 п. л.	Зак. 12
Типография ВОК ВМФ	Тираж 800	Цена 43 коп.	
