

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОСНОВЫ ГИДРОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие
для лабораторных занятий для студентов
по направлению подготовки –
21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Владикавказ, 2022

Составитель: *Асаева Т.Д.*

Рецензент – *С.С. Басиев*, ФГБОУ ВО Горский ГАУ,
доктор с.-х.н., профессор кафедры агрономии,
селекции и семеноводства

Асаева Т.Д. Основы гидрологии / Учебно-методическое пособие для лабораторных занятий / Т.Д. Асаева. – Владикавказ: Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2022, – 104с.

Рассматриваются общие принципы основ гидрологии, изложены методы гидрометрических измерений, гидрологических расчетов по определению параметров среднего годового стока рек при наличии, недостаточности и отсутствии данных гидрометрических наблюдений, внутригодового распределения стока. Имеются разделы: гидрометрия и расчеты характеристики климата. Обозначенные в пособии учебно-методические установки позволяют систематизировать знания по основам гидрологии. Каждая тема снабжена вопросами для самопроверки. Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», его можно рекомендовать и специалистам, самостоятельно изучающим вопросы основ гидрологии. Данное издание подготовлено по дисциплине «Основы гидрологии» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12.08.2020 г. № 978.

Рекомендовано Центральным учебно-методическим советом
ФГБОУ ВО Горский ГАУ в качестве учебно-методического пособия
для лабораторных занятий
30 ноября 2022 г. протокол № 3

Введение

В настоящее время среди проблем, стоящих перед человечеством, все чаще на первое место выдвигается проблема состояния водных ресурсов, поскольку в тесной зависимости от него находятся состояние и развитие, как биосферы, так и человеческого общества.

Рациональное использование и защита от загрязнения поверхностных и подземных вод являются одной из основных задач не только государственных, но и общественных организаций. Необходимость количественного и качественного учета состояния водных ресурсов, постоянное совершенствование методов и средств гидрологических наблюдений, составляющих предмет гидрометрии как научной дисциплины, находятся в центре внимания специалистов, работающих в области водного хозяйства

Дисциплина «Основы гидрологии» имеет большое значение в подготовке обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры».

Природные воды на земле и гидрологические процессы изучает комплекс наук, объединяемых общим понятием гидрология. Термин «гидрология» образован из латинских слов «гидро» – вода и «логос» – наука.

Гидрология – это наука, изучающая гидросферу, её свойства, протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой. Гидрология изучает природные воды, их распространение по земной поверхности и в толще почвогрунтов и выявляет закономерности, по которым эти процессы и явления развиваются, а также явления и процессы, в них протекающие (испарение, замерзание и т. п.).

Термин «гидрология» впервые появился в 1694 г. в книге, содержащей «начала учения о водах», изданной Мельхиором во Франкфурте-на-Майне. Как самостоятельная наука гидрология сформировалась в 20-30-х годах 20 века.

Под гидросферой понимают прерывистую водную оболочку земного шара, расположенную на поверхности земной коры и в ее толще, представляющую совокупность океанов, морей и водных объектов суши (рек, озер, болот, подземных вод), включая снежный покров и

ледники. В такой трактовке гидросфера не включает атмосферную влагу и воду в живых организмах. Однако существуют и более узкое и более широкое толкования понятия гидросферы. В первом случае под ней понимают лишь поверхностные воды, находящиеся между атмосферой и литосферой, во втором природные воды Земли, участвующие в глобальном круговороте веществ, в том числе подземные воды в верхней части земной коры, атмосферную влагу и воду живых организмов. Такое широкое понимание термина «гидросфера» представляется наиболее правильным. В этом случае гидросфера – это уже не прерывистая оболочка, а действительно геосфера, включающая не только скопления самой воды (а также снега и льда) на земной поверхности, но и взаимосвязанные с ними воды в верхней части литосферы и нижней части атмосферы.

В теоретическом и практическом отношении гидрология:

- исследует круговорот воды в природе, влияние на него деятельности человека, управление режимом водных объектов и водным режимом территорий;
- проводит анализ гидрологических элементов для отдельных территорий и Земли в целом;
- дает оценку и прогноз состояния и рационального использования водных ресурсов.

К основным разделам гидрологии относятся:

- Гидрохимия изучает химические характеристики природных вод.
- Гидробиология – раздел на стыке с биологией, рассматривающий вопросы жизни и биологических процессов в воде.
- Гидрогеология – изучает происхождение, условия залегания, состав и закономерности движений подземных вод.
- Гидроинформатика – раздел на стыке с информатикой, в котором используют современные вычислительные мощности для решения проблем, связанных с водными ресурсами.
- Гидрометеорология – изучает обменные процессы между поверхностью воды и нижними слоями атмосферы.
- Изотопная гидрология – изучает изотопические характеристики воды.
- Гидрология суши - изучает процессы, протекающие на поверхности Земли.
- Океанология – изучает характеристики больших масс воды.

РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕТРИЯ

Гидрометрия – раздел гидрологии, рассматривающий методы наблюдения за режимом водных объектов, применяемые при этом устройства и приборы, а также способы обработки результатов наблюдений. Гидрометрия – это наука о методах и средствах измерения параметров водотоков и водоёмов.

В задачи гидрометрии входят измерения:

- геометрических параметров потока (уровней, глубин и направлений течения);
- кинематических параметров (скоростей течения);
- расходов воды и наносов;
- параметров ледового и термического режимов потоков.

Лабораторная работа № 1. Химический состав природных вод

Вода – одно из самых распространенных на Земле химических соединений. Природные воды образуют океаны, моря, озера, реки, водохранилища, болота, ледники, в виде пара находятся в атмосфере, проникают в почву и горные породы литосферы. Без воды невозможно существование биосферы и жизни на Земле. Исключительно велика роль воды в формировании географической оболочки Земли и облика поверхности нашей планеты.

Вода – важный компонент многих ландшафтов. Вода не только элемент природной среды, но и активный геологический и географический фактор: она служит носителем механической и тепловой энергии, транспортирует вещества, совершает работу. Вода, благодаря своей подвижности, играет важнейшую роль в обмене веществом и энергией между геосферами и различными географическими объектами.

Если капельку природной воды нанести на стекло и подождать, пока она испарится, то на месте капли будут видны белые разводы -

это кристаллизуются растворимые в воде соли. Содержание солей в природных водах различается в тысячи раз. Например, в литре дождевой воды содержатся единицы, максимум десятки миллиграммов солей. А в литре воды из залива Кара-Богаз-Гол (Каспийское море) - 300 г, почти треть от массы раствора.

Основные (преобладающие) компоненты воды

В водных растворах подавляющее большинство солей существует в виде ионов. В природных водах преобладают три аниона (гидрокарбонат HCO_3^- , хлорид Cl^- и сульфат SO_4^{2-}) и четыре катиона (кальций Ca^{2+} , магний Mg^{2+} , натрий Na^+ и калий K^+) - их называют главными ионами. Хлорид-ионы придают воде солёный вкус, сульфат-ионы, ионы кальция и магния - горький, гидрокарбонат-ионы безвкусны. Они составляют в пресных водах свыше 90-95%, а в высокоминерализованных - свыше 99 % всех растворенных веществ. Обычно нижним пределом концентрации для главных ионов считают 1 мг/л, поэтому в ряде случаев, например для морских и некоторых подземных вод, к главным компонентам можно отнести также Br^- , B^{3+} , Sr^{3+} и др. Отнесение ионов K^+ к числу главных является спорным. В подземных и поверхностных водах эти ионы, как правило, занимают второстепенное положение. Только в атмосферных осадках ионы K^+ могут играть главную роль.

Под влиянием климатических и других условий химический состав природных вод изменяется и приобретает характерные черты, иногда специфические для различных видов природных вод (атмосферные осадки, реки, озера, подземные воды).

Атмосферные осадки из всех природных вод наименее минерализованы, но по химическому составу растворенных в них веществ они не менее разнообразны, чем другие природные воды. Источником их состава являются аэрозоли атмосферы. Ионный состав их довольно разнообразен. При колебаниях средней многолетней минерализации атмосферных осадков в европейской части России в пределах 10-20 мг/л и экстремальных значениях для всей территории 3-4 и 50-60 мг/л ионный состав характеризуется пестротой, причем среди анионов большей частью преобладает SO_4^{2-} или HCO_3^- , а среди катионов в зависимости от степени удаленности от побережья Ca^{2+} или Na^+ .

Непосредственно у побережья при ветре, дующем с моря, в результате ветрового механического выноса солей концентрация хлора

в осадках бывает повышенной. По мере удаления от побережья относительная концентрация Cl^- падает, а SO_4^{2-} , Ca^{2+} и Mg^{2+} , наоборот, повышается.

Причиной повышения содержания SO_4^{2-} и Ca^{2+} является обогащение атмосферы аэрозолями континентального происхождения. По мере продвижения вглубь континента часть морских аэрозолей вымывается. Наибольшие изменения испытывает концентрация SO_4^{2-} . Если увеличение содержания Ca^{2+} и Na^+ связано, скорее всего, с минеральной пылью почв и пород, на поверхности которых всегда присутствуют эти соли, то увеличение содержания SO_4^{2-} обусловлено, с одной стороны, окислением SO_2 и H_2S , с другой - поднятием сернокислых солей с засоленных поверхностей.

Не поддаются даже приблизительной оценке громадные количества солевых частиц, поднимаемых с почв, соленых озер, поверхности льда, удобрений и, наконец, выбрасываемых химическими и металлургическими производствами, и выбрасываемые в атмосферу в результате другой деятельности людей, а в дальнейшем вымываемые осадками.

Воды большинства рек принадлежат к гидрокарбонатному классу. По составу катионов эта вода имеет почти исключительно преобладание кальция; гидрокарбонатные воды с преобладанием магния и натрия - крайне редкое явление. Из природных вод гидрокарбонатного класса наиболее распространены воды малой минерализации (суммарное содержание солей до 200 мг/л).

Реки с водой, относящейся к сульфатному классу, сравнительно малочисленны. Они распространены преимущественно в степной полосе и частично в полупустынях. В составе катионов природных вод сульфатного класса, так же как и в водах гидрокарбонатного класса, преобладает кальций.

Однако ряд рек сульфатного класса имеет преобладание натрия. По минерализации воды сульфатного класса значительно превосходят воды гидрокарбонатного класса. Речные сульфатные воды с малой (общее количество солей до 200 мг/л) и средней (общее количество солей с 200 до 500 мг/л) минерализацией встречаются сравнительно редко. Наиболее характерна для этих рек повышенная (общее количество солей с 500 до 1000 мг/л), а иногда и высокая (общее количество солей более 1000 мг/л) минерализация воды.

Реки, воды которых относятся к хлоридному классу, встречаются почти так же редко, как и реки, в воде которых преобладают сульфаты. К этой территории относятся преимущественно степные районы и полупустыни. Преобладающими катионами природных вод хлоридного класса являются главным образом ионы натрия. Воды хлоридного класса отличаются высокой минерализацией - свыше 1000 мг/л, реже от 500 до 1000 мг/л.

В распределении ионного состава речной воды на территории России наблюдается определенная закономерность. Имеется общая тенденция к увеличению минерализации воды на большей территории европейской части России с севера на юг и с запада на восток. Зональность ионного состава речных вод объясняется не только действием климатических условий настоящего времени, но и в значительной мере климатом прошлого. Степень выщелоченности почв и пород, наличие в них легкорастворимых солей или засоленность почв - это естественный результат многовекового воздействия соответствующих климатических условий. Нарушают зональность химического состава воды рек на территории России различия состава пород и условий их залегания.

В некоторых поверхностных водах, особенно в реках с болотным питанием, вещества гумусового происхождения являются основной частью химического состава воды. После поступления в хорошо аэрируемые реки, а затем озера и моря органические вещества воды подвергаются изменению, и начатый в почвах процесс окисления завершается для большей их части переходом в простые минеральные соединения. Другая, более устойчивая часть остается и накапливается в водных объектах.

Факторы, влияющие на химический состав воды

Химический состав природной воды определяет предшествующая ему история, т.е. путь, совершенный водой в процессе своего круговорота. Количество растворенных веществ в такой воде будет зависеть, с одной стороны, от состава тех веществ, с которыми она соприкасалась, с другой - от условий, в которых происходили эти взаимодействия. Влиять на химический состав воды могут следующие факторы: горные породы, почвы, живые организмы, деятельность человека, климат, рельеф, водный режим, растительность, гидрогеологические и гидродинамические условия и др.

Огромное влияние на химический состав воды и его изменение с течением времени оказывают источники питания водного объекта и их соотношение. В период таяния снега вода в реках, озерах и водохранилищах имеет более низкую минерализацию, чем в период, когда большая часть питания осуществляется за счет грунтовых и подземных вод. Это обстоятельство используют при регулировании наполнения водохранилищ и сброса из них воды. Как правило, водохранилища наполняют в период весеннего половодья, когда приточная вода имеет меньшую минерализацию.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое вода?
2. Что понимают под химическим составом воды?
3. От чего зависит соленость воды?
4. На что влияют гидрокарбонат ионы?

Лабораторная работа № 2.

Исследование физических показателей качества воды

На земле происходит непрерывный круговорот воды, включающий использование ее на бытовые и производственные нужды человека, потребление растениями и животными, испарение и фильтрацию через почву, и многое другое. Характер процессов, протекающих с участием воды, во многом определяется ее свойствами как индивидуального вещества.

Нормирование качества воды заключается в установлении для воды водного объекта совокупности допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта.

Под физическими свойствами воды понимают ее органолептические свойства (запах, вкус, цвет, прозрачность), а также температуру, плотность, вязкость и т.п. Запах воды может быть как естественного (травянистый, болотный, древесный и т.п.), так и искусственного происхождения из-за загрязнения воды стоками предприятий. При качественной оценке запаха определяется его характер. Характер запаха оценивается словесно (травянистый, землистый,

древесный, гнилостный, затхлый, сернистый, хлорный, углеводородный и т.д.). Количественная оценка интенсивности запаха дается в баллах по пятибалльной шкале (табл. 1). Согласно существующим нормам интенсивность запаха воды при 20°C не должна превышать 2 баллов.

Таблица 1 – Оценка интенсивности запаха и вкуса воды

Оценка в баллах	Характеристика запаха и вкуса
0	Отсутствует
1	Очень слабый
2	Слабый
3	Заметный
4	Отчетливый
5	Очень сильный

Вкус воды обуславливается присутствием в ней веществ, природного происхождения или веществ, которые попадают со сточными водами, а также продуктов жизнедеятельности организмов. При качественной оценке вкуса воды используются четыре вида вкусовых ощущений: горький, сладкий, кислый, соленый. Количественная интенсивность вкуса оценивается по пятибалльной шкале. Интенсивность вкуса питьевой воды не должна превышать 2 балла.

Цветность воды зависит от наличия в ней растворенных и взвешенных примесей (коллоидных соединений железа, гуминовых веществ, взвешенных и окрашенных веществ, водорослей). В зависимости от количества гуминовых кислот и их солей (гуматов) цвет колеблется от желтого до коричневого. Цветность воды определяют качественно и количественно. Результаты качественного исследования цветности воды описывают словесно (бесцветная, светло-желтая, бурая и т.п.). Количественно цвет воды определяют путем сравнения исследуемой воды со шкалой стандартных растворов и выражают в условных градусах этой шкалы (табл. 2). При отсутствии окраски вода считается бесцветной.

Прозрачность воды обусловлена ее цветом и мутностью, т.е. зависит от количества содержащихся в воде взвешенных веществ (частицы песка, глины, почвы и т.п.). Определяют прозрачность воды

непосредственно в водоеме или в пробах для анализа. Результаты качественного определения прозрачности воды путем сравнения с эталоном из дистиллированной воды оценивают словесно (слабо мутная, очень мутная и др.). Количественная оценка прозрачности воды проводится по кресту или шрифту. Прозрачность по кресту устанавливается в водоеме или при контроле качества очистки воды на очистных сооружениях путем нахождения предельной высоты 9 столба воды, через которую просматривается черный крест на белом фоне. Питьевая вода должна иметь прозрачность по кресту не менее 30 см. Определение прозрачности по шрифту в лабораторных условиях основано на нахождении максимальной высоты столба воды в бесцветном цилиндре, через который можно прочитать стандартный шрифт. Прозрачность питьевой воды по шрифту должна быть не менее 30 см.

Таблица 2 – Шкала стандартных растворов

Номер пробирки	Раствор, мл		Градус цветности
	№1	№2	
1	0	50	0
2	0,5	49,5	5
3	1,0	49,0	10
4	1,5	48,5	15
5	2,0	48,0	20
6	Исследуемая вода		

Температура и плотность – общеизвестные параметры воды. Плотность чистой воды зависит от ее температуры и составляет при 15°C - 0,99913 г/см³, при 20°C – 0,99823 г/см³. Плотность природных и сточных вод зависит также и от растворенных соединений. Обычно плотность воды близка к единице.

В этой работе необходимо определить основные физико-химические показатели качества исследуемой воды. Все результаты опытов должны быть занесены в табл. 3. После выполнения всех исследований сравнить полученные показатели с установленными нормативами (предельно допустимыми концентрациями) и сделать вывод о качестве исследуемой воды.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества воды

Показатель	Полученный результат	Нормативные показатели		
		цели водопользования		
		хозяйственно-питьевые	коммунально-бытовые	рыбохозяйственные
Запах		Не более 2 баллов		
Цветность		Не более 20°	Не более 40°	Вода не должна приобретать посторонней окраски
рН		6,5 – 8,5		
Содержание сульфатов		500 мг/л		100 мг/л
Содержание хлоридов		350 мг/л		300 мг/л
Содержание фосфатов		45 мг/л		0,2 мг/л
Содержание железа		1,0 мг/л		0,1 мг/л

Плотность воды является функцией температуры, солёности, давления, коллоидных взвесей). Прирост плотности с увеличением давления невелик (на 11 км Марианского желоба – 4-5 кг/м³), гораздо важнее изменения температуры и солёности. Плотность льда меньше плотности воды, т.к. его молекулярная структура более рыхлая.

При температуре меньшей 0°С с увеличением температуры плотность падает и составляет в среднем 920 кг/м³. В точке плавления она становится равной 999,8 кг/м³ и продолжает расти до 1000 кг/м³ (при температуре 4°С). При последующем увеличении температуры плотность падает. Влияние солёности на плотность также очень велико. Плотность морской воды может достигать 1025-1033 кг/м³.

Тепловые свойства воды:

1. Температура.
2. Температура замерзания.
3. Температура кипения.
4. Температура наибольшей плотности.
5. Удельная теплота плавления.
6. Удельная теплота кипения.

Зависимость температуры замерзания и температуры наибольшей плотности являются различными функциями солёности. Эти зависимости иллюстрируются графиком Хелланд-Хандсена. При солёности равной 24,7 0,1% и температура замерзания, и температура наибольшей плотности равны –1,33 °С. Из графика видно, что морская вода замерзает при температуре меньшей 0°С.

В водоемах происходит вертикальная плотностная конвекция (перемешивание): верхний слой воды охлаждается осенью от воздуха, его плотность увеличивается и он опускается. Такое охлаждение происходит до температуры 4°С, потом перемешивание прекращается и подо льдом оказывается сравнительно теплая вода. Это имеет большое значение для сохранения жизни в водоемах.

Физические аномалии и характерные свойства воды и их гидрологическое значение:

1. Высокая по сравнению с другими веществами температура плавления, поэтому вода на Земле может находиться в твердом состоянии.
2. Сравнительно высокая температура плавления, поэтому вода на Земле может находиться в жидком виде.
3. Плотность льда значительно меньше плотности воды, благодаря этому при замерзании водоема лед экранирует его от дальнейшего охлаждения (лед обладает небольшой теплоемкостью).
4. При температуре от 0 до 4°С с увеличением температуры плотность также увеличивается, поэтому при охлаждении поверхностного слоя до 4°С опускание слоев прекращается.
5. Удельная теплота ледообразования очень велика, поэтому процесс ледообразования идет замедленно.
6. Удельная теплота парообразования очень велика, поэтому процесс парообразования идет замедленно.
7. Удельная теплоемкость очень велика, поэтому вода медленно нагревается и медленно охлаждается.
8. Теплопроводность достаточно мала.
9. Вязкость достаточно мала, поэтому вода является очень текучим веществом, она способна переносить различные объекты.
10. Поверхностное натяжение достаточно велико, поэтому образуется мельник – капиллярные силы, благодаря которому растения способны брать воду из Земли, капли воды обладают большой ударной силой.

Вопросы для самопроверки

5. Что такое вода?
6. Что понимают под физическими свойствами?
7. Что такое вкус воды?
8. Что такое цветность воды?
9. Чем обусловлена прозрачность воды?
10. Что такое температура и плотность?

Лабораторная работа № 3. Состав, характеристики речной системы

Река – это водоток, имеющий течение, в продолжении большей части года, получающий питание со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло, сформированное самим водотоком (рис. 1). По характеру движения воды реку зрелого возраста можно разделить на три участка: верховье с быстрым движением воды, среднее течение, где скорость средней величины, и нижнее течение, где вода движется медленно.



Рис. 1. Основные элементы реки.

К рекам не относятся ручьи, временные водотоки, водотоки без водосбора (приливные водотоки в приморских районах) и водотоки с искусственным руслом, то есть каналы.

Речную систему составляют главная река, впадающая в приемный водоем (океан, море, бессточное озеро), и все впадающие в нее притоки различного порядка.

Вода, стекая со склонов после выпадения осадков, сначала образует мелкие бороздки, которые, сливаясь, образуют русла.

Руслом называется выработанное водотоком ложе, по которому постоянно или периодически происходит движение воды.

Совокупность русел постоянных и временных водотоков называется русловой сетью. Часть русловой сети из русел постоянных водотоков называется речной сетью.

Все водотоки (постоянные и временные), а также водоемы в виде озер, болот и водохранилищ составляют гидрографическую сеть территории. Таким образом, речная сеть лишь часть гидрографической сети.

Каждая река имеет исток, т.е. место на земной поверхности, откуда она берет начало. Истоком может быть озеро, ледник, болото, родники и место слияния двух рек.

Устьем реки называется место впадения ее в море, озеро или другую реку.

В реке также различают верхнее, среднее и нижнее течение.

Основные гидрографические характеристики речной системы: длина составляющих ее рек, густота речной сети, извилистость и разветвленность рек.

Отношение длины участка реки L_i к длине l_i , соединяющей концы этого участка, называется коэффициентом извилистости реки на данном участке:

$$k_{\text{изв}} = L_i / l_i$$

Коэффициент извилистости на отдельных участках рек изменяется от 1 до 2-3, а иногда и больше.

Поскольку на отдельных участках извилистость реки разная, общий коэффициент извилистости реки определяют по формуле:

$$k_{\text{изв.общ.}} = \Sigma L_i / \Sigma l_i = L / \Sigma l_i$$

Сумма длин всех рек в пределах бассейна или какой-либо территории дает протяженность речной сети ΣL_i . Отношение протяжен-

ности речной сети к площади бассейна F характеризует густоту речной сети бассейна или территории:

$$d = \Sigma L_i / F.$$

Густота речной сети в пределах равнинных территорий Европейской части России в целом уменьшается с севера на юг: в лесной зоне она составляет 0,4-0,6 км/км², в степной 0,2-0,3, на Прикаспийской низменности уменьшается до 0,05. На Кавказе с увеличением высоты местности густота речной сети возрастает до 0,8-1,0, а иногда и до 2 км/км².

Нередко русло разветвляется на несколько притоков (рукавов). Степень разветвленности выражается отношением суммы длин всех притоков и главного русла к длине соответствующего участка главного русла L :

$$K_{\text{разв.}} = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n + L/L,$$

где: l_1, l_2, l_3 - длина рукавов.

Следует различать водосбор и бассейн реки. Водосбор реки - это часть земной поверхности и толщи почв и грунтов, откуда данная река получает свое питание. Поскольку питание рек может быть поверхностным и подземным. Различают поверхностный и подземный водосборы, которые могут не совпадать. Бассейн реки - это часть суши, включающая данную речную систему и ограниченная орографическим водоразделом.

Обычно водосбор и бассейн реки совпадают. Однако нередки случаи и их несовпадения. Так, если в пределах речного бассейна часть территории оказывается бессточной, то она, оставаясь частью бассейна, в состав водосбора реки не входит. Такие случаи весьма характерны для засушливых районов с плоским рельефом.

