

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Дмитриев Николай Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 09.06.2026 04:48:39
Уникальный программный ключ:
f7c6227919e4cdbfb4d7b682991f8553b37cafb

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского

Колледж автомобильного транспорта и агротехнологий

Гидрология
Комплект практических работ
(для специальности 21.02.19 Землеустройство)

Учебно-методическое пособие

Молодежный 2026

УДК

Рекомендовано к печати предметно-цикловой комиссией Колледжа автомобильного транспорта и агротехнологий Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского (протокол № __ от _____ 2026 г.).

Составитель: Кривобок Татьяна Дмитриевна преподаватель колледжа АТ и АТ высшей квалификационной категории

Рецензент: Косарева А.В. к.т.н., доцент кафедры ТС и ОД Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского

ГИДРОЛОГИЯ. Комплект практических работ: Учеб.-метод. пособие .– Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2026. – 45 с.

Учебно-методическое пособие по выполнению практических работ по учебной дисциплине «Гидрология» предназначены для обучающихся СПО по специальности 21.02.019 Землеустройство

В данном пособии приведены указания по выполнению практических работ по темам дисциплины, указаны темы и содержание практических работ, формы контроля по каждой теме и рекомендуемая литература.

Данное учебно-методическое пособие способствуют развитию общих и профессиональных компетенций, постепенному и целенаправленному развитию познавательных способностей.

© Кривобок Т.Д.

© Издательство Иркутский ГАУ, 2026

Введение

Комплект практических работ разработан согласно рабочей программе учебной дисциплины «Гидрология» и требованиям к результатам обучения Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования (далее – ФГОС СПО).

Оформление отчета после выполнения заданий, способствует повторению и закреплению знаний, полученных на учебных занятиях теоретического обучения и более плодотворной работе на практических занятиях.

Методические указания по выполнению практических работ направлены на овладение обучающимися следующих результатов:

умения:

~ использовать результаты гидрометрических работ;

~ применять гидрологические расчеты для определения гидрологических характеристик;

знания:

~ основных понятий гидрологии и основ регулирования речного стока, методов гидрологии.

Практические работы следует проводить по мере прохождения студентами теоретического материала.

Работы рекомендуется производить в следующей последовательности:

~ вводная беседа, во время которой кратко напоминаются теоретические вопросы по теме работы, разъясняется сущность, цель, методика выполнения работы;

~ самостоятельное выполнение необходимых расчетов;

~ обработка результатов расчетов, оформление документации, отчета;

~ защита практической работы в форме устных ответов на контрольные вопросы.

Обязательная аудиторная нагрузка на практическую работу – 2 часа.

Нагрузка на внеаудиторную работу студентов (оформление отчета – написание выводов, подготовка к защите работы) – 1 час.

Методические указания к выполнению практической работы для студентов

К выполнению практической работы необходимо подготовиться до начала занятия, используя рекомендованную литературу и конспекты лекций.

Обучающиеся обязаны иметь при себе линейку, карандаш, тетрадь для практических работ.

Отчеты по практическим работам должны включать в себя следующие пункты:

~ название практической работы и ее цель;

~ краткий порядок выполнения работы;

~ далее пишется «Ход работы» и выполняются этапы практической работы, согласно указанному в работе порядку.

При подготовке к сдаче практической работы, необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы.

Если отчет по работе не сдан вовремя (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за работу снижается.

Система оценивания практической работы

При оценивании выполнения практической работы студентом учитываются следующие показатели:

– качество выполнения задания работы (выполнение работы в соответствии с заданием, правильность результатов работы);

- качество оформления отчета по работе (оформление отчета в соответствии с требованиями методических рекомендаций, правильность и четкость формулировки выводов по результатам работы);
- качество и глубина устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

Каждый показатель оценивается по 5-ти бальной шкале и выставляется средний балл по всем показателям.

Перечень тем практических занятий:

1. Оценка элементов водного баланса: Испарение с поверхности воды. Определение испарения с суши различными методами. Определение количества осадков.
2. Основные характеристики водности реки. Описание реки.
3. Определение расхода воды аналитическим способом
4. Расчет годового и внутригодового стока
5. Расчет максимального стока
6. Определение параметров водной эрозии

Практическое занятие 1

на тему: Оценка элементов водного баланса: Испарение с поверхности воды.

Определение испарения с суши различными методами. Определение количества осадков.

Цель занятия – изучить и определить составляющие уравнения водного баланса – осадки и испарение.

Задачи

- 1) изучить круговорот воды в природе;
- 2) освоить уравнения водного и теплового баланса;
- 3) изучить виды осадков, их факторы и способы измерения (ответить на вопросы самопроверки);
- 4) ознакомиться с факторами испарения с водной поверхности и суши, изучить методы определения испарения.
- 5) Выполнить индивидуальное задание - расчёт испарений - по варианту, выданному преподавателем. Знать ответы на вопросы самоконтроля.

Теоретическая часть

Вода в природе совершает малый и большой круговороты. В первом случае происходит испарение из океана и выпадение осадков в океан. Во втором случае, испарившаяся из океана влага частично выпадает в океан, а частично – на сушу в результате переноса воздушных масс. Выпавшие на поверхность суши осадки формируют сток, попадая через некоторое время в океан.

Соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения ее запасов на определенной территории называется водным балансом.

Уравнение водного баланса земного шара представляет собой равенство количества воды, испаряющегося с поверхности суши и океанов, количеству

осадков, выпадающих на эти поверхности. Согласно данным в практике с земного шара испаряется 1130 мм воды и такое же количество поступает на сушу и в океан.

Несколько по-другому выглядит уравнение водного баланса для некоторой территории суши и определяется по формуле (1.1):

$$X=Y+E\pm W, \quad (1.1)$$

где X – суммарные осадки,

Y – речной сток,

E – суммарное испарение воды,

$\pm W$ – изменения запасов влаги.

При сопоставлении приходной и расходной частей необходимо учитывать изменения запасов влаги W , характеризующих колебание снежного покрова, уровня воды в озерах, болотах и поймах рек, накопление и расходование грунтовых и почвенных вод. Другими словами, запасы влаги могут принимать положительное и отрицательное значение. Это уравнения справедливо для годового периода.

При рассмотрении многолетнего периода последнее слагаемое стремится к нулю. В этом случае уравнение водного баланса записывается в следующей редакции (1.2)

$$\bar{X} = \bar{Y} + \bar{E}, \quad (1.2)$$

В этом уравнении все переменные представляют собой средние многолетние значения или нормы осадков, стока и испарения.

В отличие от уравнения водного баланса уравнение теплового баланса характеризует соотношение прихода и расхода тепла для некоторой территории, определяется по формуле (1.3):

$$LE_m = LE + T, \quad (1.3)$$

где LE_m – теплоэнергетические ресурсы,

LE – расход тепла на суммарное испарение,

T – суммарный теплообмен.

Теплоэнергетические ресурсы включают в себя радиационный баланс (разность

между поглощенной коротковолновой радиацией Солнца и излучением земной поверхности за вычетом противоизлучения атмосферы), положительную составляющую турбулентного теплообмена и изменение запасов тепла в деятельном слое почвы и вычисляются по формуле (1.4):

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2). \quad (1.4)$$

В свою очередь суммарный теплообмен состоит из расхода тепла на нагревание воздуха, длинноволновое излучение земной поверхности в ночные часы и тепла конденсации водяных паров, определяется по формуле (1.5):

$$T = P + I_k - LC. \quad (1.5)$$

В приведенных формулах L – скрытая теплота испарения воды. Уравнение теплового и водного баланса связаны соотношением (1.6),

$$\beta_H = \frac{1 - \psi}{1 - \eta}, \quad (1.6)$$

где H – суммарное увлажнение ($E + Y$);

$$\beta_H = \frac{H}{E_m};$$

$\psi = \frac{T}{LE_m}$ коэффициент расхода тепла на турбулентный обмен и ночное

длинноволновое излучение;

$\eta = Y/H$ – коэффициент отношения речного стока к суммарному увлажнению.

Рассмотрим основные элементы уравнения водного и теплового баланса, осадки и испарение.

1. Расчет испарения

Испарение — парообразование с поверхности воды, снега, почвы и растений, является основной составляющей водного баланса речных бассейнов, озер, водохранилищ и других водных объектов.

В настоящее время расчеты испарения приобретают важное значение в связи с оценкой и динамикой водного баланса, следовательно, водных ресурсов страны и отдельных регионов, а также для проектирования и эксплуатации водохранилищ,

мелиоративных систем, расчетов запасов влаги в почвогрунтах и т. д.

Процесс испарения состоит в том, что вода из жидкого или твердого состояния превращается в газ (пар). Молекулы воды, находясь в непрерывном движении, преодолевают силу взаимного молекулярного притяжения и вылетают в воздух, находящийся над поверхностью воды. Чем выше температура воды, тем больше скорость движения молекул и тем, следовательно, большее количество молекул воды отрывается от ее поверхности и переходит в атмосферу — испаряется. Поэтому интенсивность испарения зависит, прежде всего, от температуры испаряющей поверхности. Кроме того, часть молекул, оторвавшихся от поверхности воды и находящихся в воздухе, в процессе движения может снова попасть в воду.

Если количество молекул, переходящих из воздуха в жидкость, окажется больше, чем количество молекул, вылетающих из жидкости в воздух, происходит процесс, обратный испарению. Такой процесс называется конденсацией.