Различают физико-географические и морфометрические характеристики бассейнов.

К первым относятся: географическое положение, климатические условия (осадки, температура), геологическое строение и почвенный покров, рельеф водосбора, растительный покров, озерность, заболоченность.

К морфометрическим характеристикам относятся: площадь, форма, высота и уклон водосбора.

Долины – вытянутые пониженные формы рельефа с общим наклоном тальвега. По происхождению речные долины могут быть тектоническими, ледниковыми и эрозионными.

По форме поперечного профиля их подразделяют на теснины, каньоны, ущелья, V-образные, трапециевидные, корытообразные и др.

В долинах могут образовываться террасы: аккумулятивные – в результате врезания реки в собственные отложения и эрозионные – в результате воздействия потока на коренные породы.

Руслом реки называется часть долины, по которой осуществляется речной сток. Часть дна долины, по которой проходит сток в период низких вод - коренное или меженное русло, а часть долины, сложенная наносами и периодически затапливаемая в половодье и паводки - пойма.

Границы русла реки четко определяются берегами и бровками русла. Пойма четких границ не имеет.

В поперечном профиле долины выделяют склоны долины (вместе с уступом долины и надпойменными террасами) и дно долины. В пределах дна (ложа) долины находятся русло реки и пойма.

Русла рек по форме в плане подразделяются на прямолинейные, извилистые (меандрирующие), разделенные на рукава, разбросанные (блуждающие).

Основные морфологические элементы русла следующие: излучины (меандры), затопляемые подвижные повышения дна – осередки и более высокие, более стабильные и закрепленные растительностью острова, глубокие и мелкие участки русла – плесы и перекаты, донные гряды различного размера.

Полоса в русле реки с глубинами, наиболее благоприятными для судоходства, называется фарватером. Иногда помимо фарватера выделяют линию наибольших глубин. Линии на дне речного русла, соединяющие точки с одинаковыми глубинами, называют изобатами.

Основными морфометрическими характеристиками речного русла являются площадь поперечного сечения, ширина русла B между урезами при заданном его наполнении, максимальная глубина русла.

В гидравлических расчетах часто используют еще две характеристики русла реки – длину смоченного периметра и гидравлический радиус.

Смоченный периметр – это длина подводного контура поперечного сечения речного русла, т.е. линия контакта воды с ограничивающими ее твердыми поверхностями – с дном и берегами, а зимой также и с ледяным покровом.

Для широких и относительно неглубоких русел и для периода открытого русла (без ледяного покрова) величины гидравлического радиуса R и средней глубины h_{cp} практически совпадают, поскольку в этих случаях $r \sim B$.

Максимальная ширина русла на реках может достигать десятков километров (р. Амазонка), а максимальная глубина – 100-110 м (низовья Енисея).

Продольный профиль характеризует изменение по длине реки отметок дна и водной поверхности. Строится обычно по данным наблюдений за уровнем в меженный период. Данные приводятся к одному мгновенному уровню (особенно тщательно в паводок).

Типы продольных профилей

1. Профиль равновесия реки или вогнутый профиль характеризуется уменьшением уклона дна от истока к устью. Образуется в результате наступления равновесия между эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов при стабильном базисе эрозии. (Хотя полного равновесия никогда не наблюдается).

2. Прямолинейный, наблюдается чаще у малых рек (степное Заповольжье).

3. Выпуклый или сбросовый, характеризуется увеличением уклона дна от истока к устью. Встречается редко.

Иногда как отдельный выделяют ступенчатый профиль – с водопадами и порогами (в горах).

Определяющими тип продольного профиля причинами являются:

- топография (удаленность от базиса и разность высот устья и истока);
- литология (какими геологическими породами сложен водосбор);
- гидрологический режим территории (количество осадков, их распределение во времени, дружность паводков и пр.).

Перегибы продольного профиля обычно приурочены к местам впадения притоков (ниже их профиль, как правило, выполаживается), а также к местным базисам эрозии, в качестве которых могут быть главная река для притока, пороги, водопады, проточные озера, водохранилища и др. Уровень приемного водоема (океана, моря, бессточного озера), куда впадает река, называют общим базисом эрозии.

Для характеристики крутизны продольного профиля рек используют понятие уклон реки (отдельно для дна и водной поверхности).

Уклон реки вычисляют по формуле:

$$I = \Delta H_i / L_i,$$

где: ΔH_i – падение; L_i - длина реки на участке.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое речная система?
2. Что такое русло реки.
3. Что такое исток?
4. Типы продольных профилей.

Лабораторная работа № 4.

Речная гидрометрия. Измерение скорости, уровня и глубины воды

Река – это водный поток, которая имеет исток – начало и устье – место впадения реки в море, озеро, водохранилище, другую реку. Река, которая впадает в море, называется главной. Реки, непосредственно впадающие в главную реку, являются притоками I порядка. В них впадают притоки II, III и др. порядков (рис. 2).

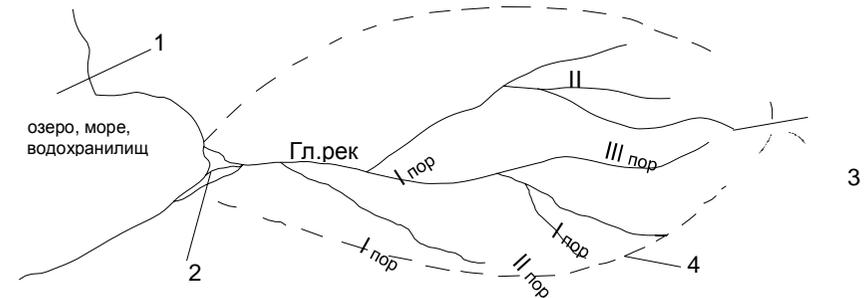


Рис. 2. Речная система:

- 1 – море, озеро, океан; 2 – устье; 3 – главная река; 4 – водораздел;
I, II, III – притоки главной реки соответственно первого, второго, третьего порядков.

Главная река и все её притоки образуют речную систему, а территория, с которой поверхностные и подземные воды стекают в речную систему, именуется водосбором, или бассейном реки. Граница

между бассейнами проходит по наиболее возвышенным участкам местности и называется водоразделом.

Река протекает по пониженной части бассейна – долине, выработанной в ходе многовековой деятельности самой рекой. Долина имеет склоны и дно (рис. 3) и обычно заполнена слоем продуктов разрушения земной коры (ил, песок, гравий, валуны). Они перемещаются потоком и называются аллювием, или наносами. Слой наносов прорезан руслом, в котором сосредоточен речной поток в маловодные периоды (в межень). Поймой называется часть долины, затапливаемая только в многоводные периоды (во время паводков и половодий). Поймы обычно имеют плоскую поверхность и покрыты травяной и кустарниковой растительностью. В плане речное русло имеет прямолинейные участки и изгибы, называемые излучинами (меандрами). На крутых излучинах поверхностные струи воды ударяются в вогнутый берег, отражаются от него и направляются вниз, а затем около дна – к противоположному выпуклому берегу, вызывая поперечную циркуляцию в водотоке (рис. 4). Винтовой характер течения вызывает следующие процессы: размыв вогнутого берега и дна русла и, как следствие, формирование крутых берегов и глубоких участков около них, называемых плесами; перенос продуктов размыва (наносов) и скопление их перпендикулярно течению реки (это перекаты) и к противоположному берегу в виде гряд, называемых побочнями. При спаде уровня скопление донных наносов на выпуклом берегу речной излучины обнажается и в этом случае называется пляжем, или косой.

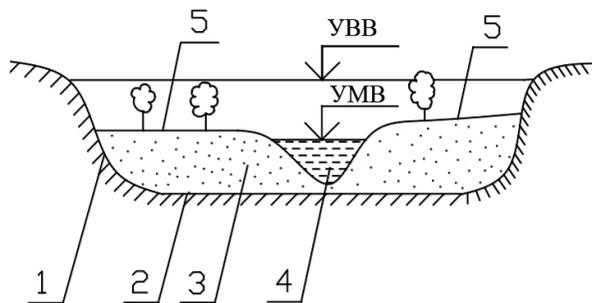


Рис. 3. Долина реки:

1, 2 - склон и дно долины; 3 - наносы; 4 - русло; 5 - пойма;
УВВ – уровень высоких вод, УНВ – уровень малых (низких) вод.

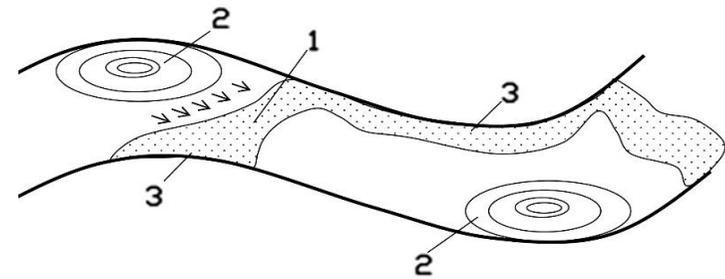


Рис. 4. Русло реки в плане:

1 - перекат; 2 - плес; 3 - побочень.

На участках перехода реки из излучины одного в излучину другого направления образуется перекат – форма донного рельефа в виде гряды наносов, пересекающей русло. Линия наибольших глубин вдоль реки называется фарватером. Продольный профиль (разрез) по фарватеру (рис. 5) характеризует изменение отметок дна и свободной поверхности по длине реки. Разность высотных отметок ΔH воды в двух точках, расположенных на некотором расстоянии L вдоль реки, называется падением реки. Продольный уклон свободной поверхности представляет собой падение, приходящееся на единицу длины потока: $i = \Delta H/L$.

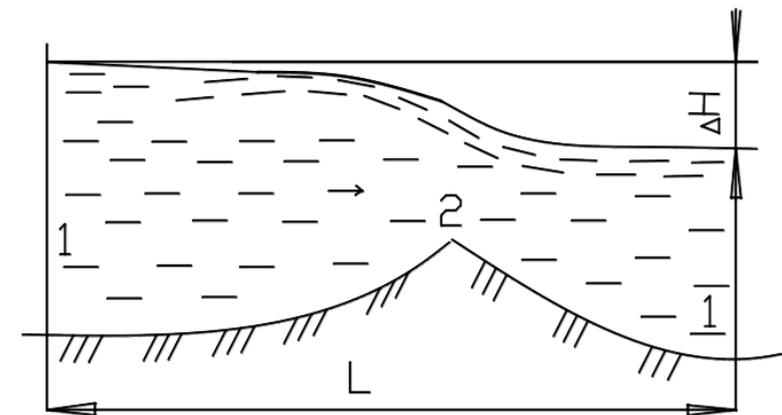


Рис. 5. Продольный профиль по фарватеру:

1 – плес; 2 – гребень переката.

Наблюдение и измерение характеристик речного потока проводят в специально выбранных вертикальных плоскостях, называемых створами. След такой плоскости на плане называют линией створа. Створ чаще располагают перпендикулярно основному течению (нормальный створ, или поперечник), а иногда под углом к нему (косой створ) или вдоль реки (продольник).

Гидрологический режим рек включает водный, термический, ледовый и русловой режимы. Водный режим характеризуется изменением во времени уровней, расходов и объемов воды в реках и почвогрунтах. Основными фазами (периодами) водного режима равнинных рек России являются весеннее половодье, дождевые паводки, летняя и зимняя межени.

В зимнем периоде рек наблюдаются три фазы: замерзание, ледостав и ледоход. Замерзание заканчивается образованием ледяного покрова, а ледостав завершается вскрытием реки.

Замерзание реки начинается с образования неподвижных полосок льда (заберегов) у берегов. Затем вода в реке охлаждается по всей глубине потока до 0°C, и вокруг взвешенных наносов и в придонном слое потока.

Образуются кристаллы льда. Они всплывают на поверхность, образуя шугу. При дальнейшем понижении температуры всплывшие массы льда смерзаются и образуют осенний ледоход. Затем количество и размеры льдин увеличиваются. В условиях низких температур льдины смерзаются и образуют сплошной ледяной покров, т.е. наступает период ледостава.

Весной при таянии снега и поступлении воды в реку поверх льда возникают вспучивания, подвижки, разрушение и движение льда, т.е. начинается весенний ледоход.

Измерение уровня воды

Количество (объем) воды, протекающей в реках и находящейся в озерах, болотах, в почвах и грунтах земной поверхности, непрерывно изменяется. В соответствии с изменением количества воды уровни поверхностей водных объектов также непрерывно меняются. Характер этих колебаний определяется влиянием ряда факторов, обуславливающих многолетние, годовые, сезонные и суточные колебания.

Многолетние колебания уровней связаны с периодическими из-

менениями климата. Длительные (например, вековые) похолодания или потепления вызывают уменьшение или увеличение таяния снегов и ледников на повышенных участках земной поверхности и соответствующие изменения количества воды и её уровня в реках, озёрах, морях. Другой причиной многолетних колебаний являются геологические процессы (поднятие или опускание дна водоёма) или размыв русла рек, снижающий уровень воды в реке.

Годовые колебания уровня вызываются метеорологическими условиями данного года (количеством выпавших осадков, температурой, влажностью воздуха, ветром). Так, в годы с обильными осадками уровни стоят выше, чем в засушливые годы. Сезонные колебания уровня воды зависят от географического положения района и распределения осадков внутри года. Это обстоятельство вызывает подъём уровня на одних реках весной, на других – осенью. На сезонные колебания уровней оказывают влияние гидротехнические сооружения. Суточные колебания наиболее выражены на небольших реках в периоды дождей или на реках, питающихся водой при таянии ледников в горах, вследствие суточного изменения солнечной радиации и температуры воздуха. Значительные суточные колебания наблюдаются в нижних бьефах гидроэлектростанций, работающих по суточному графику нагрузки.

Наблюдения за уровнями воды в реках имеют большое практическое значение. Их результаты используются для рационального и надёжного проектирования и строительства мостов, плотин, гидроэлектростанций, пристаней, водозаборов, ирригационных (оросительных) каналов, дорог и населённых пунктов. Так, построенный без достаточно полного учёта гидрологических условий мост может оказаться препятствием для судоходства на реке в период высоких уровней вод или будет затопляться. Самотечные водозаборы без достаточной изученности режима колебаний уровня реки могут в маловодные меженные периоды оказаться без воды. Населённые пункты и береговые сооружения, находящиеся вблизи реки, в многоводные периоды или в периоды ледохода могут подвергаться разрушительному действию наводнений и льда.

Наблюдения за уровнями воды имеют важное значение для гидрометрии: они позволяют по связи расходов с уровнями воды получить представление о значениях расходов воды за прошлые периоды времени, а также вычислить сток.

Наблюдения за уровнями воды, водомерные посты

Уровнем называется высота поверхности воды, отсчитываемая относительно некоторой постоянной плоскости сравнения, которая называется нулем графика поста. Сведения об уровнях необходимо иметь для возможности проектирования, строительства и эксплуатации различных гидротехнических сооружений, в том числе и мостовых переходов.

Для измерения уровней воды в реках служат водомерные посты. Каждый водомерный пост имеет специальные устройства для непосредственных измерений уровней воды (сваи, рейки, самопишущие приборы и т.д.) и постоянные знаки – реперы, которые используются для определения высотного положения всех водомерных устройств (головок свай, нуля рек). Ноль графика поста принимают ниже самого низкого уровня, для того чтобы отсчеты по водомерной рейке были положительными.

По своему устройству водомерные посты делятся на две группы: простые, на которых измерение уровней воды проводится непосредственно водомерными рейками, и автоматические, на которых колебания уровня воды непрерывно и автоматически воспринимаются датчиком (в качестве датчика обычно используют поплавковое или манометрическое устройство). Автоматические посты оборудованы устройствами фиксации, хранения и передачи данных.

К простым водомерным постам относятся свайные, речные, смешанные (свайно-речные) и передаточные. Свайные посты сооружаются на беспойменных нескальных берегах, речные – на пойменных террасах или скальных берегах, смешанные – на высоких пойменных берегах, передаточные – на обрывистых берегах, затрудняющих доступ к воде. Особенность передаточных водомерных постов состоит в том, что место отсчета переносится с поверхности воды в другой, более удобный для непосредственного наблюдения пункт.

Свайный водомерный пост (рис. 6) состоит из ряда свай, установленных в створе, перпендикулярном течению реки. Сваи применяют деревянные, железобетонные и металлические. Их забивают на глубину ниже линии промерзания, не менее чем на 0,5 м. Торце верхней сваи должен быть на 0,25-0,50 м выше наблюдаемого уровня высоких вод (УВВ), а торце нижней сваи – на 0,25-0,50 м ниже уровня низких вод (УНВ). Сваи устанавливают так, чтобы разность отме-

ток торцов соседних свай составляла 0,7-0,8 м, а при пологом берегу 0,2-0,4 м.

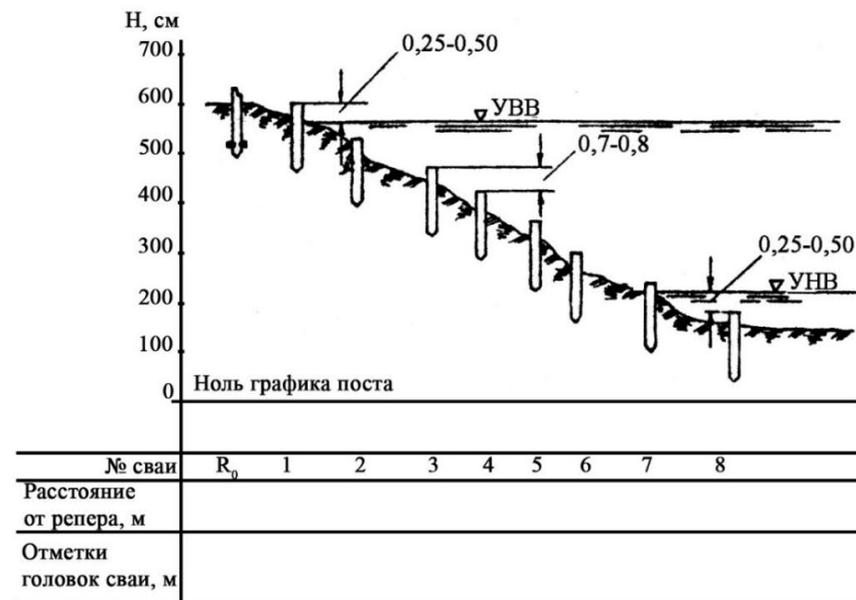


Рис. 6. Свайный водомерный пост.

Возвышение торцов свай над поверхностью земли должно быть не более 0,25 м. Расстояние между сваями принимается не более 2,0 м (для удобства наблюдений). На незатопляемом берегу устанавливается репер. Уровни воды измеряются переносной водомерной рейкой (деревянной или металлической), которая ставится на шляпку гвоздя ближайшей к берегу затопленной сваи.

Речной водомерный пост является наиболее простым по устройству и удобным для производства наблюдений. Для устройства речного поста рекомендуется использовать существующие гидротехнические сооружения (мосты, плотины, набережные).

Водомерные рейки укрепляют на устое моста, на стенке плотины или набережной. Устанавливать их следует в местах, наиболее защищенных ото льда и плавующих предметов (например, с низовой стороны устоев, на боковых стенках сооружений и др.). При отсутствии гидротехнических сооружений водомерные рейки укрепляют на оди-

ночной, специально забитой свае или на кусте свай. Рейки применяют деревянные или металлические.

Смешанные водомерные посты устраивают так, чтобы низкие уровни можно было наблюдать по сваям, а высокие – по рейкам.

Автоматические посты непрерывно фиксируют и записывают значение уровня без участия наблюдателя. Они состоят из датчика поплавкового или манометрического типа и регистрирующего прибора.

Дистанционные посты автоматически регистрируют и передают показания измерений высоты уровня. Они содержат датчик уровня (поплавковый, манометрический, радиоактивный), передающее устройство (радио- или электропроводную связь с источником питания) и регистрирующий прибор (самописец или шкальный указатель).

На каждом водомерном посту ведется журнал, в котором, кроме отсчетов уровней, проводятся записи о различных гидрологических явлениях, наблюдаемых на реке (ледоход, заторы льда, зажоры и т.д.).

Наблюдения на водпостах проводятся ежедневно в 8 и 20 ч по местному времени, а в период половодий чаще, иногда при большой скорости подъема и спада – ежечасно. Если на реке волнение, то отсчеты по рейке берутся дважды – при набеге и отходе волны и определяется их среднее значение. Если уровень приходится на середину деления, то его значение округляют до четного числа. Точность отсчетов при измерении уровней составляет 1 см.

Кроме уровней на водпосту измеряют температуру воды и воздуха, отмечают направление ветра, волнение на реке, изменение русла, появление водной растительности, начало и конец навигации, наблюдают за ледовыми явлениями: осенью – за появлением сала (отдельные скопления смерзшихся ледяных игл в воде), шуги (рыхлые скопления льда и снега), зажоров (скопление шуги подо льдом) и весной – за появлением закраин (полосы открытой воды вдоль берегов), подвижки льда, ледохода, заторов (задержки льда при ледоходе). Измерение толщины льда, снега на льду и подледной шуги проводятся 10-го, 20-го числа и в последний день месяца.

По результатам обработки материалов водомерных наблюдений составляют график колебаний уровней (рис. 7).

Определение продольного уклона водной поверхности

Определение продольного уклона водной поверхности необходимо при определении скоростей течения и расходов воды гидравлично-

гидрометрическим методом, а также при определении отметок во время построения плана участка реки (канала).

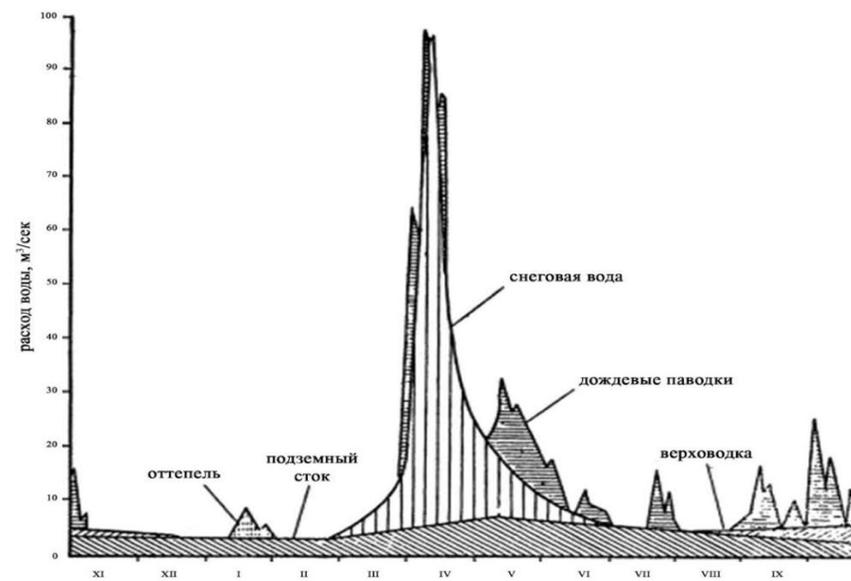


Рис. 7. График колебаний уровней вод в реках.

При динамичном изменении уровня определение продольного уклона целесообразно проводить трижды. Для возможности сопоставления результатов продольный уклон определяют при срезочном уровне во время разбивки створов, а также во время измерения скоростей течения поплавками и гидрометрической вертушкой.

Для измерения уклона в двух точках, находящихся на участке около уреза, одновременно забивают колышки заподлицо с поверхностью воды. Данные точки с целью повышения точности результатов следует брать по возможности дальше друг от друга (с учетом оптических возможностей нивелира) и лучше в ранее разбитых створах для исключения дополнительных промеров расстояний. Верхние торцы колышков должны быть ровно отпилены. При наличии волнения целесообразно рядом с урезом воды выкопать небольшие приямки, сообщающиеся с потоком узкой горловиной. Упомянутые колышки в этом случае забивают в приямки.

Нивелир устанавливают на равном расстоянии от забитых колыш-

ков. На колышки ставят нивелирные рейки и определяют превышение между уровнями воды в рассматриваемых точках. При необходимости по дальномеру или с помощью ленты измеряют расстояние между колышками. Результаты записывают в журнал нивелирования. Продольный уклон водной поверхности определяют по полученным данным при камеральной обработке.

Измерение глубин в реках

Глубина – это расстояние от поверхности воды до дна по вертикали. Теоретически для точного вычисления площади живого сечения глубина должна измеряться в его плоскости, т.е. по нормали к свободной поверхности. Однако уклон водной поверхности рек обычно менее 10° и, следовательно, разница между указанными глубинами не превышает 1,5%, т.е. лежит в пределах точности измерения глубин. Поэтому для упрощения производства работ глубины измеряют по вертикали.

Значения глубин используются для определения геометрических характеристик живых сечений, построения продольных и поперечных профилей, планов рек в изобатах (линиях равных глубин) и др. Значения необходимы не только для решений этих задач гидromетрического характера, но и для проектирования самих конструкций мостовых переходов и других гидротехнических сооружений.

Приборы, методика и обработка результатов при измерении глубин

Приборы, которые применяются для измерения глубин в реках, подразделяются на две группы: приборы для измерения глубин в отдельных точках и приборы для непрерывного измерения глубин (профилографы). К первой группе относятся водомерные и нивелировочные рейки, наметки, ручные и механические лоты. Ко второй группе относятся эхолоты.

Рейками измеряют глубины до 2 м. С помощью наметки измеряют глубины до 6 м. Наметка представляет собой деревянный шест диаметром

4-5 см и длиной 4-7 м. Шест окрашивается белой масляной краской и размечается на дециметры красной краской. На нижний конец наметки надевается металлический башмак массой 0,5-1,0 кг.

Глубины более 6 м измеряют лотом. Он представляет собой чугунный груз массой 0,5-100 кг, который имеет цилиндрическую, конусообразную, пирамидальную или рыбовидную форму. Лот опускается в воду или вручную (ручной лот), или с помощью лебедки (механический). Ручной лот имеет груз массой до 10 кг. Груз привязывается к пеньковой бечеве (лотлиню). Лотлинь размечается через 10-20 см цветными лоскутами или кожаными марками. В качестве лотлиня может использоваться мягкий стальной трос. Механический лот имеет груз массой до 100 кг. Масса груза и диаметр троса принимаются в зависимости от скорости течения.

Профилографы позволяют непрерывно автоматически регистрировать глубины при большой скорости перемещения (до 17 км/ч) с передачей отсчетов на стрелочный указатель или прибор фиксации данных. По принципу действия их делят на механические, гидростатические и акустические.

Механические профилографы измеряют глубину с помощью промерного груза на тросе или штанги, упирающейся нижним концом в дно (регистрируют ее наклон, который определяется глубиной).

Гидростатические профилографы снабжены датчиком давления, перемещаемым на тросе по дну. Их действие основано на зависимости гидростатического давления на дне от глубины. В качестве датчика обычно используются сифоны (цилиндры с гофрированной боковой поверхностью).

Акустические профилографы (эхолоты) позволяют определить глубину по скорости звука в воде (1460 м/с при 10°C) и по времени хода ультразвуковых колебаний от излучателя до дна и обратно до приемника, которое пропорционально глубине.

При ширине реки менее 300 м и скорости течения не более 1,5 м/с измерение глубин проводится с лодки, которая перемещается по тросу. Поперек реки натягивается трос, размеченный через 2-5 м. Один конец троса закрепляется на берегу, а другой конец натягивается на противоположном берегу вручную или с помощью лебедки. Глубины измеряются через каждые 2-5 м в зависимости от ширины реки.

С помощью нивелира устанавливается отметка уреза воды. Для этого используется постоянный или временный репер.

При ширине реки более 300 м измерение глубин проводится с лодки, положение которой фиксируется с помощью теодолита. На берегу

реки разбивается базис, в конце которого устанавливается теодолит. Лодка перемещается по гидроствору, который закрепляется береговыми вехами. Положение лодки засекается теодолитом (измеряется горизонтальный угол). С помощью нивелира устанавливается отметка уреза воды.

На основании результатов измерения глубин строится план дна реки в горизонталях или изобатах (линиях равных глубин) и вычерчиваются профили живых сечений в различных гидростворах. На рис. 8 приведен образец профиля живого сечения реки. Для каждого профиля вычисляют следующие морфологические характеристики:

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

$$\omega = V0,5(h_i + h_{i+1})e_i, \quad (1)$$

где: e_i – расстояние между соседними вертикалями, м; h_i и h_{i+1} – глубины на соседних вертикалях, м (см. рис. 8);

2) *смоченный периметр* χ – длина контура живого сечения по стенкам русла; измеряется на чертеже (курвиметром, линейкой) или подсчитывается по формуле:

$$\chi = \Sigma(e_i^2 + (h_{i+1} - h_i)^2)^{0,5}; \quad (2)$$

3) *ширина реки* B определяется разностью расстояний урезом левого и правого берегов от постоянного начала;

4) гидравлический радиус $R = \omega/\chi$;

5) средняя глубина $h_{cp} = \omega/B$;

б) *наибольшая глубина реки* h_{max} устанавливается по промерной книжке.

Результаты промеров по поперечникам позволяют составить *план реки в изобатах* (линия равных глубин) аналогично построению плана местности в горизонталях. Отличие состоит в том, что отсчет делается не от горизонтальной плоскости вверх, а от свободной поверхности реки вниз (рис. 9).

Для составления *продольного профиля реки* (рис. 10) наносят линии свободной поверхности и дна вдоль фарватера, а также уровень реки самого высоководного года, и делают отметки бровок берега, реперов, населенных пунктов.

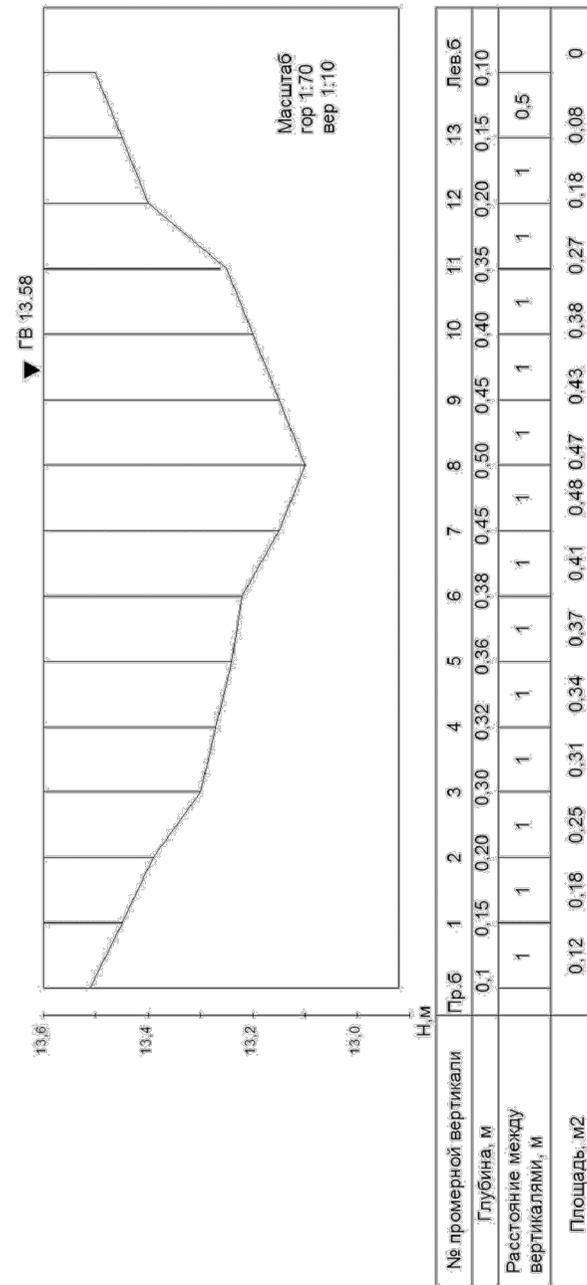


Рис. 8. Поперечный профиль реки.

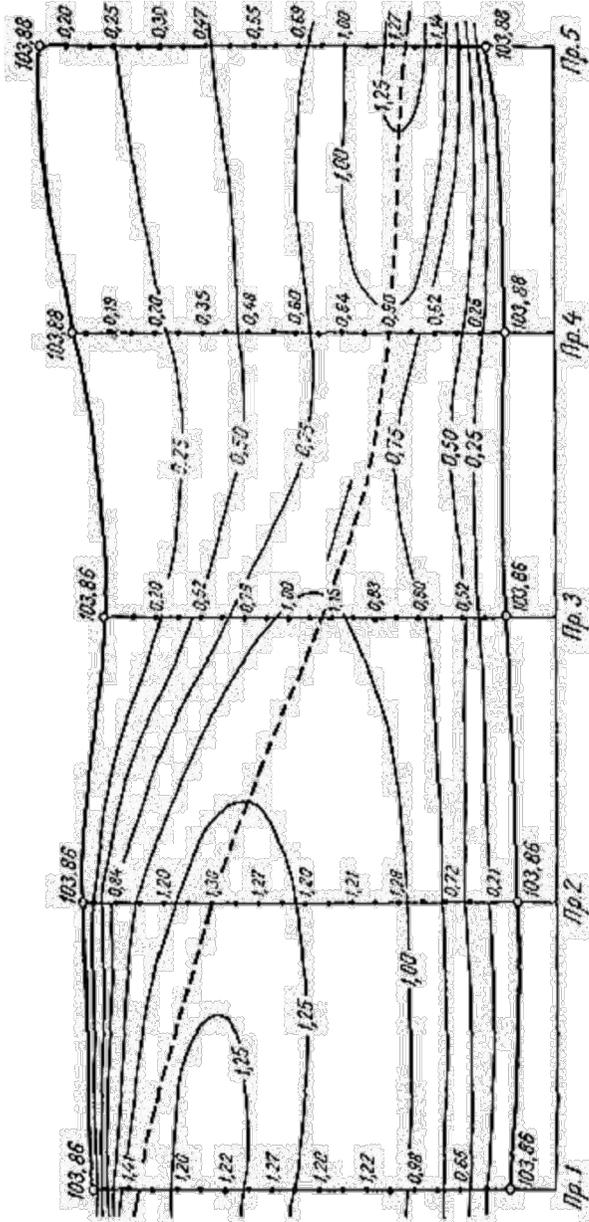


Рис. 9. План реки в изобатах.

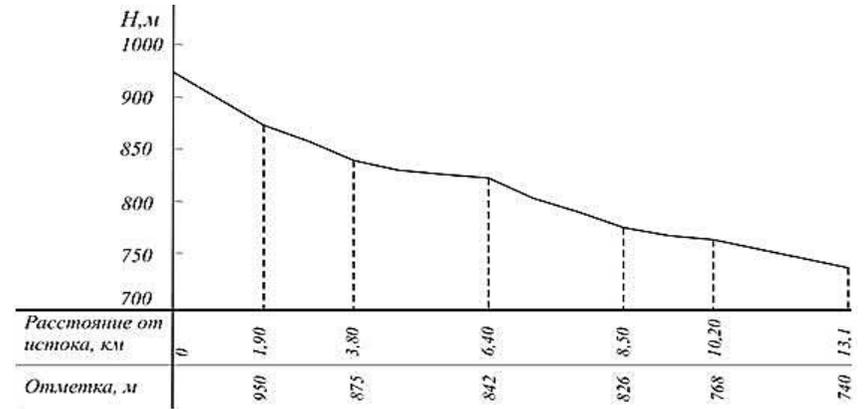


Рис. 10. Продольный профиль реки.

Предварительно наносят на план линии урезов воды, они являются изобатами с нулевыми глубинами. Обозначают на плане точками промерные вертикали и записывают около них соответствующие глубины, ориентируясь на которые проводят изобаты. На плане намечают точки, соответствующие наибольшим глубинам на профилях и галсах, и проводят через них линию наибольших глубин – *фарватер*.

Измерение скорости течения

Определение скоростей течения воды необходимо при измерении расходов воды, а также при изучении течений для нужд судоходства и лесосплава, строительства мостов и гидротехнических сооружений, при изучении скоростного поля рек, водохранилищ и озер для решения ряда научных и практических задач. Существуют проверенные методики и специальные приборы для измерения скорости течения.

Распределение скоростей в речном потоке

Скоростью течения называется путь, который частица воды проходит в единицу времени.

Течение в реке вызывается силой тяжести воды, которая движется по руслу под уклон с высоких мест (от истока) на низкие (к устью реки). Ее скорость возрастает с увеличением продольного уклона реки и снижается на участках с более шероховатым руслom. Ввиду подтормаживающего действия поверхности русла скорость течения вблизи дна и берегов меньше, чем у поверхности или на середине реки.

Движение воды в реках почти всегда турбулентное. Неровности

дна русла (выступы, камни, гряды) вызывают завихрения (вращение) масс жидкости, которые, отрываясь от дна, перемещаются во всей толще потока и создают пульсации скорости около некоторого осредненного значения с относительно большим периодом времени. Поэтому для более точного определения осредненной во времени скорости при гидрометрических работах ее фиксируют в каждой точке (не менее, чем 100 с).

Рассмотрим распределение осредненной продольной местной скорости V по глубине и ширине потока. Распределение скоростей по глубине потока (рис. 10, а) может быть описано формулой:

$$V = V_n (y/h)^{1/7}, \quad (3)$$

где: V_n - поверхностная скорость; y - расстояние от дна; h - глубина воды на вертикали.

Если измерить площадь эпюры скоростей и разделить ее на глубину вертикали, то получим *среднюю скорость на вертикали* V_B . Наблюдениями установлено, что средняя скорость на вертикали открытого потока обычно равна местной скорости на глубине $0,6h$ от поверхности, а ее отношение к поверхностной скорости лежит в диапазоне $K_B = 0,85 - 0,65$ и определяется по формуле:

$$KB = VB/Vn = C/(C+8), \quad (4)$$

где C - коэффициент Шези (скоростной множитель).

Нормальный вид эпюры скоростей может искажаться под влиянием различных факторов, например, наличия неровности дна или водорослей, ледяного покрова (рис. 11).

Отношение средней по живому сечению скорости V к максималь-

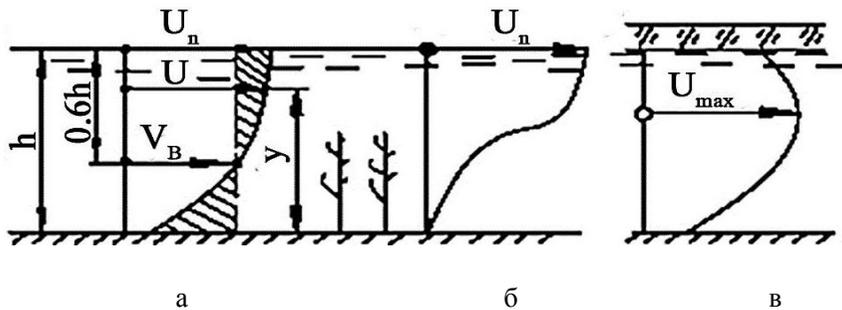


Рис. 11. Распределение скоростей по глубине:

а - нормальное, б - при наличии водорослей, в - при ледяном покрове.

ной поверхностной скорости V_{max} может быть оценено по формуле:

$$K = V/V_{max} = C/(C + 14). \quad (5)$$

Приборы для измерения скоростей

Основными приборами для измерения скоростей течения воды в реках и каналах являются гидрометрические поплавки и вертушки (рис. 12).

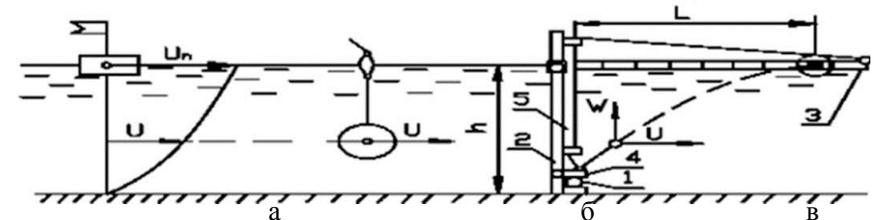


Рис. 12. Гидрометрические поплавки:

а - поверхностный; б - глубинный; в - интеграционный.

Поплавком называют тело, свободно перемещаемое потоком. В речной гидрометрии чаще всего применяют поверхностные поплавки, реже глубинные и поплавки-интеграторы.

Поверхностные поплавки применяются для измерения скоростей и направлений течения на *свободной поверхности* водотока. Они чаще изготавливаются в виде деревянных кружков диаметром 10 - 30 см, толщиной 3 - 5 см и снабжаются флажком для улучшения их видимости (рис. 11, а). Более точно отражают движение поверхностного слоя воды поплавки в виде крестовин из поставленных на ребро досок. В качестве поверхностных поплавков могут использоваться частично наполненные водой бутылки, отдельные куски древесины, пятна масла на воде, льдины и другие предметы, плывущие по реке.

Принцип измерения скорости поплавками непосредственно вытекает из ее определения как пути, пройденного в единицу времени:

$$V_n = L/t, \quad (6)$$

где: L - длина траектории поплавка, пройденная им за время t .

Для работы с поплавками на малых реках в качестве дополнительного оборудования нужен секундомер, а на больших - еще лодка и угломерный инструмент для фиксирования положения поплавков

в плане аналогично координированию промеров глубин.

Точность определения поверхностной скорости зависит от погрешностей измерений пути и времени. К недостаткам поверхностных поплавков можно отнести невозможность измерения ими скоростей течения в отдельных точках и в ветреную погоду.

Глубинные поплавки позволяют измерять скорость и направление течения на заданной глубине. Глубинный поплавок состоит из двух связанных нитью поплавков (рис. 12, б). Нижний поплавок значительно больше верхнего и представляет собой проваренный в олифе деревянный шар или сосуд (бутылка, пузырек), частично заполненный водой или песком с таким расчетом, чтобы его средняя плотность немного превышала плотность воды. Верхний поплавок – легкий, изготавливается из пробки или пенопласта. Он удерживает нижний поплавок на нужной для определения скорости глубине и указывает его положение в плане. Методика определения скоростей та же, что и для поверхностных поплавков.

Интеграционные поплавки позволяют сразу измерить среднюю по вертикали (глубине) скорость течения. В качестве поплавков - интеграторов применяют деревянные, пенопластовые или другие легкие шарики, а иногда масляные капли или пузырьки воздуха, закачиваемого по шлангу на дно русла.

Для измерения скорости поплавков 1 с помощью устройства, состоящего из штанги 2 и плавающей рейки 3, погружают на дно, затем выпускают его, поднимая накладку 4 шнуром 5 (рис. 12, в). Поплавок всплывает на поверхность с постоянной скоростью w и одновременно сносится течением на расстояние L с переменными по глубине скоростями V , интегрируя их. Измерив время всплытия t , можно определить среднюю скорость на вертикали, как $V_{\text{ср}} = L/t$. Измерение времени всплытия можно исключить, так как его можно вычислить по формуле $t = h/w$ через глубину на вертикали h , если заранее определить опытным путем скорость всплытия w поплавка в стоячей воде. Поплавок-интегратор дает погрешность измерения более 10 %.

Гидрометрическая вертушка является наиболее распространенным и надежным прибором для измерения скорости течения воды в реках. Метод измерения вертушкой основан на зависимости частоты вращения лопастного винта от скорости набегающего на него потока.

Градуировка вертушки представляет собой процесс, обратный

процессу измерения скоростей течения. При этом определяются частоты вращения винта при разных известных скоростях перемещения вертушки в стоячей воде и по ним строится градуировочная зависимость. В этом случае движение воды заменяется на движение самой вертушки.

Различают два способа измерения скоростей течения воды вертушками: точечный и интеграционный. *Точечный* способ заключается в измерении скоростей $V_{\text{г}}$ в фиксированных точках. Эти точки и вертикали, на которых измеряют скорости, называют скоростными. При пятиточечном способе скорости измеряют на вертикали: у поверхности, на глубине $0,2h$; $0,6h$; $0,8h$ (считая от поверхности воды) и у дна. Скорости в этих точках – $V_{\text{гр}}$, $V_{0,2}$, $V_{0,6}$, $V_{0,8}$, $V_{\text{д}}$, а средняя скорость на вертикали:

$$V_{\text{B}} = (V_{\text{гр}} + 3V_{0,2} + 3V_{0,6} + 3V_{0,8} + V_{\text{д}}) / 10. \quad (7)$$

В случае измерения скоростей в трех, двух и одной точках

$$V_{\text{B}} = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8}) / 4, \quad (8)$$

$$V_{\text{B}} = (V_{0,2} + V_{0,8}) / 2, \quad (9)$$

$$V_{\text{B}} = V_{0,6}. \quad (10)$$

Пятиточечный способ обычно применяют при глубине $h > 1$ м, трехточечный – при $0,6-1,0$ м, двухточечный – при $0,35-0,6$ м, одноточечный – при глубине менее $0,35$ м.

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

$$V_{\text{B}} = kN/t = kn, \quad (11)$$

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

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

Вопросы для самопроверки

1. Что такое река?
2. Что включает гидрологический режим рек?
3. Что образует речную систему?
4. Что характеризует продольный профиль?
5. От чего зависят годовые колебания уровня воды в реках?
6. От чего зависят сезонные колебания уровня воды в реках?
7. Для чего нужны наблюдения за уровнем воды в реках?
8. Что называется уровнем воды?
9. Для чего служат водомерные посты?
10. На какие группы делятся водомерные посты?
11. Что относится к простым водомерным постам?
12. Из чего состоит свайный водомерный пост?
13. Продольный уклон водомерной поверхности?
14. Сколько раз проводят изменение уровня определение продольного уклона?
15. Что такое глубина реки?
16. Для чего используют значения глубин?

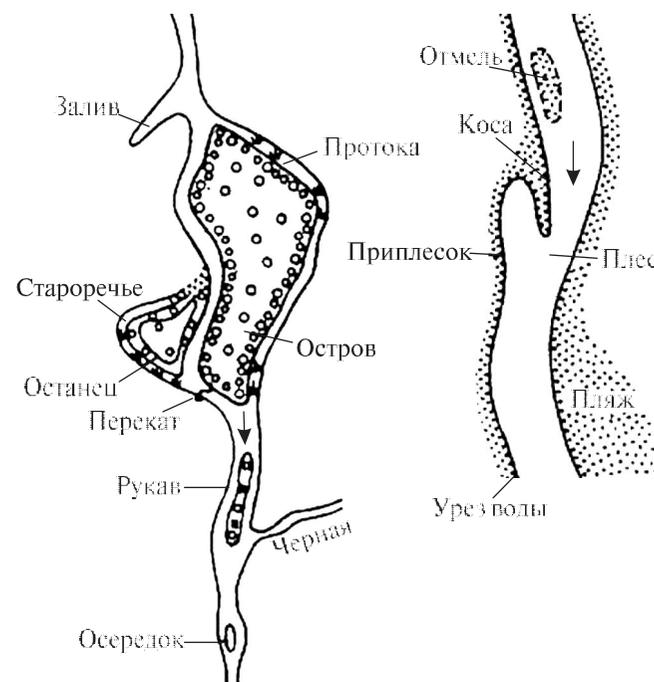


Рис. 13. Формы русловых образований.

Лабораторная работа № 5. Кинематика речного русла. Использование гидрографов для определения стока

Русло реки – это часть дна долины, по которой осуществляется сток воды. Русла равнинных рек извилистые, характеризуются наличием подвижных скоплений наносов, формирующих русловые образования.

Рассмотрим основные *морфологические элементы русла* (рис. 13).

Остров – часть поймы, ограниченная рукавами или протоками реки, устойчивая и закрепленная растительностью.

Осередок – затопляемое и подвижное повышение дна.

Протока – ответвление реки от основного русла с меньшими размерами.

Рукав – часть русла реки, отделенная островом.

Залив (затон) – глубоко вдающийся в берег залив в реке.

Староречье (старица) – отделившийся участок ранее существовавшего русла реки.

Останец – островное возвышение между основным руслом и староречьем, устойчивое и закрепленное растительностью.

Перегат – более или менее устойчивое образование в русле в виде поперечного вала из наносов, пресекающего русло под некоторым углом.

Плес – более глубокий участок реки по сравнению с выше и ниже расположенными участками.

Приплесок – узкая полоса (песчаная, галечная) по береговому склону, заливаемая даже при небольших подъемах уровня воды.