Испарение зависит от разности между упругостью водяного пара, насыщающего пространство при температуре испаряющей поверхности, и упругостью водяного пара, фактически находящегося в воздухе. Интенсивность испарения возрастает, если в прилегающем к испаряющей поверхности слое воздуха существуют восходящие и нисходящие токи, называемые конвекционными. Они возникают в том случае, когда температура воздуха, непосредственно прилегающего к испаряющей поверхности, выше, чем температура вышележащих слоев.

Над большими водными пространствами, где испарение происходит одновременно с большой площади, горизонтальное перемещение воздуха не может обеспечить сколько-нибудь значительный горизонтальный приток более сухих масс воздуха. Однако с увеличением горизонтальной скорости ветра увеличиваются и вертикальные составляющие, вызывающие вертикальное перемещение масс воздуха, проходящих над поверхностью водоема. Это вертикальное перемещение воздуха и является основным для процесса испарения

над обширными водными пространствами (океаны, моря, крупные озера).

Испарение с поверхности почвы и испарение растительным покровом протекает значительно сложнее. Испарение с поверхности почвы определяется не только разностью упругости водяного пара и коэффициентом обмена, но и количеством влаги, находящейся в почве, и особенностями строения почвы.

С участков суши, покрытых растительностью, суммарное испарение формируется из трех составляющих: испарение непосредственно с почвы, испарение растительностью в процессе ее жизнедеятельности (транспирация), испарение осадков, задержанных растительной массой.

Таким образом, процесс испарения зависит от интенсивности теплового движения молекул: чем быстрее движутся молекулы, тем быстрее происходит испарение. Кроме того, немаловажными факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней (по отношению к веществу) диффузии, а также свойства самого вещества. Другими словами, при ветре испарение происходит гораздо быстрее. Важным фактором является также площадь поверхности жидкости, с которой происходит испарение.

Испарение может быть с поверхности воды и с поверхности суши.

1.1 Испарение с поверхности воды

Испарение с поверхности воды определяют в основном метеорологическими факторами, то есть *температурой воды и воздуха, дефицитом влажности воздуха и скоростью ветра.*

Дефицит влажности воздуха d представляет собой разность между влажностью насыщения e_0 при данной температуре и давлении и фактической влажностью e .

При $(e_0 - e) > 0$ происходит испарение, при $(e_0 - e) < 0$ – конденсация (на снег и лед – сублимация). В случае $(e_0 - e) = 0$ наблюдается равновесие водяного пара над поверхностью воды.

На испарение с водной поверхности оказывают влияние такие факторы, как

площадь, глубина и защищенность водоема. Слой испарившейся влаги с больших водоемов вследствие увеличения скорости ветра и высоты волн больше, чем с малых водоемов. Водоемы, защищенные высокой растительностью на берегах, постройками, горами, испаряют влаги меньше незащищенных.

Наблюдения над испарением с водной поверхности в РФ ведут с помощью бассейнов-эталонов площадью 20 м^2 , глубиной 2 м (50 пунктов), а также испарителей ГГИ-3000 (около 500 пунктов) и новых теплоизолированных испарителей ГГИ-3000ТМ.

В соответствии с Указаниями по расчету испарения с поверхности водоемов, разработанными ГГИ (1969 г.), все водоемы применительно к расчету испарения делятся на три группы: малые, средние и большие.

К малым относятся водоемы площадью до 5 км^2 округлой или квадратной формы, имеющие среднюю длину разгона воздушного потока над водной поверхностью до 3 км; к средним – водоемы площадью от 5 до 40 км^2 ; к большим – более 40 км^2 .

Среднемноголетнее испарение (норма) с малых водоемов, расположенных в равнинных условиях, определяют по выражению (1.7)

$$E_B = E_{20} k_h k_z k_s, \quad (1.7)$$

где E_{20} – среднемноголетнее испарение с эталонного бассейна 20 м^2 ,

k_h , k_z и k_s – поправочные коэффициенты соответственно на глубину водоема, на защищенность водоема от ветра древесной растительностью, строениями, крутыми берегами и другими препятствиями, а также на площадь водоема.

В случае отсутствия данных наблюдений среднемноголетнее испарение с бассейна площадью 20 м^2 находят по карте изолиний (рисунок 1) методом интерполяции.

Поправочный коэффициент k_z определяют в зависимости от отношения средней высоты (м) препятствий h_z к средней длине (м) разгона воздушного потока D , (h_z/D).

Таблица 1.1 – Поправочный коэффициент на защищенность водоема от ветра древесной растительностью, строениями, крутыми берегами

| | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| h_3/D | 0,0 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| k_3 | 1,00 | 0,96 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,76 | 0,70 | 0,64 | 0,57 | 0,51 |

Поправочный коэффициент на глубину водоема k_h находят по таблице 1.2 в зависимости от местоположения водоема (природной зоны) и средней глубины.

Таблица 1.2 – Поправочный коэффициент на глубину водоема k_h

| Природная зона | Средняя глубина водоема, м | | | | | |
|--------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Тундровая и лесная | 1,00 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,94 | 0,92 |
| Лесостепная | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,92 |
| Степная | 1,00 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,93 |
| Полупустынная | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,97 |
| Пустынная | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Поправочный коэффициент на площадь водоема k_S для тундровой, лесной и лесостепной зон находят путем интерполяции с помощью таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Поправочный коэффициент k_S на площадь водоема

| | | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Площадь водоема, км ² | 0,01 | 0,05 | 0,10 | 0,50 | 1,00 | 2,00 | 5,00 |
| K_S | 1,03 | 1,03 | 1,11 | 1,18 | 1,21 | 1,23 | 1,26 |

Расчетный годовой слой испарения с вероятностью превышения p вычисляют по формуле (1.8)

$$E = k_p \cdot E_s, \quad (1.8)$$

где k_p – ордината аналитической функции, определяется по таблице 1.4 в зависимости от зоны.

Таблица 1.4 – Ординаты аналитической кривой обеспеченности годового испарения

| Зона | C_v | Вероятность превышения P_E , % | | | | | |
|----------|-------|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 3 | 5 | 10 | 25 | 50 |
| I-V | 0,15 | 1,35 | 1,28 | 1,25 | 1,19 | 1,10 | 1,00 |
| VI- VIII | 0,10 | 1,23 | 1,19 | 1,16 | 1,13 | 1,07 | 1,00 |

Нормы испарения с поверхности малых водоемов по месяцам при отсутствии данных наблюдений приближенно вычисляют с помощью таблицы 1.5.

Таблица 1.5 – Испарение с поверхности малых водоемов (% годовой суммы за безледоставный период)

| Зона | Месяц | | | | | | | | | | | |
|------|-------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|
| | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
| I | - | - | - | - | - | 20 | 45 | 30 | 5 | - | - | - |
| II | - | - | - | - | 7 | 28 | 33 | 23 | 9 | - | - | - |
| III | - | - | - | - | 16 | 25 | 21 | 20 | 14 | 4 | - | - |
| IV | - | - | - | 3 | 16 | 22 | 21 | 19 | 12 | 6 | 1 | - |
| V | - | - | - | 6 | 14 | 20 | 21 | 19 | 212 | 6 | 2 | - |
| VI | - | - | 3 | 6 | 13 | 17 | 20 | 19 | 13 | 7 | 2 | - |
| VII | - | 1 | 4 | 7 | 13 | 16 | 19 | 17 | 12 | 7 | 3 | 1 |
| VII | 2 | 3 | 4 | 7 | 12 | 15 | 16 | 16 | 12 | 7 | 4 | 2 |