Отмель – мелководное место в русле, обсыхающее при очень низкой воде.

Коса – узкая намывная полоса, одним концом к берегу, а другим выступающая в сторону реки.

Пляж – широкая ровная береговая полоса, примыкающая к руслу, сложенная наносами (чаще песчаными).

Размеры и формы русла, как и речной долины, изменяются по

длине реки в зависимости от водности, строения долины, характера пород и грунтов, которыми оно сложено. Морфологические особенности русла можно отобразить в виде его плана с изобатами и поперечного профиля.

Основными **морфометрическими характеристиками поперечного сечения** речного русла являются площадь поперечного сечения, ширина и глубина русла, смоченный периметр и гидравлический радиус.

Площадь поперечного сечения (m^2) – площадь, ограниченная профилем русла и уровнем воды. При определении расхода воды выделяют площадь живого сечения, которая меньше площади поперечного сечения на величину мертвого пространства (застойной зоны).

Ширина русла B (м) – расстояние между урезами русла по линии, перпендикулярной потоку.

Глубина русла h (м) – расстояние по вертикали от поверхности воды до дна. Различают максимальную глубину h_{max} и среднюю глубину h_{cp} – частное от деления площади поперечного сечения на ширину русла.

Смоченный периметр (м) – длина подводного контура поперечного сечения.

Гидравлический радиус R (м) – частное от деления площади поперечного сечения на длину смоченного периметра. Для равнинных рек, смоченный периметр которых незначительно превышает ширину. Наличие в русле реки различных углублений дна, выступов, неровностей и других особенностей влияет на характер и интенсивность русловых процессов.

Речной сток в широком смысле – главный элемент материкового звена глобального круговорота вещества и энергии. Речной сток – это одновременно и характеристика количества стекающей воды, и процесс стекания воды в речных системах.

Водные потоки, воздействуя на земную поверхность, производят разрушение и смыв слагающих ее горных пород и почв, перемещение разрыхленного материала вниз по течению и, наконец, отложение (или многократное переотложение) последнего на относительно низких уровнях либо там, где поток прекращает свое существование (например, втекая в водоем).

Все водные потоки на поверхности суши делятся на три основных

звена [1]:

1) **нерусловые потоки** талых или дождевых вод, текущие по поверхности склонов и производящие смыв почвы;

2) **русловые временные потоки**, текущие по ложбинам, лощинам, оврагам, балкам и производящие размыв покровных пород;

3) **реки** – постоянные русловые потоки, протекающие в долинах, врезанные в водоносные горизонты (иногда и в коренные породы) до некоторого базисного уровня.

Продукты эрозии перемещаются потоками первого (верхнего) звена только в пределах длины склона, потоками второго звена – до ближайшего местного базиса эрозии. Лишь реки переносят твердый материал на большие расстояния.

Русловые процессы в реках непрерывны и постоянно изменяются в зависимости от гидрологического режима. Интенсивность, характер и направленность русловых процессов определяются взаимодействием движущейся воды, перемещаемых водой наносов и слагающих ложе потока грунтов. Под влиянием этого взаимодействия возникают различные формы русла, которые, в свою очередь, становятся фактором, влияющим на гидравлические параметры потока.

Сток – это процесс стекания воды с водосборов вместе с содержащимися в ней веществами и теплотой. Поэтому речной сток – важнейший элемент материкового звена глобального круговорота воды и веществ, а также мощный геологический агент, главнейший фактор, определяющий взаимосвязь между различными объектами суши и гидросферы.

Речной сток формируется в результате поступления в реки вод атмосферного происхождения, при этом часть атмосферных осадков стекает с реками в океан или бессточные озера, другая часть испаряется. Однако при единстве атмосферного происхождения всех речных вод непосредственные пути поступления вод в реки могут быть различными.

Выделяют четыре вида питания рек: дождевое, снеговое, подземное и ледниковое.

Воды рек и других водотоков всегда содержат в себе то или иное количество твердых частиц и растворенных веществ. Общее количество этих продуктов, проносимое водотоком за определенный период, например за год, называется **твердым стоком**. Твердые час-

тицы, транспортируемые водой, принято называть **наносами**. Наносы состоят из минеральных зерен различной крупности; в состав наносов могут входить также частицы органического происхождения.

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

Транспортируемые водным потоком наносы принято разделять на *взвешенные*, перемещающиеся в толще потока во взвешенном состоянии, и *донные* (их иногда называют влекомыми). Такое деление является условным, так как частицы одной и той же крупности могут перемещаться как во взвешенном состоянии, так и путем влечения по дну в зависимости от скорости течения: чем больше скорость потока, тем более крупные частицы могут переходить во взвешенное состояние. Однако разделение наносов на взвешенные и донные удобно в методическом отношении, так как изучение отдельных видов наносов проводится различными методами. Донные наносы состоят из более крупных частиц, чем взвешенные.

Твердый сток реки может быть определен в полном объеме только в результате учета всех указанных категорий наносов и *растворенных веществ*. При гидрометрических измерениях отдельно учитывают расход взвешенных наносов (R , кг/с), расход донных наносов (G , кг/с) и расход растворенных веществ (S , кг/с).

Изучение твердого стока рек имеет большое научное и практическое значение. Знание режима движения, состава и объема стока наносов позволяет решать ряд весьма важных проблем практического назначения. Например, большое значение этот вопрос приобретает в связи с проектированием и эксплуатацией водохранилищ, расчет заиления которых не может быть выполнен достаточно надежно без фактических данных о стоке наносов. В районах орошаемого земледелия учет стока и режима движения наносов необходим для разработки мероприятий по предупреждению заиления каналов и водохранилищ. Большое значение изучение режима движения наносов и их отложений имеет для судоходства. Для улучшения судоходных условий рек ежегодно ведутся в большом объеме выправительные и

дноуглубительные работы. Учет количества и состава наносов весьма важен при проектировании гидроэлектростанций: под действием наносов могут истираться лопатки турбин, стенки подводных трубопроводов и др.

При использовании рек для водоснабжения, обводнения, орошения необходимо учитывать химический состав воды и количество растворенных в ней веществ. Весьма важно знать химический состав воды при гидротехническом строительстве, так как содержащиеся в воде вещества могут оказывать агрессивное воздействие на бетонные сооружения.

Наносы можно классифицировать по размеру частиц. За размер частицы принимают ее средний диаметр. Частицы в зависимости от состава (глина, ил, песок) подразделяются на мелкие, средние и крупные.

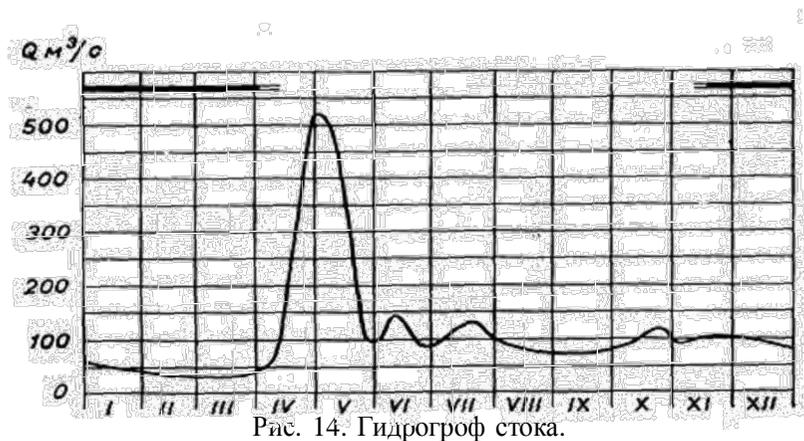
Движение донных наносов заключается в силовом воздействии потока, приводящем к раскачиванию отдельных частиц и отрыву их ото дна. При отрыве частица приобретает вращательное движение и поднимается на некоторую высоту, затем падает на дно. Такое скачкообразное движение называется сальтацией. Кроме сальтации, наблюдается перемещение наносов перекачиванием и реке скольжением по дну.

Возрастание водности и соответственно содержания наносов в реках обычно сопутствует увеличению мутности. Величина мутности в реках, содержащих мало наносов, составляет несколько десятков граммов в кубометре воды.

Использование гидрографов для определения стока

Для расчетов гидрографов стока рек применялась универсальная детерминированная распределенная модель формирования стока «Гидрограф». Для создания информационной базы, обобщения и систематизации параметров модели использовались методы геоинформационного картографирования.

Гидрографом стока называется график хронологического хода уровней воды (рис 14). По вертикальной оси откладывается время (месяцы и дни), по горизонтальной – расходы воды. На таком графике наносят ежедневные значения расходов воды и соединяют их линиями.



Площадь, ограниченная линией гидрографа и осями координат – объем воды проходящей для определенного пункта за год. В практике гидрологических расчетов строят гидрографы за годы: многоводный, средний, маловодный.

При наличии данных многолетних наблюдений строят типовой гидрограф стока, который отражает характер колебаний расходов воды в данном пункте.

Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков необходимо рассчитывать при проектировании водохранилищ, отводе вод от сооружений в период их строительства, расчете затопления пойм и лиманов, пропуске высоких вод через дорожные и другие искусственные сооружения.

Форма расчетных гидрографов принимается по моделям наблюдаемых высоких весенних половодий или дождевых паводков с наиболее неблагоприятной их формой, для которых основные элементы гидрографов и их соотношения должны быть близки к расчетным.

Для расчета отверстий дорожных и других искусственных сооружений допускается принимать схематизацию гидрографов стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков по геометрическим формам.

Гидрографы речного стока следует рассчитывать по равнообеспеченным значениям максимального расхода воды, объема стока воды основной волны и объема всего весеннего половодья (дождевого паводка) расчетной ежегодной вероятности превышения.

Расчетные гидрографы стока воды рек определяются:

- а) для весеннего половодья - по среднесуточным расходам воды; гидрографы внутрисуточного хода стока воды рассчитываются, если величина максимального мгновенного расхода воды в 1,5 раза больше соответствующего ему среднесуточного расхода воды;
- б) для дождевых паводков - по мгновенным расходам воды.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое кинематика речного русла?
2. Для чего нужен гидрограф?
3. Что понимают под твердым стоком?
4. Что такое речной сток?

Лабораторная работа № 6.

Оконтуривание бассейна реки и определение его площади

Следует различать водосбор и бассейн реки. Водосбор реки – это часть земной поверхности и толщи почв и грунтов, откуда данная река получает свое питание. Поскольку питание рек может быть поверхностным и подземным, различают поверхностный и подземный водосборы, которые могут не совпадать. Бассейн реки - это часть суши, включающая данную речную систему и ограниченная орографическим водоразделом.

Обычно водосбор и бассейн реки совпадают. Однако нередки случаи и их несовпадения. Так, если в пределах речного бассейна, в состав водосбора реки не входит. Такие случаи весьма характерны для засушливых районов с плоским рельефом. Несовпадение границ бассейна, выделяемых по орографическому водоразделу, и границ водосбора может быть и в тех случаях, когда границы поверхностного и подземного водосборов не совпадают, т.е. когда часть подземного стока либо поступает из-за пределов данного бассейна, либо уходит за его пределы.

Бассейны (водосборы) рек, впадающих в один и тот же приемный водоем (озеро, море, океан), объединяются соответственно в бассейны (водосборы) озер, морей, океанов. Выделяют главный водораздел земного шара, который разделяет бассейны рек, впадающих в Тихий и Индийский океаны, с одной стороны, и бассейны рек, впа-

дающих в Атлантический и Северный Ледовитый океаны – с другой. Кроме того, выделяют бессточные области земного шара, откуда находящиеся там реки не доносят воду до Мирового океана. К таким бессточным областям относятся, например, бассейны Каспийского и Аральского морей, включающие бассейны Волги, Урала, Терека, Куры, Амударьи, Сырдарьи.

Основными морфометрическими характеристиками речного бассейна служат: площадь бассейна F ; длина бассейна L_b , обычно определяемая как прямая, соединяющая устье реки и точку на водоразделе, прилегающую к истоку реки; максимальная ширина бассейна B_{\max} , которая определяется по прямой, нормальной к длине бассейна в наиболее широкой части; средняя ширина бассейна $B_{ср}$, вычисляемая по формуле:

$$B_{ср} = F / L_b.$$

Длина водораздельной линии $L_{вдр}$.

Важной характеристикой бассейна служит распределение площади бассейна по высотам местности, представленное *гипсографической кривой*, показывающей, какая часть площади бассейна (в км^2 или %) расположена выше любой заданной отметки местности.

С помощью гипсографической кривой можно рассчитать такую важную характеристику, как *средняя высота бассейна*. Для этого площадь фигуры F^2 , ограниченной гипсографической кривой и осями координат, делят на площадь бассейна F .

Среднюю высоту бассейна можно определить и без гипсографической прямой по формуле:

$$H_{ср} = 1/F (\text{знак суммы } n \text{ по } i=1) \sum_{i=1}^n H_i \cdot f_i,$$

где: H_i – средняя высота любых любых высотных интервалов в пределах бассейна, вычисляемая как среднее из отметок горизонталей (изогипс), ограничивающих эти интервалы; f_i – площадь части бассейна между горизонталями; F – полная площадь бассейна; n – число высотных интервалов.

Средний уклон поверхности бассейна определяют по формуле:

$$i_{ср} = \Delta H / F (\text{знак суммы } n-1 \text{ по } i=1) \cdot L_i,$$

где: L_i – длины горизонталей; ΔH – разность отметок смежных горизонталей (сечение рельефа); F – полная площадь бассейна; n – число высотных интервалов.

Территория, на которой расположена река, и с которой она получает водное питание, называется бассейном, или водосбором реки.

Выделяют поверхностный и подземный водосборы. Границы подземного водосбора часто не совпадают с поверхностными. Но ввиду трудности их определения водосбор реки обычно определяется только по поверхностным границам (водораздельной линии). В пределах некоторых бассейнов могут находиться области, с которых вода поступает в низины или озера, не связанные поверхностными водотоками с речной сетью данного бассейна. Вода здесь расходуется на испарение и питание подземных вод, уходящих за пределы бассейна. Такие области относятся к бессточным, они не должны включаться в водосборную площадь реки.

Граница между смежными водосборами называется *водоразделом*. Водораздел проходит по наиболее высоким точкам земной поверхности, расположенным между бассейнами соседних рек, разделяет обращенные в противоположные стороны покатости земной поверхности и отделяет площадь, с которой получает водное питание данная река, от площадей, сток с которых происходит в соседние реки. В пределах бассейна могут находиться отдельные точки с отметками, превышающими отметки водораздела.

Площади бассейнов рек чаще всего определяются по картам. На карте выделяются площади водосборов главной реки, основных притоков и межбассейновые пространства.

Межбассейновыми пространствами называются такие участки склонов, сток с которых происходит непосредственно в главную реку. Они расположены между площадями водосборов притоков, впадающих и главную реку с одного берега. Межбассейновые пространства нумеруются в направлении от истока к устью вначале по правому, затем по левому берегам.

Площади водосборов малых рек могут располагаться в пределах одной широтной зоны, бассейны же больших рек иногда охватывают несколько широтных зон.

Широтной зоной называется часть поверхности земного сфероида, заключенная между двумя смежными параллелями. Часть широтной зоны, заключенная между двумя смежными меридианами, называется трапецией. Площади трапеций вычисляются по формулам геодезии. Чаще всего измерение площадей производится **планиметром или палеткой**.

При определении площади **планиметром** вначале вычисляется цена деления планиметра. Цена деления планиметра представляет

собой отношение площади трапеции в квадратных километрах к числу делений планиметра, получаемому при обводе трапеции по контуру на карте. Так как площади трапеций разные, различны и цены деления планиметра для этих трапеций. При работе по картам крупного масштаба, когда бассейны рек меньше трапеций, для определения цены деления планиметра обычно обводится квадрат площадью 5x5 или 10x10 см или другая фигура с известной площадью. Цена деления планиметра в этом случае определяется как отношение площади фигуры в масштабе карты в км² к разности отсчетов по планиметру, полученной при ее обводе. Обвод площадей производится 2-3 раза. Допустимое расхождение в разностях отсчетов по планиметру составляет 7-2% среднеарифметического значения разностей. Цена деления планиметра вычисляется до четырех значащих цифр.

При определении площадей *планиметром* контур обводится при двух положениях полюса планиметра – вправо и влево от обводимой площади. Полюс планиметра может находиться и внутри обводимого контура, в этом случае необходимо определить «постоянное число» планиметра q .

Постоянное число планиметра вычисляется по формуле:

$$q = \frac{F}{k} - n,$$

где: F , см² – известная площадь заданной фигуры; k – цена деления планиметра; n – средняя разность отсчетов планиметра при обводе этой фигуры при положении полюса внутри контура. Площади вычисляются по формулам:

при положении полюса планиметра вне контура:

$$F = k (n_2 - n_1);$$

при положении полюса планиметра внутри контура:

$$F = k |(n_2 + q) - n_1|,$$

где: n_2 , n_1 – конечный и начальный отсчеты по планиметру; q – постоянное число планиметра.

При определении площадей очень малых водосборов они обводятся по контуру несколько раз без промежуточных отсчетов. Разность конечного и начального отсчетов, деленная на число обводок, даст число делений, соответствующее однократной обводке.

При работе с планиметром каждая площадь обводится не менее двух раз. Допустимое расхождение разностей отсчетов составляет 1/200 среднеарифметического значения разностей. Для площадей, соответствующих 50-200 делениям планиметра, разность отсчетов при обводках не должна превышать 1-2 деления. Если эти требования не достигнуты, работа повторяется до получения удовлетворительных результатов.

Площади могут быть измерены *палеткой*. Палетка представляет собой кальку, разграфленную на равновеликие квадраты. Площадь одного квадрата, выраженная в масштабе карты, называется ценой деления палетки.

Палетка в двух-трех положениях накладывается на план или карту бассейна. В каждом положении подсчитывается число полных клеток палетки, расположенных в пределах контура бассейна. Неполные квадраты, пересекаемые линией водораздела, суммируются на глаз. Общее число клеток палетки, расположенных в пределах бассейна, умноженное на цену деления палетки, даст площадь в квадратных километрах. Допустимое расхождение площадей, полученных при разных положениях палетки, составляет 1/100 среднего значения.

Палетка применяется при измерении малых площадей, когда их измерение планиметром дает всего одно-два деления. Палетки находят применение при измерении очень узких, изогнутых участков площадей (как, например, площади между горизонталями) и профилей, вычерченных на миллиметровой бумаге, которая сама может служить палеткой.

Точность определения площадей водосборов главной реки, основных притоков и межбассейновых пространств необходимо контролировать. Сумма частных площадей (притоков и межбассейновых пространств) бассейна должна быть равна площади водосбора главной реки. Допустимая невязка не превышает 1/100 общей площади. Полученная невязка разбрасывается пропорционально площадям отдельных контуров. Сумма площадей, размещенных в пределах одной трапеции, должна быть равна ее математической площади.

При измерении площадей малых водосборов они должны быть определены по картам такого масштаба, при котором эти водосборы изображаются площадями не менее 5 см². При отсутствии таких карт и планов, а также в тех случаях, когда водосборы выражены неясно

или площади меньше 0,25 км, необходимо производить съемку водосборов в натуре.

Линии *водоразделов* проводятся, начиная от устьев замыкающих створов рек и далее по линиям хребтов и вершинам возвышенностей. При пересечении замкнутых горизонталей линия водораздела подводится к местам их наибольшего перегиба. Внутри ограниченного замкнутой горизонталью пространства водораздел должен следовать общему изгибу ограничивающей горизонтали и проходить примерно на одинаковом расстоянии от рассекаемой горизонтали. Если внутри замкнутого горизонталью пространства на карте показаны вершины высотных отметок, то линию водораздела следует проводить через эти отметки. При пересечении седловин линию водораздела необходимо проводить по их наивысшим точкам.

Определение стока, испарения, развитие водораздельной линии

Река – водоток значительных размеров, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло. Обычно к рекам относят постоянные и относительно крупные водотоки с площадью бассейна не менее 50 км². Водотоки меньшего размера называются ручьями. Таким образом, к рекам не относятся временные водотоки; водотоки, не имеющие водосбора (например, сформированные приливами реки приморских районов); каналы.

Речной сток – сток, происходящий по речной сети. В реках содержится всего 0,0002% объема вод гидросферы, но, несмотря на это, речной сток является важнейшим элементом материкового звена глобального круговорота воды, вещества и энергии и, следовательно, играет большую роль в их круговороте на Земле. Это объясняется очень небольшим периодом условного возобновления запасов воды. Реки – важный элемент ландшафта, серьезно влияющий на его структуру.

Сток образуется в результате выпадения дождей или таяния снега и льда в горах. В обоих случаях часть воды, поступившей на поверхность земли, затрачивается, прежде всего, на заполнение отрицательных форм микрорельефа (углублений) и на впитывание в почву. Только после заполнения отдельных углублений и притом после того момента, как интенсивность дождя или таяния снега и льда станет превосходить интенсивность инфильтрации, возникает сток.

Вода стекает по поверхности земли обычно не сплошным слоем, а в виде отдельных тонких струй или ручейков, которые сливаются вместе, доходят до русел сначала временных водотоков, а потом образуют постоянные потоки, несущие свои воды в сформированном русле. Сток, происходящий по поверхности земли, называется поверхностным или склоновым стоком. Сток, происходящий по русловой сети водосбора, называется русловым или речным стоком. Поверхностный сток не отождествляется с понятием поверхностные воды. К поверхностным водам относятся воды рек, озер, водохранилищ. Во многих местах, как, например, в лесной зоне, поверхностный сток, как правило, невелик, а иногда и отсутствует вовсе. Большая часть дождевых и снеговых вод стекает иными путями. Просачиваясь через почву, эти воды пополняют запасы почвенных и грунтовых вод и попадают в речную сеть подземными путями в виде почвенно-грунтового стока из зоны аэрации и собственно грунтового из более глубоких водоносных горизонтов. В связи с этим выделяется почвенный (подповерхностный) сток и подземный (грунтовой) сток. Речной сток является суммарным поверхностным и подземным стоком. Суммарный речной сток путем расчленения гидрографа делят на две составляющие: на поверхностный (паводочный) и подземный сток. Последний, является наиболее устойчивым.

В различных ландшафтных зонах и внутри зон соотношения между поверхностным и подземным стоком неодинаковы, что создает специфические особенности режима речного стока и его распределения по территории.

Сток представляет собой сложный природный процесс, обусловленный влиянием комплекса физико-географических факторов и хозяйственной деятельности. Основными факторами стока, определяющими его развитие, являются климатические. На общем фоне воздействия климата на формирование стока и его величину проявляется влияние других, неклиматических факторов. Влияние их тем заметнее, чем меньше размеры бассейна и чем короче период, за который рассматривается это влияние.

Климат воздействует на сток не только непосредственно, но и через другие природные факторы: почву, растительность, рельеф.

Рассмотрим основные характеристики речного стока, применяемые в гидрологии и при изучении русловых процессов.

Расход воды Q , м³/с – объем воды, протекающей через живое сечение потока в единицу времени (секунду):

$$Q = \omega v_{\text{cp}},$$

где: ω – площадь поперечного (живого) сечения потока, м²; v_{cp} – средняя скорость течения, м/с.

Модуль стока q , л/с·км² – объем воды в литрах, стекающей в секунду с квадратного километра площади бассейна.

Объем стока W , млн м³ (м³, км³) – количество воды, стекающей с бассейна реки за какой-либо промежуток времени (год, сезон, месяц и т. д.); для годового стока:

$$W = Q \cdot T,$$

где: Q – среднегодовой расход воды, м³/с; T – количество секунд в году, равное в среднем 31,56 млн.; W – объем стока, млн м³/год.

Слой стока h , мм – объем воды, стекающей с бассейна реки за какой-либо промежуток времени (год, сезон, месяц и т. д.), в виде водного слоя; для годового стока:

$$h = \frac{W \cdot 10^6}{F \cdot 10^3},$$

где: W – объем стока, м³; F – площадь водосбора, км².

Величина слоя стока h (мм) используется при воднобалансовых расчетах, в которых она сопоставляется с атмосферными осадками, испарением, при построении карт стока и в других случаях.