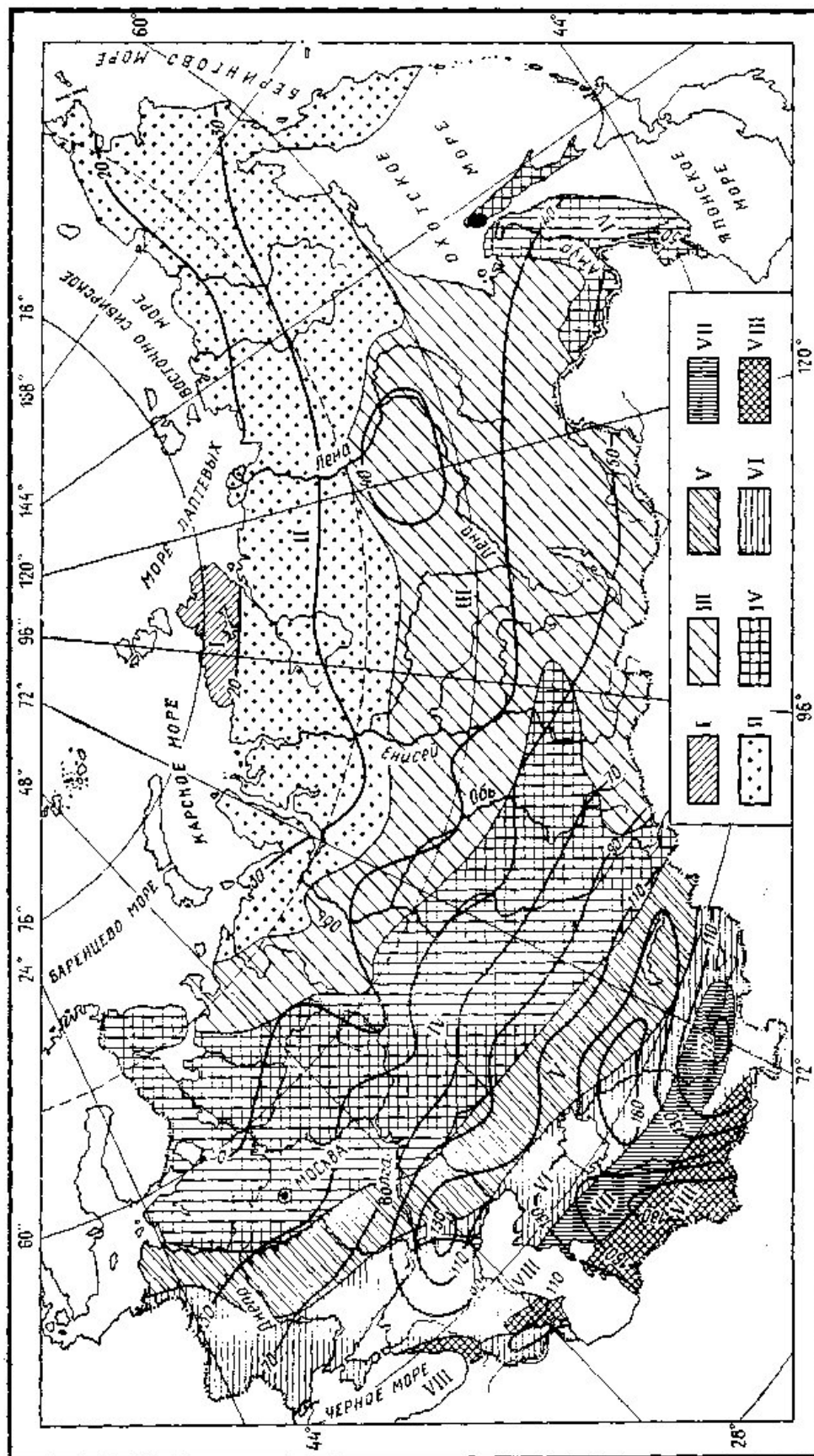


Рисунок 1 – Карта среднемноголетнего испарения с водной поверхности бассейна площадью 20 м² и схема районирования

Для III зоны испарение вычисляется по формуле (1.9)

$$E_M = \frac{C_M E_B}{100}, \quad (1.9)$$

где C_M – процент годовой суммы за безледоставный период.

Задание 1 определения испарения с малого водоема при различных ситуациях и разными способами.

Пример выполнения задания:

1.1 Определение испарения с малого водоема при отсутствии данных наблюдений

Исходные данные:

Площадь водоема (S), расположенного вблизи пункта Яркино равна $3,5 \text{ км}^2$,

Средняя глубина (H) – $4,5 \text{ м}$,

Средняя длина разгона воздушного потока (D) – $3,5 \text{ км}$,

Средняя высота препятствий на берегу (h_{cp}) – 10 м .

Требуется:

- 1) вычислить среднемноголетнее испарение;
- 2) определить годовой слой испарения с водной поверхности расчетной вероятностью превышения $p=10\%$;
- 3) распределить найденный годовой слой испарения по месяцам.

Порядок выполнения задания

1) среднемноголетнее испарение (норма) с малых водоемов, расположенных в равнинных условиях, определяют по выражению (1.7).

Из-за отсутствия данных наблюдений среднемноголетнее испарение с бассейна площадью 20 м^2 находят по карте изолиний рисунок 1.1.

Так, для водоема расположенного вблизи пункта Яркино $E_{20}=400 \text{ мм}$ (определяется методом интерполяции).

Поправочный коэффициент k_3 определяют в зависимости от отношения средней высоты (м) препятствий h_3 к средней длине (м) разгона воздушного потока D .

Для пункта Яркино, расположенного в лесостепной зоне,

$$h_{cp}/D = 10/3500 = 0,0028,$$

$k_3 = 0,989$, что соответствует методом интерполяции по таблице 1.1

Поправочный коэффициент на глубину водоема k_h находят по таблице 1.2 в зависимости от местоположения водоема (природной зоны) и средней глубины. Для водоема вблизи пункта Яркино расположенного в лесостепной зоне, глубина которого составляет 4,5 м и по таблице 3.2 находится между 1 и 0,98, в результате интерполяции получен коэффициент $k_h = 0,983$.

Поправочный коэффициент на площадь водоема k_S для тундровой, лесной и лесостепной зон находят путем интерполяции с помощью таблицы 1.3. Для площади $S = 3,5 \text{ км}^2$ $k_S = 1,245$.

Таким образом, вычислим среднемноголетнее испарение

$$E_B = E_{20}k_hk_3k_S = 400 \cdot 0,989 \cdot 0,987 \cdot 1,245 = 484 \text{ мм.}$$

Полученное значение E_B является нормой испарения с воды.

Расчетный годовой слой испарения с вероятностью превышения p вычисляют по формуле (1.8).

Пункт Яркино расположен в III зоне. При $p = 10\%$ составит $k_p = 1,19$.

Таким образом, испарение с вероятностью превышения 10% будет

$$E = k_p \cdot E_B = 1,19 \cdot 484 = 576 \text{ мм.}$$

Нормы испарения с поверхности малых водоемов по месяцам при отсутствии данных наблюдений приближенно вычисляют с помощью таблицы 1.5.

Для III зоны испарение вычисляется по формуле (1.9).

В таблице 1.6 приведены значения норм испарения по месяцам, вычисленные по формуле (1.9).

Таблица 1.6 – Расчетное испарение по месяцам вблизи пункта Яркино (III зона)

| Месяц | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | За год |
|---------------|----|----|----|----|-------|-----|--------|------|-------|-------|----|----|--------|
| Испарение, мм | - | - | - | - | 77,44 | 121 | 101,64 | 96,8 | 67,76 | 19,36 | - | - | 484 |

Таким образом, рассчитано годовое испарение с водоема в пункте Яркино, которое составило $E_c = 484$ мм, определены месячные значения испарения за безледоставный период, приведенные в таблице 1.6.

1.2 Испарение 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, 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.

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

Задание 1.2 Испарение с поверхности суши

1.2.1 Определение испарения с суши с помощью карты изолиний испарения

Среднегодовое годовое испарение с больших площадей (до 9 900 км²) в приближенных расчетах удобно определять по *карте изолиний испарения*, построенной в ГГИ (рисунок 3.2) на основе уравнения водного баланса для суши

по разности средне-многолетних годовых сумм атмосферных осадков и среднемного-летнего годового стока рек.

На карте оконтуривается площадь расчетной территории (например, водосбора реки) и наносится центр ее тяжести. Если площадь пересекается несколькими изолиниями, то испарение вычисляют как средневзвешенную величину аналогично изложенному в предыдущем пункте.

При расположении исследуемой площади на карте между двумя соседними изолиниями расчетную величину находят для центра тяжести площади путем интерполяции между соседними изолиниями.

Погрешность снимаемых с карты значений испарения для равнинной территории составляет 15%. Для горных районов и Крайнего Севера ошибка возрастает до 20%, а в слабоизученных районах — до 40%.

Пример выполнения задания

Исходные данные: карта среднегодового слоя испарения с суши.

Требуется: определить (приблизительно) среднемноголетнее годовое испарение для пункта Усть-Када (III зона).

Порядок выполнения задания

По карте (рисунок 2) находят расположение пункта Усть-Када Иркутской области и определяют центр тяжести водосбора. Зная координаты центра тяжести, методом интерполяции, находим норму среднегодового испарения. Следовательно, для пункта Усть-Када Иркутской области среднемноголетнее годовое испарение (норма) равно 320 мм.

1.2.2 Определение испарения с суши методом турбулентной диффузии

Расчет по температуре и влажности воздуха (метод А. Р. Константинова) основан на установлении оттока водяного пара от испаряющей поверхности, разработан на основе теории турбулентной диффузии и используется для районов избыточного и достаточного увлажнения равнинной территории России с площади, окружающей метеорологическую станцию, в несколько квадратных километров. Метод не рекомендуется применять для районов сухих степей, полупустынь и пустынь. Норму годового испарения находят по номограмме (рисунок 3) в зависимости от среднегодовой температуры и влажности воздуха.

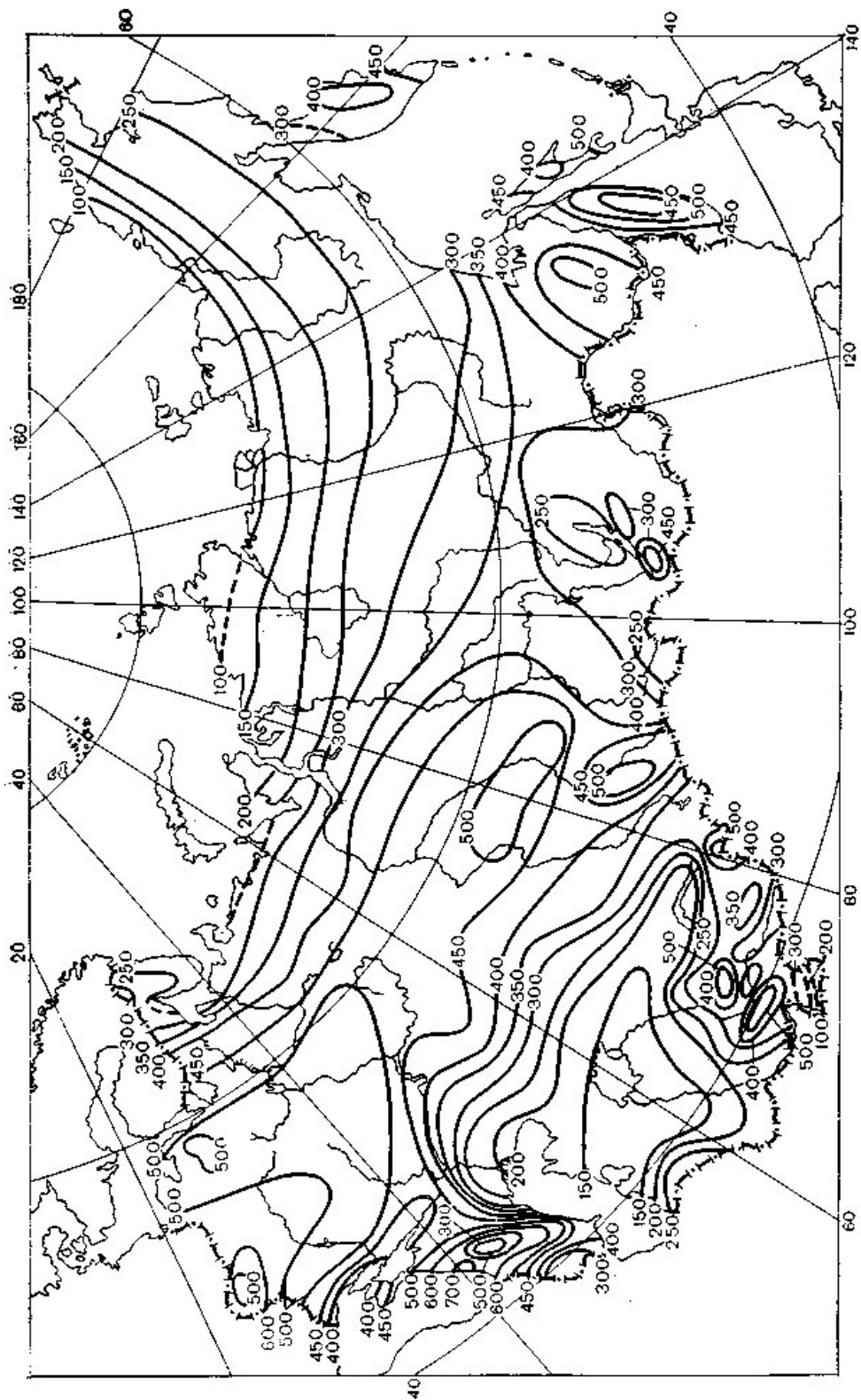


Рисунок 2 – Карта среднемноголетнего годового слоя испарения (мм)

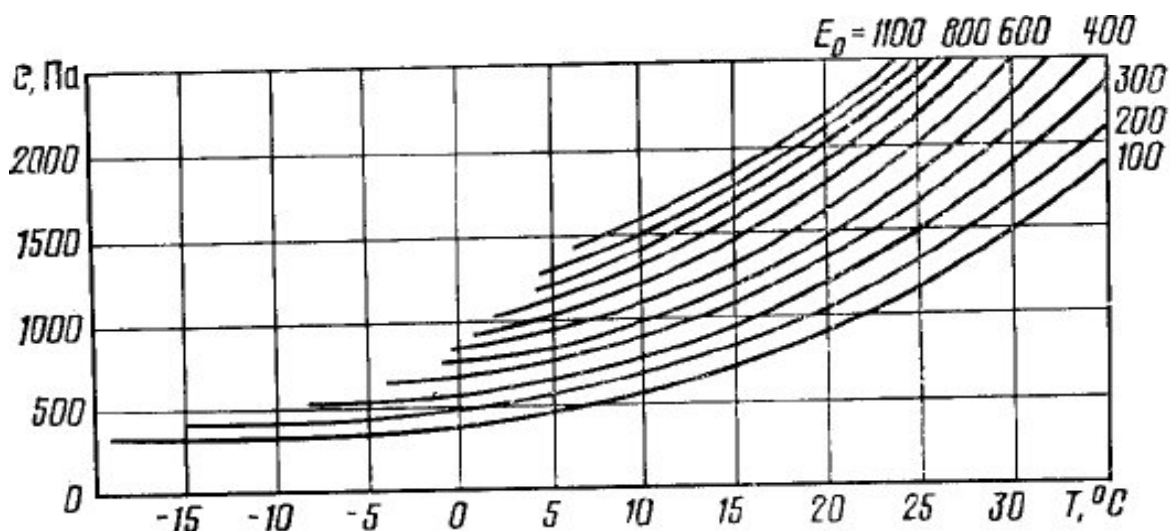


Рисунок 3 – Номограмма для вычисления среднемноголетнего годового испарения E_0 (мм) по среднегодовой температуре T и влажности воздуха e (Па)

Метеорологические станции, расположенные вблизи водоемов, нерепрезентативны для определения испарения с суши. Они должны быть удалены от реки на расстояние, более чем в 5 раз превышающее ее ширину, от водоема шириной до 1 км на расстояние, превышающее ее ширину, от больших водоемов на расстояние около 1/3 его ширины. Влияние моря распространяется на зону до 150 км.

Пример выполнения задания

Исходные данные: для пункта Яркино среднегодовая температура воздуха за многолетний период составляет $t = -2,8$ °С, а влажность $e = 600$ Па.

Требуется: определить среднемноголетнее годовое испарение для пункта Яркино.

Порядок выполнения задания

Пользуясь номограммой (рисунок 3), проводят перпендикуляры от указанных значений t и e . Для точки их пересечения, интерполируя между изолиниями, получают для пункта Яркино $E_c = 310$ мм.

1.2.3 Определение испарения с суши методом решения уравнения связи водного и теплового балансов М.И. Будыко

Количество воды (в граммах), необходимое для образования 1 г сухого вещества растения, называется *транспирационным коэффициентом*. Он зависит от биологии растений и изменяется в широких пределах. Большое влияние на транспирацию оказывают солнечная радиация и влажность почвы, от которых зависит жизнь и рост растений.

Испарение с растительного покрова измеряют почвенными испарителями и лизиметрами, однако в малых испарителях растения находятся в угнетенном состоянии и только с помощью больших испарителей можно правильно судить о транспирации.

С помощью водного баланса среднее многолетнее испарение определяется как разность между осадками и стоком с водосбора. Существуют косвенные методы расчета испарения с суши. М. И. Будыко на основании совместного решения уравнения водного и теплового балансов разработал метод определения среднего многолетнего испарения в зависимости от осадков и радиационного баланса. Для упрощения расчета испарения по методу Будыко построена номограмма (рисунок 4)

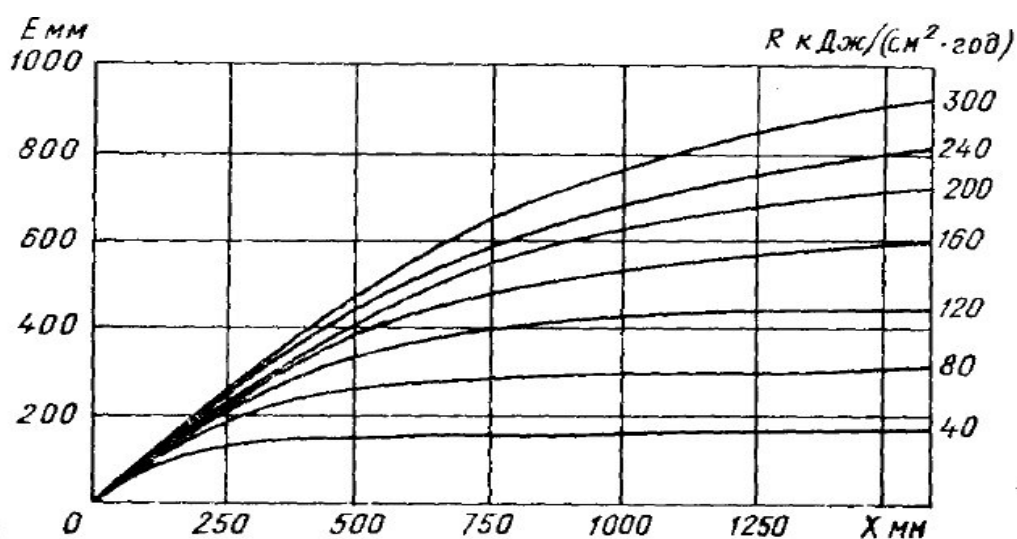


Рисунок 4 – Номограмма для вычисления среднего многолетнего годового испарения E (мм/год) по уравнению связи М.И. Будыко

Пример выполнения задания

Исходные данные:

для пункта Яркино высота годового слоя осадков ($x = 422$ мм) и радиационный баланс ($R = 120$ к Дж/см²)

Требуется: определить среднемноголетнее годовое испарение для пункта Яркино.

Порядок выполнения задания

Пользуясь номограммой (рисунок 4), проводят перпендикуляры от указанных значений x и R . Для точки их пересечения, интерполируя между изолиниями, получают для пункта Яркино $E_C = 300$ мм.