Коэффициент стока η (безразмерная величина, меньшая единицы) – отношение величины стока h (мм) к величине атмосферных осадков x (мм), выпавших на площадь бассейна реки:

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

Величина коэффициента стока η показывает, какая часть атмосферных осадков, выпавших на площадь бассейна реки, преобразуется в речной сток.

Определение испарения с малого водоема

Среднемноголетнее испарение с малых водоемов, расположенных в равнинных условиях определяют по выражению:

$$W = E_p,$$

где: p – площадь водохранилища; $E_p = Z_b - Z_c$ – слой дополнительного испарения, возникающий после создания водохранилища.

Для расчета принимаем E_p каждого месяца. Слой испарения за год – 0,6 м, необходимо распределить его по месяцам. Испарения будут только с апреля по ноябрь.

Среднемноголетнее испарение с бассейна площадью 11325 находят на карте изолиний. Так, для реки $W_4 = 7380$ м³.

Ширина реки – расстояние между геодезическим прибором и урезом левого берега вычесть расстояние между геодезическим прибором и урезом правого берега:

$$B = 40 \text{ км.}$$

Средняя скорость реки:

$$V = 0,33 \text{ м/с.}$$

Средняя глубина реки:

$$h = 8 \text{ м.}$$

Выводы: из работы видно, что:

- расход воды на реке (Q_0) равен 11325 м³/сек.;
- ширина реки (B) – 40 м;
- средняя глубина (h) – 8 м;
- средняя скорость течения (V) – 0,33 м/сек.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое оконтуривание бассейна реки?
2. Как определяют определение площадь бассейна реки?
3. Как определяют испарения с малого водоема?

РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИМАТА

Лабораторная работа № 7. Определение характеристики влажности воздуха

Влажность воздуха – это содержание в воздухе водяного пара. Окружающий нас атмосферный воздух вследствие непрерывного испарения воды с поверхности океанов, морей, водоемов, влажной почвы и растений всегда содержит в себе водяные пары. Чем больше водяных паров находится в определенном объеме воздуха, тем ближе пар к состоянию насыщения.

В нижних слоях атмосферы всегда содержится водяной пар. Как и всякий газ, он обладает упругостью (парциальным давлением). Парциальное давление может быть измерено в миллиметрах ртутного столба (мм ртутного столба).

Воздух с влажностью:

- до 55% считается сухим;
- от 56%-70% умеренно сухим;
- от 71%-85% умеренно влажным;
- свыше 85% сильно влажным.

1. Физические расчеты и параметры влажности воздуха

Водяной пар в воздухе, несмотря на огромные поверхности океанов, морей, озер и рек, не является насыщенным: атмосфера – «открытый сосуд». Перемещение воздушных масс приводит к тому, что в одних местах нашей планеты в данный момент испарение воды преобладает над конденсацией, а в других, наоборот, преобладает конденсация.

Содержание водяного пара в воздухе – его влажность – характеризуется рядом величин.

1.1. Парциальное давление водяного пара

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Каждый из газов вносит свой вклад в суммарное

давление, производимое воздухом на находящиеся в нем тела. Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называют парциальным давлением (или упругостью) водяного пара. Парциальное давление p водяного пара принимают за один из показателей влажности воздуха. Его выражают в единицах давления – паскалях или миллиметрах ртутного столба.

1.2. Абсолютная влажность

За характеристику влажности воздуха может быть принята плотность водяного пара ρ , содержащегося в воздухе. Эту величину называют абсолютной влажностью и из-за ее малости выражают в граммах на кубический метр. Абсолютная влажность, таким образом, показывает, сколько водяного пара в граммах содержится в 1 кубическом метре воздуха.

1.3. Относительная влажность

Относительная влажность – отношение количества воды, содержащегося в воздухе при данной температуре, к максимальному количеству воды, которое может содержаться в воздухе при данной температуре в виде пара. Относительная влажность показывает, сколько еще влаги не хватает. Чтобы при данных условиях началась конденсация, т.е. превращение пара в жидкость.

Знание парциального давления водяного пара или абсолютной влажности ничего не говорит о том, насколько водяной пар в данных условиях далек от насыщения. А именно от этого зависит интенсивность испарения воды и, следовательно, потеря влаги живыми организмами. От этого же зависит быстрота высыхания тканей, почвы, увядание растений и многое другое. Вот почему вводят величину, показывающую, насколько водяной пар при данной температуре близок к насыщению, – относительную влажность.

Относительной влажностью воздуха φ называют выраженное в процентах отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению насыщенного пара при той же температуре:

$$\varphi = p/p_0 \cdot 100\%.$$

Воспользовавшись уравнением, можно для относительной влажности получить еще одну формулу:

$$\varphi = \rho/\rho_0 \cdot 100\%,$$

где: ρ – абсолютная влажность; ρ_0 – плотность насыщенного водяного пара при данной температуре.

Итак, для вычисления относительной влажности надо знать парциальное давление или плотность пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, и давление или плотность насыщенного водяного пара при этой же температуре.

Давление и плотность насыщенного водяного пара при разных температурах можно найти, воспользовавшись специальными таблицами, которые имеются в справочниках или задачниках по физике.

При охлаждении влажного воздуха при постоянном давлении его относительная влажность повышается, так как чем ниже температура, тем ближе парциальное давление пара в воздухе к давлению насыщенного пара. В конце концов, пар становится насыщенным. Это легко понять, если посмотреть на график зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры.

Пусть при температуре t_1 парциальное давление водяного пара равно p_1 . Состояние пара изобразится при этом точкой А. Если охладить воздух до температуры t_r при $p_1 = \text{const}$, то пар станет насыщенным и его состояние изобразится точкой В.

Температура t_r , до которой должен охладиться воздух, чтобы находящийся в нем водяной пар достиг состояния насыщения (при данной влажности воздуха и неизменном давлении), называется точкой росы.

Давление насыщенного водяного пара при температуре воздуха, равной точке росы, и есть парциальное давление водяного пара, содержащегося в атмосфере.

При охлаждении воздуха до точки росы начинается конденсация паров: появляется туман, выпадает роса.

Точка росы также характеризует влажность воздуха, так как она позволяет определить парциальное давление водяного пара и абсолютную влажность с помощью таблиц, в которых представлена зависимость давления и плотности насыщенного водяного пара от температуры.

Точку росы определяют с помощью прибора, называемого конденсационным гигрометром. Гигрометр представляет собой металлическую коробку, передняя стенка которой хорошо отполирована. Коробка окружена полированным кольцом, отделенным от нее теплоизолирующей прокладкой. Коробка соединена с резиновой грушей.

Внутрь коробки наливают легко испаряющуюся жидкость – эфир и вставляют термометр. Продувая через коробку воздух с помощью груши, вызывают сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. По термометру замечают температуру, при которой появляются капельки росы на полированной поверхности стенки. Это и есть точка росы, так как появление росы указывает, что водяной пар стал насыщенным.

Определение точки росы – наиболее точный способ измерения относительной влажности.

Вопросы для самопроверки

1. Парциальное давление водяного пара.
2. Относительной влажностью воздуха.
3. Абсолютная влажность.
4. Что такое влажность воздуха?
5. Что такое точка росы?

Лабораторная работа № 8.

Расчет суммарного испарения с поверхности суши

Под испарением с поверхности суши понимается сумма всех видов этого процесса: биологическое испарение с листьев растений (транспирация), физическое – испарение с орошенных атмосферными осадками листьев, испарение с почвы, снега, льда, водоемов, расположенных на исследуемой территории.

Методы расчета испарения с поверхности суши основаны на использовании уравнений водного и теплового балансов, их связи, на закономерностях переноса влаги от испаряющей поверхности в атмосферу.

Выбор метода расчета зависит до поставленной задачи, наличия исходных данных, природных условий и требуемой точности результатов расчета.

1.1. Определение испарения с поверхности суши с помощью карты изолиний испарения

Под испарением с поверхности суши понимается сумма всех видов этого процесса: биологическое испарение с листьев растений,

физическое испарение с орошенных атмосферными осадками листьев, испарение с почвы, снега, льда, с водоемов, расположенных на исследуемой территории, и т.д.

Методы расчета испарения с поверхности суши основаны на использовании уравнений водного и теплового балансов, их связи, на закономерностях переноса влаги от испаряющей поверхности в атмосферу.

1.2. Определение испарения с суши методом турбулентной диффузии

Пользуясь номограммой для вычисления среднесуточного годового испарения по методу Р.А. Константинова, проводят перпендикуляры от значений t и e , где t - это среднегодовая температура за многолетний период, а e - влажность. Эти величины соответственно равны - $2,4^{\circ}\text{C}$ и 560 Па. В точки их пересечения, интерполируя между изолиниями, получаем турбулентную диффузию.

1.3. Определение испарения с суши по уравнению связи теплового и водного баланса

При расчетах испарения в мелиоративных целях широко применяют метод, разработанный В.С. Мезенцевым.

В результате проделанной работы были вычислены: среднесуточное испарение воды с поверхности воды и с поверхности суши. Следует отметить, что с поверхности суши испарение можно вычислять несколькими способами. Выбор метода расчета зависит от поставленной задачи, наличия исходных данных и требуемой точности результатов расчета. В данной работе были проведены расчеты испарения с поверхности суши: с помощью карты изолиний испарения и по уравнению связи теплового и водного баланса. На мой взгляд, наиболее точным является расчет по уравнению связи теплового и водного баланса, так как погрешность снимаемых с карты значений испарения составляет 15%.

Воздух нижних слоев атмосферы всегда заключает в себе некоторое количество воды. Вода в атмосфере может находиться в трех состояниях: парообразном (водяной пар), жидком (капельки воды, образующие облака и туманы) и твердом (кристаллики льда и снежинки). Источником воды в атмосфере является водяной пар. Наибольшее количество водяных паров воздух получает с поверхности

океанов и морей, меньшее с озер и рек и еще меньшее с поверхности суши. По последним данным с поверхности земного шара в год испаряется $518\,600\text{ км}^3$ воды, из них $447\,900\text{ км}^3$ воды (86%) испаряется с поверхности океанов и $70\,700\text{ км}^3$ (14%) – с поверхности суши.

Испарение. Процесс испарения с поверхности воды связан с непрерывным движением молекул внутри жидкости. Молекулы воды двигаются в различных направлениях и с различной скоростью. При этом некоторые молекулы, находящиеся у поверхности воды и имеющие большую скорость, могут преодолеть силы поверхностного сцепления и выскочить из воды в прилегающие слои воздуха.

Скорость и величина испарения зависят от многих причин, в первую очередь от температуры и ветра, от дефицита влажности и давления. Чем выше температура, тем больше воды может испариться. Роль ветра в испарении понятна. Ветер все время уносит тот воздух, который успел поглотить некоторое количество водяных паров с испаряющей поверхности, и непрерывно приносит новые порции более сухого воздуха. Согласно наблюдениям даже слабый ветер ($0,25$ м/сек.) увеличивает испарение почти в три раза.

Дефицит влажности и давление атмосферы по-разному влияют на испарение. Скорость испарения прямо пропорциональна дефициту влажности и обратно пропорциональна атмосферному давлению.

При испарении с поверхности суши огромную роль играет растительность, так как, кроме испарения с почвы, происходит испарение растительностью (транспирация).

Наблюдения показали, что площадь, покрытая луговой растительностью, испаряет в три с лишним раза больше, чем площадь поля, лишенная растительности. Лес испаряет воды еще больше (почти столько же, сколько поверхность моря в соответствующих широтах).

Немалую роль при испарении играют также характер почвы (рыхлость, цвет, степень насыщенности ее влагой), рельеф и др.

Величина испарения обычно выражается толщиной испарившегося слоя воды в миллиметрах, а определяется при помощи специальных приборов – испарителей. Испарение с водной поверхности определяется испарителем Вильда и плавучим испарителем системы Государственного гидрологического института. Для измерения испарения с поверхности почвы применяют испаритель Рыкачева.

В результате неоднородности физико-географических условий на земном шаре величина испарения на земной поверхности весьма раз-

лична. Наименьшее испарение наблюдается в полярных странах, наибольшее в экваториальных.

Абсолютная влажность. Количество водяных паров, которое в данный момент находится в воздухе, называется абсолютной влажностью. Абсолютная влажность выражается в граммах на 1 м³ воздуха или в единицах давления: миллиметрах и миллибарах. Главнейшим фактором, влияющим на распределение абсолютной влажности, является температура. Однако эта зависимость несколько нарушается распределением суши и воды на земной поверхности, наличием гор, плоскогорий и другими факторами. Так, в приморских странах абсолютная влажность обычно больше, чем внутри материков. Тем не менее, доминирующее значение все же имеет температура, что можно видеть на следующих примерах.

В жарком поясе, даже в пустыне Сахаре (в оазисе Курфа), абсолютная влажность в августе – 8,3 мм, в сентябре – 11,1 мм и самая низкая за год – 4,5-5,5 мм. В полярных же странах, даже у моря, она всего 2-3 мм. В зимнее время в Восточной Сибири она менее 1 мм. Таким образом, географическое распространение абсолютной влажности теснейшим образом связано с распределением температур. Для экваториального пояса средняя абсолютная влажность – около 25 мм, для тропических стран – 20 мм; в средних широтах в июле – 10-12 (в январе 5-6) и в полярных странах – около 2-3 мм. Годовой ход абсолютной влажности напоминает годовой ход температуры воздуха. Наибольшая абсолютная влажность наблюдается летом, наименьшая зимой.

Вместе с годовыми, месячными и суточными колебаниями температуры колеблется и абсолютная влажность воздуха. Амплитуда годовых колебаний абсолютной влажности в тропическом поясе 2-3, в умеренных 5-6, а внутри континентов 9-10 мм.

Абсолютная влажность уменьшается с высотой. Из наблюдений 74 подъемов шаров-зондов в Европе установлено, что средняя годовая абсолютная влажность равна у земной поверхности 6,66 мм; на высоте 500 м – 6,09 мм; 1 тыс. м – 4,77 мм; 2 тыс. м – 2,62 мм; 5 тыс. м – 0,52 мм; 10 тыс. м – 0,02 мм.

Предельное влагонасыщение. Воздух при данной температуре может воспринимать водяные пары только до известного предела, а потом становится насыщенным и больше уже не поглощает водяных паров. Наибольшее количество водяных паров, которое может со-

держивать воздух при данной температуре, называется максимальной влажностью или упругостью насыщающего пара.

Если же насыщенный воздух нагреть, то он снова удаляется от насыщения и снова приобретает способность воспринимать новое количество водяных паров. Наоборот, если насыщенный воздух охладить, то он перенасыщается, а при этих условиях начинается конденсация, т. е. сгущение избыточных водяных паров. Если охладить не насыщенный водяными парами воздух, то он постепенно будет приближаться к насыщению. Температура, при которой данный ненасыщенный воздух переходит в насыщенный, называется точкой росы. Если воздух, охладившийся до точки росы (τ), охлаждается дальше, то он также начинает выделять избыток водяных паров путем конденсации. Понятно, что положение точки росы зависит от степени влажности воздуха. Чем влажнее воздух, тем скорее наступит точка росы, и наоборот.

Из всего сказанного ясно, что способность воздуха воспринимать и содержать в себе различные максимальные количества водяных паров находится в прямой зависимости от температуры.

Относительная влажность. Во многих случаях необходимо бывает знать не только абсолютную влажность, но также и то, насколько данный воздух далек от насыщения или, другими словами, сколько воздух может принять еще водяных паров, чтобы достичь насыщения. Отношение количества водяных паров, содержащихся в воздухе, к тому количеству, которое может содержать воздух при насыщении, называют относительной влажностью. Относительную влажность принято выражать в процентах. Так, например, если абсолютная влажность воздуха при данной температуре (e) равна 8 мм, а при условии насыщения (при той же температуре) воздух должен содержать (E) 10 мм, то отношение e/E ($8 : 10$), выраженное в процентах, как раз будет относительной влажностью ($R=(8 \cdot 100)/10=80\%$). Понятно, что при всяком изменении температуры относительная влажность будет также меняться, потому что всякой новой температуре будет соответствовать и новая упругость насыщенного пара.

Знание относительной влажности воздуха имеет огромное значение. Известно, что насыщенный воздух при незначительном охлаждении сразу же начинает конденсировать влагу. Таким образом, если относительная влажность близка к 100%, то атмосферные осадки становятся весьма вероятными; при малой же относительной влажности, наоборот, выпадение осадков будет маловероятным.

Дефицит влажности. Разность между упругостью насыщающих паров и абсолютной влажностью называется дефицитом влажности.

$$D = E - e.$$

Дефицит влажности показывает, какое количество водяных паров недостает в воздухе до полного насыщения при данной температуре. Большие дефициты влажности наблюдаются в пустынях, где высокие температуры воздуха и малая относительная влажность. В полярных странах дефицит влажности небольшой.

Определение влажности воздуха. Для измерения влажности воздуха применяются различные гигрометры и психрометры. Из них наибольшим распространением пользуются: весовой гигрометр, волосной гигрометр, гигрограф и психрометр Ассмана.

Конденсация и сублимация водяного пара. Как уже говорилось, воздух, относительная влажность которого достигла 100%, при дальнейшем охлаждении должен выделить избыточное количество водяных паров в виде капелек воды или кристалликов. Процесс образования капелек воды из водяного пара называется конденсацией водяного пара. В некоторых случаях при температуре ниже 0° пары воздуха при конденсации переходят в кристаллики льда, минуя жидкую стадию. Этот процесс известен под названием сублимации.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое предельное влагонасыщение?
2. Что такое суммарного испарения с поверхности суши?
3. Методы расчета испарения.

Лабораторная работа № 9. Определение стока и испарение

Сток образуется в результате выпадения дождей или таяния снега и льда в горах. В обоих случаях часть воды, поступившей на поверхность земли, затрачивается прежде всего на заполнение отрицательных форм микрорельефа (углублений) и на впитывание в почву. Только после заполнения отдельных углублений и притом после того момента, как интенсивность дождя или таяния снега и льда станет превосходить интенсивность инфильтрации, возникает сток.

Вода стекает по поверхности земли обычно не сплошным слоем, а в виде отдельных тонких струй или ручейков, которые сливаются вместе, доходят до русел сначала временных водотоков, а потом образуют постоянные потоки, несущие свои воды в сформированном русле. Сток, происходящий по поверхности земли, называется поверхностным или склоновым стоком. Сток, происходящий по русловой сети водосбора, называется русловым или речным стоком. Поверхностный сток не отождествляется с понятием поверхностные воды. К поверхностным водам относятся воды рек, озер, водохранилищ. Во многих местах, как, например, в лесной зоне, поверхностный сток, как правило, невелик, а иногда и отсутствует вовсе. Большая часть дождевых и снеговых вод стекает иными путями. Просачиваясь через почву, эти воды пополняют запасы почвенных и грунтовых вод и попадают в речную сеть подземными путями в виде почвенно-грунтового стока из зоны аэрации и собственно грунтового из более глубоких водоносных горизонтов. В связи с этим выделяется почвенный (подповерхностный) сток и подземный (грунтовой) сток. Речной сток является суммарным поверхностным и подземным стоком. Суммарный речной сток путем расчленения гидрографа делят на две составляющие: на поверхностный (паводочный) и подземный сток. Последний, является наиболее устойчивым.

В различных ландшафтных зонах и внутри зон соотношения между поверхностным и подземным стоком неодинаковы, что создает специфические особенности режима речного стока и его распределения по территории.

Сток представляет собой сложный природный процесс, обусловленный влиянием комплекса физико-географических факторов и хозяйственной деятельности. Основными факторами стока, определяющими его развитие, являются климатические. На общем фоне воздействия климата на формирование стока и его величину проявляется влияние других, неклиматических факторов. Влияние их тем заметнее, чем меньше размеры бассейна и чем короче период, за который рассматривается это влияние.

Климат воздействует на сток не только непосредственно, но и через другие природные факторы: почву, растительность, рельеф.

Все эти факторы находятся в постоянном взаимодействии.

Действие различных природных факторов проявляется по-разному. Одни из них способствуют стеканию атмосферных осадков по

земной поверхности, другие замедляют сток или вовсе исключают возможность его образования. Одним факторам, а также их взаимодействию между собой принадлежит главная роль в процессе формирования речного стока, другим - второстепенная (рис. 15).

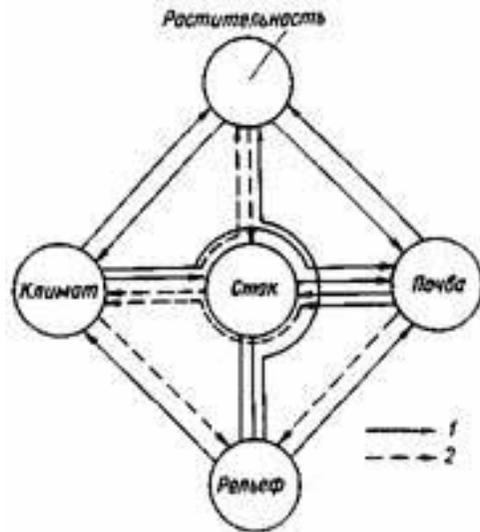


Рис. 15. Схема взаимосвязи речного стока с основными физико-географическими факторами (по М. И. Львовичу):
1 - важные воздействия; 2 - второстепенные воздействия.

Влияние климатических факторов на сток

Анализ уравнения водного баланса речных бассейнов за многолетний период $Y = X - Z$ позволяет сделать вывод, что средний многолетний сток зависит, прежде всего, от климатических факторов, а затем уже от всех других природных факторов, оказывающих влияние главным образом на впитывание воды в почву и испарение. Расход воды на инфильтрацию зависит от свойств почвы, а испарение почвенной влаги - от соотношения тепла и влаги в речном бассейне. При большом содержании воды в почве испарение ограничивается количеством поступающего тепла, при малом оно зависит от наличия влаги в почве. В последнем случае тепловые ресурсы позволили бы испариться большему количеству воды, но из-за относительно малого ее содержания в почве испаряться нечему.

Испарение с поверхности речного бассейна складывается из испарения с почвы, включая транспирацию растений, с поверхности водоемов, находящихся на его территории, и с поверхности снежного покрова. Если испарение с водной поверхности и с поверхности снега определяется метеорологическими факторами, то суммарное испарение с поверхности суши, помимо метеорологических факторов, зависит от содержания воды в почве, их водно-физических свойств и характера растительного покрова.

Процесс транспирации растений зависит не только от соотношения тепла и влаги, но и от физиологических особенностей растений. Все это явилось причиной, почему обычно величина испарения с поверхности речных бассейнов определяется суммарно, хотя в последнее время стали появляться способы дифференцированной оценки испарения с различных угодий. Для этой цели служат результаты экспериментальных исследований на водобалансовых станциях.

Впервые правильная и научно обоснованная оценка роли отдельных факторов в испарении с поверхности речных бассейнов была сделана Э. М. Ольдекопом в его работе «Испарение с поверхности речных бассейнов» (1911 г.). Ольдекоп исходил при этом из следующих положений. При малых количествах осадков они полностью испаряются. По мере увеличения количества осадков величина испарения возрастает. Но это увеличение испарения продолжается до некоторого предела, соответствующего определенному количеству осадков. При дальнейшем увеличении их добавочные порции осадков уже не вызывают увеличения испарения, а затрачиваются на сток, и величина испарения становится почти постоянной. Эту предельную величину испарения Ольдекоп назвал максимально возможным испарением.

Для расчета средней годовой величины испарения применяются методы М.И. Будыко и А.Р. Константинова. В основе метода Будыко лежит уравнение связи между тепловым и водным балансом территории.

В общем виде это уравнение показывает зависимость между коэффициентом испарения Z/X и отношением радиационного баланса R к теплу LX , затрачиваемому на испарение осадков:

$$\frac{Z}{X} = f\left(\frac{R}{LX}\right),$$

где: L - скрытая теплота испарения.

В аридных условиях при малых величинах осадков X все осадки испаряются: $Z/X > 1$ и R/LX велико. В гумидной зоне по мере увеличения осадков величина испарения растет, но при ограниченных запасах тепла не может превзойти максимально возможную: $Z_0 = R/L$. Таким образом, Z/X и R/LX уменьшаются.

Для удобства расчетов зависимость представлена в виде номограммы (рис. 16), позволяющей по средней годовой сумме осадков и годовой величине радиационного баланса определить годовую величину испарения.

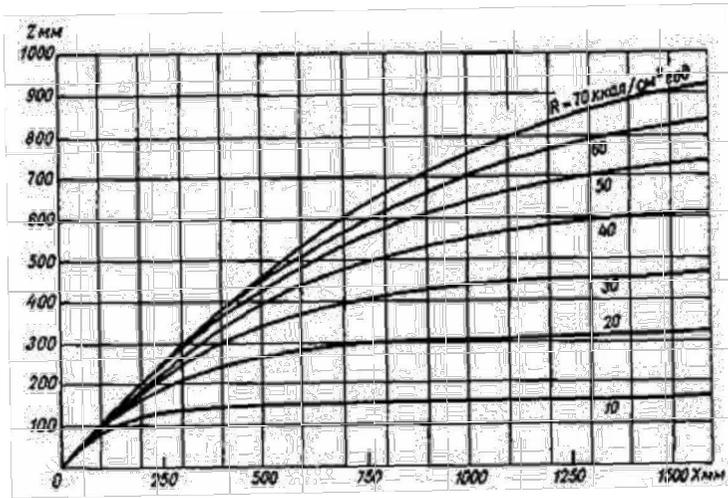


Рис. 16. Номограмма для вычисления средней многолетней величины испарения (по М. И. Будыко).

Метод Константинова основан на анализе процессов турбулентного обмена водяного пара в атмосфере, обуславливающих испарение. Для расчета испарения методом турбулентной диффузии необходимо иметь данные измерений градиентов температуры, влажности воздуха и скорости ветра в приземном слое. Константинов показал, что эти градиенты меняются с изменением температуры и влажности воздуха, измеряемых на высоте 2 м. Используя эту зависимость, Константинов составил номограмму, позволяющую определить норму годового испарения Z по средним годовым температуре T и влажности воздуха e , получаемым по наблюдениям на сети метеорологических станций.

Существуют и другие методы расчета испарения, излагаемые в специальных руководствах. До недавнего времени широко использовались методы П. С. Кузина и Б. В. Полякова.

При наличии осадков и стока величина суммарного испарения за многолетний период может быть определена из уравнения водного баланса $Z = X - Y$. Это наиболее простой и вместе с тем наиболее точный метод. Подобные расчеты суммарного испарения позволили построить карты испарения и дали обширный материал для разработки методов определения величины испарения с поверхности суши по метеорологическим данным, упоминаемым выше. Значение этих методов заключается в том, что они позволяют определить величину испарения с поверхности любого речного бассейна.

Особенности влияния осадков на величину среднего многолетнего стока нетрудно выяснить при помощи уравнения водного баланса, если в нем заменить величину испарения его значением, определяемым по формуле Будыко. В таком случае это уравнение принимает вид:

$$Y = X - f(X, Z_0),$$

где: $f(X, Z_0)$ – функция, выражающая зависимость испарения от осадков и максимально возможного испарения.

На рис. 17 изображены зависимости испарения и стока от осадков в соответствии с этой формулой при некотором определенном значении Z_0 . Для отдельных интервалов значений X на кривой, изображающей зависимость стока от осадков, эта зависимость может быть выражена с известным приближением линейным уравнением вида $y = ax + b$. Для нижней части кривой, т. е. при малых количествах осадков, когда большая часть их затрачивается на испарение, коэффициент a мал. По мере увеличения количества осадков все большая часть их идет на формирование стока, поэтому коэффициент a возрастает и постепенно приближается к единице. Эти теоретические кривые впервые были даны Э.М. Ольдекопом.

Различия в зависимости годового стока от осадков позволили Ольдекопу установить два крайних типа речных бассейнов. Эти бассейны располагаются в зоне недостаточного увлажнения. Для рек этой категории зависимость стока от осадков выражена менее отчетливо, чем зависимость испарения от осадков. К рекам второй категории, по Ольдекопу, относятся реки, бассейны которых распо-

ложены в зоне устойчивого избыточного увлажнения. Для этих рек зависимость стока от осадков выражена более отчетливо, чем зависимость испарения от осадков; величина испарения определяется здесь преимущественно тепловым режимом. Очевидно, бассейны рек, расположенные в зоне неустойчивого увлажнения, занимают промежуточное положение. Данные фактических наблюдений хорошо подтверждают справедливость сказанного.

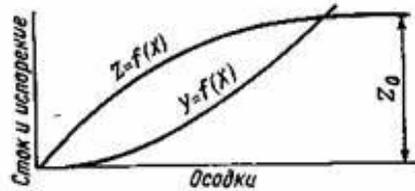


Рис. 17. Кривые зависимости стока (Y) и испарения (Z) от осадков (X) при некотором значении максимально возможного испарения (Z_0).

До тех пор, пока было очень мало данных о речном стоке, для его определения производились расчеты испарения по различным эмпирическим формулам или номограммам. На основании формулы, располагая данными об осадках, оценивался речной сток. В настоящее время в РФ и во многих других странах появилось достаточно данных непосредственных измерений стока, поэтому отпала необходимость его определения по испарению и осадкам. Следует еще учитывать, что даже наиболее надежные расчетные методы испарения не исключают существенных погрешностей при расчете стока по разности $X - Z$.

Влияние климатических факторов прослеживается и на изменении относительной величины стока, выраженной в виде коэффициента стока $k = Y/X$, где Y - средний многолетний сток в миллиметрах, X - средняя многолетняя сумма осадков за год, выпадающих в пределах данного бассейна. Заменяя в этой формуле величину Y равной ей величиной $X - Z$, получим:

$$k = (X - Z)/X = 1 - Z/X.$$

Влияние почвенного покрова на сток и его подземную и поверхностную составляющие осуществляется через процессы инфильтрации и испарения. В зависимости от сочетания тех или иных водно-физических свойств почв при данных особенностях климата увели-

чивается или уменьшается то количество влаги, которое задерживается в верхнем слое почв и почво-грунтов зоны аэрации и, следовательно, может быть израсходовано в дальнейшем на испарение и транспирацию растениями. С другой стороны, этими же условиями определяется и то количество влаги, которое выходит за пределы активного слоя почв и расходуется на пополнение запасов грунтовых вод, участвуя в дальнейшем в питании рек этими водами.

Воздействие почвенного покрова на сток и другие элементы водного баланса раскрыто в предложенных М.И. Львовичем теоретических схемах. Рассматриваются два случая совокупного воздействия этих свойств.

В первом случае инфильтрационная и водоудерживающая способности усиливаются параллельно. По мере усиления этих свойств непрерывно увеличивается расход на испарение и транспирацию. Поверхностный сток уменьшается, а расход на пополнение запасов грунтовых вод увеличивается, хотя и незначительно. Это происходит до некоторых оптимальных величин впитывания влаги в почву и удержания ею воды. При этих сочетаниях поверхностный сток достигает минимума, а подземный - максимума. По мере дальнейшего усиления инфильтрационной и водоудерживающей способности создаются условия, при которых атмосферная влага, интенсивно впитываясь в почву, удерживается в ней и в основном расходуется на испарение. Полный речной сток уменьшается (рис. 18 а).

Во втором случае при слабой инфильтрационной и относительно высокой водоудерживающей способности вся атмосферная вода стекает по поверхности почвы. При малом содержании воды в почве испарение мало (нечему испаряться) и нет пополнения запасов подземных вод. При относительно высокой инфильтрационной и слабой водоудерживающей способности в пределе вся вода, поступающая на поверхность, просачивается вглубь и расходуется на питание подземных вод. В этих условиях отсутствует поверхностный сток и испарение мало. При некоторых средних значениях рассматриваемых свойств почв и удержания воды в почве в пределах распространения корневой системы растений суммарное испарение велико. Изменения полного речного стока обратны изменению испарения (рис. 18 б). При слабом впитывании воды в почву речной сток формируется за счет поверхностного стока, при малой аккумуляции воды в почве и высокой инфильтрации - за счет питания подземными водами.

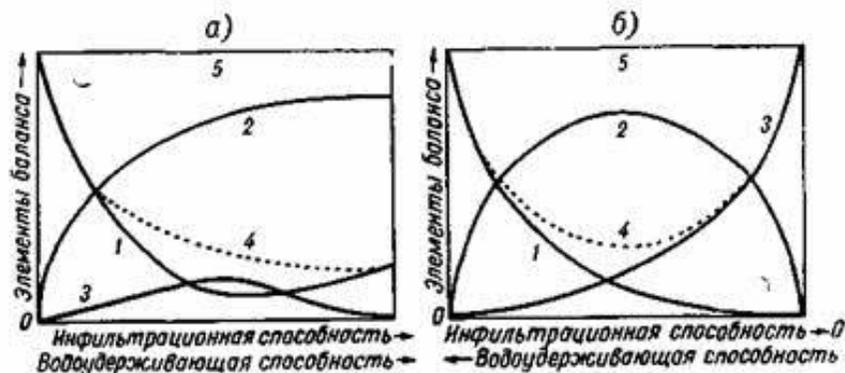


Рис. 18. Принципиальные схемы зависимости поверхностного стока (1), испарения (2), питания рек подземными водами (3) и полного речного стока (4) от инфильтрационной и водоудерживающей способности почвенного покрова при совместном их действии и осадков (5) (по М. И. Львовичу):

а - прямое соотношение инфильтрационной и водоудерживающей способности; б - обратное соотношение.

Рассмотренные схемы характеризуют влияние почвенного покрова на сток и другие элементы водного баланса в чистом виде, вне воздействия других факторов, при постоянстве атмосферных осадков.

Как известно, водно-физические свойства почвы меняются с изменением ее влажности, а так как влажность почвы испытывает сезонные колебания, то и соотношения элементов водного баланса не остаются постоянными, меняется и структура речного стока. Изложенные общие закономерности имеют принципиальное значение и характеризуют тенденцию изменения речного стока под влиянием основных свойств почвенного покрова. Примеры количественного воздействия почвенного покрова на режим речного стока не единичны.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется нормой годового стока, единицы измерения, точность и способы определения в зависимости от наличия данных наблюдений?
2. Как влияют на норму годового стока климатические, физико-географические и антропогенные факторы?

3. Какова допустимая погрешность при расчете нормы годового стока?
4. Какие требования при выборе пунктов-аналогов?
5. В каких случаях уравнение регрессии, используемое для восстановления короткого ряда, можно считать надежным?
6. Каковы принципиальные основы построения карт нормы годового стока?
7. Как определить норму годового стока больших рек и малых водотоков по карте?
8. Что такое поправочные коэффициенты к карте нормы годового стока для малых водотоков и как они учитываются при пользовании картой?

Лабораторная работа № 10. Развитие водораздельной линии

Водоразделом, или водораздельной линией, называется линия, проходящая по наивысшим точкам местности (рис. 19). Линии водоразделов показывают на карте длинным штриховым пунктиром, а линии водотоков – коротким штриховым пунктиром. От водораздела поверхностные воды стекают в разные стороны. Площадь, ограниченная водораздельной линией, называется *водосборной площадью* или *водосбором*. Грунтовые воды, как и поверхностные, стекают в данный водоем с определенной площади, называемой *водосбором грунтовых вод*. Он также ограничен водораздельной линией, проходящей по наивысшим точкам водоупорного слоя грунта, однако выявить ее бывает трудно. В связи с этим в гидрологии введено понятие «*бассейн*», под которым понимают площадь, с которой стекают и поверхностные, и грунтовые воды. Эта площадь приравнивается к площади водосбора поверхностных вод, при этом пренебрегают несовпадением водораздельных линий этих водосборов.

Чтобы очертить на топографической карте (рис. 19) водосбор оврага или балки, необходимо провести линию из точки В замыкающего створа, перпендикулярную горизонталям и проходящую между одноименными горизонталями, и замкнуть ее на другом конце замыкающего створа в точке Л. Очевидно, что величина водосбора зависит от положения выбранного створа. Чем ближе он расположен к вершине оврага или балки, тем меньше водосборная площадь.

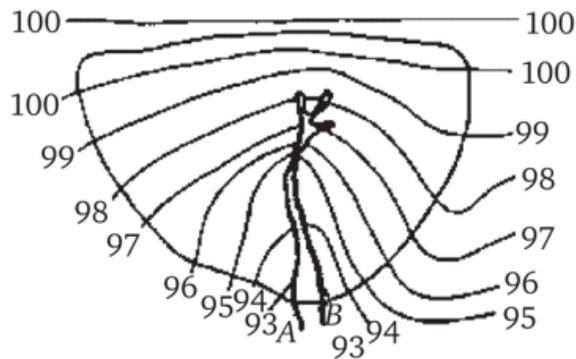


Рис. 19. Водораздельная линия и водосборная площадь оврага.

Элементы баланса воды для бассейна

Уравнение водного баланса для бассейна за данный промежуток времени можно записать следующим образом:

$$x = y + a + b,$$

где: x – объем выпавших осадков; y – объем поверхностного стока; a – объем воды, пошедшей на испарение и транспирацию (испарение воды растением); b – объем воды, пошедшей на изменение запаса воды в бассейне (изменения уровня грунтовых вод, объема водоемов, влажности почвы).

Для многолетнего периода b стремится к нулю, поэтому можно записать:

$$x \approx y + a.$$

Разделив обе части равенства на x , получим:

$$1 \approx \frac{y}{x} + \frac{a}{x}.$$

Отношение объема стекшей воды y к объему выпавших осадков x называется *коэффициентом стока* σ :

$$\sigma = \frac{y}{x}.$$

Отсюда следует, что

$$\sigma \approx 1 - \frac{a}{x},$$

т. е. с увеличением объема выпадающих осадков увеличивается и коэффициент стока. Однако при постоянном количестве осадков коэффициент стока зависит главным образом от водопроницаемости почв и грунтов. Обычно тяжелые по гранулометрическому составу почвы менее проницаемы, чем легкие. Почвы с уплотненными горизонтами отличаются низкой водопроницаемостью. Большое значение для водопроницаемости почв имеет водопрочность их структуры, зависящая от содержания и качественного состава гумуса, состава обменных оснований и других факторов.

Растительность также оказывает многообразное влияние на водопроницаемость. Если надземная часть растений предохраняет поверхность почвы от разрушения прямыми ударами дождевых капель, то корневая система повышает водопрочность структуры почвы, а после отмирания оставляет в почве пустоты, по которым вода быстро проникает вглубь почвенного профиля. В связи с этим почвы, покрытые лесом, обладают исключительно высокой водопроницаемостью.

Величина коэффициента стока зависит также от крутизны склона. Чем круче склон, тем больше скорость стекания и, следовательно, меньше время взаимодействия почвы с каждой данной порцией воды. Поэтому с увеличением крутизны склона коэффициент стока возрастает.

Величина коэффициента стока зависит и от длины склона. Ее увеличение при прочих равных условиях приводит к уменьшению (редукции) стока, прежде всего, в связи с увеличением доли поверхности, занятой водой и участвующей во впитывании. Это явление можно наблюдать на склонах, покрытых естественной растительностью. На распаханых склонах картина может быть иной в связи со слиянием струй по мере удаления от водораздела.

Водопроницаемость почвы при весеннем стоке зависит главным образом от количества свободных, не занятых льдом крупных пор. Это в первую очередь определяется исходной пористостью почвы, ее влажностью в предзимний период и погодными условиями зимы, в частности наличием или отсутствием зимних оттепелей. Водопроницаемость почвы окажется наименьшей, а коэффициент стока наибольшим, если поздней осенью непосредственно перед наступлением холодов выпадали дожди, а зима прерывалась глубокими оттепелями.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое водораздельная линия?
2. Что такое водосборная площадь оврага?
3. Как рассчитать водный баланс для бассейна?
4. Что подразумевают под водосборной площадью?
5. От чего зависит водопроницаемость почвы?

Лабораторное занятие № 11. Определение характеристик климата

На планете Земля на разных территориях присутствует определенный климат, зависящий от множества факторов. И благодаря сложившимся окружающим условиям, в них могут существовать определенные организмы и растения. Также от климата зависит то, как будут выглядеть территории на определенном участке земли.

Климат – это средняя погода за фиксированный период времени на определенных территориях. Первым термин «*klimatos*» использовал древнегреческий астроном Гиппарх. В переводе это слово означает «наклон», и им ученый хотел охарактеризовать угол, под которым солнечные лучи падают на поверхность планеты. В то время считалось, что только из-за разности этого параметра как раз и зависит погода на Земле.

Например, на экваторе угол падения солнечных лучей равен примерно 90 градусов, а ближе к полюсам – 30. Если на экваторе они опускаются прямо, то на полюсах – вскользь. Из-за этого лучи покрывают большую территорию, расходуя на нее, то же самое количество тепла. Поэтому и возникает разница в температуре и климате.

Позже под климатом стали подразумевать не угол наклона солнечных лучей, а среднее состояние атмосферы за последние несколько десятков лет. Благодаря этому можно выявить показатели температуры и давления, характерные для выбранной местности и обнаружить отклонения в случае их сильного изменения.

Но в средние века, когда люди начали активно путешествовать и преодолевать океаны, исследователи заметили, что на одной широте, в разных местах, климат отличается. В XVIII веке М.В. Ломоносов доказал зависимость погодных условий от особенностей суши и находящихся рядом водоемов.

В 1831 году ученый А. Гумбольдт выпустил труд «Космос», в котором описал зависимость климата от океана и его течений. Во второй половине XX века Н. Блютген пришел к выводу, что правильнее под данным термином подразумевать совокупность всех атмосферных изменений, на которые реагируют органы чувств человека. Примерно в то же время исследователь Ю. Ханн предложил под климатом понимать совокупность всех погод за определенный временной период.

На формирование климата влияют несколько показателей:

♦ **Географическая широта** – самый главный фактор. Количество тепла, которое получает земная поверхность, зависит от угла падения солнечных лучей. Он уменьшается от экватора к полюсам, поэтому экваториальные широты получают больше солнечного тепла, чем полярные.

♦ **Близость к морям и океанам.** Из-за разного количества испарений над океаном формируется влажный морской климат, а над сушей – сухой и резкий континентальный. Чем ближе к морю, тем больше выпадает осадков и тем меньше изменение годовых температур.

♦ **Океанические течения** влияют на мягкость климата у берегов континентов. Тёплые течения делают климат более влажным и тёплым, а холодные – сухим и суровым.

Преобладающие ветры переносят сухой или влажный воздух. От того, какие ветра преобладают на данной территории, зависит влажность климата.

♦ **Рельеф и высота над уровнем моря.** Горные хребты преграждают путь влажному и тёплому воздуху. Равнины создают благоприятные условия для перемещения воздушных масс. Кроме того, чем выше расположена территория, тем холоднее там воздух.

Ученые выделяют следующие характеристики, которые к нему относятся: температура верхнего уровня почвы и водоемов; прозрачность воздуха; количество солнечных лучей и получаемая от них радиация; ветер, его направление и скорость; влажность; температура в атмосфере; количество осадков; облачность; давление.

От значения каждого из этих параметров зависит, какой климат будет на наблюдаемой территории. Когда ученые начинают изучать особенности местности и погодных условий, они в первую очередь собирают сведения о вышеперечисленных характеристиках.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое климат?
2. От каких факторов зависит климат?
3. Что такое океанические течения?
4. Что такое преобладающие ветры?
5. Что такое рельеф и высота над уровнем моря?

Лабораторное занятие № 12. Наблюдение за уровнем воды

Наблюдения за уровнями воды заключаются в периодической или непрерывной фиксации высоты уровня в определенных пунктах водного объекта (реки, озера или водохранилища). Пункты, где ведут наблюдения по определенной программе и методике, называются гидрологическими постами.

По конструкции устройства для наблюдений за уровнем воды подразделяются на простейшие (реечные, свайные, смешанные реечно-свайные, передаточные) и автоматизированные.

Реечные устройства состоят из одной или нескольких деревянных или металлических реек, укрепленных на стенках набережных, устоях мостов и плотин (рис. 20, а). Если пост создается в зоне неукрепленного берега, то при небольшой амплитуде колебания уровней (до 3 м) рейка может быть установлена на специально забитых одиночных сваях (рис. 20, б) или кустах свай (рис. 20, в).

Глубина забивки должна составлять не менее 2 м, а место выбирается так, чтобы обеспечивалась сохранность и неизменность высотного положения рейки. С этой целью рейки иногда устанавливают в береговых ковшах или естественных выбоинах берега. При размещении поста на сооружениях рейка укрепляется в наиболее защищенных от плывущих предметов и льдин местах. Наиболее проста деревянная рейка. Она представляет собой брус сечением 14х4 см длиной до 3-4 м, на лицевой стороне которого нанесены деления через 2 см и дециметры. Из-за недолговечности деревянных реек им предпочитают металлические рейки. Чугунная рейка собирается из отдельных чугунных пластин, укрепляемых на прочном бруске, и крепится на откосе или опоре. Шкалу рейки с делениями через 2 см образуют фарфоровые вкладыши. Более легка рейка из листовой

стали длиной 0,5 м и сечением 120х3 мм с делениями из цветной эмали.

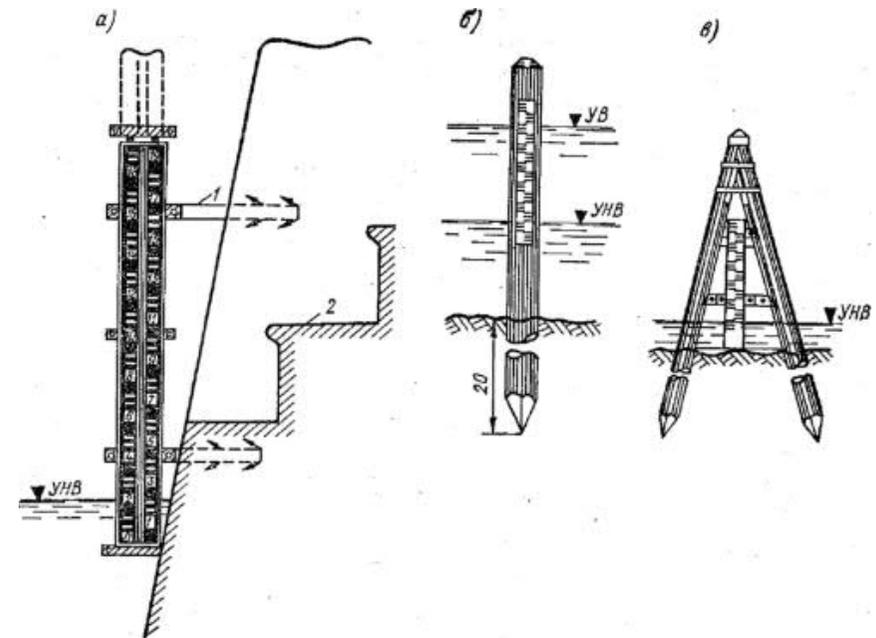


Рис. 21. Реечные посты на стенке мостового устоя (а), одиночной свае (б) и кусте свай (в).

В зависимости от амплитуды колебания уровней рейка может быть составлена из различного количества пластин-звеньев. Нулевое деление рейки должно быть опущено на 0,2-0,5 м ниже наинизшего уровня, а верх рейки поднят на столько же выше наивысшего уровня.

Установка реек в вертикальном положении вблизи пологих берегов связана с некоторыми затруднениями. Более просто на откосе с бетонным покрытием или лестничными спусками укрепить наклонные рейки. Разметка рейки зависит от угла ее наклона к горизонту.

Свайные устройства получили наибольшее распространение. Они наиболее удобны на равнинных реках при значительной амплитуде колебания уровня воды и сравнительно отлогих берегах. Свайное устройство состоит из ряда свай, забитых в одном створе по нормали к направлению течения реки (рис. 21).