1.2.4 Определение испарения с суши по методу гидролого-климатических расчетов

При расчетах испарения в мелиоративных целях широко применяют гидролого-климатический метод, разработанный В.С. Мезенцевым. Предложенное им уравнение для вычисления суммарного испарения с суши (мм) имеет следующий вид (1.10):

$$E = E_{max} \left[1 + \left(\frac{k_x}{E_{max}} \right) \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.10)$$

где E_{max} – максимально возможное испарение (водный эквивалент теплоресурсов испарения), мм;

k_x – общее увлажнение (на практике исправленные на недоучет прибором атмосферных осадков), мм;

n – параметр, учитывающий гидравлические условия стока в разных ландшафтно-климатических условиях; для равнинного рельефа средних широт $n = 3,0$, а в горных районах $n = 2,0$; значение n принимают по аналогии

с хорошо изученными в отношении элементов водного баланса водосборами.

Для определения максимально возможного испарения И.В. Карнацевич предложил формулу (1.11)

$$E_{max} = 5,88 \sum t + 260, \quad (1.11)$$

где $\sum t$ — сумма среднемесячных положительных температур воздуха за год.

Внутригодовой ход максимально возможного испарения принимают в первом приближении таким же, как ход дефицита (недостатка) насыщения влагой воздуха d . Если подсчитать годовую сумму среднемесячных (декадных) дефицитов влажности $\sum d_i$, то значение $E_{max,i}$ за i -й интервал можно подсчитать по формуле (1.12)

$$E_{max,i} = E_{max} d_i / (\sum d_i), \quad (1.12)$$

Норму испарения с речного бассейна, на котором расположено несколько метеорологических станций, определяют для каждой метеорологической станции. При равномерном распределении станций на площади бассейна применяют среднеарифметический метод, а при неравномерном — метод средневзвешенной величины с учетом доли площади бассейна, относящейся к соответствующей станции.

Пример выполнения задания

Исходные данные:

для пункта Яркино сумма средних температур $\sum t = 52,1$,

среднемноголетний слой осадков $x = 422$ мм,

поправочный коэффициент для Иркутской области $k = 1,25$,

параметр $n = 3$, учитывающий равнинный рельеф.

Требуется:

определить среднемноголетнее годовое испарение для пункта Яркино.

Порядок выполнения задания

Согласно формуле (1.11) вычисляют испарение:

$$E_{max} = 5,88 \sum t + 260 = 5,88 \cdot 52,1 + 260 = 566 \text{ мм}$$

Используя выражение (1.10) находим испарение с суши

$$E = E_{max} \left[1 + \left(\frac{kx}{E_{max}} \right)^n \right]^{-\frac{1}{n}} = 566 \left[1 + \left(\frac{1,25 \cdot 422}{566} \right)^3 \right]^{-\frac{1}{3}} = 444 \text{ мм.}$$

Вывод. 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 рассчитано испарение с поверхности суши четырьмя способами: с помощью карты изолиний испарения, методом турбулентной диффузии, методом решения уравнения связи водного и теплового балансов М.И. Будыко и по методу гидролого-климатических расчетов (В.С. Мезенцева).

Таким образом, найдено испарение по данным пункта Яркино, которое составило с малого водоема при отсутствии данных наблюдений 484 мм, с помощью карты изолиний испарения – 320 мм, методом турбулентной диффузии - 310 мм, методом решения уравнения связи водного и теплового балансов М.И. Будыко – 300 мм и по методу гидролого-климатических расчетов – 444 мм.

Вопросы для самопроверки

1. Уравнение водного баланса земного шара.
2. Уравнение теплового баланса.
3. Теплоэнергетические ресурсы.
4. Суммарный теплообмен.
5. Испарение.

6. Виды испарения.
7. Факторы, влияющие на испарение.
8. Испарение заданной обеспеченности.
9. Приборы для определения обеспеченности.
10. Малый водоем.
11. Средний водоем.
12. Большой водоем.
13. Среднегодовое испарение.
14. Слой испарения с водной поверхности.
15. Годовой слой испарения.
16. Поправочный коэффициент соответственно на глубину водоема.
17. Поправочный коэффициент соответственно на защищенность водоема от ветра древесной растительностью, строениями, крутыми берегами и другими препятствиями.
18. Поправочный коэффициент соответственно на пл
19. Площадь водоема.
20. Испарение с поверхности суши.
21. Методы расчета испарения.
22. Метод турбулентной диффузии
23. Метод гидролого-климатических расчетов.
24. Карта изолиний годового испарения с поверхности суши.
25. Карта изолиний годового испарения с бассейна, площадью 20 м^2 .

Варианты заданий – расчет испарения

(номер варианта **выдается преподавателем**)

| №варианта | S, км ² | H, м | D, км | h _p , м | R, кдж/см ² | t _r , гр | ∑t, гр | e, Па |
|-----------|--------------------|------|-------|--------------------|------------------------|---------------------|--------|-------|
| 1 | 3 | 4 | 3 | 10 | 120 | -3,7 | 46,5 | 560 |
| 2 | 4 | 3,5 | 4 | 15 | 120 | -3,6 | 47 | 570 |
| 3 | 3,5 | 4,5 | 3,5 | 10 | 120 | -2,8 | 52,1 | 600 |
| 4 | 4,5 | 3 | 4 | 12 | 120 | -3,2 | 54,3 | 560 |
| 5 | 2,5 | 4,5 | 4,5 | 16 | 120 | -2,9 | 48,4 | 550 |
| 6 | 3 | 4 | 4 | 13 | 120 | -3 | 63,2 | 520 |
| 7 | 4,5 | 3,5 | 6 | 20 | 120 | -2,8 | 72 | 550 |
| 8 | 3,5 | 4,5 | 4 | 22 | 120 | -2,9 | 77,1 | 560 |
| 9 | 4 | 3,5 | 3,5 | 18 | 120 | -2,3 | 78,2 | 570 |
| 10 | 5 | 6 | 4 | 15 | 120 | -2,6 | 63,4 | 590 |
| 11 | 4,5 | 5,5 | 3,5 | 17 | 147 | -2,5 | 64,5 | 580 |
| 12 | 3,6 | 6 | 4,5 | 21 | 147 | -2,4 | 65,8 | 560 |
| 13 | 5 | 5 | 4 | 15 | 147 | -2,4 | 64,3 | 570 |
| 14 | 4,2 | 4,5 | 3,5 | 14 | 147 | -2,1 | 68,6 | 590 |
| 15 | 4,6 | 5 | 4 | 22 | 147 | -2,6 | 67,5 | 570 |
| 16 | 5 | 3,5 | 4,5 | 20 | 133 | -1,2 | 61,2 | 570 |
| 17 | 4,5 | 4 | 5 | 16 | 193 | -1,2 | 62,3 | 560 |
| 18 | 3,5 | 3,5 | 3 | 15 | 180 | -2,4 | 66,7 | 600 |
| 19 | 4,5 | 4,5 | 3,5 | 17 | 180 | -2,4 | 68,7 | 600 |
| 20 | 5 | 5 | 4,5 | 22 | 180 | -2,1 | 67,7 | 590 |
| 21 | 4,3 | 6 | 3 | 18 | 180 | -2,5 | 68,3 | 590 |
| 22 | 4,8 | 5,4 | 4 | 21 | 193 | -2,6 | 64,9 | 520 |
| 23 | 4 | 5,5 | 3 | 14 | 193 | -2,1 | 65,3 | 590 |
| 24 | 4,5 | 5 | 3,5 | 17 | 193 | -2,4 | 67,8 | 560 |
| 25 | 5 | 3,5 | 3,6 | 15 | 193 | -2,4 | 72,1 | 560 |
| 26 | 3 | 5 | 4 | 16 | 120 | -2,9 | 70 | 600 |
| 27 | 3 | 4,5 | 5 | 20 | 160 | -2,5 | 65,5 | 570 |
| 28 | 4 | 3,5 | 5 | 24 | 165 | -2,2 | 71,3 | 590 |
| 29 | 3,5 | 4,5 | 4,5 | 21 | 180 | -2 | 72 | 600 |
| 30 | 4 | 4,5 | 4,5 | 20 | 190 | -2,1 | 70,2 | 580 |
| 31 | 4,6 | 5,3 | 4,6 | 17 | 150 | -2 | 66,8 | 590 |
| 32 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 15 | 160 | -1,9 | 67,5 | 600 |
| 33 | 4,4 | 3,5 | 4 | 14 | 180 | -2,2 | 69 | 570 |
| 34 | 4,2 | 3,8 | 5,2 | 13 | 170 | -1,8 | 68 | 580 |
| 35 | 4,8 | 4,2 | 5,3 | 17 | 165 | -2 | 70 | 570 |
| 36 | 4,5 | 5,5 | 5 | 16 | 160 | -2,3 | 70,2 | 580 |
| 37 | 4 | 6 | 4,7 | 17 | 170 | -1,8 | 67,8 | 600 |
| 38 | 4,6 | 5,7 | 4,2 | 22 | 190 | -1,2 | 62,3 | 570 |
| 39 | 4,9 | 4,8 | 4,7 | 17 | 180 | -0,4 | 64,5 | 580 |
| 40 | 3,6 | 5 | 3,8 | 18 | 190 | -0,5 | 70,1 | 600 |
| 41 | 4,2 | 3,7 | 4,9 | 21 | 185 | -0,8 | 70,2 | 610 |
| 42 | 3,9 | 4,3 | 5 | 16 | 186 | -1,1 | 69,3 | 620 |
| 43 | 4 | 5,8 | 4,5 | 14 | 190 | -1,2 | 68,2 | 580 |
| 44 | 4,5 | 4,7 | 4,7 | 17 | 156 | -1,3 | 67,8 | 590 |
| 45 | 3,6 | 3,9 | 3,6 | 19 | 160 | -2 | 38,2 | 600 |
| 46 | 4,8 | 3,6 | 3,8 | 20 | 170 | -2,1 | 39 | 570 |
| 47 | 5 | 4,4 | 4,3 | 22 | 180 | -1,5 | 66,7 | 550 |
| 48 | 3,2 | 5,1 | 4,4 | 18 | 175 | -1,4 | 67,6 | 610 |
| 49 | 3,4 | 4,2 | 4,1 | 21 | 165 | -1,7 | 60,9 | 590 |
| 50 | 4,5 | 3,8 | 3,7 | 13 | 190 | -1,6 | 62 | 870 |

Задание 2 Осадки

1. Изучить виды осадков, их факторы и способы измерения (ответы на вопросы самопроверки записать в рабочей тетради)

Теоретическая часть

Для измерения составляющих водного баланса организована гидрометеорологическая сеть, позволяющая в отдельных пунктах получать их значения на различных отрезках времени: сутки, пентада, декада, месяц и год.

Осадки бывают твердые и жидкие.

По интенсивности выпадения их разделяют на ливневые, обложные и морозящие. Ливневые осадки характеризуются высокой интенсивностью и сравнительно малой продолжительностью. В отличие от ливневых осадков обложные осадки имеют незначительную интенсивность и продолжаются длительный период. Ливневые и обложные осадки выпадают в виде дождя или снега. Морозящие осадки состоят из мелких капель или крупинок снега и медленно оседают на земную или водную поверхность.

Дождевые осадки измеряются обычно осадкомером В.Д. Третьякова. Прибор состоит из ведра с площадью поверхности 200 см². Ведро устанавливают на высоте 2 м от поверхности почвы. От выдувания осадков измерительный прибор защищен металлическими планками. Осадки, скопившиеся в осадкомере, измеряют при помощи измерительного стакана, деление которого соответствует 0,1 мм. Измерения производят каждые сутки.

Для непрерывной автоматической записи количества жидких осадков используются самопишущие дождемеры-плювиографы. Принцип работы прибора состоит в записи колебаний осадков на ленту при помощи пера. Движение пера зависит от перемещения поплавка, который поднимается при увеличении объема воды в цилиндре. В отличие от осадкомера В.Д. Третьякова площадь ведра плювиографа равна 500 см².

Для определения запасов воды в снеге h (количество воды, образующееся

при таянии снега) необходимо знать относительную плотность снега d , как отношение массы снега и воды, и высоту снежного покрова $h_{сн}$:

$$h = d \cdot h_{сн}, \quad (3.12)$$

Обычно снеготзапасы по территории с Запада на Восток уменьшаются ввиду удаленности Атлантического океана. На слой осадков влияют высота рельефа местности. В горной местности количество осадков выпадает больше чем на равнине.

Вопросы для самопроверки

1. Осадки.
2. Виды осадков.
3. Ливневые осадки.
4. Обложные осадки.
5. Морозящие осадки.
6. Запас воды в снеге.
7. Снеготзапасы.
8. Осадкомер Третьякова.
9. Снегомерная съемка.
10. Относительная плотность снега.
11. Высота снежного покрова.
12. Факторы формирования осадков.
13. Самопишущие дождемеры.

Практическая работа 2

Тема: Характеристики водности рек

Цель занятия – изучить и определить основные характеристики речного бассейна, связанные с ее гидрологическим режимом.

Задачи

1. освоить основные понятия гидрологических характеристик бассейна реки;
2. изучить основные характеристики, отображающие водный режим реки.

Краткая справка

Территория земной поверхности и толщи почво-грунтов, откуда река или речная система получает водное питание, называется бассейном реки или речной системы.

Речной бассейн состоит из поверхностного и подземного водосборов. Поверхностный водосбор характеризует питание реки или речной системы с площади земной поверхности, а подземный – с толщи почво-грунтов. Поскольку выделение подземного водосбора вызывает трудности, в литературе часто понятия «бассейн» и «водосбор» отождествляют. Основной характеристикой бассейна реки является его площадь F (км²).

Водоток, питающийся поверхностными и подземными водами, характеризуется истоком и устьем.

Исток – это место начала реки, а устье – место впадения реки в море, озеро или другую реку.

Длина реки представляет собой расстояние от истока до устья, измеренное по карте или аэрофотоснимку.

Как правило, в бассейне формируются временные и постоянные водотоки, система которых образует гидрографическую сеть. Кроме того, сюда входят озера.

При рассмотрении системы постоянно и временно действующих водотоков применяют термин русловая сеть. Часть русловой сети, включающая в себя постоянно действующие водотоки, называется речной сетью.

Колебания водности реки во времени называют водным режимом. При изучении водного режима используют следующие гидрологические понятия: мгновенный расход воды (Q), объем стока реки (W), модуль стока (q), высота слоя стока (y), и коэффициент стока (η).

Мгновенный расход воды представляет собой количество воды,

протекающее через поперечное сечение потока за единицу времени ($\text{м}^3/\text{с}$).

Модуль стока – это объем воды, стекающий в единицу времени с единичной площади водосбора:

$$q = \frac{1000Q}{F} \quad (2.1)$$

Значение модуля стока, рассчитанное по формуле (2.1), при условии, что характеристики Q и F выражаются в [$\text{м}^3/\text{с}$] и [км^2], имеет размерность [$\text{л}/\text{с}\cdot\text{км}^2$].

Речной сток формируется за счет выпадения осадков, которые обычно выражаются в виде высоты слоя воды (x), выпавшей в течение определенного периода и равномерно распределенной по поверхности водосбора. Аналогично выражается высота слоя стока. Обе характеристики имеют размерность [мм].

Между модулем стока и слоем стока (y) имеет место соотношение

$$y = 31,5q. \quad (2.2)$$

Выражение (2.2) характеризует слой годового стока в [мм].

Объем годового стока реки рассчитывается по формуле (2.3)

$$W = \frac{y}{10^3} F \quad (2.3)$$

Величина W выражается в [км^3].

Помимо перечисленных характеристик, существенную роль в гидрологии имеют такие понятия как *норма стока*, *модульные коэффициенты* и *коэффициент стока*.

Норма стока определяется как многолетняя средняя величина ряда годовых расходов или модулей стока и относится к наиболее устойчивым характеристикам.

Коэффициенты представляют собой отношение годовых расходов воды к многолетнему среднему значению ряда этих величин.

Коэффициент стока вычисляется в виде отношения высоты слоя стока к количеству выпавших осадков:

$$\eta = \frac{y}{x} \quad (2.4)$$

Коэффициент стока характеризует долю осадков, участвующих в формировании стока. Поэтому он изменяется от 0 до 1.

Пример выполнения задания

Исходные данные:

река и пункт наблюдений (Иркут-Монды),
площадь водосбора ($F=1200 \text{ км}^2$), —
норма стока ($Q=10,5 \text{ м}^3/\text{с}$),
высота годового слоя осадков ($x=550 \text{ мм}$).

Требуется:

1. описать гидрологические особенности реки (питание реки, где берет начало, площадь, куда впадает, высота водосбора, уклон реки, норма стока, как комбинируется сток реки от года к году);
2. вычислить модуль стока;
3. определить слой стока;
4. рассчитать объем годового стока;
5. найти слой стока.

Порядок выполнения задания

1. По формуле (2.1) вычисляется модуль стока

$$q = 1000 \cdot 10,5 / 1200 = 8,75 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2.$$

2. Высота слоя стока определяется по выражению (2.2)

$$y = 31,5 \cdot 8,75 = 276 \text{ мм}.$$

3. Объем годового стока рассчитывается с использованием формулы (2.3)

$$W = 276 \cdot 1200 / 10^6 = 0,331 \text{ км}^3.$$

4. Коэффициент стока как соотношение высоты стока и осадков (2.4) равен

$$\eta = 276 / 550 = 0,50.$$

5. В таблице 2.1 приведены результаты выполнения задания.

Таблица 2.1 – Результаты гидрологических характеристик реки

| № варианта | Река-пункт | $F, \text{ км}^2$ | $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $q, \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ | $x, \text{ мм}$ | $y, \text{ мм}$ | $W, \text{ км}^3$ | η |
|------------|-------------|-------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------|
| 0 | Иркут-Монды | 1200 | 10,5 | 8,75 | 550 | 276 | 0,331 | 0,50 |

Вывод. Площадь реки незначительна (1200 км^2), норма стока составляет $10,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Гидрографическая сеть развита, поскольку составляет $8,75 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$, коэффициент стока характеризует $0,5$, согласно чему 50% тратится на формирование стока.

Вопросы для самопроверки

1. Основные характеристики речного бассейна.