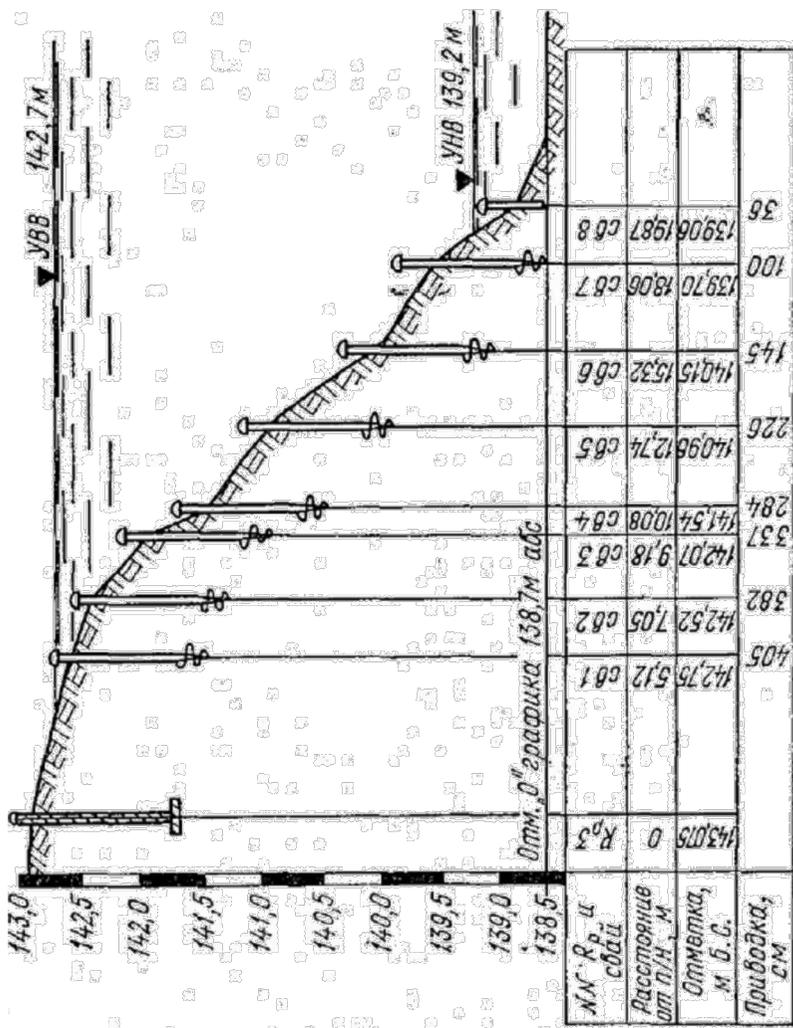


Рис. 21. Схема свайного гидрологического поста.

Места для свай назначают на заранее построенном поперечном профиле реки, полученном по данным нивелировки. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- головка верхней сваи должна быть на 0,25-0,50 м выше наивысшего уровня, а нижней - на 0,25-0,50 м ниже наинизшего уровня;
- превышение одной сваи над другой должно составлять 0,30-0,80 м и, во всяком случае, оно назначается с таким расчетом, чтобы расстояние между сваями не превосходило 2,0 м.

Высотное положение свай не должно изменяться. С этой целью их следует забивать на глубину 1,5-2,0 м, но обязательно до непромерзающего слоя грунта с углублением в него на 0,5-0,7 м.

Сваи забиваются вертикально в намеченных местах и в одном створе (по натянутому шнуру). Головки свай не должны возвышаться над землей более чем на 0,1-0,2 м.

Сваи изготавливаются из различных материалов: дерева, металла и железобетона. Например, металлическая свая ПИ-20 состоит из чугунного винта, металлической трубы и головки. Труба заполнена битумом, длина сваи 2,16 м. После установки сваи окрашиваются и нумеруются по порядку - от контрольного репера вниз, начиная с верхней. Головки свай окрашиваются белилами, а номера проставляются красной или черной краской на стороне, обращенной к реке.

Высота уровня воды на свайных устройствах измеряется переносными рейками, которые ставятся на головку сваи, ближайшей к берегу из числа затопленных.

Переносные рейки размечаются через 1 см. Они могут быть деревянные длиной 1,10 м, но чаще применяют металлические рейки. Например, рейка ГР-104 изготавливается из дюралюминиевой трубки диаметром 25 мм с деревянной ручкой; длина рейки 100 см. Сложнее конструкция рейки с успокоителем ГР-23. Она представляет собой прозрачный резервуар ромбовидного сечения, на которые нанесена шкала с делениями через 1 см и оцифровкой через 10 см. В основании рейки имеется отверстие, перекрываемое клапаном. При измерении рейка погружается в воду с открытым клапаном. После заполнения рейки водой клапан закрывают, извлекают рейку из воды и отсчитывают высоту установившегося уровня.

Смешанные речно-свайные устройства целесообразно устраивать при резких переломах в профиле берега или вблизи набережных и мостовых устоев. Их оборудование включает несколько свай,

забитых в пологой части берегового откоса, и реек, устанавливаемых вертикально на сваях или стенках сооружений.

Передаточные устройства представляют собой простейшие дистанционные установки, устраиваемые на реках с обрывистыми берегами, где доступ к воде затруднен. Основная его часть - стрела с блоком, через который перекидывается тонкий стальной канат с контактными грузом (рис. 22).

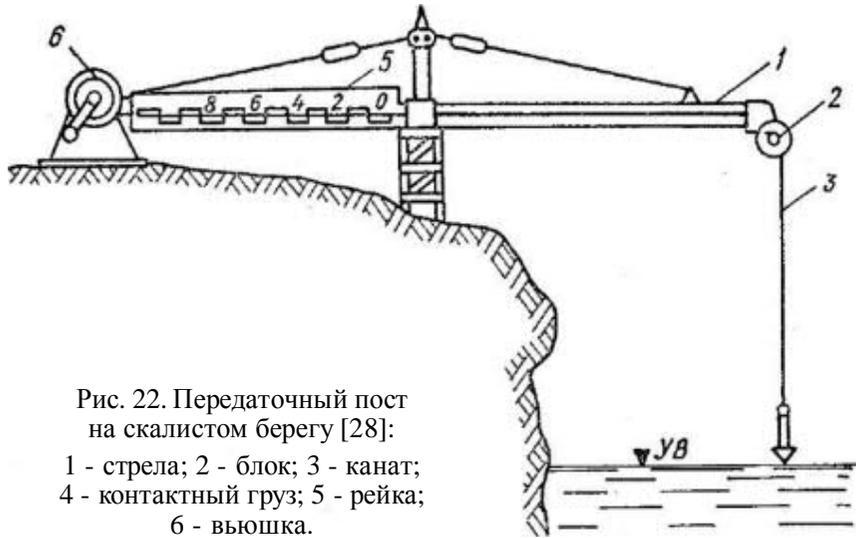


Рис. 22. Передаточный пост на скалистом берегу [28]:

- 1 - стрела; 2 - блок; 3 - канат;
4 - контактный груз; 5 - рейка;
6 - вьюшка.

Вдоль стрелы закрепляется рейка, нулевое деление которой обращено в сторону реки. Отсчеты высоты уровня производятся по длине каната, наматываемого на вьюшку. Основным недостатком передачных постов - невозможность их использования при ледоставе. Кроме того, механическая система передачи высоты уровня не всегда обеспечивает необходимую точность отсчета. Поэтому такие посты не получили массового распространения.

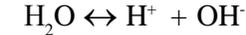
Вопросы для самопроверки

1. Что такое речные устройства?
2. Что такое смешанные речно-свайные устройства?
3. Что такое передачные устройства?
4. Что такое автоматизированные устройства?

Лабораторная работа № 13.

Химические и физические свойства природных вод

Вода – *слабый электролит*, диссоциирующий по уравнению:



Уравнение характеризует так называемое *ионное равновесие воды*. Состояние ионного равновесия природных вод отражает *водородный показатель pH*.

Благодаря особенностям молекулярного строения вода обладает свойством хорошо растворять различные химические вещества. Природная вода представляет собой *слабый раствор*.

В воде хорошо растворяются: соли, газы, биогенные вещества, микроэлементы.

Соли

Суммарное содержание в воде растворенных неорганических веществ (концентрация солей) выражают в виде **минерализации М** (мг/л, г/л), либо в относительных единицах (% , ‰).

Содержание растворенных в воде веществ в г/кг или в промилле (‰) называется *соленостью воды*

По содержанию солей (минерализации или солености) природные воды подразделяют на четыре группы:

1. Пресные – < 1 ‰.
2. Солончатые – 1- 25 ‰.
3. Солёные – 25 – 50 ‰.
4. Высокосолёные (рассолы) > 50 ‰.

Минерализация природных вод разного типа может изменяться в довольно широких пределах: от 0,01 г/л в атмосферных осадках до 600 г/л в рассолах.

К числу главных ионов солей, находящихся в природных водах, относятся:

1. Отрицательно заряженные ионы (анионы):
 HCO_3^- – гидрокарбонатный,
 SO_4^{2-} – сульфатный,
 Cl^- – хлоридный
2. Положительно заряженные ионы (катионы): кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} , натрия Na^+ и калия K^+ .

Все природные воды делятся по преобладающему **аниону** на три класса: гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный;

по преобладающему **катиону** на три группы: кальциевую, магниевую, натриевую.

Природные воды различного происхождения обычно имеют и различный солевой состав и относятся соответственно к разным классам и группам.

Речные воды, как правило, относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе.

Подземные воды нередко относятся к сульфатному классу и магниевой группе.

Воды океанов и морей принадлежат к хлоридному классу и натриевой группе.

Сумма концентрации наиболее распространенных двухвалентных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} называется *общей жесткостью воды*.

Повышенная жесткость обусловлена растворением в воде горных пород, содержащих карбонаты и сульфаты кальция и магния.

Газы

Наиболее распространенные газы, растворенные в природных водах, – это кислород O_2 , азот N_3 , диоксид углерода CO_2 , сероводород H_2S .

Газы хорошо растворяются в воде, если способны вступать с ней в химические связи. К таким газам относятся: аммиак NH_3 , сероводород H_2S , сернистый газ SO_2 , диоксид (двуокись) углерода, или углекислый газ CO_2 , и др.).

Прочие газы малорастворимы в воде.

При понижении давления, повышении температуры и увеличении солёности растворимость газов в воде уменьшается.

Источниками поступления газов в воду служат:

- атмосфера (в основном для O_2 , K_2 , CO_2);
- жизнедеятельность растений (O_2);
- разложение органического вещества (CO_2 , CH_4 , H_2S).

На практике нередко пользуются относительной характеристикой содержания в воде растворенных газов – *процентом насыщения (А)* - отношение фактического содержания газа (Φ) к равновесной концентрации (P) в воде при данной температуре.

$$A = (\Phi/P) - 100 \%,$$

где: Φ – фактическое содержание газа; P – его равновесная концентрация в воде при данной температуре.

Если фактическое содержание газа в поверхностном слое воды больше равновесной концентрации и величина $A > 100 \%$, то происходит выделение газа в атмосферу.

Если вода не насыщена газом и $A < 100\%$, то происходит поглощение водой газа из атмосферы.

Равновесная концентрация кислорода быстро уменьшается с ростом температуры воды.

Биогенные вещества

К биогенным веществам, растворенных в воде и потребляемых в процессе жизнедеятельности организмов, относятся:

- соединения азота N;
- фосфора P;
- кремния Si.

Эти вещества поступают в воду из атмосферы, грунтов, а также при разложении сложных органических соединений. Их источником служат также промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки.

Содержатся в воде и различные растворенные **органические вещества**: углеводы, белки и продукты их разложения, липиды – эфиры жирных кислот, гуминовые вещества и др.

Микроэлементами называют вещества, находящиеся в воде в малых количествах (менее 1 мг/л). Многие микроэлементы в очень малых концентрациях необходимы для жизнедеятельности организмов, а в повышенных концентрациях могут стать ядами.

К числу наиболее распространенных микроэлементов относятся: бром Br, йод I, фтор F, литий, барий Ba, так называемые «тяжелые металлы» – железо Fe, никель Ni, цинк Zn, кобальт Co, медь Cu, кадмий Cd, свинец Pb, ртуть Hg и др.

К микроэлементам в природных водах относятся и радиоактивные вещества естественного (калий ^{40}K , рубидий ^{87}Rb , уран ^{238}U , радий ^{226}Ra и др.) и антропогенного (стронций ^{90}Sr , цезий ^{137}Cs и др.) или смешанного происхождения.

Таким образом, содержащиеся в растворенном состоянии в воде ионы солей, газы, биогенные и органические вещества, микроэлементы различаются как по концентрации, так и по роли в физических, химических и биологических процессах в водной среде.

Особую категорию содержащихся в воде соединений составляют так называемые **загрязняющие вещества** (ЗВ), оказывающие вредное воздействие на живую природу и жизнедеятельность человека.

Это, прежде всего, нефтепродукты, ядохимикаты (пестициды, гербициды), удобрения, моющие средства (детергенты), некоторые микроэлементы (очень токсичны тяжелые металлы – ртуть, свинец и кадмий), радиоактивные вещества.

Большая часть загрязняющих веществ имеет антропогенное происхождение, хотя существуют и естественные источники загрязнения природных вод.

Особенности химического (и биологического) состава природных вод вместе с некоторыми их физическими свойствами, о которых речь пойдет ниже, часто объединяются в понятие «**качество воды**», при этом обычно имеют в виду пригодность вод для какого-либо использования.

Поэтому *качество воды* – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретного водопользования.

Агрегатные состояния воды и фазовые переходы

Вода может находиться в трех агрегатных состояниях, или фазах:

- *твердом (лед);*
- *жидком (собственно вода);*
- *газообразном (водяной пар).*

Очень важно, что при реально существующих на Земле диапазонах атмосферного давления и температуры вода может находиться одновременно в разных агрегатных состояниях. В этом отношении вода существенно отличается от других физических веществ, находящихся в естественных условиях преимущественно либо в твердом (минералы, металлы), либо в газообразном (O_2 , H_2 , CO_2 и т. д.) состоянии.

Изменения агрегатного состояния вещества называют *фазовыми переходами*. В этих случаях свойства вещества (например, плотность) скачкообразно изменяются. Фазовые переходы сопровождаются выделением или поглощением энергии, называемой *теплотой фазового перехода* («скрытой теплотой»).

При давлении 610 Па и температуре 0,01 °С вода одновременно находится во всех трех агрегатных состояниях.

При нормальном атмосферном давлении ($1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,013 \text{ бар} = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$)

t замерзания воды (плавления льда) = 0°С;

t кипения (конденсации) = 100 °С.

Температура замерзания и температура кипения воды зависят от давления.

Температура замерзания

1 атм = 670 мм – от 0 до 0,01°С;

600 атм - -5°С;

2200 атм - -22°С.

Последнее означает, что лед в нижней части толщи ледника, находящийся под давлением, может таять даже при небольшой отрицательной температуре.

При дальнейшем увеличении давления – быстро возрастает.

На максимальных глубинах в океане (около 11 км) давление превышает 10^8 Па (увеличение глубины на каждые 10 м увеличивает давление приблизительно на 10 Па). При таком давлении температура замерзания пресной воды была бы около -12 °С.

На снижение температуры замерзания воды оказывает влияние ее соленость. Увеличение солёности на каждые 10 % при атмосферном давлении снижает приблизительно на 0,54°С.

Температура кипения

Температура кипения с уменьшением давления снижается, поэтому на больших высотах в горах вода кипит при температуре ниже, чем 100 °С.

При росте давления $t_{\text{кип.}}$ возрастает до так называемой «критической точки»

при $P = 2,2 \cdot 10^7 \text{ Па}$ $t_{\text{кип.}} = 374^\circ\text{C}$

вода одновременно имеет свойства и жидкости и газа.

Плотность воды

Плотность – главнейшая физическая характеристика любого вещества. Она представляет собой массу однородного вещества, приходящуюся на единицу его объема:

$$\rho = m/v (\text{кг/м}^3),$$

где: m – масса; V – объем.

Плотность воды, как и других веществ, зависит, прежде всего, от температуры и давления (а для природных вод – еще и от содержа-

ния растворенных и тонкодисперсных взвешенных веществ) и скачкообразно изменяется при фазовых переходах.

При повышении температуры плотность воды, как и любого другого вещества, в большей части диапазона изменения температуры уменьшается (т.к. увеличивается расстояния между молекулами при росте температуры). Эта закономерность нарушается лишь при плавлении льда и при нагревании воды в диапазоне от 0 до 4°C (точнее 3,98 °C). Здесь отмечаются еще две очень важные «аномалии» воды:

- 1) плотность воды в твердом состоянии (лед) меньше, чем в жидком (вода), чего нет у подавляющего большинства других веществ;
- 2) в диапазоне температуры воды от 0 до 4 °C плотность воды с повышением температуры не уменьшается, а **увеличивается**.

Эти две «аномалии» воды имеют огромное гидрологическое значение: лед легче воды и поэтому «плавает» на ее поверхности; водоемы обычно не промерзают до дна, так как охлажденная до температуры ниже 4 °C пресная вода становится менее плотной и поэтому остается в поверхностном слое.

Плотность воды изменяется также в зависимости от содержания в ней растворенных веществ (солености) и увеличивается с ростом солености.

Увеличение солености на каждые 10 % снижает температуру наибольшей плотности приблизительно на 2 °C.

Соотношения между температурами наибольшей плотности и замерзания влияют на характер процесса охлаждения воды и вертикальной конвекции – перемешивания, обусловленного различиями в плотности. Охлаждение воды в результате теплообмена с воздухом приводит к увеличению плотности воды и, соответственно, к опусканию более плотной воды вниз. На ее место поднимаются более теплые и менее плотные воды. Происходит процесс *вертикальной плотностной конвекции*.

Таким образом, в пресных или солоноватых водах зимой в придонных горизонтах температура воды оказывается выше, чем на поверхности и всегда выше температуры замерзания.

Это обстоятельство имеет огромное значение для сохранения жизни в водоемах на глубинах. Если бы у воды температуры наибольшей плотности и замерзания совпадали бы, как у всех других жидкостей, то водоемы могли промерзнуть до дна, что привело бы к неизбежной гибели большинства организмов.

Аномальное изменение плотности воды при изменении температуры влечет за собой такое же «аномальное» изменение объема воды:

- с возрастанием температуры от 0 до 4 °C объем химически чистой воды уменьшается, и лишь при дальнейшем повышении температуры – увеличивается;
- объем льда всегда заметно больше объема той же массы воды (вспомним, как лопаются трубы при замерзании воды).

Некоторое влияние на плотность воды оказывает также давление. Сжимаемость воды очень мала, но она на больших глубинах в океане все же сказывается на плотности воды. На каждые 1000 м глубины плотность вследствие влияния давления столба воды возрастает на 4,5–4,9 кг/м³.

Если бы вода была совершенно несжимаемой, уровень Мирового океана стоял бы на 30 м выше, чем в действительности.

Тепловые свойства воды

К важным особенностям изменения агрегатного состояния воды или так называемых фазовых переходов относятся большая затрата теплоты на плавление, испарение, кипение, возгонку и большое выделение теплоты при обратных переходах.

В сравнении с другими веществами удельная теплота плавления льда и удельная теплота парообразования аномально высоки. Они представляют две очередные «аномалии» воды.

Удельная теплота плавления пресного льда $L_{пл}$ – количество теплоты, затрачиваемое при превращении единицы массы льда при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении в воду = 333 000 Дж/кг.

Столько же теплоты выделяется при замерзании (кристаллизации) химически чистой воды.

Удельная теплота парообразования (испарения) $L_{исп}$ - количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы воды в пар (в Дж/кг) зависит от температуры:

При 0 и 100 °C $L_{исп}$ равны соответственно $2,5 \cdot 10^6$ и $2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Столько же теплоты выделяется при конденсации водяного пара.

Удельная теплота испарения льда (возгонки) складывается из удельной теплоты плавления и удельной теплоты испарения:

$$L_{возгонка} = L_{пл} + L_{исп}.$$

Для нагревания воды вне точек фазовых переходов необходимо затратить большое количество теплоты.

Удельная теплоемкость воды - количество теплоты, необходимое для нагревания единицы массы воды на один градус.

Удельная теплоемкость также аномально высока по сравнению с теплоемкостью других жидкостей и твердых веществ.

Удельная теплоемкость воды при постоянном давлении, при 15 °С равна 4190 Дж/(кг·°С).

С увеличением содержания в воде солей удельная теплоемкость воды слабо уменьшается. Поэтому теплоемкость морской воды немного меньше, чем пресной.

Отмечается также небольшое уменьшение удельной теплоемкости воды с увеличением давления, что также имеет некоторое значение для тепловых процессов в толще океана.

Таким образом, отмеченные аномальные особенности тепловых свойств воды способствуют теплорегуляции процессов на Земле. При меньших значениях $t_{пл}$, $t_{исп}$ поверхность Земли нагревалась бы и охлаждалась гораздо быстрее, возрос бы и диапазон изменения температуры. В таких условиях вся вода на Земле то замерзала бы, то испарялась, гидросфера имела бы совсем иные свойства, а жизнь в таких условиях вряд ли была бы возможна.

Из других тепловых свойств воды важное значение имеет теплопроводность.

Молекулярная теплопроводность воды очень мала, меньшую молекулярную теплопроводность имеет лишь воздух.

Малая теплопроводность воды способствует ее медленному нагреванию и охлаждению.

Снег предохраняет почву, а лед – водоемы от промерзания.

Передача теплоты в воде рек, озер и морей происходит в основном благодаря турбулентной (при динамическом перемешивании), а не молекулярной теплопроводности.

Некоторые другие физические свойства воды:

1. Молекулярная вязкость воды (внутреннее трение).
2. Поверхностное натяжение и смачивание
3. Оптические свойства воды.
4. Акустические свойства воды.
5. Электропроводность воды.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое соленость воды и от чего зависит?
2. Что такое теплопроводность?
3. Тепловые свойства воды?
4. Что такое плотность воды?
5. Что такое удельная теплоемкость воды?
6. Что такое удельная теплота плавления пресного льда?

Лабораторная работа № 14.

Определение нормы стока и расчеты расходов воды

Определение нормы стока

Норма стока – среднее значение величины стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное значение существенно не меняется. Норма стока может быть вычислена путём осреднения годовых величин стока (норма годового стока), стока за половодье (норма стока за половодье), за отдельные месяцы или другие периоды года.

Имеющийся ряд среднегодовых значений стока часто бывает короче 50–60 лет и составляет 10 лет и меньше, т.е. не включает полных циклов, а среднеквадратичная погрешность среднего значения ряда превышает 10 %. В таком случае следует привести имеющийся ряд наблюдений к многолетнему периоду на основании данных по рекам-аналогам, а затем производить расчет для длинного ряда.

При подборе рек-аналогов следует учитывать следующее:

– расчетная река и река-аналог должны находиться в максимальной географической близости, практически одинаковыми должны быть климатические условия;

– определяющие формирование стока рассматриваемых рек, колебания годового стока на сравниваемых реках должны быть синхронными;

– в бассейнах рассматриваемых рек не должны существенно отличаться: рельеф водосборов, почвогрунты и гидрогеологические условия;

– озерность, заболоченность, залесенность и оледенение водосборов по своим относительным значениям должны быть близкими;

– площади водосборов не должны различаться для равнинных рек более чем в 10 раз, а в горах различие в средней высоте водосборов должно быть в пределах 300 м, потому что в этом случае значительного расхождения в общих условиях формирования стока не наблюдается;

– должны отсутствовать существенно искажающие естественный сток рек факторы (изъятия воды на орошение, водохранилища, карст, выходы артезианских вод и др.);

– продолжительность совместных лет наблюдений за годовым стоком на расчетной реке и реке-аналоге должна быть не менее 10 лет, так как за этот период проявляются общие черты в формировании стока рассматриваемых рек.

Объективным критерием правильности выбора пункта-аналога является значение коэффициента корреляции (R) за годы одновременных наблюдений больше 0,7 при значении коэффициента достоверности $K_d > 2$.

Расчетный расход воды в зданиях различного назначения определяют по числу водоразборных устройств (краны, смесители и другие), и обязательно учитывается вероятность их одновременного действия. Для обеспечения надежной работы сети она рассчитывается на неблагоприятный режим работы, т.е. при подаче максимального расхода. Расходы в сети меняются, и их величина зависит от числа одновременно действующих водоразборных устройств.

Изменение расходов воды в течение суток называются режимом водопотребления. Водопотребление зависит от многих факторов: типа здания, этажности имеющегося инженерно-технического оборудования, числа потребителей, климатических условий и т.д. В жилых зданиях максимальное водопотребление наблюдается в утреннее и вечернее время суток. В промышленных зданиях наибольший расход для бытовых нужд приходится на обеденные часы и после окончания смен. За расчетный расход принимают максимальный секундный расход, который зависит от числа одновременно работающих приборов, нормы и режима водопотребления. Расход воды в единицу времени на потребителя (на одного человека или одну изготавливаемую продукцию, оборудование) называется нормой водопотребления.