2. Характеристика водотока.
3. Питание реки.
4. Гидрографическая сеть.
5. Расход воды.
6. Модуль стока.
7. Высота слоя стока.
8. Объем стока.
9. Коэффициент стока.
10. Водосбор реки.
11. Бассейн реки.
12. Площадь водосбора реки.
13. Режим реки.
14. Исток и устье реки.
15. Линия водосбора.

Практическое занятие

на тему: Определение расходов воды аналитическим способом

Цель занятия – вычислить расход воды аналитическим способом по скоростям, измеренным гидрометрической вертушкой и глубинам потока.

Задачи

- ~ освоить основные понятия гидрометрии;
- ~ определить ширину реки;
- ~ определить расход воды;
- ~ определить площадь живого сечения реки;
- ~ определить среднюю и максимальную скорости течения реки;
- ~ определить среднюю и максимальную глубины реки;
- ~ определить смоченный периметр и гидравлический радиус.

Теоретическая часть

Расход воды Q является основной характеристикой реки, представляя собой количество воды, протекающее через поперечное сечение реки за единицу времени.

Обычно расходы воды измеряются в $\text{м}^3/\text{с}$. В практике используются различные методы определения значения Q : по измеренным скоростям и глубинам, аэрогидрометрическим методом, способом смешения, по уклону и живому сечению, аналитическим способом.

Расчет расходов воды по измеренным скоростям и глубинам является графическим способом.

В первую очередь строят профиль живого сечения, на котором обозначают флажками скоростные вертикали, а при наличии ледовых явлений – погруженный лед и шугу.

На этом же чертеже строят профили скоростей $v = v(y)$.

Масштаб глубин на них и на профиле живого сечения должен быть

одинаковым.

Далее площади профилей скоростей дважды планиметрируют (допустимое расхождение не более 2%) и в результате получают расходы воды на скоростных вертикалях q , а из них средние скорости на вертикалях

$$v_B = q/h.$$

Определение расходов воды аэрогидрометрическим методом – это возможность измерений с самолета таких характеристик потока, как его глубина, скорость и расход воды.

Существуют две методики определения глубин.

1. С применением буйковой системы, состоящей из груза (якоря), к которому прикреплены на прочных нитях различной длины два бую. Буйковая система, сброшенная с самолета, погружается на дно потока. Оба бую всплывают на поверхность воды и удерживаются нитями на некотором расстоянии один от другого.
2. По расходу на вертикали q , измеренному поплавком-интегратором. Расстояние, на котором всплывает поплавок-интегратор от места его выпуска, определяется аэрофотосъемкой.

Определение расходов воды способом смещения основано на турбулентности потока.

Определение расходов воды по уклону и живому сечению – этот способ определения расходов воды сокращенно называют способом уклона-площади.

Он основан на использовании уравнения неравномерного движения воды (4.1).

$$Q = \beta C \omega \sqrt{\bar{h} \left[I + \frac{1}{L} \left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \right]}, \quad (4.1)$$

где β , C , ω , \bar{h} – усредненные значения коэффициента формы живого сечения, коэффициента Шези, площади живого сечения и глубины;

α_1 , α_2 – коэффициент Кориолиса на первом и втором участках реки;

v_1 , v_2 – скорости течения на первом и во втором участках реки;

I – уклон реки;

L – расстояние между сечениям;

g – ускорение силы тяжести.

Одним из наиболее распространенных методов расхода воды является аналитический способ. Для этого можно использовать выражение в виде многочлена (4.2):

$$Q = kv_{в,1}\omega_1 + \frac{v_{в,1}+v_{в,2}}{2}\omega_2 + \dots + \frac{v_{в,n-1}+v_{в,n}}{2}\omega_n + kv_{в,n}\omega_{n+1}, \quad (4.2)$$

где $v_{в,1}, v_{в,2}, \dots, v_{в,n}$ – средние скорости на вертикалях, рассчитанные по формулам;

W_1, W_2, \dots, W_{n+1} – площади водного сечения между вертикалями, принимаемые за трапеции;

k – коэффициент для скоростей на прибрежных вертикалях, принимаемый равным 0,7 при пологом берегу с $h=0$ на урезе, 0,8 при обрывистом берегу реки или неровной стенке канала 0,9 при гладкой бетонной стенке канала.

Вместе с тем при измерении глубин может изменяться уровень воды в реке, что влияет на точность определения расхода воды. Чем выше уровень (разность между поверхностью воды и нулем графика) тем больше расход воды (рисунок 4.1). Если в течении измерения глубины воды и скоростей течения уровень изменяется незначительно, то его значение не учитывается при расчетах значения расхода воды.

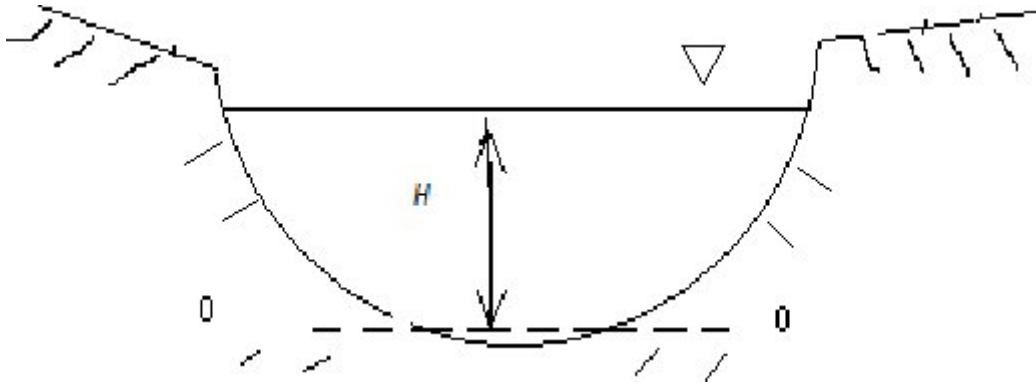


Рисунок 4.1 – Уровень воды в реке

Уровень на реках измеряется обычно в 8⁰⁰ и 20⁰⁰ ежесуточно, вместе с тем расход воды измеряется 20...30 раз в год, поэтому по уровням воды восстанавливают ежедневные расходы воды, используя нелинейную связь зависимости.

Пример выполнения задания

Исходные данные: выписка из книжки для записи изменения расхода на реке Безымянная (таблица 4.1 столбцы 1,2, 3, 4 и 9).

Требуется: вычислить расход воды (Q), смоченный периметр дна (χ); площадь живого сечения реки (w); ширину реки (B), среднюю глубину реки (h_{cp}), максимальную глубину реки (h_{max}), среднюю и максимальную скорость течения реки (v) и (v_{max}), гидравлический радиус (R).

Порядок выполнения задания

Данные схематически показаны на рисунке 4.2

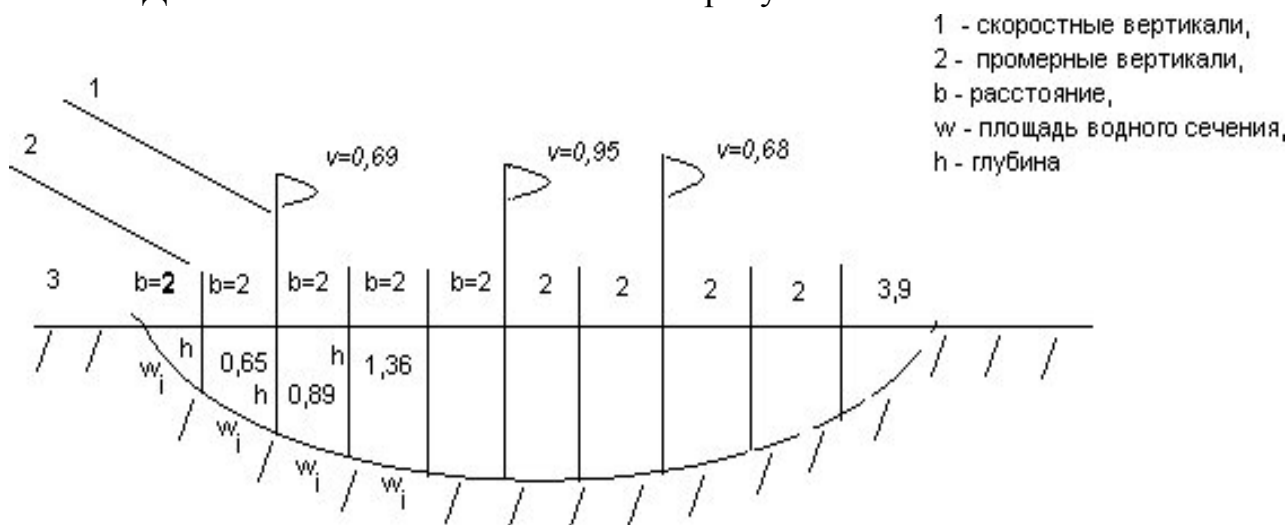


Рисунок 4.2 – Схема поперечного сечения реки с промерными и скоростными вертикалями

После выполнения расчетов, необходимо заполнить таблицу 4.1.

1) определяют средние глубины между промерными вертикалями как среднее арифметическое средних глубин:

$$\frac{0+0,65}{2} = 0,32\text{м}; \quad \frac{0,65+0,89}{2} = 0,77\text{м}; \text{ и т.д.} \quad \text{заполняется столбец 5};$$

2) находят расстояние между промерными вертикалями, используя разницу между расстояниями от постоянного начала (столбец 6):

$$5 - 3 = 2\text{м}, \quad 7 - 5 = 2\text{м} \text{ и т.д.};$$

3) вычисляют площади живого сечения между промерными вертикалями (столбец 7): $2 \cdot 0,32 = 0,64 \text{ м}^2$; $2 \cdot 0,77 = 1,4 \text{ м}^2$ и т.д.;

4) вычисляют площади живого сечения между скоростными вертикалями (столбец 8): $0,65+1,54 = 2,19 \text{ м}^2$; $2,25+3,10+3,76 = 9,11 \text{ м}^2$; $4,58+4,53 = 9,11 \text{ м}^2$; $3,49+2,10+1,13=6,72 \text{ м}^2$;

Таблица 4.1 – Расчет расхода воды реки Безымянная аналитическим способом

| № вертикалей | | Расстояние от постоянного начала, м | Глубина, м | | Расстояние между промерными вертикалями | Площадь живого сечения, м ² | | Средняя скорость, м/с | | Расход воды между скоростными вертикалями, м ³ /с |
|---------------|------------|-------------------------------------|------------|------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| промерных | Скоростных | | средняя | между промерными вертикалями | | между промерными вертикалями | между скоростными вертикалями | на вертикали | между скоростными вертикалями | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Урез пб | | 3 | 0 | | | | | | | |
| | | | | 0,32 | 2 | 0,64 | 2,19 | | 0,48 | 1,05 |
| 1 | | 5 | 0,65 | | | | | | | |
| | | | | 0,77 | 2 | 1,54 | | | | |
| 2 | I | 7 | 0,89 | | | | | | | |
| | | | | 1,12 | 2 | 2,25 | 9,11 | 0,69 | 0,82 | 7,47 |
| 3 | | 9 | 1,36 | | | | | | | |
| | | | | 1,55 | 2 | 3,10 | | | | |
| 4 | | 11 | 1,74 | | | | | | | |
| | | | | 1,88 | 2 | 3,76 | | | | |
| 5 | II | 13 | 2,02 | | | | | | | |
| | | | | 2,29 | 2 | 4,58 | 9,11 | 0,95 | 0,81 | 7,42 |
| 6 | | 15 | 2,56 | | | | | | | |
| | | | | 2,26 | 2 | 4,53 | | | | |
| 7 | III | 17 | 1,97 | | | | | | | |
| | | | | 1,74 | 2 | 3,49 | 6,72 | 0,68 | 0,47 | 3,19 |
| 8 | | 19 | 1,52 | | | | | | | |
| | | | | 1,05 | 2 | 2,10 | | | | |
| 9 | | 21 | 0,58 | | | | | | | |
| | | | | 0,29 | 3,9 | 1,13 | | | | |
| Урез лб | | 24,9 | 0 | | | | | | | |
| Итого: | | | | | | 27,1 | 27,1 | | | 19,1 |

5) по данным столбца 9 вычисляются средние скорости между скоростными вертикалями (столбец 10) $0,69 \cdot k$, ($k=0,7$):

$$(0,69 + 0,95)/2 = 0,82 \text{ м/с}; (0,95 + 0,68)/2 = 0,81 \text{ м/с}; 0,68 \cdot 0,7 = 0,47 \text{ м/с};$$

- б) расходы воды между скоростными вертикалями (столбец 11) находят путем умножения значений столбца 8 и 10 (произведение площади живого сечения между скоростными вертикалями и средней скоростью между скоростными вертикалями): $2,19 \cdot 0,48 = 1,05 \text{ м}^3/\text{с}$; $9,11 \cdot 0,82 = 7,47 \text{ м}^3/\text{с}$; $9,11 \cdot 0,81 = 7,42 \text{ м}^3/\text{с}$; $7,42 \cdot 0,47 = 3,19 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 7) сумма значений 7 или 8 столбца представляет собой площадь живого сечения – $27,1 \text{ м}^2$;
- 8) сумма последнего столбца соответствует значению расхода воды – $19,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вычислим дополнительные гидрометрические характеристики реки Безымянная.

Средняя скорость $v_{\text{ср}}$, м/с, рассчитывается по формуле (4.3):

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega}, \quad (4.3)$$

где Q – общий расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω – площадь живого сечения, м^2 .

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\omega} = \frac{19,1}{27,1} = 0,70 \text{ м/с}.$$

Средняя глубина реки ($h_{\text{ср}}$) рассчитывается по формуле (4.4)

$$h_{\text{ср}} = \frac{\omega}{B}, \quad (4.4)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2 ;

B – ширина реки, м.

$$h_{\text{ср}} = \frac{\omega}{B} = 27,1/21,9 = 1,24 \text{ м}$$

Смоченный периметр, рассчитывается по формуле (4.5):

$$\chi = \sqrt{h_1^2 + b_1^2} + \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + b_2^2} + \sqrt{(h_3 - h_2)^2 + b_3^2} + \dots + \sqrt{h_n^2 + b_n^2} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \chi = & \sqrt{0,65^2 + 2^2} + \sqrt{(0,89 - 0,65)^2 + 2^2} + \sqrt{(1,36 - 0,89)^2 + 2^2} + \sqrt{(1,74 - 1,36)^2 + 2^2} + \\ & \sqrt{(2,02 - 1,74)^2 + 2^2} + \sqrt{(2,56 - 2,02)^2 + 2^2} + \sqrt{(1,97 - 2,56)^2 + 2^2} + \\ & \sqrt{(1,52 - 1,97)^2 + 2^2} + \sqrt{(0,58 - 1,52)^2 + 2^2} + \sqrt{3,9^2 + 0,58^2} = 22,6 \text{ м.} \end{aligned}$$

Гидравлический радиус $R, \text{ м}$, определяется по формуле (4.6):

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (4.6)$$

где ω – площадь живого сечения, м;
 χ – смоченный периметр, м.

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{27,1}{22,3} = 1,21 \text{ м.}$$

Ширина реки определяется как расстояние между урезом левого и урезом правого берегов: $B=21,9$ м.

Наибольшая глубина выбирается из столбца 4 таблицы 4.1

$$h_{\max} = 2,56 \text{ м.}$$

Наибольшая скорость течения выбирается из столбца 9 таблицы 4.1

$$v_{\max} = 0,95 \text{ м/с.}$$

В таблице 4.2 приведены результаты вычисления характеристик реки Безымянная.

Таблица 4.2 – Расчет гидрометрических характеристик реки Безымянная

| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $\omega, \text{ м}^2$ | $h_{\max}, \text{ м}$ | $h_{\text{ср}}, \text{ м}$ | $B, \text{ м}$ | $R, \text{ м}$ | $v_{\text{ср}}, \text{ м/с}$ | $\chi, \text{ м}$ | $v_{\max}, \text{ м/с}$ |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|----------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|
| 19,1 | 27,1 | 2,56 | 1,24 | 21,9 | 1,19 | 0,70 | 22,3 | 0,95 |

Вывод. Таким образом, на основе аналитического метода по определению расхода воды получена таблица, в которой приведены гидрометрические характеристики. Расход воды, полученный аналитическим способом, составил $19,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вопросы для самопроверки

1. Расход воды.
2. Уровень воды.
3. Методы определения расхода воды.
4. Аналитический метод расчета расхода воды по скоростям течения и глубинам.
5. Смоченный периметр.
6. Площадь живого сечения реки.
7. Ширина реки.
8. Максимальная и средняя скорость реки.
9. Максимальная и средняя глубины реки.
10. Гидравлический радиус.
11. Методы определения глубины.
12. Методы определения скоростей течения.
13. Определение ежедневных расходов воды по уровням воды.

Список рекомендуемых источников

1. Берникова, Т. А. Гидрология с основами метеорологии и климатологии / Т. А. Берникова. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 428 с. — ISBN 978-5-507-46514-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/312887> (дата обращения: 24.06.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Виноградов, Ю. Б. Современные проблемы гидрологии : учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Виноградов, Т. А. Виноградова, 2008. - 319 с.
3. Иваньо, Я.М. Практикум по гидрологии /Я.М. Иваньо, Е.С. Тулунова. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. -138 с.
4. Михайлов, В. Н. Гидрология : учеб. для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д., Добровольский, С. А. Добролюбов, 2008. - 463 с.
5. Нагалеvский, Ю. Я. Гидрология / Ю. Я. Нагалеvский, И. Н. Папенко, Э. Ю. Нагалеvский. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 380 с. — ISBN 978-5-507-47028-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/320783> (дата обращения: 14.03.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Сиухина М. С. Геология с основами гидрологии [Электронный учебник] / Сиухина М.С., 2006. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4557
7. Шляхтина, О. С. Природопользование и охрана окружающей среды [Электронный учебник]: учеб. пособие / О. С. Шляхтина, 2007. - 260 с. - Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/207041/info>

Приложение

Пример оформления титульного листа

**ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ А.А. ЕЖЕВСКОГО**

КОЛЛЕДЖ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА И АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Практическая работа

на тему: «Определение расходов воды аналитическим способом»

по дисциплине «Гидрология»

Выполнил(а): студент (ка) группы 23У -9
специальности 21.02.04 Землестроительство
Иванов Иван Иванович

Проверил преподаватель:

Кривобок Татьяна Дмитриевна

МОЛОДЕЖНЫЙ 2026