Режим водопотребления может быть представлен в виде ступенчатых или интегральных графиков изменения суточных или часовых расходов воды или в виде таблиц.

Максимальный суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды в жилых и общественных зданиях ($m^3/сут.$) определяют по следующей формуле:

$$Q_{\max \text{ сут.}} = qNK_{\text{сут.}}/1000,$$

где: q – норма максимального водопотребления на одного человека, л/сут. (принимают по СНиП); N – расчетное число людей в здании; $K_{\text{сут.}}$ – коэффициент суточной неравномерности (принимают по СНиП).

Расходы воды и режим потребления на производственные нужды ($m^3/сут.$) принимают согласно технологической карте процесса и определяют по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = q_m mZ/1000,$$

где: q_m – норма расхода на единицу продукции, л; m – количество выпускаемой продукции в единицах в смену; Z – число смен в сутки.

Нормы расхода воды на пожаротушение в жилых и общественных зданиях принимают, следуя указаниям СНиП. Расходы воды на пожаротушение определяют исходя из рабочего напора у пожарного крана и радиуса действия компактной части водяной струи. Внутренний водопровод рассчитывают на пропуск расчетного секундного расхода по всем водоразборным устройствам.

Критерием обеспеченности водой является подача нормативного расхода в диктующую точку, снабженную водоразборным устройством высокорасположенную и удаленную от водомерного узла.

Максимальный секундный расход (л/с) определяют по формуле:

$$q_b = 5 q_0 \alpha,$$

где: q_0 – нормативный расход перед водоразборным устройством, принимается согласно СНиП; α – параметр, зависящий от числа водоразборных устройств на расчетном участке сети и от вероятности их действия P , т.е. $\alpha = f(N, P)$, значение которой принимается по СНиП.

Для систем с одинаковыми потребителями при установке различных водоразборных устройств величину q_0 принимают по тому устройству, расход которого наибольший, а число таких устройств должно быть не менее 10% от общего количества N .

Для систем с различными потребителями или для однотипных водоразборных устройств q_0 принимают, как средневзвешенную, с учетом числа приборов, секундных и часовых расходов воды для группы однотипных водоразборных устройств:

$$q_{0i} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i P_i q_{0i}}{\sum_{i=1}^n N_i P_i}, \quad Q_{0i} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i Q_i q_{0i}}{\sum_{i=1}^n N_i Q_i},$$

где: N_i – число однотипных водоразборных устройств в i -той группе; P_i – вероятность действия однотипных устройств в i -той группе; q_{0i} , Q_{0i} – секундные и часовые нормативные расходы воды для i -той группы однотипных устройств. Для определения вероятности действия водоразборных устройств используют формулы:

- для одинаковых потребителей (жилые здания):

$$P = \frac{Q_q \cdot U}{3600 \cdot q_{0i} \cdot N};$$

- для различных потребителей (общественные, производственные и административные здания):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i U_i}{3600 \cdot q_{0i} \cdot \sum N_i},$$

где: Q_q и Q_{qi} – норма расхода, л/ч, одним потребителем или i -ым потребителем; U и U_i – число одинаковых или различных потребителей. В зданиях с одинаковыми потребителями на расчетных участках значение P принимают определенным для всей сети.

Для жилых зданий число жителей определяют с учетом числа заселенности одной квартиры и количества квартир (Пкв):

$$U = U_0 \text{ Пкв.}$$

Методы определения расходов

Измеренный *расход* определяется как объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени (обычно за одну секунду).

В наиболее простых случаях, при учете средних значений произведения, расход рассчитывают по формуле:

$$Q = V\omega, \quad (12)$$

где: V – средняя скорость течения; ω – средняя площадь водного (живого) сечения потока.

Расход воды геометрически представляется как объем водного пространства, заключенный между горизонтальной плоскостью живого сечения и поверхностью, проходящей через концы векторов скоростей течения. Это водяное тело называется гидрометрической моделью расхода воды (рис. 23).

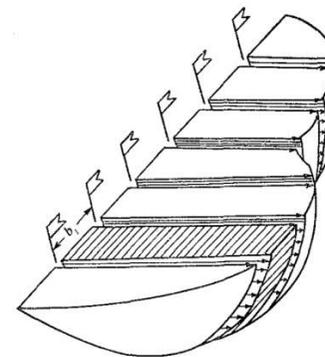


Рис. 23. Модель расхода воды в единицу времени.

Модель измеренного расхода воды является формой синтеза его элементов и зависит от применяемых методов измерения. Основные методы измерения расхода:

- 1) метод «скорость-площадь», основанный на измерении поперечного сечения потока и скоростей течения в точках или интегрально на вертикалях, в отсеках и по ширине русла;
- 2) метод «уклон-площадь», использующий продольный уклон водной поверхности, площадь и гидравлический радиус живого сечения;
- 3) метод смешения с вводом в поток индикаторов и определением степени их разбавления;
- 4) объемный метод, основанный на фиксации времени наполнения мерных емкостей;
- 5) гидравлические методы, осуществляемые с использованием специальных расходомерных устройств и характеристик пропускной способности гидротехнических сооружений (труб);
- 6) физические методы – с применением ультразвука, электромагнитной индукции и др.

Гидрологические методы, являющиеся косвенными, так как не требуют измерений самого потока, основаны на связи расходов воды с физико-географическими факторами бассейна реки и позволяют приблизительно (с погрешностью до 10–30 %) рассчитать средние за длительный период и экстремальные значения расходов.

Каждый из методов может быть подразделен в зависимости от применяемых средств измерения скоростей.

Наиболее трудоемкая операция при определении расхода воды – регистрация и пространственно-временное осреднение скоростей потока. Стремление сократить затраты труда и вместе с тем ускорить производство измерений привело к разработке интеграционных способов определения расходов воды.

В настоящее время получили развитие два способа:

- интеграция скоростей по вертикали вертушками, а также посредством твердых, воздушных и жидкостных поплавков;

- интеграция поверхностных скоростей по ширине потока гидрометрической вертушкой с движущегося судна, а также ультразвуковыми приборами.

Метод «скорость-площадь». Расход обычно измеряют в поперечнике реки, который называют *гидрометрическим створом*. Он назначается на прямом неразветвленном на рукава участке реки с правильной формой русла, устойчивым дном и неширокой поймой перпендикулярно среднему направлению течения, желательно вблизи действующего водпоста. Для удобства проведения замеров при небольшой ширине реки строят гидрометрический мостик или с берега на берег над водой натягивается трос с метровой разметкой вертикалей.

Допустим, что в гидрометрическом створе измерены глубины вертикалей h и вычислены средние скорости V_B на вертикалях, при использовании поверхностных поплавков, по устойчивой связи скоростей:

$$\begin{aligned} V_{cp} &= K_B V_{\Pi}, \\ V_{cp} &= K V_{max}, \end{aligned} \quad (13)$$

где K_B, K – числовые понижающие коэффициенты, принимаемые при ориентировочных расчетах:

$$K_B = 0,85 \text{ и } K = 0,65.$$

Скорость также рассчитывается по формулам (7) – (10) при замерах вертушками. Тогда общий расход определится суммированием

расходов через отдельные площади поперечного сечения между вертикалями:

$$Q = \sum b_i (V_i + V_{i+1}) (h_i + h_{i+1}) / 4. \quad (14)$$

Таблица 4 – Значения коэффициента шероховатости η для открытых каналов в некальном грунте без облицовки

Описание водотока	Коэффициент шероховатости
Канал прямой с постоянными живыми сечениями:	
а) чистый, только что выполненный	0,018
б) чистый после выветривания	0,022
в) чистый, ложе канала гравелистое	0,025
г) в канале небольшая растительность	0,027
Канал извилистый с переменными живыми сечениями:	
а) без растительности	0,025
б) заросший травой	0,030
в) с густой травой и водорослями	0,035
г) с земляным дном и бутовыми стенками	0,030
д) с каменным дном и откосами, заросшими водорослями	0,033
е) с мощным дном и чистыми откосами	0,040
Канал, откопанный драглайном или землечерпалкой:	
а) без растительности	0,028
б) с небольшой растительностью на берегах	0,050
Каналы, не поддерживаемые в исправности (травы и кусты не расчищаются):	
а) густая растительность высотой, равной глубине потока	0,080
б) чистое дно, заросли по берегам	0,050
в) то же, при высоком уровне воды	0,070
г) густой кустарник по берегам; высокий уровень воды	0,100

На горных реках в соответствии с уравнением Бернулли возникает значительный уклон уровней от берегов к средней части реки, поэтому поверхностные скорости воды направлены от берегов к оси и поплавок быстро сбивается к стрежню (линия наибольших поверхностных скоростей). В этом случае измеряют только максимальную поверхностную скорость, запуская 5–10 поплавков по стрежню из одной точки и фиксируя время их хода между верхним и нижним створами. За максимальную поверхностную скорость V_{max} принимают среднеарифметическую величину из скоростей трёх поплавков с наименьшей продолжительностью хода. Расход определяют по формуле:

$$Q = KV_{max}\omega. \quad (15)$$

Метод «уклон-площадь». Метод основан на использовании уравнения гидравлики для равномерного движения:

$$Q = \omega C(Ri)^{0.5}, \quad (16)$$

где: ω – площадь водного (живого) сечения потока; C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус живого сечения; i – продольный уклон водной поверхности в реке.

Для определения расхода выбирают прямолинейный участок с правильной корытообразной формой поперечного сечения русла.

Значения ω и R определяют по данным промеров глубин в поперечном створе, уклон – нивелированием, а коэффициент Шези C по эмпирическим формулам, например, по формуле Маннинга:

$$C = R^{1/6}/\eta, \quad (17)$$

где η – коэффициент шероховатости, определяемый в зависимости от характеристик русла по таблицам 4, 5.

Таблица 5 – Значения коэффициента шероховатости η для рек

Характеристика русла	Коэффициент шероховатости
Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, земляное, со свободным течением)	0,025 – 0,033
Чистое извилистое ложе с небольшим числом отмелей	0,033 – 0,045
То же, но слегка заросшее и с камнями	0,035 – 0,050
Значительно заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,050 – 0,080

Метод смешения. Метод основан на зависимости степени разбавления раствора вещества – индикатора, выпускаемого в поток, от расхода этого потока. Применяется для измерения небольших расходов (до 5 м³/с) в реках с высокой степенью турбулентности, например, на горных реках с бурным течением, небольшими глубинами и крупными валунами в русле, где затруднено применение других методов. Специфика метода состоит в том, что не требуется измерять скорости и площади живых сечений.

Техника и методика применения метода смешения весьма своеобразны. Он может осуществляться следующим образом. На участке реки с турбулентным течением на расстоянии 100 – 1000 м назначают два створа (сечения): верхний – пусковой и нижний – контрольный. В верхнем створе в середине реки вводят раствор поваренной соли с высокой концентрацией C_1 , близкой к насыщению (200 – 300 г/л). Расход q вводимого раствора поддерживается постоянным и составляет примерно 0,01–0,02 % от расхода Q воды в реке. Благодаря самопроизвольному турбулентному перемешиванию концентрация соли резко уменьшается по течению и в нижнем створе становится постоянной по всему объему воды в реке. Причем, чем больше расход реки, тем ниже значение концентрации C_2 в нижнем створе.

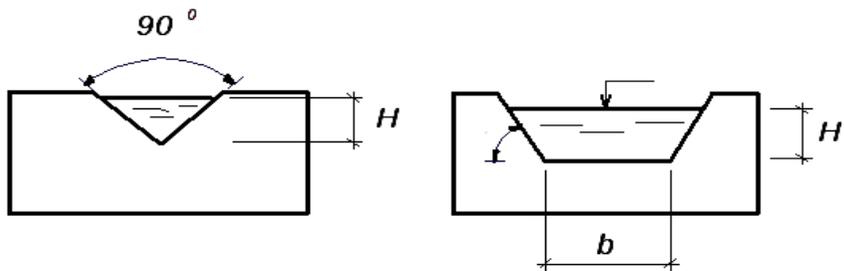
Измерив концентрации C_1 и C_2 химическим или электрометрическим (по электропроводности) методом, величину расхода реки Q вычисляют из условия равенства расходов соли в верхнем и нижнем створах: $C_1q = C_2(Q + q)$, откуда $Q = q(C_1 - C_2)/C_2$. Погрешность метода оценивается в 10%.

Объемный метод. По объемному методу расход определяется отношением известного объема W мерного сосуда или резервуара (бассейна) к времени t его наполнения: $Q = W/t$. Минимальная погрешность метода составляет 0,2–0,5%.

Гидравлические методы. В гидрометрии для определения расхода широко используют водосливы с тонкой стенкой, которые представляют собой стенку, перегораживающую поток (ручей) поперек и имеющую прямоугольный, трапецеидальный или треугольный вырез для пропуска воды. Наибольшее распространение получил треугольный водослив с углом выреза в 90° (рис. 24, а). Расход воды определяется по измеряемому геометрическому напору H из формулы $Q = 1,4 H^{2.5}$. При трапецеидальном водосливе (рис. 24, б) с углом $t\alpha = 0,25$ используют формулу $Q = 1,86 BH^{1.5}$. При прямоугольном

водосливе с тонкой стенкой $Q = 1,95 BH^{1,5}$. При прямоугольном водосливе с широким порогом $Q = 1,4 BH^{1,5}$.

Гидрометрические водосливы дают погрешность 0,5–2%. Водосливами на реках являются плотины. Они могут устраиваться на малых реках и в лабораториях специально для определения расхода воды.



а б
Рис. 24. Схема водослива:
а – треугольный; б – трапецеидальный

Малые мосты и дорожные трубы также могут быть использованы для определения расхода. Они работают по принципу водослива с широким порогом при нулевой его высоте и по схеме протекания делятся на свободные и подтопленные со стороны нижнего бьефа.

По гидравлическим показателям конструкции малые трубы можно подразделить на безнапорные водопропускные трубы (рис. 25, а), работающие, как водослив с широким порогом, напорные (рис. 25, б) и полунапорные (рис. 25, в), работающие, как насадки и короткие трубы или отверстия в тонкой стенке.

Пропускная способность безнапорных труб зависит от наличия подтопления. У неподтопленных труб она определяется по формуле водослива с широким порогом:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{1,5}, \quad (18)$$

где: Q – расход воды, м³/с; m – коэффициент расхода; b – ширина отверстия, м; g – ускорение силы тяжести, равное 9,8 м/с; H_0 – полный напор с учетом скорости подхода, м.

Для подтопленных труб пропускная способность определяется по формуле:

$$Q = m\sigma_n b\sqrt{2g}H_0^{1,5}, \quad (19)$$

где: σ_n – коэффициент подтопления.

Для труб большого сечения в формуле (18) под величиной b следует принимать среднюю величину, определяемую по площади и глубине соответствующего сечения.

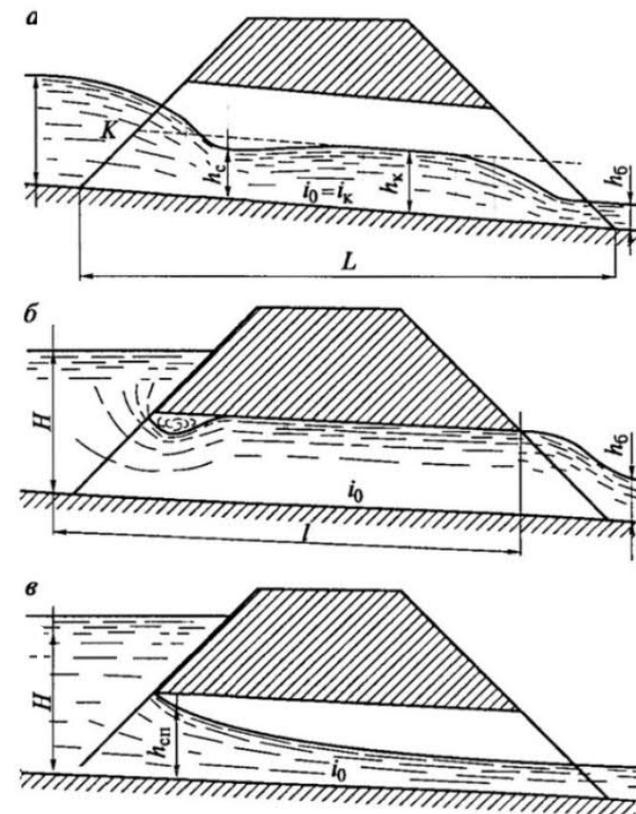


Рис. 25. Схема водослива:

а – безнапорная труба, б – напорная труба, в – полунапорная труба; K – поверхность воды в трубе при безнапорном режиме; h_k – глубина воды в сжатом сечении; h_k – критическая глубина; $h_б$ – глубина в нижнем бьефе (бытовая); h_{cn} – глубина воды на участке спада; i_0 – уклон дна трубы; i_k – критический уклон дна трубы; H – напор воды перед трубой; l – длина трубы между расчетными сечениями; L – полная длина трубы.

При расчете по сжатому сечению в конце входного участка

$$b = \omega_c / h_c.$$

Способ гидравлического расчета безнапорных труб зависит от их длины L , продольного уклона i_0 и бытовой глубины воды в нижнем бьефе h_c .

Безнапорные трубы можно подразделить на короткие и длинные, неподтопленные и подтопленные.

Короткие неподтопленные трубы. Ориентировочно можно считать, что при $i_0 < i_k$ трубы будут короткими, если их длина $L \leq 20 h_T$, где h_T – глубина воды в трубе, м. Пропускная способность определяется по формуле (18).

Длинные неподтопленные трубы оказывают влияние на напор перед трубой. При заданном расходе Q напор перед длинной трубой $H_{дл}$ приближенно (более точно – для круглых труб) можно определить по формуле:

$$H_{дл} = H + 0,005 h_T (L_T / h_T - 20) (H / h_T)^2, \quad (20)$$

где: H – напор перед короткой трубой, м; L_T – длина длинной трубы, м.

Трубы с затопленным входом. Если глубина потока на входе в трубу $h_{вх}$ превышает вертикальный размер входного отверстия, то вход окажется затопленным.

Полунапорные трубы работают по принципу истечения из отверстия.

Пропускная способность определяется по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g(H_0 - h_c)}, \quad (21)$$

где: μ – коэффициент расхода; ω – площадь поперечного сечения трубы, m^2 ; H_0 – гидродинамический напор, м; h_c – глубина сжатого сечения, м.

Напорные трубы работают по принципу насадка. Пропускную способность напорных труб можно определить по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g(H_0 + i_0 l - h)}, \quad (22)$$

где: i_0 – уклон трубы; l – длина трубы, м; h – глубина на выходе из трубы при гидростатическом распределении давления, м.

Подмостовые русла средних и больших мостов также могут быть использованы для приближенной оценки расхода воды. Расходы Q ,

пропускаемые через подмостовые русла на поймах, можно приближенно определить по формуле:

$$Q = \varphi \omega (2g \Delta Z)^{1/2}, \quad (23)$$

где: φ – коэффициент скорости, принимают равным 0,5 – 0,7; ω – площадь живого сечения под мостами; ΔZ – разность уровней воды с верховой стороны насыпи у границы разлива и в отверстии моста.

Вопросы для самопроверки

1. Что относится к гидравлическим методам?
2. Что такое гидрометрические створы?
3. Для чего нужны гидрометрические водосливы?
4. От чего зависит метод смешения?
5. На чем основан метод «уклон-площадь»?
6. Как определяется объемный метод?

Термины и определения

Батиграфические кривые – график, отражающий взаимозависимости уровня, объема и площади водохранилища.

Батометр – сетка предназначен для учета крупной гальки.

Водораздел – орографическая граница бассейна реки.

Водосбор реки – площадь поверхности земли и толщи почвы, где формируются источники питания реки водой.

Гидрологические расчеты – раздел инженерной гидрологии, в задачи которого входит разработка методов, позволяющих рассчитывать значения различных характеристик гидрологического режима.

Гидрологические характеристики – количественные оценки элементов гидрологического режима.

Глубина (h , см) – расстояние по вертикали от поверхности воды до дна.

Изобаты – линии на географической карте или плане, соединяющие точки одинаковых глубин водоёма (озера, моря).

Межень – период года, в течение которого наблюдается низкая водность.

Методы гидрологических расчетов – технические приемы, позволяющие рассчитать, обычно с оценкой вероятности их появления, значения характеристик гидрологического режима.

Объем стока (W , м³) – количество воды, стекающей с данного участка суши (водосбора) за продолжительное время (сутки, месяц, год).

Речной сток имеет четыре источника питания: дождевое, снеговое, ледниковое и подземное.

Паводок – сравнительно кратковременный подъем уровня воды, возникающий нерегулярно при ливневых дождях.

Площадь водного сечения – плоскость, перпендикулярная движению воды в реке.

Пойма – площадь, заливаемая водой во время половодья.

Половодье – фаза водного режима реки, которая характеризуется высоким и длительным подъемом уровня с выходом воды из русла на пойму. Ежегодно повторяется в одно и то же время при снеготаянии.

Расход (Q , м³/с) – объем воды, протекающей через живое сечение потока в единицу времени (обычно в секунду).

Регулирование речного стока – перераспределение количества воды во времени объема речного стока в замыкающем створе, выражающееся в его увеличении или уменьшении в отдельные периоды по сравнению с ходом поступления воды на поверхность водосбора.

Сальтация – перебрасывание наносов на короткие расстояния в придонном слое водного потока.

Смоченный периметр – длина подводного контура.

Твердый сток – масса взвешенных частиц различной фракции, перекачиваемых по дну, и растворенных химических и биогенных веществ, которые сносятся течением реки.

Урез воды – граница воды у берега водоема.

Уровень воды (H , см) – высота поверхности воды, отсчитываемая от некоторой плоскости сравнения.

Фарватер – линия наибольшей глубины водного объекта для безопасного прохода судов.

б б б

Список использованной литературы

1. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия: учебное пособие Л.: Гидрометеиздат, 1972. 441 с.
2. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия: учебное пособие Л.: Гидрометеиздат, 1977. 448 с.
3. Волчек А.А., Курсаков В.К., Волчек Ан.А. Гидрометрическая практика. Горки: УО «БГСА», 2011. 240 с.
4. Карасев И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С. Гидрометрия: учебник для вузов по спец. «Гидрология суши». Л.: Гидрометеиздат, 1991. 375 с.
5. Посыпанов С.В. Гидрометрия: методические указания к проведению учебной практики (издание 2-е, переработанное и дополненное). Архангельск: РИО С(А)ФУ, 2010. 46 с.
6. Слабожанин Г.Д. Гидрометрия: учебное пособие к самостоятельной работе по гидрологии по направлению подготовки бакалавров 270800 «Строительство». Томск: ФГБОУ ВПО «ТГАСУ», 2014. 58 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕТРИЯ	5
Лабораторная работа №1. Химический состав природных вод	5
Лабораторная работа №2. Физические свойства природных вод ...	9
Лабораторная работа №3. Состав, характеристики речной системы	14
Лабораторная работа №4. Речная гидрометрия. Измерение скорости, уровня и глубины воды	19
Лабораторная работа №5. Кинематика речного русла. Использование гидрографов для определения стока	38
Лабораторная работа №6. Оконтуривание бассейна реки и определение его площади	45
РАЗДЕЛ 2. РАСЧЕТЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИМАТА	54
Лабораторная работа №7. Определение характеристики влажности воздуха	54
Лабораторная работа №8. Расчет суммарного испарения с поверхности суши	57
Лабораторная работа №9. Определение стока и испарение	62
Лабораторная работа №10. Развитие водораздельной линии	71
Лабораторная работа №11. Определение характеристик климата ...	74
Лабораторная работа №12. Наблюдение за уровнем воды	76
Лабораторная работа №13. Химические и физические свойства природных вод	81
Лабораторная работа №14. Определение нормы стока и расчеты расходов воды	89
Термины и определения	102
Список использованной литературы	103



Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Электронная версия. 12.12.2022 г.
Бумага формат А4 (210x297 мм), масса 80 г/м².
Усл.печ.л. 6,5. Заказ 70.

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.
Типография ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет»