

**Министерство сельского хозяйства РФ
Департамент научно-технологической политики и образования
ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет
им А.А. Ежевского**

Я.М. Иваньо, Е.С. Тулунова

Практикум по гидрологии

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
35.03.11 «Гидромелиорация»



Иркутск 2023

УДК 556.04(076.5)

Печатается по решению методического совета Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского Протокол № 8 от 15.05.23 г.

Рецензенты: Кoryтный Л.М. д.г.н., профессор ИГ им. В.Б. Сочавы СО РАН
Бережных Т.В. к.г.н., старший научный сотрудник отдела проблем энергетической безопасности ИСЭМ им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Иваньо, Я.М. Практикум по гидрологии / Я.М. Иваньо, Е.С. Тулунова - Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2023. - 150 с.

В работе рассмотрены общие вопросы формирования гидрологических процессов, основная гидрологическая информация, гидрологические расчеты применительно к годовому, внутригодовому и максимальному стоку, процесс переформирования береговой линии водоемов и определение водной эрозии.

Предлагаются традиционные методы расчета гидрологических характеристик. Приведенные примеры использования различных гидрологических методов основаны на гидрометеорологической информации Иркутской области.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.11 «Гидромелиорация», а также студентов, интересующихся вопросами взаимодействия воды и земельными ресурсами.

Оглавление

Введение	4
1 Гидрология и направления ее приложения.....	6
2 Характеристики водности рек.....	10
3 Осадки и испарение.....	15
4 Определение расходов воды аналитическим способом	37
5 Расчет годового стока	44
6 Внутригодовое распределение стока	69
7 Генетическая формула стока.....	80
8 Расчёт максимального стока	89
9 Переформирование береговой линии водохранилища	102
10 Определение параметров водной эрозии.....	107
Заключение.....	114
Список используемой литературы	115
Приложение	118

Введение

Учебное пособие рекомендуется в качестве практикума по гидрологии для студентов, обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры». Практикум содержит различные аспекты гидрологии: общие вопросы формирования гидрологических процессов, основы гидрометрической обработки информации, гидрологические расчеты и вопросы переформирования береговой линии озер и водохранилищ. При этом, разработанные задания основаны на данных о режимах рек Ангарского бассейна. Практикум позволяет изучить различные методы, применяемые в гидрологии: интерполяция, статистическая обработка, районирование, аналогия.

Гидрология занимает свое место среди дисциплин, изучаемых студентами по направлению подготовки «Землеустройство и кадастры». Как наука, изучающая водные ресурсы она связана с дисциплинами: инженерное оборудование территории, планировка населенных мест, мелиорация и лесомелиорация и др. Водные ресурсы по-разному взаимодействуют с земельными ресурсами, в результате паводков и половодий изменяются русла рек. Экспозиция склонов, выпадение ливневых осадков, процессы стекания воды по склонам способствуют водной эрозии земель, к которым в Иркутской области подвержены более 25% от общей площади земель. Наличие каскадов водохранилища реки Ангара способствуют развитию абразионных процессов значительно изменяя очертания береговой линии, при формировании водохранилищ затопливает значительные площади. Так в поселке Молодежный из-за волнообразных процессов за последние 20 лет размыто около 40 га земель.

Наличие водохранилищ влияет на колебание уровней воды, что в свою очередь создает противоречивые взаимодействие между различными участниками водохозяйственного комплекса, к которым относятся гидроэнергетика, сельское хозяйство, промышленность, рыбное хозяйство, водный транспорт, рекреация, водоснабжение и др. Значение гидрологии, гидрометрии и регулирования стока определяется главными задачами водного хозяйства как отрасли науки и техники, охватывающей учёт, изучение, использование, охрану водных ресурсов, а также борьбу с вредным действием вод.

Поэтому изучение гидрологических процессов различных разделов гидрологии способствуют комплексному взгляду на системную изменчивость и

использование земельных ресурсов.

Целью дисциплины является изучение гидрологических процессов и их влияние на земельные ресурсы.

Основными задачами дисциплины являются:

- 1) изучение основных понятий гидрологии;
- 2) освоение методов гидрологии;
- 3) изучение основных гидрологических характеристик и их изменчивости во времени;
- 4) ознакомление с основами гидрометрии;
- 5) изучение методов расчета гидрологических характеристик;
- 6) изучение влияния гидрологических объектов на земельные ресурсы.

Практикум состоит из введения, десяти разделов, заключения, списка литературы и приложения. Во введении приводится значение и основные задачи гидрологии. Каждый из десяти разделов представляет собой лабораторно-практическое задание, которое состоит из краткой справки, пример выполнения расчета соответствующей темы и вопросов для самоконтроля. В заключении приведены основные выводы, сделанные по результатам расчетов в работе. Приложение включает в себя варианты заданий для студентов.

Практикум создавался на протяжении многолетнего периода и апробирован по результатам чтения лекций и проведения лабораторно-практических занятий со студентами 2 курса направления подготовки землеустройство и кадастры.

1 Гидрология и направления ее приложения

Цель занятия – получить представления о науке гидрологии и направлениях ее применении при решении практических задач.

Задачи

- 1) изучить предмет гидрологии и классификацию науки;
- 2) освоить направления применения гидрологии к решению региональных задач.

Краткая справка

Гидрология – наука о воде. Эта дисциплина изучает природные воды, явления и процессы, протекающие в них. Гидрология рассматривает процессы распространения вод по земной поверхности и толще почво-грунтов и закономерности их развития. Она входит в комплекс наук о Земле.

Земля и атмосфера имеют слоистую структуру. Поэтому объекты гидросферы взаимодействуют с воздушной оболочкой и твердой частью Земли, земной корой.

В состав гидросферы, располагающейся между атмосферой и твердой земной корой, входят океаны, моря и поверхностные воды суши. Гидросфера покрывает 70,8% земной поверхности.

Поскольку процессы, происходящие в морях, отличаются от процессов, которые наблюдаются в реках, озерах и болотах, гидрология делится на гидрологию моря (океанологию) и гидрологию суши.

В учебном пособии рассматриваются вопросы гидрологии суши. В зависимости от объектов исследования различают:

- гидрологию рек;
- гидрологию озер;
- гидрологию болот;
- гидрологию подземных вод;
- гидрологию ледников.

Изучение гидрологии подземных вод необходимо для выявления закономерностей взаимодействия подземных вод с поверхностными водами. Непосредственным исследованием подземных вод занимается гидрогеология.

Аналогично как объекты, взаимодействующие с поверхностными водами, рассматриваются ледники, которые являются предметом изучения гляциологии.

Помимо объектов исследования, в гидрологию суши входят гидрометрия, гидрография, общая гидрология, инженерная гидрология, динамика вод суши, русловые процессы, гидрофизика и гидрохимия.

Гидрометрия является измерительной частью гидрологии, где рассматриваются методы измерений и наблюдений за гидрологическим режимом объекта.

Гидрография посвящена описанию рек, озер, водохранилищ и их частей с качественной и количественной характеристикой их положения, физико-географических условий, режима и использования.

Общая гидрология освещает общие закономерности, управляющие процессами формирования и деятельности вод суши.

В гидрофизике исследуют физические и механические свойства природных вод. Гидрохимия посвящена изучению химических свойств водных объектов.

В инженерной гидрологии рассматриваются методы расчета и прогноза гидрологических характеристик

Закономерности перемещения водных масс, волнения, сгонно-нагонные явления изучает динамика вод суши. Процессы взаимодействия водных потоков и русел рассматриваются в разделе гидрологии русловые процессы.

Гидрологические исследования используются при решении различных практических задач.

На территории Иркутской области протекают такие крупные реки как Лена, Ангара, Нижняя Тунгуска и Подкаменная Тунгуска (табл. 1.1). Кроме того, на юге Приангарья расположено озеро Байкал, наибольший пресноводный водоем в мире. Объем байкальской воды составляет около 23000 км³ или немногим менее 20% пресных вод, сосредоточенных во всех озерах мира.

Таблица 1.1 - Основные сведения о больших реках, протекающих на территории Иркутской области

Река	Длина, км	Площадь водосбора, тыс. км ²	Средний расход воды, м ³ /с
Ангара	1779	1039	4390
Подкаменная Тунгуска	1865	240	1750
Нижняя Тунгуска	2989	473	3860
Лена	4400	2490	16600

На Ангаре создан каскад водохранилищ: Иркутское, Братское и Усть-Илимское (табл. 1.2).

Таблица 1.2 - Основные характеристики водохранилищ Ангарского каскада

Наименование водхр	Подпор, м	Полный объем, км ³	Площадь зеркала, км ²
Иркутское	30	47,6	32965
Братское	106	169,3	5470
Усть-Илимское	88	59,4	1870

Помимо положительных сторон, сооружение плотин привело к ряду отрицательных последствий: затоплению плодородных земель, ухудшению качества природных вод, усилению процессов разрушения береговой линии, изменению среды обитания фауны и флоры и другим.

Приоритетными направлениями привлечения гидрологии к решению различных задач в Иркутской области являются:

- оценка влияния климатических изменений на режим водных объектов;
- выявление закономерностей изменчивости экстремального (минимального и максимального) стока, его расчета и прогноза для обеспечения нормальной хозяйственной деятельности человека;
- определение и прогноз масштабов разрушительных русловых процессов;
- оценка абразионных процессов, разрушения берегов, на водохранилищах и их прогнозирование для создания комплекса мероприятий по сведению материальных потерь к минимуму;
- определение оптимального использования каскада водохранилищ всеми участниками водохозяйственного комплекса;
- разработка и использование системы мероприятий по защите земель от водной эрозии;
- улучшение качества речных вод;
- предотвращение загрязнения Байкала.

Таким образом, разнообразные природные условия водных объектов региона требуют дальнейших системных исследований в направлении учета, расчета, прогнозирования и улучшения качества.

Вопросы для самопроверки

1. Гидрология как наука.
2. Гидросфера.
3. Водные ресурсы.
4. Объекты исследования гидрологии.
5. Гидрометрия как измерительная часть гидрологии.
6. Гидрография.
7. Гидрофизика.
8. Задачи инженерной гидрологии.
9. Особенности водных ресурсов Восточной Сибири.
10. Характеристики озера Байкал.
11. Большие реки Восточной Сибири.
12. Водохозяйственная деятельность на территории Восточной Сибири.
13. Управление водными ресурсами с помощью водохранилищ.
14. Озерные и равнинные водохранилища.
15. Влияние водных ресурсов на земельные ресурсы.

2 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 системой.

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 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

$$W = \frac{y}{10^6} F. \quad (2.3)$$

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 ($\bar{Q} = 10,5 \text{ м}^3/\text{с}$), 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.

Варианты заданий ко 2 разделу

№ варианта	Река-пункт	F, км ²	Q, м ³ /с	x, мм
1	Иркут-Иркутск	14800	139	405
2	Тушама-Тушама	3380	12,5	405
3	Чадобец-Яркино	13300	59,6	422
4	Мура-Ирба	9320	24,3	405
5	Карабула-Карабула	4190	11,8	422
6	Иркинеева-Бедоба	8950	47,8	429
7	Китой-Ангарск	8420	116	422
8	Чукша-Савельевский	2130	10,6	429
9	Топорок-Алзамай	1990	6,46	422
10	Пойма-Новая Пойма	2390	12,6	429
11	Хайта-Хайта	707	2,82	475
12	Татарка-Татарка	1890	22,8	459
13	Курзанка-Утай	1120	2,15	439
14	Оса-Оса	1870	4,26	439
15	Тунак-Чичкова	812	3,82	430
16	Ушакровка-Иркутск	829	6,12	489
17	Куда-Грановщина	7840	14,7	489
18	Тагул-Георгиевка	7940	104	506
19	Бирюса-Бирюсинск	24700	262	383
20	Урик-Шанхар	3230	38,6	422
21	Уда-Алыгджер	4980	65,9	384
22	Тагна-Хор-Тагна	1770	17,6	506
23	Онот-Онот	1970	39,2	384
24	Ия-Аршан	5140	53,5	506
25	Ия-Тулун	14500	148	506

26	Зун-Мурин-Зун-Мурин	4060	48,3	520
27	Иркут-Тибельти	11600	107	500
28	Китой-Ясачная	7480	107	420
29	Иркут-Монды	1200	10,9	500
30	Иркут-Тунка	6560	51,7	510
31	Белая-Мишелевка	17100	200	410
32	Куда-Ахины	278	1,02	490
33	Бирюса-Федино	51000	355	390
34	Ушаковка-Добролет	322	2,3	420
35	Олха-Олха	590	3,22	423
36	Уда-Укар	17200	179	420
37	Ока-Ухтуй	27000	274	400
38	Мурин-Загатуй	1000	0,45	420
39	Харат-Харат	288	1,61	360
40	Китой-Дабады	3920	67,3	560
41	Мал.Белая-Тунгусы	3990	59,8	540
42	Ида-Морозова	2490	3,26	400
43	Унга-Семеновск	698	0,49	480
44	Ока-Усть-Када	33400	261	420
45	Зима-Зулумай	2550	23,3	440
46	Икей-Икей	2400	15,9	450
47	Вихоревка-Кузнецовка	2420	9,33	420
48	Вихорева-Кобляково	3840	19,5	410
49	Уда-Октябрьский	31700	209	430
50	Кадуй-Кадуй	1140	2,94	420

3 Осадки и испарение

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;
- 4) ознакомиться с факторами испарения с водной поверхности и суши, изучить методы определения испарения.

Краткая справка

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:

$$X=Y+E\pm W, \quad (3.1)$$

где X – суммарные осадки, Y – речной сток, E – суммарное испарение воды.

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 уравнение справедливо для годового периода. При рассмотрении

многолетнего периода последнее слагаемое стремится к нулю. В этом случае уравнение водного баланса записывается в следующей редакции

$$\bar{X} = \bar{Y} + \bar{E}. \quad (3.2)$$

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:

$$LE_m = LE + T, \quad (3.3)$$

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:

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2). \quad (3.4)$$

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

$$T = P^+ + I_k - LC. \quad (3.5)$$

В приведенных формулах L – скрытая теплота испарения воды.

Уравнение теплового и водного баланса связаны соотношением

$$\beta_H = \frac{1 - \psi}{1 - \eta}, \quad (3.6)$$

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;

$$\eta = \frac{Y}{H}.$$

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

3.1 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.

3.1.1 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 м², 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 км² округлой или квадратной формы, имеющие среднюю длину разгона воздушного потока над водной поверхностью до 3 км; к средним - водоемы площадью от 5 до 40 км²; к большим – более 40 км².

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

$$E_B = E_{20}k_Hk_zk_s, \quad (3.7)$$

где E_{20} - среднемноголетнее испарение с эталонного бассейна 20 м², 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 м² находят по карте изолиний (рис. 3.1) 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 3.1 – Поправочный коэффициент на защищенность водоема от ветра древесной растительностью, строениями, крутыми берегами

h_z/D	0,0	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
k_z	1,00	0,96	0,89	0,84	0,80	0,76	0,70	0,64	0,57	0,61

Поправочный коэффициент на глубину водоема k_H находят по таблице 3.2 в зависимости от местоположения водоема (природной зоны) и средней глубины.

Таблица 3.2 - 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 3.3.

Таблица 3.3 – 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

$$E = k_p \times E_s, \quad (3.8)$$

где k_p – ордината аналитической функции обеспеченности, определяется по таблице 3.4 в зависимости от зоны.

Таблица 3.4 – Ординаты аналитической кривой обеспеченности годового испарения

Зона	C_v	Вероятность превышения p , %					
		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

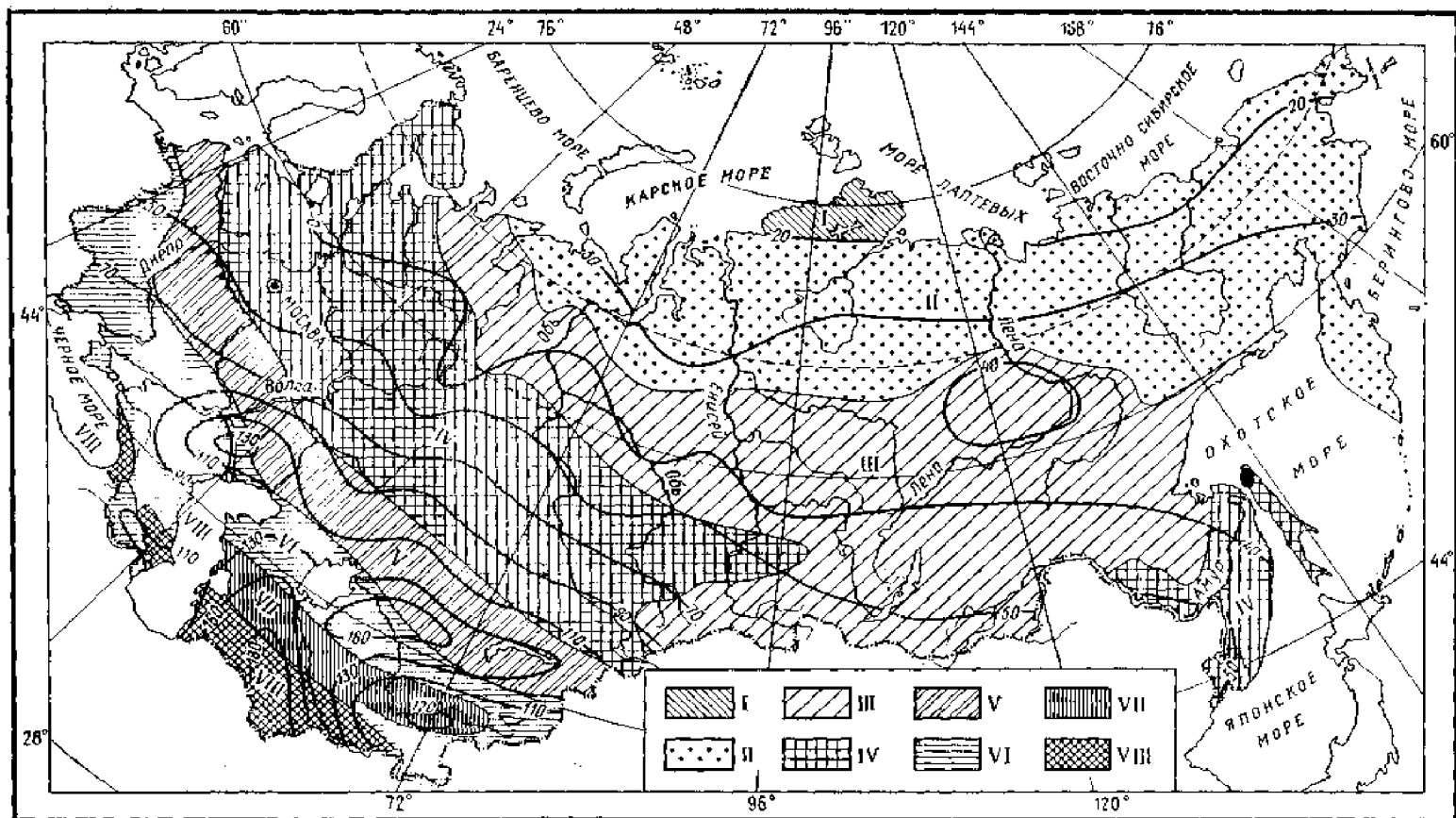


Рисунок 3.1 – Карта среднемноголетнего испарения с водной поверхности бассейна площадью 20 м² и схема районирования

Нормы испарения с поверхности малых водоемов по месяцам при отсутствии данных наблюдений приближенно вычисляют с помощью таблицы 3.5.

Таблица 3.5 – 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
VIII	2	3	4	7	12	15	16	16	12	7	4	2

Для III зоны испарение вычисляется по формуле

$$E_m = \frac{C_m E_B}{100}, \quad (3.9)$$

где C_m – процент годовой суммы за безледоставный период.

Рассмотрим пример определения испарения с малого водоема при различных ситуациях и разными способами.

Пример выполнения задания

Определение испарения с малого водоема при отсутствии данных наблюдений

Исходные данные: площадь водоема (S), расположенного вблизи пункта Яркино $3,5 \text{ км}^2$, средняя глубина (H) $4,5 \text{ м}$, средняя длина разгона воздушного потока (D) $3,5 \text{ км}$, средняя высота препятствий на берегу (h_3) 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 (3.7).

Из-за отсутствия данных наблюдений среднемноголетнее испарение с бассейна площадью 20 м^2 находят по карте изолиний рисунок 3.1. 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,

$$h_3/D=10/3500=0,0028,$$

$k_3=0,989$, что соответствует методом интерполяции по таблице 3.1

Поправочный коэффициент на глубину водоема k_H находят по таблице 3.2 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 3.3. Для площади $S = 3,5 \text{ км}^2$ $k_s = 1,245$.

Таким образом, вычислим среднемноголетнее испарение

$$E_B = 400 \times 0,989 \times 0,983 \times 1,245 = 484 \text{ мм}.$$

Полученное значение E_B является нормой испарения с воды.

Расчетный годовой слой испарения с вероятностью превышения p вычисляют по формуле (3.8).

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

Таким образом, испарение с вероятностью превышения 10% будет $E_{10} = 1,19 \times 484 = 576 \text{ мм}$.

Нормы испарения с поверхности малых водоемов по месяцам при отсутствии данных наблюдений приближенно вычисляют с помощью таблицы 3.5.

Для III зоны испарение вычисляется по формуле (3.9)

В таблице 3.6 приведены значения норм испарения по месяцам, вычисленные по формуле (3.9).

Таблица 3.6 – 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 среднемноголетнее годовое испарение с водоема в пункте Яркино, которое составило $E_v=484$ мм, определены месячные значения испарения за безледоставный период, приведенные в таблице 3.6.

3.1.2 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.

Определение испарения с суши с помощью карты изолиний испарения

Среднемноголетнее годовое испарение с больших площадей (до 9 900 км²) в приближенных расчетах удобно определять по *карте изолиний*

испарения, построенной в ГГИ (рис. 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 (рис. 3.2) 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.

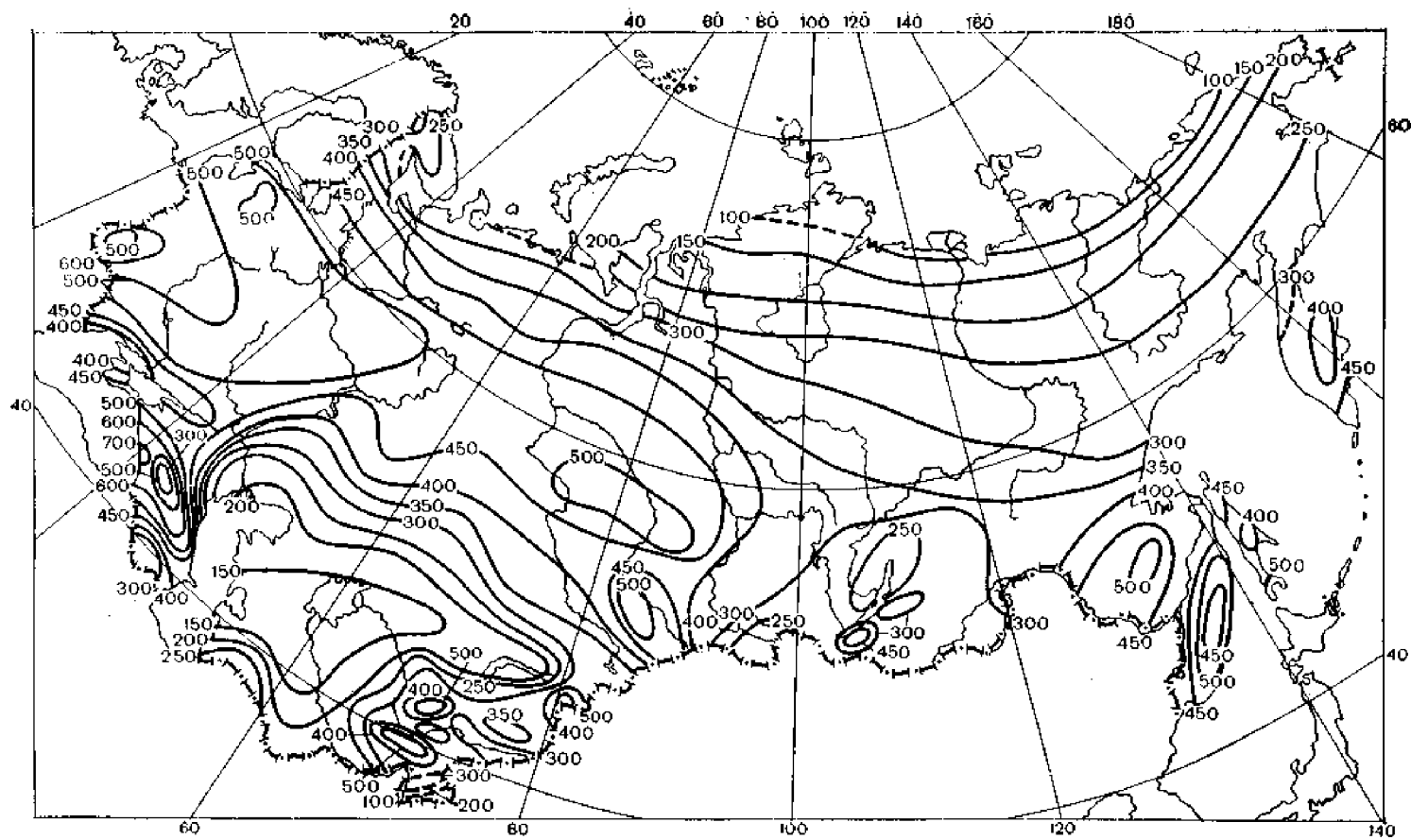


Рисунок 3.2 - Карта среднемноголетнего годового слоя испарения (мм)

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 (рис. 3.3) в зависимости от среднегодовой температуры и влажности воздуха.

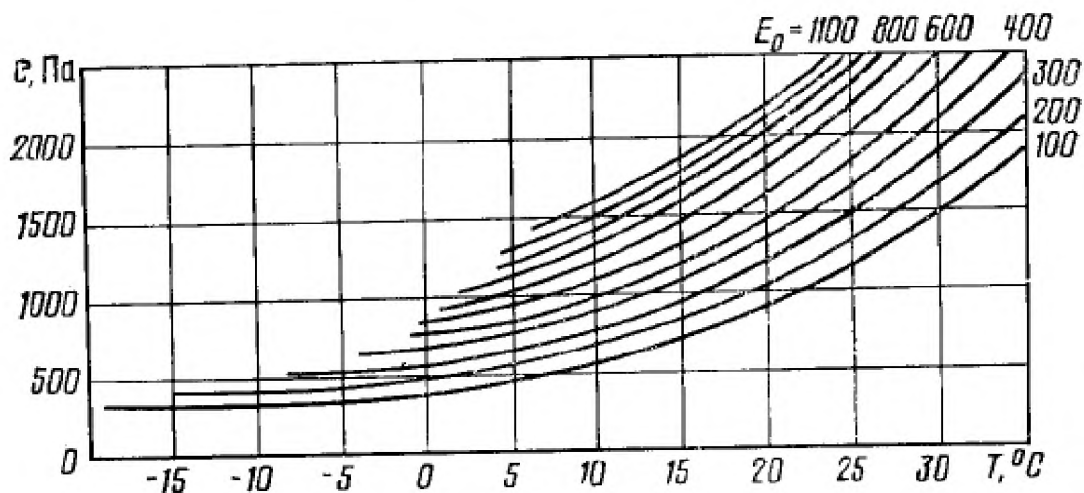


Рисунок 3.3- Номограмма для вычисления среднегодового испарения E_0 (мм) по среднегодовой температуре T и влажности воздуха e (Па)

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 t_e за многолетний период составляет -2.8 °C, а влажность $e=600$ Па.

Требуется: определить среднегодовое испарение для пункта Яркино.

Порядок выполнения задания

Пользуясь номограммой (рис. 3.3), проводят перпендикуляры от

указанных значений t и e . До точки их пересечения, интерполируя между изолиниями, получают для пункта Яркино $E_0 = 310$ мм.

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 М.И. Будыко построена номограмма (рис. 3.4)

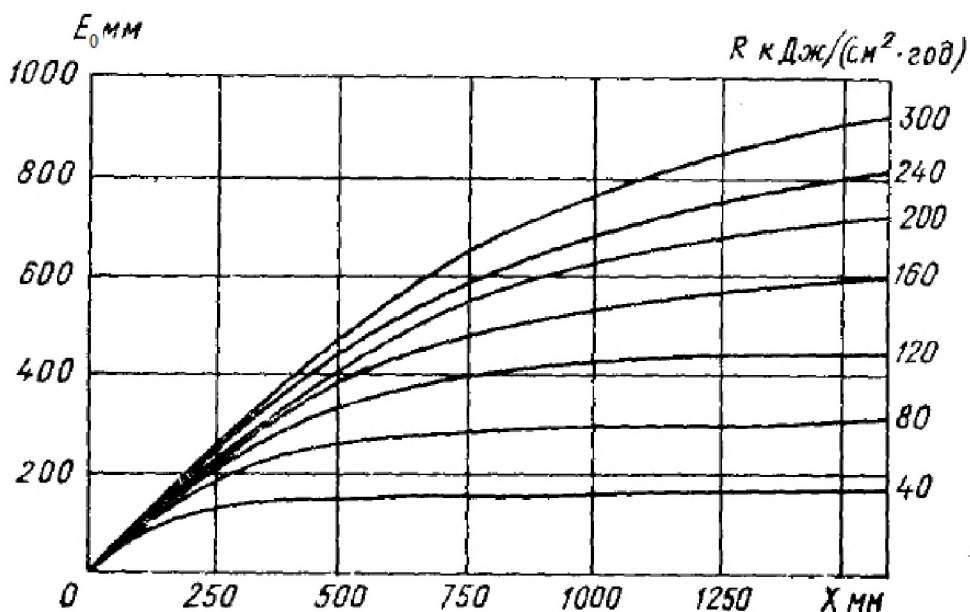


Рисунок 3.4 - Номограмма для вычисления среднемноголетнего годового испарения E_0 (мм/год) по уравнению связи М.И. Будыко

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 среднегодовое годовое испарение для пункта Яркино.

Порядок выполнения задания

Пользуясь номограммой (рисунок 3.4), проводят перпендикуляры от указанных значений x и R . Для точки их пересечения, интерполируя между изолиниями, получают для пункта Яркино $E_0 = 300$ мм.

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:

$$E_0 = E_{\max} \left[1 + \left(\frac{kx}{E_{\max}} \right)^{-n} \right]^{-1/n}, \quad (3.10)$$

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

$$E_{\max} = 5,88 \sum t + 260, \quad (3.11)$$

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

$$E_{max,i} = E_{max} d_i / (\sum d_i). \quad (3.12)$$

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 $\sum t_s = 52,1$, 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 (3.11) вычисляют испарение:

$$E_{max} = 5,88 \times 52,1 + 260 = 566 \text{ мм.}$$

Используя выражение (3.10) находим испарение с суши

$$E_0 = 566 \cdot \left[1 + \left(\frac{1,25 \cdot 422}{566} \right)^{-3} \right]^{-1/3} = 484 \text{ мм.}$$

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 площадь водоема.
19. Испарение с поверхности суши.
20. Методы расчета испарения.
21. Метод турбулентной диффузии.
22. Метод гидролого-климатических расчетов.
23. Карта изолиний годового испарения с поверхности суши.
24. Карта изолиний годового испарения с бассейна, площадью 20 м².

Варианты заданий к 3 разделу

№ варианта	$S, \text{ км}^2$	$H, \text{ м}$	$D, \text{ км}$	$h_3, \text{ м}$	$R, \text{ кДж/см}^2$	$t_2, \text{ гр}$	$\sum t, \text{ гр}$	$e, \text{ Па}$
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

3.2 Осадки

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 см^2 . 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 см^2 .

Для определения запасов воды в снеге $h_в$ (количество воды, образующееся при таянии снега) необходимо знать относительную плотность снега d , как отношение массы снега и воды, и высоту снежного покрова $h_{сн}$:

$$h_в = dh_{сн}. \quad (3.12)$$

Обычно снегозапасы 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.

Пример выполнения задания

Исходные данные: пункт Яркино (р. Чадобец), таблица месячных, сезонных и годовых сумм осадков по некоторым пунктам Иркутской области (табл. 3.7), региональная карта средних годовых осадков (рис. 3.5).

Таблица 3.7 – Месячные, сезонные и годовые суммы осадков (средние многолетние данные), мм

Станция	Абсолютная высота станции, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10-4	5-9	За год
Северная часть бассейна																
Чемдальск	277	16	11	11	20	32	54	65	61	45	41	27	22	148	257	405
Гонда	373	18	13	13	19	33	47	59	58	47	43	32	23	161	244	405
Троицкое	147	18	14	12	20	36	47	64	59	50	41	33	28	166	256	422
Невон	217	20	13	14	21	34	57	68	66	43	37	30	26	161	268	429
Илимск	275	24	15	14	21	31	57	75	68	47	37	28	28	167	278	445
Центральная часть бассейна																
Гайшет	302	22	16	17	26	34	54	73	75	49	39	43	27	190	285	475
Тангуй	394	18	12	11	20	28	61	104	81	48	28	27	21	137	322	459
Ук	497	16	14	18	28	32	69	101	97	44	29	32	27	164	343	507
Түлюшка	524	16	12	10	19	27	65	91	75	47	22	28	27	134	305	439
Усть-Уда	365	19	11	8	15	22	50	91	66	36	19	24	23	119	365	384
Икей	528	16	17	12	19	35	70	114	92	54	28	28	24	141	365	506
Балаганск	377	12	9	6	15	27	58	83	76	44	17	19	17	95	288	383
Баяндай	761	10	7	8	14	25	65	90	81	39	16	13	12	80	300	380
Иркутск	468	16	12	13	21	38	76	98	91	50	28	24	22	136	353	489
Восточный Саян																
Верхняя Гутара	981	6	5	9	32	49	96	155	121	53	20	17	7	96	474	570
Алыгджер	935	8	7	16	29	50	108	149	133	66	30	18	14	122	506	628
Орлик	1370	3	3	7	13	26	64	89	80	32	13	5	3	47	291	338
Сарам	600	19	17	25	33	38	92	128	96	60	31	29	25	179	414	593
Ильчир	2083	8	8	16	34	50	98	127	105	46	26	14	9	115	426	541

Требуется: определить среднемноголетние годовые, сезонные и месячные осадки для пункта Яркино.

Порядок выполнения задания

1. Находится на карте 3.5 пункт Яркино. Определяется центр бассейна реки и путем интерполяции вычисляется норма годовых осадков, расположенная между изолиниями 400 и 450 мм. Это значение составляет ≈ 440 мм.



Рисунок 3.5 – Средние годовые осадки, мм

2. Находится пункт из таблицы 3.7 (северная часть бассейна) наименее удаленный от Яркино. Таким пунктом является Гонда.

3. По пункту Гонда определяется доля месячных и сезонных значений осадков относительно нормы годовых осадков:

$$k_i = \frac{x_i}{\bar{x}},$$

где x_i – месячные и сезонные значения осадков, \bar{x} норма годовых осадков. Например, доля первого и двенадцатого месяца составят: $x_1 = 18/405 = 0,044$,

$x_{12}=23/405=0,057$. Аналогичным образом рассчитываются коэффициенты других месяцев и сезонов. Итоговые вычисления приведены в таблице 3.8

Таблица 3.8 – Результат вычислений значений по осадкам

Месяцы, сезоны	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10-4	5-9	За год
k_i	0,044	0,032	0,032	0,047	0,081	0,12	0,15	0,14	0,12	0,11	0,079	0,057	0,40	0,60	1
x_i	20	14	14	21	36	51	64	63	51	47	35	25	175	265	440

4. Расчетные значения месячных осадков приведены в третьей строке таблицы. Они определены путем умножения коэффициентов второй строки на норму годовых осадков, полученных по карте (440 мм). Например, для первого и двенадцатого месяца: $x_1=440 \times 0,044=20$ мм, $x_{12}=440 \times 0,057=25$ мм.

Вывод. Таким образом, найдены средние за многолетний период месячные, сезонные и годовые осадки пункта Яркино. Годовое значение составило 440 мм, а сезонные суммы осадков: за теплый период – 250; а за холодный – 175 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в июле – 64 мм, а наименьшее в феврале и марте – 14 мм.

Вопросы для самопроверки

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

4 Определение расходов воды аналитическим способом

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

Задачи

- 1) освоить основные понятия гидрометрии;
- 2) определить ширину реки;
- 3) определить расход воды;
- 4) определить площадь живого сечения реки;
- 5) определить среднюю и максимальную скорости течения реки;
- 6) определить среднюю и максимальную глубины реки;
- 7) определить смоченный периметр и гидравлический радиус.

Краткая справка

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 $u = u(y)$. 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 $u_B = q/h$.

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 буйа. Буйковая система, сброшенная с самолета, погружается на дно потока. Оба буйа 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 смешения 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, которое запишем для расхода Q

Одним из наиболее распространенных методов расхода воды является аналитический способ.

Для этого можно использовать выражение в виде многочлена:

$$Q = ku_{\epsilon,1}\omega_1 + \frac{u_{\epsilon,1} + u_{\epsilon,2}}{2}\omega + \dots + \frac{u_{\epsilon,n-1} + u_{\epsilon,n}}{2}\omega_n + ku_{\epsilon,n}\omega_{n+1}, \quad (4.1)$$

где $u_{\epsilon,1}, u_{\epsilon,2}, \dots, u_{\epsilon,n}$ - 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 (рис. 4.1). Если в течение измерения глубины воды и скоростей течения уровень изменяется незначительно, то его значение не учитывается при расчетах значения расхода воды.

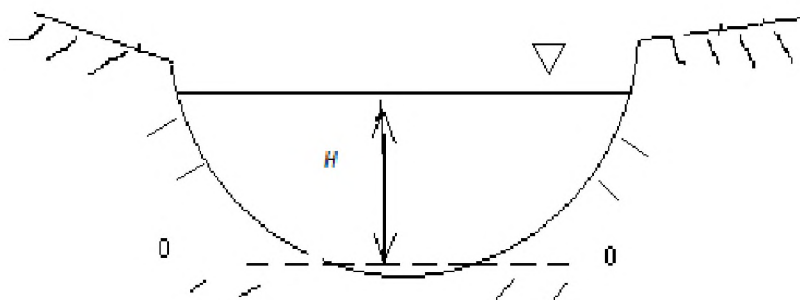


Рисунок 4.1 – Уровень воды в реке

Уровень на реках измеряется обычно в 8⁰⁰ и 20⁰⁰ ежедневно, 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 (u_{cp}) и (u_{max}), гидравлический радиус (R).

Порядок выполнения задания

Данные схематически показаны на рисунке 4.2

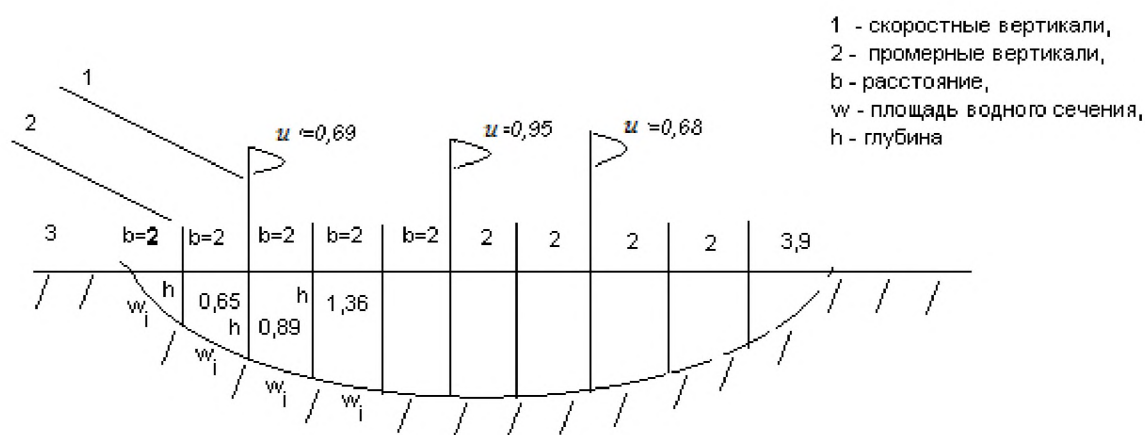


Рисунок 4.2 – Схема поперечного сечения реки с промерными и скоростными вертикалями

1) определяют средние глубины между промерными вертикалями как среднее арифметическое средних глубин $\frac{0+0,65}{2} = 0,32$, $\frac{0,65+0,89}{2} = 0,77$ и т.д., заполняется столбец 5;

2) находят расстояние между промерными вертикалями, используя разницу между расстояниями от постоянного начала (столбец 6): $5-3=2$, $7-5=2$ и т.д.;

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

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

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

5) по данным столбца 9 вычисляются средние скорости между скоростными вертикалями (столбец 10) $0,69 \times k$, ($k=0,7$): $(0,69+0,95)/2=0,82$, $(0,95+0,68)/2=0,81$, $0,68 \times 0,7=0,47$;

6) 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): $2,19 \times 0,48=1,05$; $9,11 \times 0,82=7,47$; $9,11 \times 0,81=7,42$; $7,42 \times 0,47=3,19$;

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 (u_{cp}) рассчитывается по следующей формуле:

$$u_{cp} = \frac{Q}{\omega}, \text{ м/с},$$

где Q - общий расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; ω - площадь живого сечения, м^2 .

$$u_{cp} = \frac{19,1}{27,1} = 0,70 \text{ м/с}.$$

Средняя глубина реки (h_{cp}) рассчитывается по формуле

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

где ω - площадь живого сечения, м^2 ; B - ширина реки, м.

Смоченный периметр, рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \chi &= \sqrt{h_1^2 + b_1^2} + \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + b_2^2} + \sqrt{(h_3 - h_2)^2 + b_3^2} + \dots + \sqrt{h_n^2 + b_n^2} \\ \chi &= \sqrt{0,65^2 + 2^2} + \sqrt{2^2 + (0,89 - 0,65)^2} + \sqrt{2^2 + (1,36 - 0,89)^2} + \sqrt{2^2 + (1,74 - 1,36)^2} + \\ &+ \sqrt{2^2 + (2,02 - 1,74)^2} + \sqrt{2^2 + (2,56 - 2,02)^2} + \sqrt{2^2 + (1,97 - 2,56)^2} + \sqrt{2^2 + (1,52 - 1,97)^2} + \\ &+ \sqrt{2^2 + (0,58 - 1,52)^2} + \sqrt{3,9^2 + 0,58^2} = 22,6 \text{ м} \end{aligned}$$

Гидравлический радиус рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \text{ м},$$

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

$$R = \frac{27,1}{22,6} = 1,19 \text{ м}.$$

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

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

$$u_{\max}=0,95 \text{ м/с}.$$

В таблице 4.2 приведены результаты вычисления характеристик реки Безымянная.

Таблица 4.2 – Расчет гидрометрических характеристик реки Безымянная

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$\omega, \text{ м}^2$	$h_{\max}, \text{ м}$	$h_{\text{ср}}, \text{ м}$	$B, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$u_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	$\chi, \text{ м}$	$u_{\max}, \text{ м/с}$
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.

Варианты задания к 4 разделу приведены в приложении 1.

5 Расчет годового стока

Цель занятия – рассмотреть факторы формирования годового стока и изучить методы расчета годового стока реки: при наличии, недостаточности и отсутствии данных.

Задачи расчета годового стока при наличии данных наблюдений:

- изучить факторы формирования годового стока;
- построить эмпирическую функцию распределения;
- найти статистические параметры гидрологического ряда;
- определить абсолютные и относительные погрешности;
- построить нормальный закон и гамма-функцию распределения;
- определить расход воды заданной вероятности превышения.

Задачи второго расчета годового стока при недостаточности данных наблюдений:

- изучить факторы формирования годового стока;
- построить уравнение между рядами анализируемой реки и реки аналогом;
- восстановить число значений расхода воды исходной реки по уравнению регрессии;
- найти статистические параметры полученных расходов воды за удлиненный период;
- рассчитать статистические параметры полученного ряда;
- определить расход воды заданной вероятности превышения.

Задачи расчета годового стока при отсутствии данных наблюдений:

- изучить факторы формирования годового стока;
- определить норму стока по карте изолиний;
- найти коэффициент вариации по карте изолиний;
- используя функцию гамма-распределения для полученной нормы стока и коэффициента вариации, определить расход воды заданной вероятности превышения.

Краткая справка

Количество воды, стекающее с данного бассейна за год, называется годовым стоком.

Годовой сток не остается постоянным, так как он зависит от климатических факторов и факторов подстилающей поверхности.

Климатические факторы многообразны и тесно связаны друг с другом. Так, солнечная радиация, температура воздуха и почвы, усиление ветра и других метеорологических элементы косвенно влияют на количество испарения и осадков. На процессы формирования стока оказывают воздействие и другие физико-географические факторы, называемые факторами подстилающей поверхности: рельеф, геологическое строение, почвенный и растительный покров, озерность, заболоченность бассейна.

Очевидно, что каждый год параметры тепла и увлажненности, определяющие величину годового стока, имеют различные значения. В одни годы приток солнечной радиации, температура испарения могут быть высокими, а в другой год низкими. Увеличение параметров тепла способствуют уменьшению значений параметров увлажненности и наоборот во влажные годы наблюдается меньшее значение параметра тепла.

При расчетах годового стока оценивают среднемноголетнюю величину или норму стока, при которой необходимо знать колебание годовых расходов воды относительно норме стока (параметр рассеяния).

Норма стока – важная гидрологическая характеристика, которую обязательно определяют при проектировании гидротехнических сооружений, водохранилищ, водоснабжения т.д.

При расчетах нормы годового стока встречаются три следующих случая: достаточно продолжительный период наблюдений за стоком; короткий (недостаточный) период наблюдений и полное отсутствие наблюдений за стоком.

При расчете годового стока при наличии длительного периода наблюдений используются статистические методы, поскольку ряды годового представляют собой случайные величины. Расчеты сводятся к нахождению расхода воды с вероятностью превышения. Алгоритм определения расчета

расхода воды с вероятностью превышения выглядит следующим образом:

- 1) строится эмпирическая функция распределения;
- 2) определяются статистические параметры годового стока (среднее значение или норма стока (\bar{Q})), стандартное отклонение (σ); коэффициент вариации (c_v) и коэффициент асимметрии (c_s);
- 3) оценивается стандартная погрешность среднего значения ($\sigma_{\bar{Q}}$), коэффициент вариации (σ_{c_v}) и коэффициента асимметрии (σ_{c_s});
- 4) на основании статистических параметров строятся аналитические функции распределения вероятностей с использованием различных законов (нормальный закон, закон гамма-распределения, логнормальный и др.);
- 5) по критериям согласия аналитических функций эмпирических значений определяется приемлемый для расчетов закон распределения вероятностей;
- 6) в соответствии с выбранным законом распределения вероятностей и статистическими параметрами рассчитывается расход воды заданной вероятности превышения.

При наличии данных наблюдений статистические распределения имеют различную форму. В зависимости от числа параметров, которые их определяют законы распределения подразделяют на однопараметрические, двухпараметрические и многопараметрические. Обычно в качестве статистических параметров применяются характеристики центра распределения, меры рассеяния и асимметрии. Остальные параметры, которые описывают вероятностные распределения, как правило, определяются через перечисленные статистики.

Распространенным методом оценки статистических параметров является метод моментов. В качестве центра распределения используется среднее, медиана или мода. Медиана занимает центральное положение в отсортированной выборке. Мода представляет собой наиболее вероятное значение случайной величины.

Среднее арифметическое значение ряда находят по формуле

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (5.1)$$

где Q_i – значение ряда, n – длина ряда.

В качестве параметра рассеяния широко применяется среднее квадратическое отклонение или стандарт

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}. \quad (5.2)$$

Коэффициент вариации c_v вычисляется по соотношению

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}}. \quad (5.3)$$

Асимметричность распределения оценивается с помощью коэффициента асимметрии:

$$c_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^3}{(n-1)(n-2)\sigma^3}. \quad (5.4)$$

По полученным статистическим параметрам строят вероятностные распределения.

Примером однопараметрического статистического распределения является экспоненциальная функция с плотностью вероятности

$$p(Q, b) = \frac{1}{b} e^{-\frac{Q}{b}}, \quad (5.5)$$

где b – среднее арифметическое значение ряда. Здесь ординаты $p(Q)$ зависят от одного параметра b .

К двухпараметрическим функциям относятся нормальный закон (кривая Гаусса), бета-распределение, логистическое распределение и др. Приведем распространенную в практических приложениях формулу нормального вероятностного распределения:

$$p(Q, \bar{Q}, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-\bar{Q})^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.6)$$

где \bar{Q} – среднее значение ряда случайных чисел Q , а σ – среднее квадратическое отклонение.

Популярностью среди непрерывных вероятностных функций, зависящих от трех статистических параметров, пользуются биномиальное распределение

(кривая Пирсона III типа), и гамма-распределение. При этом третье статистическое распределение является частным случаем первого. В отличие от закона Гаусса гамма-распределение является асимметричным. Его формула имеет вид

$$p(Q, b, c) = \left(\frac{Q}{b}\right)^{c-1} e^{-\frac{Q}{b}} \frac{1}{b\Gamma(c)}, \quad (5.7)$$

где $c = (\bar{Q}/\sigma)^2$; $b = \sigma^2/\bar{Q}$; $\Gamma(c)$ – гамма-функция, определяемая с помощью

интеграла $\int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$. Для безразмерных величин ряда в виде модульных

коэффициентов $k_i = Q_i/\bar{Q}$ статистики c и b вычисляются по формулам: $c = 1/c_v^2$ и $b = c_v^2$. В подынтегральном выражении переменная t исключается подстановкой пределов интегрирования.

С увеличением числа параметров статистическое распределение усложняется. При этом уменьшается точность определения его координат ввиду различной точности мер центра, рассеяния и асимметрии ряда. С наибольшей погрешностью вычисляется центр распределения, а с наименьшей – коэффициент асимметрии. Погрешности статистик зависят от длины ряда, стандарта и закона распределения. Чем больше количество случайных значений и меньше мера рассеяния, тем точнее оценка статистического параметра, т.е. ниже его ошибка.

После расчета статистик, вычисления их погрешностей и построения множества законов распределения из них выбирается оптимальная функция. Соответствие аналитического закона распределения эмпирическим данным определяется, в частности, с помощью критерия согласия: χ^2 , Колмогорова и др.

Критерий χ_q^2 по информации об аналитическом распределении и эмпирическим данным вычисляется по формуле

$$\chi_q^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (5.8)$$

где k – число интервалов, на которое разделено расстояние между экстремальными значениями ряда, n – объем выборки, m_i – количество значений ряда, попадающее в i -ый интервал, p_i – вероятность попадания

случайной величины для аналитического закона распределения.

Если объем выборки неограниченно возрастает ($n \rightarrow \infty$), то случайная величина стремится к закону распределения χ^2 , который зависит от числа степеней свободы $l = k - r - 1$. В приведенном выражении r представляет собой число параметров вероятностного распределения. По уровню значимости α и значению l находится ордината χ_{α}^2 . Ее сравнение с величиной χ_q^2 позволяет оценить расхождение между аналитической и эмпирической кривыми распределения.

Критерий К.Пирсона применим для больших выборок, объемом более 50 значений. При этом он дает хорошие результаты при равномерном распределении точек в интервалах, количество которых соответствует условию $m_i \geq 5$.

В отличие от критерия χ^2 критерий согласия Колмогорова основан на определении максимального расхождения между эмпирической F_0 и аналитической F функциями распределения:

$$D_0 = \max |F_0 - F|. \quad (5.9)$$

Если $n \rightarrow \infty$, то распределение параметра $\lambda = D_0 \sqrt{n}$ не зависит от вида закона распределения случайной величины и стремится к вероятностному распределению Колмогорова. Таким образом, вычислив значение λ по опытным данным, выполняется его сравнение с критической величиной λ_{α} , приведенной в математических справочниках. Индекс α представляет собой уровень значимости. При $\lambda_{\alpha} \geq \lambda$ принимается гипотеза о соответствии аналитического закона распределения эмпирическим данным.

Критерий Колмогорова, как и критерий χ^2 , применим для больших выборок ($n \geq 40-50$). Причем он используется тогда, когда известен закон распределения и его параметры. К сожалению, при решении практических задач приходится сталкиваться с ситуациями невыполнения этого условия. Поэтому возможны случаи получения ложного результата, если по критерию согласия аналитический закон распределения соответствует эмпирическим данным. Добавим к этому, что перечисленные меры расхождения не всегда применимы в хвостовых частях выборки, где расположены экстремумы.

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического

значения выборки для нормального закона распределения рассчитывается по формуле

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (5.10)$$

где n – длина или объем выборки, а σ - стандарт ряда.

При достаточно больших объемах выборок выражение (5.10) справедливо для статистических распределений, отклоняющихся от закона Гаусса.

Применительно к нормальному распределению формулы расчета средних квадратических погрешностей стандарта σ и коэффициента вариации c_v , как мер рассеяния имеют вид:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}, \quad (5.11)$$

$$\sigma_{c_v} = \frac{c_v}{\sqrt{2n}}. \quad (5.12)$$

Напомним, что по содержанию параметры c_v и σ идентичны. Отличие заключается только в том, что коэффициент вариации является величиной безразмерной. Поэтому он более удобен при сравнении статистик выборок физически разных случайных величин.

Формула расчета средней квадратической погрешности коэффициента вариации для гамма-распределения отличается от выражения (5.12):

$$\sigma_{c_v} = \frac{c_v}{\sqrt{2n}} \sqrt{1 + c_v^2}. \quad (5.13)$$

Приведем одну из формул расчета погрешности коэффициента асимметрии применительно к гамма-распределению

$$\sigma_{c_s} = \sqrt{\frac{6}{n}(1 + c_v^2)}. \quad (5.14)$$

В завершении краткого обзора формул определения погрешностей статистик отметим, что применяются, по крайней мере, два метода их построения: теоретический и статистического моделирования. Здесь приведены только основные выражения, из которых (5.10) используется в прикладной программе MS Excel. Формулы (5.10)-(5.14) позволяют оценивать абсолютные средние квадратические погрешности. Для расчета относительных значений применяются соотношения:

$$E_{\bar{Q}} = \frac{\sigma_{\bar{Q}}}{\bar{Q}} \cdot 100\%, \quad (5.15)$$

$$E_{c_v} = \frac{\sigma_{c_v}}{c_v} \cdot 100\%, \quad (5.16)$$

$$E_{c_s} = \frac{\sigma_{c_s}}{c_s} \cdot 100\%. \quad (5.17)$$

Следует помнить, что изложенная теория применяется для выборок с независимыми друг от друга значениями. Для связанных чисел ряда применяются иные модели оценок статистик и их погрешностей.

Для реализации алгоритма можно использовать прикладные программы: Statistica, SPSS, MS Excel и др.

Если известна функция распределения описывающая расход воды, то можно определить расход воды заданной вероятности распределения, например при вероятности превышения ($P=85\%$). Приведем формулы определения годового стока для нормального закона и закона гамма-распределения:

$$Q_{85н} = k_{85н} \cdot \bar{Q}, \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (5.18)$$

$$Q_{85г} = k_{85г} \cdot \bar{Q}, \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (5.19)$$

где $k_{85г}$ и $k_{85н}$ - модульные коэффициенты вероятности превышения 85% нормального закона и закона гамма-распределения. Поскольку обе функции распределения реализованы в Excel не трудно с помощью этого табличного процессора найти значения $k_{85н}$ и $k_{85г}$.

$$=\text{НОРМОБР}(1-0,85;1;Cv), \quad (5.20)$$

$$=\text{ГАММАОБР}(1-0,85;1/Cv^2;Cv^2). \quad (5.21)$$

Понятно, что в приведенных функциях вместо символа C_v , необходимо вводить значение коэффициента вариации.

При недостаточности данных наблюдений (короткие ряды) для расчета годового стока используется метод аналогии. В качестве реки-аналога принимается водоток, бассейн которого в физико-географическом отношении является сходным с бассейном рассматриваемой реки. Физико-географическая аналогия между годовым стоком анализируемой и исследуемой реки

определяются по условиям $R \geq 0,7$, $\frac{a_1}{\sigma_{a_1}} \geq 2$. При выполнении этих неравенств уравнение регрессии считается удовлетворительным для восстановления значений расхода воды короткого ряда. В приведенных условиях R – коэффициент корреляции, a_1 – коэффициент уравнения регрессии при неизвестной величине, σ_{a_1} – стандартная погрешность.

Уравнение регрессии, связывающее реку-аналог (Q_a) и анализируемую реку (Q^T) имеет вид

$$Q^T = a_0 + a_1 Q_a, \quad (5.22)$$

где a_1 и a_0 вычисляются по формулам

$$a_1 = \frac{\sigma_Q}{\sigma_{Q_a}} R, \quad (5.23)$$

$$a_0 = \bar{Q} - a_1 \bar{Q}_a. \quad (5.24)$$

В этих формулах \bar{Q} , \bar{Q}_a – среднеголетние значения исходного ряда и реки-аналога за параллельные годы наблюдений (n); σ_Q , σ_{Q_a} – стандартные отклонения исходного ряда и ряда реки-аналога.

С помощью уравнения регрессии можно увеличить исходный ряд наблюдений до N , используя расходы воды реки-аналога. При этом следует учитывать разброс точек относительно уравнение регрессии

$$Q_i = \frac{Q_i^T - \bar{Q}}{R} + \bar{Q}. \quad (5.25)$$

Определив расходы воды Q_i за период N можно вычислить статистические параметры ряда по формулам (5.1)-(5.4), на основании которых строят определенную функцию распределения и находят расход воды, соответствующий заданной вероятности превышения.

При отсутствии данных наблюдений используются карты изолиний, описывающие изменчивость статистических параметров региона. При расчетах статистических параметров, как правило, используют карты норм модулей стока (\bar{q}) и коэффициентов вариации (c_v). Зная значения этих параметров \bar{q} , c_v снятых с карт, нетрудно определить расход воды с заданной вероятностью превышения для гамма-распределения, обладающего свойством $c_s = 2c_v$.

Напомним, что $\bar{Q} = \frac{\bar{q}F}{1000}$.

Очевидно, что в этом случае точность расчетов годового стока наблюдений зависит от точности карт нормы модуля стока и коэффициента вариации.

Приведем примеры расчета годового стока при наличии, недостаточности и отсутствии наблюдений.

Пример выполнения задания

Определение годового стока реки при наличии данных

Исходные данные: среднегодовые расходы воды реки Ия у г. Тулун по данным наблюдений за 47 лет.

Требуется: 1) построить эмпирическую и аналитические функции распределения (нормальный и гамма-распределения); 2) выбрать приемлемый закон распределения согласно критерию χ^2 , или Колмогорова; 3) определить расход воды с вероятностью превышения $P=75\%$.

Порядок выполнения задания

1. В первом и втором столбце таблицы 5.1 приведены годы ($n=47$ лет) и среднегодовой расход воды реки Ия.

2. В третьем столбце приведены порядковые номера среднегодового расхода реки.

3. В четвертом столбце рассчитываем модульные коэффициенты $k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$, где Q – значение среднегодового расхода воды, \bar{Q} – среднее значение ряда, которое предварительно рассчитывается по значениям столбца 2. В данном примере $\bar{Q}=153$ м³/с. Таким образом, K_i вычисляется следующим образом:

$$k_1 = \frac{165}{153} = 1,08, k_2 = \frac{167}{153} = 1,09, \dots, k_{47} = \frac{170}{153} = 1,11.$$

4. В пятом столбце определены разности $k_i - 1$.

Таблица 5.1 - Вычисление эмпирической обеспеченности среднегодовых расходов воды реки Ия г. Тулун

Годы	Ия-Тулун, Q, м ³ /с	№п.п.	k_i	k_{i-1}	$\sum_{i=1}^m (k_i - 1)$	$P_i, \%$	k_p
1	2	3	4	5	6	7	8
1938	165	1	1,08	0,08	0,08	2,08	1,51
1939	167	2	1,09	0,09	0,17	4,17	1,37
1940	168	3	1,1	0,1	0,27	6,25	1,23
1941	179	4	1,17	0,17	0,44	8,33	1,21
1942	110	5	0,72	-0,28	0,16	10,4	1,20
1943	98,7	6	0,65	-0,35	-0,19	12,5	1,18
1944	210	7	1,37	0,37	0,18	14,6	1,18
1945	130	8	0,85	-0,15	0,03	16,7	1,17
1946	180	9	1,18	0,18	0,21	18,8	1,15
1947	188	10	1,23	0,23	0,44	20,8	1,11
1948	145	11	0,95	-0,05	0,39	22,9	1,10
1949	156	12	1,02	0,02	0,41	25	1,10
1950	158	13	1,03	0,03	0,44	27,1	1,10
1951	119	14	0,78	-0,22	0,22	29,2	1,08
1952	231	15	1,51	0,51	0,73	31,3	1,07
1953	152	16	0,99	-0,01	0,72	33,3	1,06
1954	144	17	0,94	-0,06	0,66	35,4	1,06
1955	176	18	1,15	0,15	0,81	37,5	1,05
1956	135	19	0,88	-0,12	0,69	39,6	1,04
1957	123	20	0,80	-0,2	0,49	41,7	1,03
1958	127	21	0,83	-0,17	0,32	43,8	1,03
1959	154	22	1,01	0,01	0,33	45,8	1,02
1960	168	23	1,1	0,1	0,43	47,9	1,01
1961	160	24	1,05	0,05	0,48	50	1,01
1962	158	25	1,03	0,03	0,51	52,1	1
1963	162	26	1,06	0,06	0,57	54,2	0,99
1964	124	27	0,81	-0,19	0,38	56,3	0,99
1965	148	28	0,97	-0,03	0,35	58,3	0,98
1966	184	29	1,20	0,2	0,55	60,4	0,97
1967	163	30	1,07	0,07	0,62	62,5	0,95
1968	121	31	0,79	-0,21	0,41	64,6	0,94
1969	129	32	0,84	-0,16	0,25	66,7	0,92
1970	162	33	1,06	0,06	0,31	68,8	0,90
1971	118	34	0,77	-0,23	0,08	70,8	0,88
1972	154	35	1,01	0,01	0,09	72,9	0,86
1973	180	36	1,18	0,18	0,27	75	0,85
1974	116	37	0,76	-0,24	0,03	77,1	0,85
1975	153	38	1	0	0,03	79,2	0,84
1976	137	39	0,90	-0,1	-0,07	81,25	0,83
1977	152	40	0,99	-0,01	-0,08	83,3	0,81
1978	159	41	1,04	0,04	-0,04	85,4	0,80
1979	130	42	0,85	-0,15	-0,19	87,5	0,79
1980	185	43	1,21	0,21	0,02	89,6	0,78
1981	150	44	0,98	-0,02	0	91,7	0,77
1982	140	45	0,92	-0,08	-0,08	93,8	0,76
1983	131	46	0,86	-0,14	-0,22	95,8	0,72
1984	170	47	1,11	0,11	-0,11	97,9	0,65
	$\bar{Q} = 153 \text{ м}^3 / \text{с}$						

5. В шестом столбце вычислена последовательная сумма по данным предыдущего столбца $\sum_{i=1}^m (k_i - 1)$. По данным первого и шестого столбца построена разностная интегральная кривая модулей годового стока (рисунок 5.1).

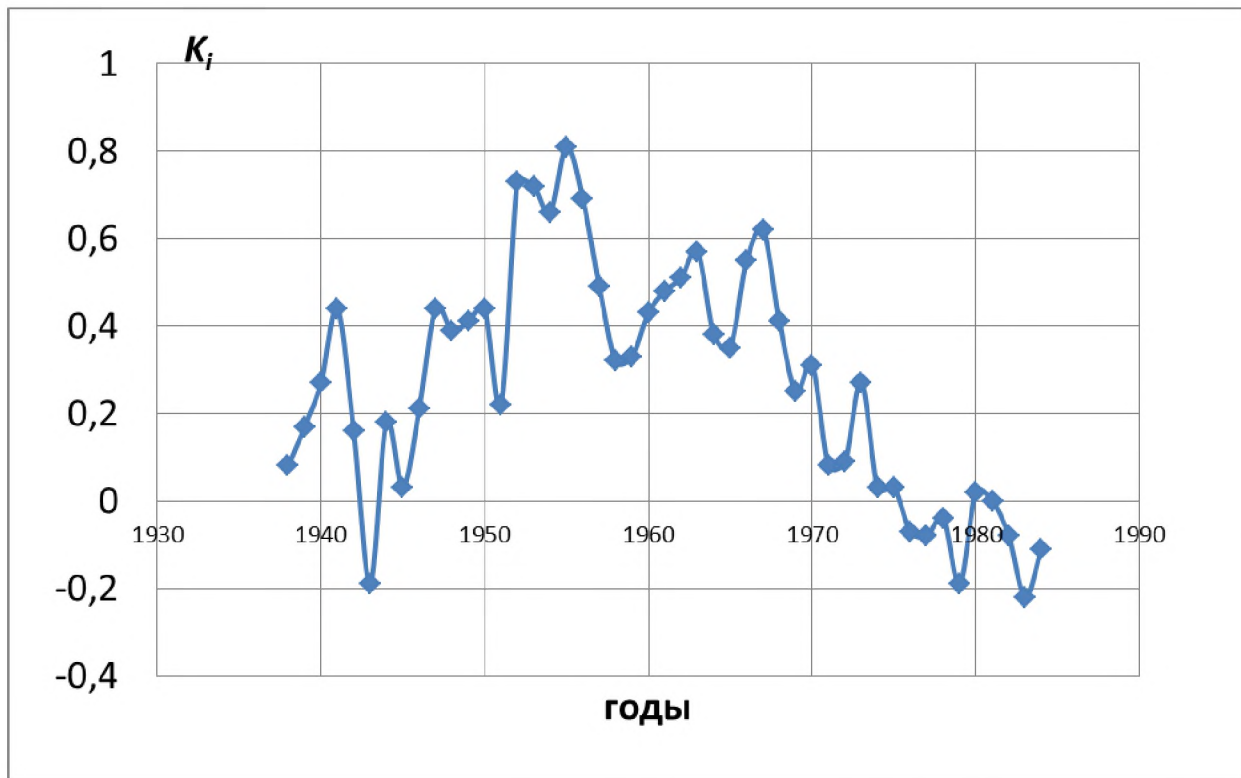


Рисунок 5.1 – Сокращенная интегральная кривая модулей годового стока р. Ия у г. Тулун

Из рисунка 5.1 следует, что с 1943 до 1955 гг. наблюдалась многоводная фаза стока, а с 1955 по 1979 гг. – маловодная фаза. Следовательно, норму стока необходимо рассчитывать за цикл 1943-1979 гг.

6. В седьмом столбце записываются вычисления эмпирической обеспеченности $P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%$, m – порядковый номер (столбец 3). Например,

$$P_1 = \frac{1}{47+1} \cdot 100\% = 2,08\%, \quad P_2 = \frac{47}{47+1} \cdot 100\% = 4,17\% \text{ и так для каждого коэффициента.}$$

7. В столбце 8 модульные коэффициенты, вычисленные и записанные в 4 столбце, располагают в порядке убывания.

8. По данным эмпирической вероятности превышения P_i и ранжированному ряду Q , м³/с строится эмпирическая функция распределения среднегодовых расходов воды реки (рисунок 5.2.)

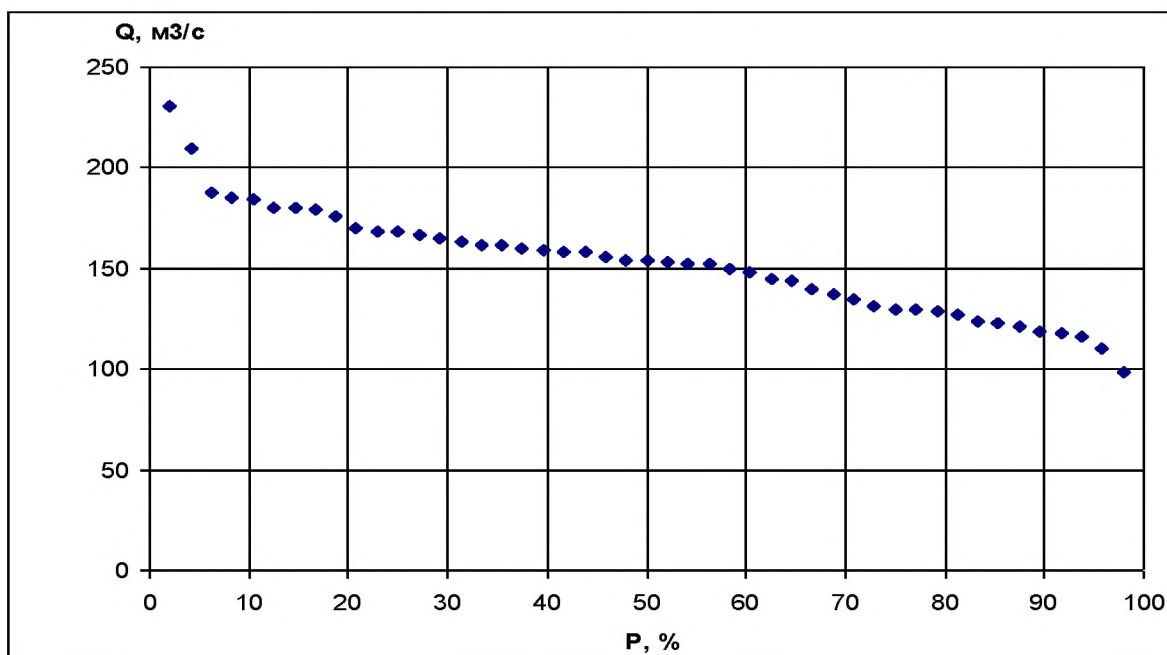


Рисунок 5.2 - Эмпирическая функция распределения среднегодовых расходов воды реки Ия у г. Тулун за период 1938-1984 гг.

9. По среднегодовым расходам воды на основании формул (5.1), (5.2.) и (5.4) с помощью MS Excel (описательная статистика) получены статистические параметры годового стока (таблица 5.3).

Таблица 5.3 - Статистические параметры годового стока реки Ия г. Тулун

Среднее	153,0
Стандартная ошибка	3,83
Медиана	154
Мода	168
Стандартное отклонение	26,3
Дисперсия выборки	670,0
Эксцесс	0,70
Асимметричность	0,45
Интервал	132,0
Минимум	98,7
Максимум	231
Сумма	7169,7
Счет	47

В дополнение к этим параметрам рассчитываются коэффициент вариации C_v по формуле (5.3).

$$C_v = \frac{26,3}{153,0} = 0,17.$$

10. Помимо статистических параметров рассчитывается стандартные погрешности среднего значения, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии по формулам (5.10), (5.12) и (5.14):

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{26,3}{\sqrt{47}} = 3,83,$$

$$\sigma_{C_v} = \frac{0,17}{\sqrt{2 \times 47}} = 0,017,$$

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{47} \cdot (1 + 0,17^2)} = 0,36.$$

Для определения относительных значений погрешностей статистических параметров (5.15)-(5.17) необходимо полученные результаты разделить на значение параметров (\bar{Q} , C_v , C_s)

$$E_{\bar{Q}} = \frac{3,83}{153} 100 = 2,5\%,$$

$$E_{C_v} = \frac{0,017}{0,17} 100 = 10\%,$$

$$E_{C_s} = \frac{0,36}{0,45} 100 = 80\%.$$

Полученные результаты показывают, что наибольшей погрешностью обладает параметр C_s , а наименьшее среднее значение \bar{Q} .

11. Аналитические функции распределения вероятностей среднегодовых расходов воды строим, используя нормальный закон и гамма-распределение.

Расчетное значение функции распределения нормального P_n и гамма-распределения P_2 приведены в 5 и 6 столбце таблицы 5.3, а остальные данные в убывающем порядке перенесены из таблицы 5.1.

Таблица 5.3 – Расчет параметров аналитической кривой обеспеченности среднегодовых расходов воды реки Ия г. Тулун

Годы	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	k_p	$P, \%$	$P_n, \%$	$P_z, \%$
1	2	3	4	5	6
1938	231	1,51	2,08	0,1	0,4
1939	210	1,37	4,17	1,5	2,2
1940	188	1,23	6,25	8,8	9,4
1941	185	1,21	8,33	10,8	11,2
1942	184	1,2	10,4	12,0	12,3
1943	180	1,18	12,5	14,5	14,5
1944	180	1,18	14,6	14,5	14,5
1945	179	1,17	16,7	15,9	15,8
1946	176	1,15	18,8	18,9	18,5
1947	170	1,11	20,8	25,9	24,8
1948	168	1,1	22,9	27,8	26,6
1949	168	1,1	25	27,8	26,6
1950	167	1,1	27,1	27,8	26,6
1951	165	1,08	29,2	31,9	30,3
1952	163	1,07	31,3	34,0	32,3
1953	162	1,06	33,3	36,2	34,4
1954	162	1,06	35,4	36,2	34,4
1955	160	1,05	37,5	38,4	36,5
1956	159	1,04	39,6	40,7	38,6
1957	158	1,03	41,7	43,0	40,9
1958	158	1,03	43,8	43,0	40,9
1959	156	1,02	45,8	45,3	43,1
1960	154	1,01	47,9	47,7	45,4
1961	154	1,01	50	47,7	45,4
1962	153	1	52,1	50,0	47,7
1963	152	0,99	54,2	52,3	50,1
1964	152	0,99	56,3	52,3	50,1
1965	150	0,98	58,3	54,7	52,5
1966	148	0,97	60,4	57,0	54,8
1967	145	0,95	62,5	61,6	59,6
1968	144	0,94	64,6	63,8	61,9
1969	140	0,92	66,7	68,1	66,5
1970	137	0,9	68,8	72,2	70,9
1971	135	0,88	70,8	76,0	75,1
1972	131	0,86	72,9	79,5	79,0
1973	130	0,85	75	81,1	80,9
1974	130	0,85	77,1	81,1	80,9
1975	129	0,84	79,2	82,7	82,6
1976	127	0,83	81,25	84,1	84,3
1977	124	0,81	83,3	86,8	87,3
1978	123	0,8	85,4	88,0	88,6
1979	121	0,79	87,5	89,2	89,9
1980	119	0,78	89,6	90,2	91,1
1981	118	0,77	91,7	91,2	92,2
1982	116	0,76	93,8	92,1	93,1
1983	110	0,72	95,8	95,0	96,2
1984	98,7	0,65	97,9	98,0	98,9
	$Q_{cp}=153$				

Для определения P_n и P_γ использованы функции табличного процессора MS Excel:

$$=(1-\text{НОРМРАСП}(K_p;1;C_v;1)) \times 100,$$

$$=(1-\text{ГАММАРАСП}(K_p;1/C_v^2; C_v^2;1)) \times 100.$$

В приведенных функциях K_p представляет собой ячейку со значением модульного коэффициента ($k_p=1,51; k_p=1,37 \dots \dots k_p=0,65$), C_v - коэффициент вариации (0,17).

12. По данным столбцов (3-6) строим эмпирическую и аналитические функции распределения (рисунок 5.3).

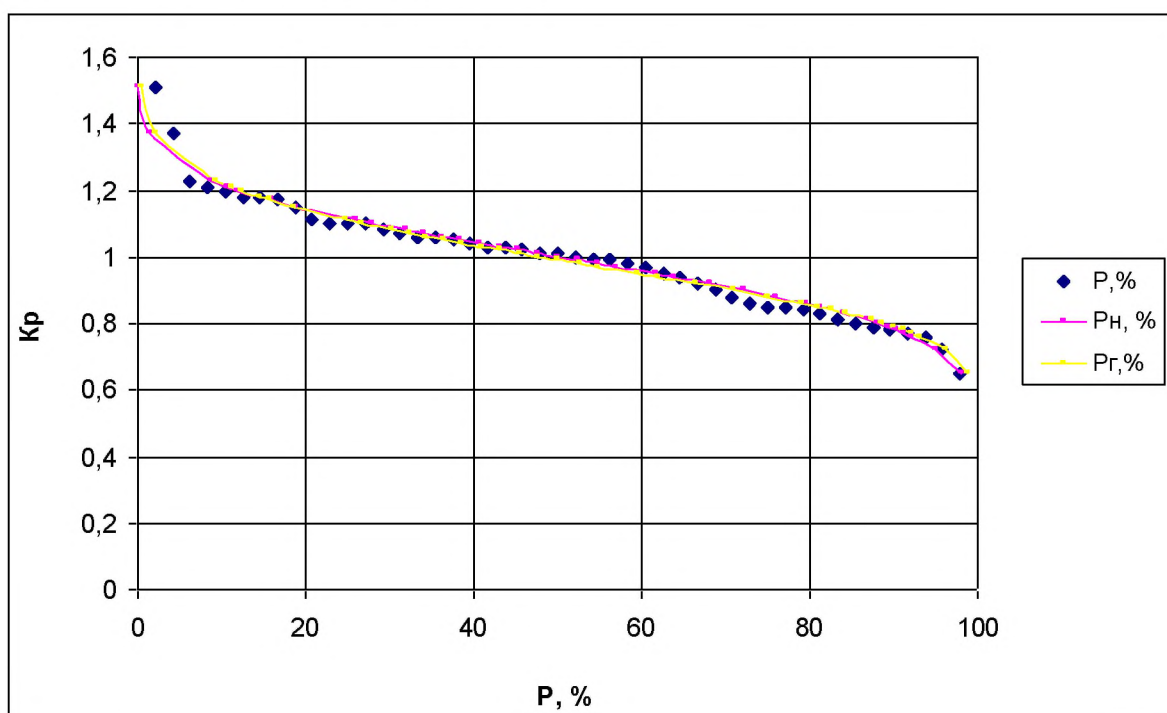


Рисунок 5.3 – Эмпирическая функция ($P, \%$), нормальный закон распределения ($P_n, \%$) и гамма-распределение ($P_\gamma, \%$) модульных коэффициентов годового стока реки Ия у г. Тулун за период 1938-1984 гг.

13. Расход воды обеспеченностью 75% при нормальном законе распределения и при законе гамма-распределения рассчитывается по формулам (5.18) и (5.19).

Значения k_{75n} , $k_{75\gamma}$ получают при помощи Excel, применив функции ГАММАОБР и НОРМОБР.

$$=\text{НОРМОБР}(1-0,75;1;C_v),$$

$$=\text{ГАММАОБР}(1-0,75;1/C_v^2;C_v^2),$$

Таблица 5.4 – Выбор значимого закона распределения вероятности реки Ия г. Тулун

$P, \%$	$P_{н}, \%$	$P_{с}, \%$	$P-P_{н}$	$P-P_{с}$
1	2	3	4	5
2,08	0,1	0,4	1,98	1,68
4,17	1,5	2,2	2,67	1,97
6,25	8,8	9,4	2,55	3,15
8,33	10,8	11,2	2,47	2,87
10,4	12,0	12,3	1,6	1,9
12,5	14,5	14,5	2	2
14,6	14,5	14,5	0,1	0,1
16,7	15,9	15,8	0,8	0,9
18,8	18,9	18,5	0,1	0,3
20,8	25,9	24,8	5,1	4
22,9	27,8	26,6	4,9	3,7
25	27,8	26,6	2,8	1,6
27,1	27,8	26,6	0,7	0,5
29,2	31,9	30,3	2,7	1,1
31,3	34,0	32,3	2,7	1
33,3	36,2	34,4	2,9	1,1
35,4	36,2	34,4	0,8	1
37,5	38,4	36,5	0,9	1
39,6	40,7	38,6	1,1	1
41,7	43,0	40,9	1,3	0,8
43,8	43,0	40,9	0,8	2,9
45,8	45,3	43,1	0,5	2,7
47,9	47,7	45,4	0,2	2,5
50	47,7	45,4	2,3	4,6
52,1	50,0	47,7	2,1	4,4
54,2	52,3	50,1	1,9	4,1
56,3	52,3	50,1	4	6,2
58,3	54,7	52,5	3,6	5,8
60,4	57,0	54,8	3,4	5,6
62,5	61,6	59,6	0,9	2,9
64,6	63,8	61,9	0,8	2,7
66,7	68,1	66,5	1,4	0,2
68,8	72,2	70,9	3,4	2,1
70,8	76,0	75,1	5,2	4,3
72,9	79,5	79,0	6,6	6,1
75	81,1	80,9	6,1	5,9
77,1	81,1	80,9	4	3,8
79,2	82,7	82,6	3,5	3,4
81,25	84,1	84,3	2,85	3,05
83,3	86,8	87,3	3,5	4
85,4	88,0	88,6	2,6	3,2
87,5	89,2	89,9	1,7	2,4
89,6	90,2	91,1	0,6	1,5
91,7	91,2	92,2	0,5	0,5
93,8	92,1	93,1	1,7	0,7
95,8	95,0	96,2	0,8	0,4
97,9	98,0	98,9	0,1	1
			$D=\max=6,6/100$	$D=\max=6,1/100$

$$= \text{НОРМОБР}(1-0,75;1;0,17),$$

$$= \text{ГАММАОБР}(1-0,75;1/0,17^2;0,17^2).$$

Таким образом, $k_{75н}$, $k_{75г}$ соответственно равны 0,89 и 0,88. Значит $Q_{75н} = 0,89 \cdot 153 = 136 \text{ м}^3 / \text{с}$, $Q_{75г} = 0,88 \cdot 153 = 134 \text{ м}^3 / \text{с}$.

14. Согласно таблице 5.4 определяется максимальное значение расхождения между вероятностями распределения (столбец 4 и 5). По максимальному значению расхождения (D) определяется эмпирическое значение критерия Колмогорова для нормального закона и гамма-распределения.

$$\lambda = D \sqrt{n},$$

$$= 0,066 \times \text{КОРЕНЬ}(47) = 0,45,$$

$$= 0,061 \times \text{КОРЕНЬ}(47) = 0,41.$$

Если выполняется неравенство $\lambda \leq \lambda_{\alpha}$, тогда гипотеза о соответствии закона распределения вероятностей эмпирическим данным принимается.

Для уровня значимости α по таблице 5.5 получаем теоретические значения λ_{α} . Так, для уровня значимости $\lambda_{\alpha} = 0,05$ табличное значение составляет 1,358.

Таблица 5.5 - Критические значения λ_{α} для распределения Колмогорова

α	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
λ_{α}	0,828	0,895	0,974	1,073	1,224
α	0,05	0,02	0,01	0,001	
λ_{α}	1,358	1,52	1,627	1,95	

Согласно полученным результатам оба значения соответствуют гипотезе о принятии закона распределения вероятностей для расчетов. Между тем, учитывая асимметричность гидрологического ряда $c_s = 0,45$ (табл. 5.3), гамма-распределение в большей степени соответствует эмпирическим значениям.

Определение годового стока реки при недостаточности данных

Исходные данные: среднегодовые расходы воды рассматриваемой реки Китой у города Ангарска по данным наблюдений за $n=21$ год (1964-1984 гг.) и

среднегодовые расходы воды аналога-реки Иркут в городе Иркутске за период с 1928 по 1984 гг. ($N=57$).

Требуется определить расход воды реки Китой у города Ангарска с вероятностью превышения $P=75\%$.

Порядок выполнения задания

1. В качестве реки-аналога принимается водоток, бассейн которого в физико-географическом отношении является сходным с бассейном рассматриваемой реки. В данном примере это Иркут-Иркутск. Исходные данные по изучаемому водотоку и реке-аналогу приведены в столбцах 2 и 3.

2. Между среднегодовым стоком исследуемой реки и реки-аналога определяется коэффициент корреляции, который должен соответствовать условию $R \geq 0,7$.

Для нахождения коэффициента R загружается команда «Корреляция» из пакета «Анализ данных» меню «Сервис», либо через функцию «КОРРЕЛ» в MS Excel. Вводятся значения первого столбца и второго столбца за одинаковое количество лет. Получим значение парного коэффициента корреляции (R).

В примере $R=0,85$ (таблица 5.6.)

Таблица 5.6 –Значения регрессии анализируемой реки Китой у города Ангарска

ВЫВОД ИТОГОВ						
<i>Регрессионная статистика</i>						
Множеств	0,854186					
R-квадрат	0,729633					
Нормиров	0,715403					
Стандарт	11,20648					
Наблюден	21					
<i>Дисперсионный анализ</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ачимость F</i>	
Регрессия	1	6439,366	6439,366	51,27492	8,35E-07	
Остаток	19	2386,117	125,5851			
Итого	20	8825,483				
<i>Коэффициент стандартная статистика²-Значения нижние 95% верхние 95%</i>						
Y-пересеч	25,58925	13,35069	1,916699	0,070441	-2,35407	53,53256
Переменн	0,679857	0,094944	7,160651	8,35E-07	0,481138	0,878576

3. Так как между среднегодовым стоком исследуемой реки и реки-аналога имеет место высокая корреляционная связь, то соответственно строим

уравнение регрессии (5.22). С помощью функции «регрессия» меню сервиса «Анализ данных» в MS Excel необходимо определить значения этого уравнения регрессии, связывающее реку-аналог (Q_a) и исследуемую реку (Q).

Исходя из значений таблицы получено уравнение регрессии с параметрами, указанными в последних двух строках таблицы (обведены окружностью):

$$Q^T = 0,68Q_a + 25,58$$

4. Используя уравнение регрессии нетрудно восстановить данные годового стока исследуемой реки Китой (г. Ангарск) (Q) за 1928-1963 гг. (столбец 4 таблицы 5.7), выделенные курсивным полужирным шрифтом.

$$Q^T_{1928} = 0,68 \times 119 + 25,59, \dots, Q^T_{1963} = 0,68 \times 127 + 25,59.$$

Таблица 5.7 – Годовой сток анализируемой реки и реки-аналога

Годы	(Иркут-Иркутск)	(Китой-Ангарск)	(Китой-Ангарск)	(Китой-Ангарск)	Годы	(Иркут-Иркутск)	(Китой-Ангарск)	(Китой-Ангарск)	(Китой-Ангарск)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1928	119		<i>106,51</i>	104,13	1956	106		<i>97,67</i>	93,73
1929	94,5		<i>89,85</i>	84,53	1957	136		<i>118,07</i>	117,73
1930	139		<i>120,11</i>	120,13	1958	112		<i>101,75</i>	98,53
1931	161		<i>135,07</i>	137,73	1959	133		<i>116,03</i>	115,33
1932	207		<i>166,35</i>	174,53	1960	140		<i>120,79</i>	120,93
1933	147		<i>125,55</i>	126,53	1961	117		<i>105,15</i>	102,53
1934	126		<i>111,27</i>	109,73	1962	140		<i>120,79</i>	120,93
1935	106		<i>97,67</i>	93,73	1963	127		<i>111,95</i>	110,53
1936	99		<i>92,91</i>	88,13	1964	117	109	<i>109</i>	109
1937	165		<i>137,79</i>	140,93	1965	132	113	<i>113</i>	113
1938	149		<i>126,91</i>	128,13	1966	179	170	<i>170</i>	170
1939	119		<i>106,51</i>	104,13	1967	154	144	<i>144</i>	144
1940	147		<i>125,55</i>	126,53	1968	172	138	<i>138</i>	138
1941	162		<i>135,75</i>	138,53	1969	113	113	<i>113</i>	113
1942	159		<i>133,71</i>	136,13	1970	158	133	<i>133</i>	133
1943	143		<i>122,83</i>	123,33	1971	164	133	<i>133</i>	133
1944	115		<i>103,79</i>	100,93	1972	108	88	<i>88</i>	88
1945	150		<i>127,59</i>	128,93	1973	188	144	<i>144</i>	144
1946	143		<i>122,83</i>	123,33	1974	133	117	<i>117</i>	117
1947	142		<i>122,15</i>	122,53	1975	170	121	<i>121</i>	121
1948	165		<i>137,79</i>	140,93	1976	111	89,9	<i>89,9</i>	89,9
1949	146		<i>124,87</i>	125,73	1977	133	100	<i>100</i>	100
1950	171		<i>141,87</i>	145,73	1978	106	98,1	<i>98,1</i>	98,1
1951	134		<i>116,71</i>	116,13	1979	104	97,6	<i>97,6</i>	97,6
1952	167		<i>139,15</i>	142,53	1980	119	96,4	<i>96,4</i>	96,4
1953	146		<i>124,87</i>	125,73	1981	118	121	<i>121</i>	121
1954	136		<i>118,07</i>	117,73	1982	143	124	<i>124</i>	124
1955	146		<i>124,87</i>	125,73	1983	156	140	<i>140</i>	140
					1984	125	121	<i>121</i>	121

С помощью уравнения регрессии можно увеличить исходный ряд наблюдений до N , используя расходы воды реки-аналога.

5. Вместе с тем полученные результаты, приведенные в таблице 5.7 в столбце 4, не учитывают отклонения расхода воды от уравнения регрессии, поэтому в столбце 5 приведены окончательные значения расхода воды реки Китой (г. Ангарск), рассчитанные по формуле (5.25).

6. Определив расход воды Q за период N (столбец 5) необходимо вычислить статистические параметры ряда по формулам (5.1)-(5.4), на основании которых строят функции расхода воды, соответствующий заданной вероятности превышения.

Среднее значение \bar{Q} составляет $120,0 \text{ м}^3/\text{с}$, стандартное отклонение – $19,2$, коэффициент вариации – $0,16$, коэффициент асимметрии – $0,38$.

Расход воды с вероятностью превышения 75% при нормальном законе распределения и при законе гамма-распределения рассчитывается по формулам (5.18) и (5.19).

Значения $K_{75н}$, $K_{75г}$ получают при помощи MS Excel, применив функции ГАММАОБР и НОРМОБР.

$$=\text{НОРМОБР}(1-0,75;1;0,17),$$

$$=\text{ГАММАОБР}(1-0,75;1/0,17^2;0,17^2).$$

Следовательно $K_{75н}$, $K_{75г}$ соответственно равны $0,89$ и $0,88$. Другими словами, $Q_{75н} = 0,89 \cdot 120 = 106 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{75г} = 0,88 \cdot 120 = 105 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, расход воды реки Китой (г. Ангарск) с вероятностью превышения 75% составляет при нормальном законе распределения $106 \text{ м}^3/\text{с}$, а при гамма-распределении – $105 \text{ м}^3/\text{с}$.

Определение годового стока реки при отсутствии данных

Исходные данные: карта модулей стока и коэффициентов вариации (рис. 5.3 и 5.4), площадь водосбора (1120 км^2) реки Курзанка (п. Утай).

Требуется: определить расход воды реки Курзанка (п. Утай) с вероятностью превышения $P=75\%$.

Порядок выполнения задания

1. Зная расположение обозначенное точкой, с помощью метода интерполяции определяем значение среднегодового стока (\bar{q}) исследуемой реки по карте (рис 5.3) . Пункт находится в районе изолиний 2,0, соответственно $\bar{q}=2,0$ л/сек с 1 км^2 .

2. Используя формулу $\bar{Q} = \frac{\bar{q}F}{1000}$, находим норму стока, которая составляет $2,24 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. Определяем коэффициент вариации (C_v) используя карту (рис 5.4). Поскольку исследуемая река (пункт) находится в пределах 0,30, значение коэффициента вариации соответствует этому числу, т.е. $C_v=0,30$.

4. Зная средний годовой расход воды и коэффициент вариации и допуская, что годовые расходы воды подчиняются гамма-распределению, вычисляем расход воды вероятностью превышения 75%.

Для этого можно воспользоваться функцией ГАММАОБР(...) в табличном процессоре MS Excel. Модульный коэффициент $K_{75\%}$ находим с помощью MS Excel, применив функции.

$$\begin{aligned} &= \text{ГАММАОБР}(1-0,75; 1/C_v^2; C_v^2), \\ &= \text{ГАММАОБР}(1-0,75; 1/0,30^2; 0,30^2). \end{aligned}$$

Тогда модульный коэффициент $K_{75\%}=0,78$.

5. Используя формулу (5.19) вычислим расход воды вероятности превышения 75%

$$Q_{75\%} = 0,78 \cdot 2,24 = 1,75 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Таким образом, расход воды реки Курзанка (п. Утай) с вероятностью превышения 75% составляет при законе гамма-распределении $1,75 \text{ м}^3/\text{с}$.



Рисунок 5.3 – Карта изолиний модулей нормы годового стока рек Ангарского бассейна в л/сек с 1 км²

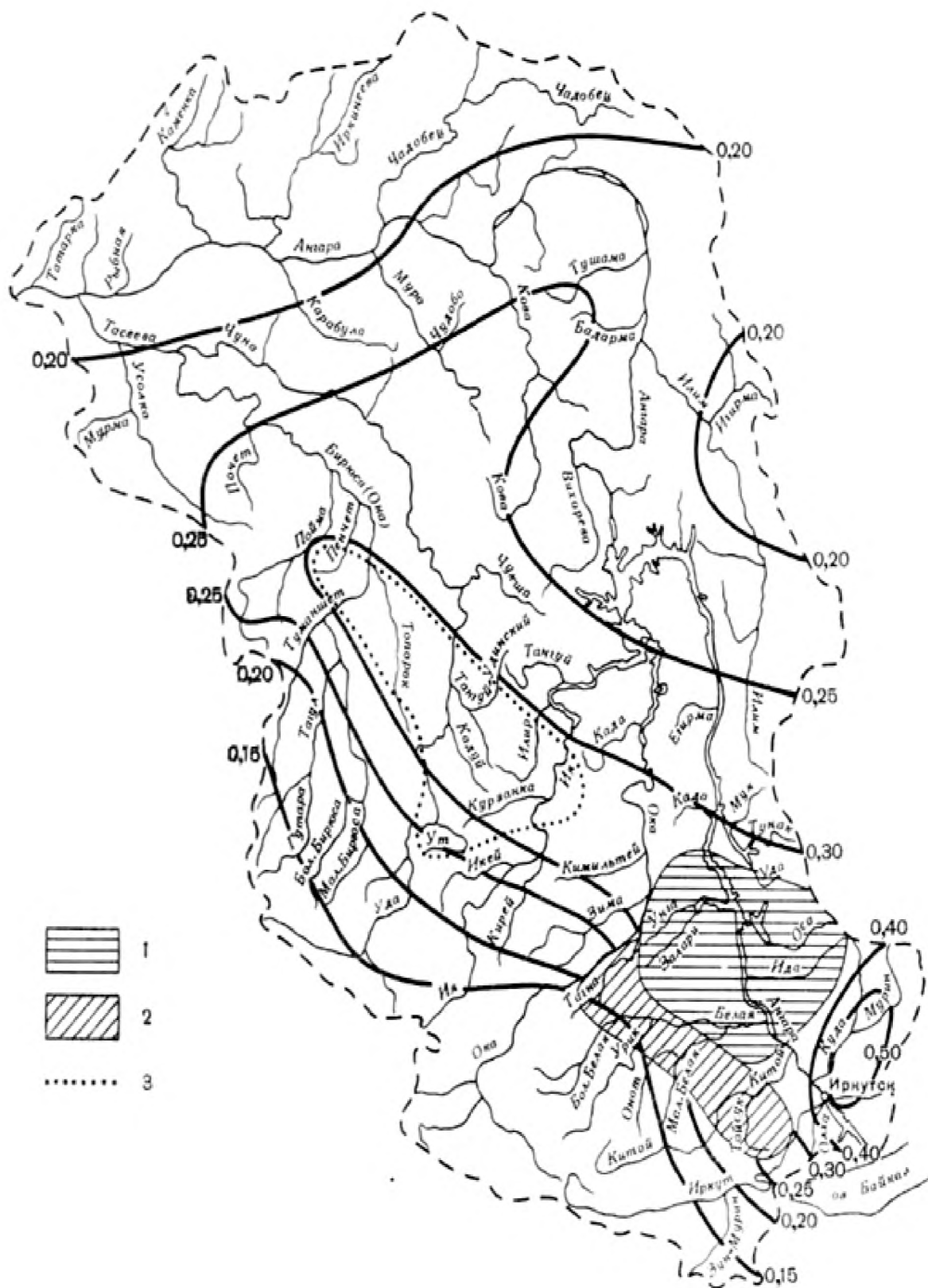


Рисунок 5.4 – Карта изолиний коэффициентов вариации годового стока рек Ангарского бассейна

Вопросы для самопроверки

1. Годовой сток.
2. Норма стока.
3. Факторы, влияющие на годовой сток.
4. Эмпирическая функция распределения.
5. Стандартное отклонение.
6. Коэффициент вариации.
7. Коэффициент асимметрии.
8. Законы распределения вероятностей.
9. Нормальный закон распределения.
10. Закон гамма-распределения.
11. Расчет годового стока при наличии данных наблюдений.
12. Расчет годового стока при недостаточности данных наблюдений.
13. Расчет годового стока при отсутствии данных наблюдений.
14. Река-аналог.
15. Карты норм стока.
16. Карта коэффициентов вариации.
17. Уравнение регрессии.
18. Построение уравнение регрессии с помощью MS Excel.
19. Восстановление значений расходов воды.
20. Функции, используемые в MS Excel для построения законов распределения вероятности.
21. Функции, используемые в MS Excel для определения расходов воды заданной вероятности превышения.

Варианты заданий в приложении 2.

6 Внутригодовое распределение стока

Цель работы – изучить факторы формирования внутригодового стока и методы его расчета.

Задачи

- 1) рассмотреть факторы формирования внутригодового стока;
- 2) изучить методы расчета внутригодового распределения расхода воды;
- 3) определить расходы воды заданной вероятности превышения нелимитирующего периода, лимитирующего периода, нелимитирующего и лимитирующего сезонов при отсутствии данных наблюдений;
- 4) построить расчетные гидрографы с заданной вероятностью превышения.

Краткая справка

Установление закономерностей внутригодового хода стока рек по периодам, сезонам и внутри сезонов ведется, так как на его основе планируется использование водных ресурсов для различных водохозяйственных целей. На внутригодовой сток влияет ряд физико-географических факторов. В первую очередь распределение стока зависит от изменения в течение года осадков и температуры воздуха, площади и рельефа бассейна, гидрогеологических условий, озерности, залесенности, заболоченности и др.

Климатические факторы определяют общий характер распределения стока в том или другом географическом районе. В частности, годовые величины осадков в Ангарском бассейне колеблется от 200 до 800 мм в год. Значительные колебания температуры достигают около 80-100° согласно абсолютным значениям. Остальные факторы (азональные), которые характеризуют особенности конкретного бассейна могут в значительной мере изменять внутригодовое распределение стока, что особенно сказывается на

водности малых рек. Известны различные классификации рек, которые отражают распределение внутригодового стока.

Б.Д. Зайков все реки России делит на три группы: с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года и с паводочным режимом. Реки с половодьем наиболее распространены и в зависимости от характера половодья и размера стока в остальную часть года реки делятся еще на пять типов.

Казахстанский - характеризуется очень высокой волной половодья и низким (до полного пересыхания) стоком в остальную часть года. Сток дает почти исключительно зимние осадки, быстрое таяние которых вызывает высокое, но непродолжительное половодье.

Восточноевропейский - характеризуется высоким весенним половодьем, летней меженью, прерываемой эпизодически ливнями, низкой зимней меженью и повышенным осенним стоком. Некоторые реки этого типа имеют два максимума: первый (главный) - весной и второй - осенью.

Западносибирский - имеет небольшое, растянутое половодье, повышенный летне-осенний сток и низкую зимнюю межень. Наличие в бассейнах рек этого типа болот, озер, обширных, заливаемых пойм оказывает регулирующее влияние на сток.

Восточносибирский - характеризуется высоким половодьем, систематическими летне-осенними паводками и очень низким зимним стоком. Этот тип рек связан с обильными дождями летом и осенью и ограниченностью подземного питания.

Алтайский - отличается невысоким, растянутым, гребенча-товидным половодьем, повышенным летне-осенним и низким зимним стоком.

Водотоки Ангарского бассейна относятся к Восточносибирскому типу рек.

Внутригодовой сток связан с расчетами по периодам, сезонам и месяцам, при этом ряды этого периода представляют собой случайные величины. Следовательно, расчет внутригодового стока заключается в определении

расхода воды заданной вероятности превышения за периоды, сезоны, месяцы, декады и сутки.

Для определения внутригодового стока реки используются различные методы. Их суть сводится к вычислению расходов воды заданной вероятности превышения по сезонам, месяцам, декадам и суткам. Кроме этого, возможны два способа представления характеристик внутригодового распределения стока: календарное – по различным интервалам времени (сезон, месяц, декада, сутки) и некалендарное – в порядке убывания расходов (месячных, декадных или суточных).

При расчетах внутригодового стока реки рассматриваются следующие ситуации: наличие данных, их недостаточность и отсутствие.

При наличии данных наблюдений для расчета внутригодового стока реки используют метод компоновки и метод реального года. Метод компоновки делится на две части: межсезонное и внутрисезонное распределение. Такое деление вызывается тем, что распределение стока внутри какого-либо гидрологического сезона зависит от водности, а не от водности года или другого сезона. Например, равномерное распределение стока летом и осенью соответствует низкой водности, так как в этом случае сток в основном определяется устойчивым грунтовым питанием, и, наоборот, неравномерное распределение соответствует большой водности сезона, обусловливаемой дождевыми паводками.

Рассмотрим более подробно метод реального года, который применяется при наличии длины ряда не менее 25 лет.

Суть метода состоит в том, что из числа фактических гидрографов в качестве расчетного выбирают тот, у которого вероятность превышения годового стока, лимитирующего периода и сезона близки к расчетной вероятности превышения.

На рисунке приведена схема деления некалендарного года на периоды и сезоны для расчета внутригодового стока.

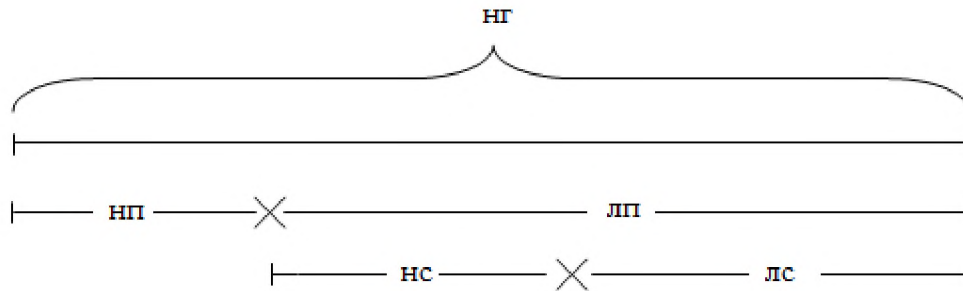


Рисунок 6.1- Схема деления некалендарного года на периоды и сезоны для расчета внутригодового стока

Для расчета внутригодового стока реки вводятся следующие понятия: некалендарный год (нГ), лимитирующий период (лп), нелимитирующий период (нп), лимитирующий сезон (лс), нелимитирующий сезон (нс). Задача сводится к расчету расхода воды с заданной вероятностью превышения лимитирующего и нелимитирующего периода, лимитирующего и нелимитирующего сезона и по месяцам. Некалендарный год связан с работой водохозяйственных сооружений. В частности, для рек Ангарского бассейна, некалендарный год начинается в апреле, а заканчивается в марте. Продолжительность некалендарного периода составляет 12 месяцев.

При использовании метода реального года строят эмпирические функции распределения годового стока лимитирующего периода и сезона. По полученным данным выбирают реальный гидрограф, соответствующий требованию равенства вероятности превышения годового стока и стока лимитирующего периода расчетной вероятности превышения.

В частности, если необходимо выбрать маловодный год соответствующий расчетной вероятности превышения 85%, то анализируются только маловодные годы, отвечающие последней третьей части убывающего ряда стока реки вероятностью превышения 67-100%.

При этом очертание выбранного гидрографа должны быть типичными для данного района. В выбранном реальном гидрографе вычисляют процентное ежемесячное распределение стока.

При недостаточности данных наблюдений используют метод аналогии.

Реку-аналог выбирают в результате сопоставления годовых и месячных расходов воды рассматриваемой реки и реки-аналога за определенный период времени.

Определение внутригодового стока при недостаточности данных наблюдений осуществляют по норме годового стока лимитирующего сезона и лимитирующего периода с использованием реки-аналога.

Распределение внутригодового стока неизученной реки (отсутствие данных) можно определить приближенно районным схемам по месяцам и сезонам (процент от годового стока) полученным по данным наблюдениям для размещения периодов. В частности, по рекам Ангарского бассейна выделены три гидрологических района (рис. 6.1).

Для решения поставленной задачи необходимо знать годовой расход воды при заданной вероятности превышения, например 80% (Q_{80}), и коэффициенты (ξ_{ip}). Имея значения этих параметров, определяются месячные расходы воды по формуле:

$$Q_{ip} = \xi_{ip} \cdot \frac{Q_P}{100}. \quad (6.1)$$

На основе выражения (6.1) рассчитаны значения расходов воды вероятности превышения 80% по месяцам, начиная с нелимитирующего периода.

Для расчетов лимитирующего периода (ЛП) и сезона (ЛС) используются формулы:

$$Q_{ЛП, P} = \xi_{ЛП} \cdot \frac{Q_P}{100}, \quad (6.2)$$

$$Q_{ЛС, P} = \xi_{ЛС} \cdot \frac{Q_P}{100}, \quad (6.3)$$

где $Q_{ЛП, P}$, $Q_{ЛС, P}$ - расходы воды заданной вероятности превышения (P) за лимитирующий период и сезон, $\xi_{ЛП}$, $\xi_{ЛС}$ - коэффициенты распределения годового стока по лимитирующим сезонам и периодам.

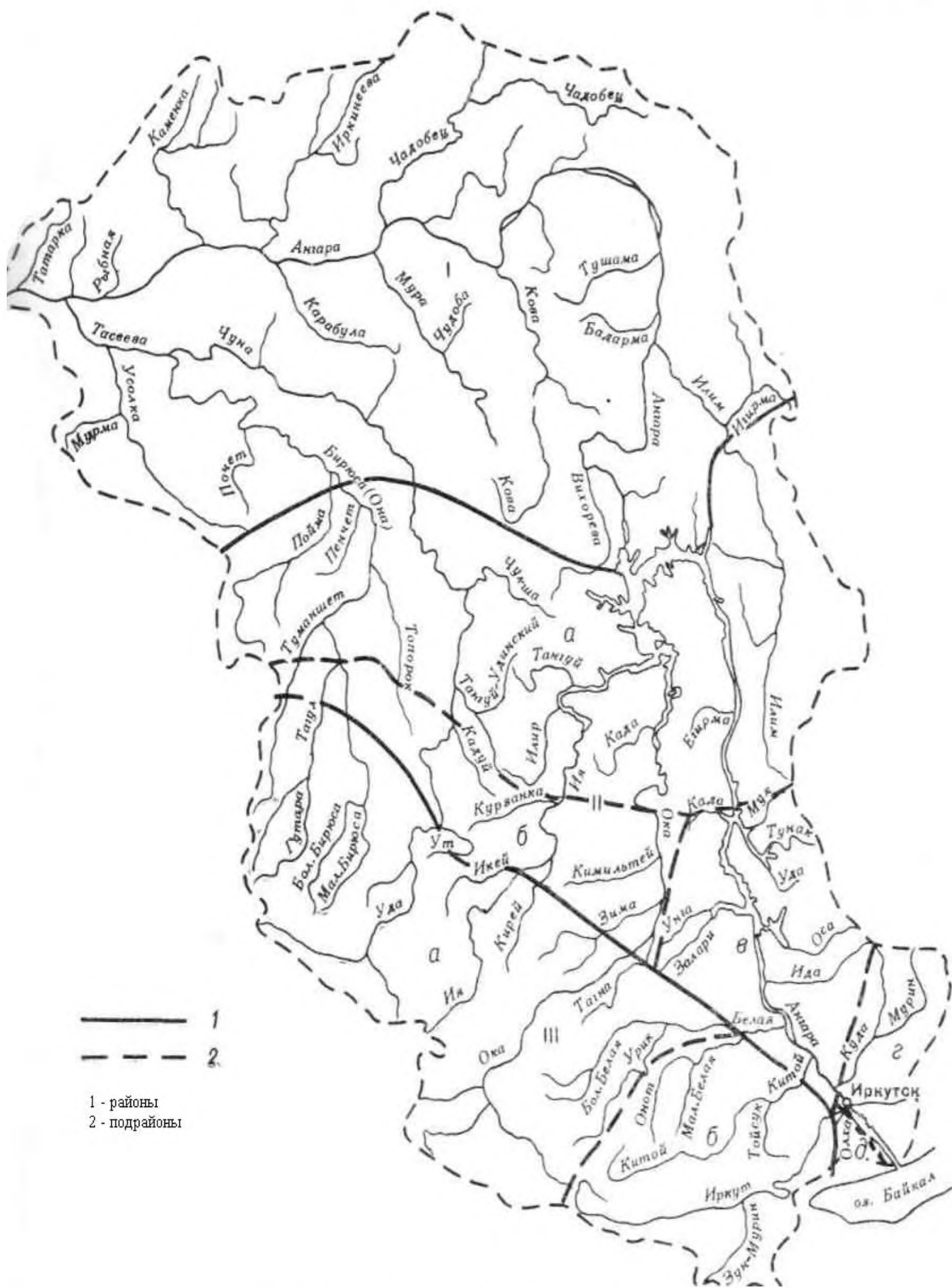


Рисунок 6.1 – Схема гидрологических районов

Используя формулы (6.2) и (6.3) определены расходы воды с заданной вероятностью превышения ($P=80\%$) для лимитирующего периода и сезона.

Расходы воды за нелимитирующий период и сезон рассчитываются по формулам:

$$Q_{нп_p} = Q_p - Q_{лп_p}, \quad (6.4)$$

$$Q_{нс_p} = Q_{лп_p} - Q_{лс_p}. \quad (6.5)$$

По полученным данным строят расчетные гидрографы в табличном процессоре MS Excel.

Пример выполнения задания

Исходные данные: годовой расход воды реки Ия у города Тулун (131 м³/с) при заданной вероятности превышения (в примере $P=80\%$); коэффициенты распределения годового стока по месяцам, периодам и сезонам (%), продолжительности лимитирующего периода (X-III), лимитирующего сезона (XII-III), нелимитирующего периода (IV-IX), нелимитирующего сезона (X-XI).

Таблица 6.1 – Исходные данные расхода воды реки Ия (город Тулун) по месяцам

Месяцы	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	лп	лс
ξ_{ip}	5	11,3	17	25,2	17,3	10,9	6,4	2,7	1,5	1,1	0,8	0,8	9,1	4,2

Требуется: 1) определить расчетное внутригодовое распределение расхода воды по районным схемам; 2) определить расходы воды заданной вероятности превышения нелимитирующего периода, лимитирующего периода (нелимитирующего и лимитирующего сезонов); 3) построить расчетные гидрографы с заданной вероятностью превышения.

Порядок выполнения задания

Для решения поставленной задачи необходимо знать расход воды вероятностью превышения 80% (Q_{80}) и коэффициенты (ξ_{ip}). Имея значения этих параметров, определяются месячные расходы воды по формуле (6.1).

На основе выражения рассчитаны значения расходов воды вероятности превышения 80% по месяцам, начиная с нелимитирующего периода.

Для расчетов лимитирующего периода (ЛП) и сезона (ЛС) используются формулы (6.2)-(6.3):

$$Q_{ЛП,р} = 9,1 \cdot \frac{131}{100} = 11,9,$$

$$Q_{ЛС,р} = 4,2 \cdot \frac{131}{100} = 5,5.$$

Определены расходы воды с заданной вероятностью превышения ($P=80\%$) для лимитирующего периода и сезона. Результаты вычислений приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Месячные расходы воды вероятностью превышения 80% для реки Ия (город Тулун)

Месяцы	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	ЛП	ЛС	НП	НС
ξ_{ip}	5	11,3	17	25,2	17,3	10,9	6,4	2,7	1,5	1,1	0,8	0,8	9,1	4,2		
$Q, м^3/с$	6,55	14,8	22,3	33,0	22,7	14,3	8,38	3,54	1,97	1,44	1,05	1,05	11,9	5,50	119	6,40

Расходы воды в нелимитирующий период и сезон считаются по формулам (6.4)-(6.5):

$$Q_{НП} = 131 - 11,9 = 119 м^3 / с,$$

$$Q_{НС} = 11,9 - 5,5 = 6,40 м^3 / с.$$

По полученным данным строим расчетные гидрографы (рис.6.2-6.3).

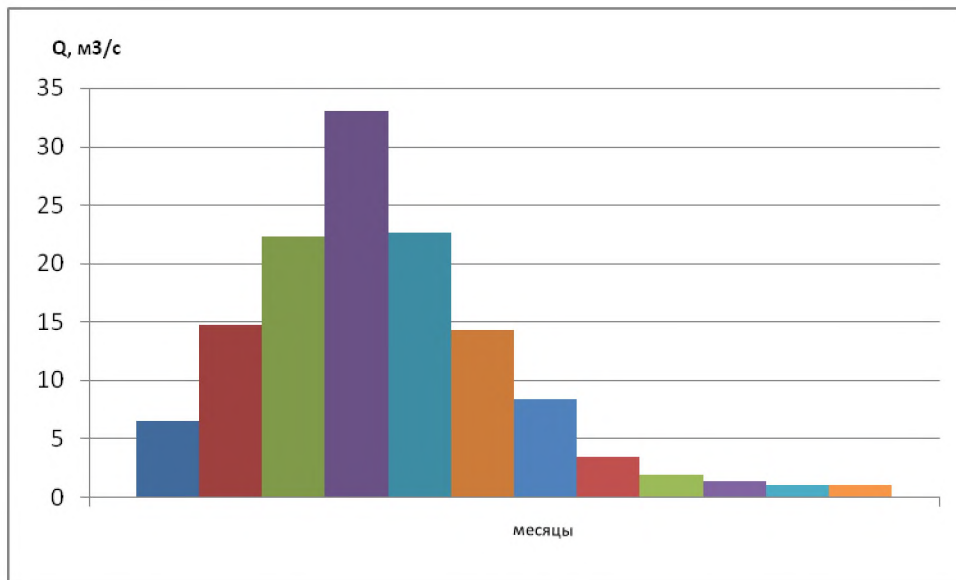


Рисунок 6.2 – Расчетный гидрограф при $P=80\%$ реки Ия г. Тулун по месяцам

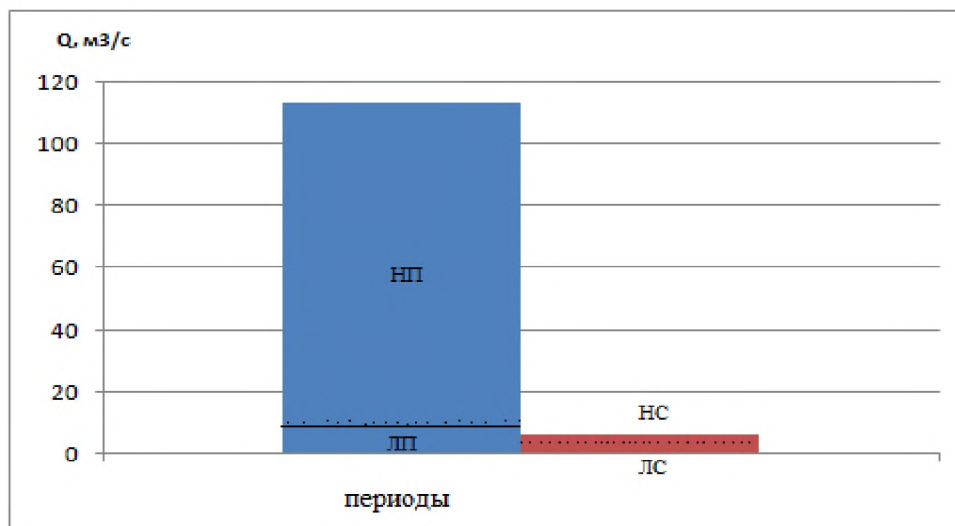


Рисунок 6.3 - Расчетный гидрограф при $P=80\%$ реки Ия (город Тулун) по периодам

Таким образом, рассчитан внутригодовой сток реки Ия (г. Тулун) по месяцам и периодам, построены гидрографы.

Варианты заданий к 6 разделу

Вариант	месяцы												Период и сезон	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	лп	лс
1	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
2	1,8	51,2	15,5	8,1	5,1	6	4,3	1,9	1,9	1,6	1,4	1,2	25,4	6,1
3	1,9	47,1	19	7,6	5,7	5,2	4,3	2,6	2	1,7	1,5	1,4	25,4	6,6
4	1,9	47,1	19	7,6	5,7	5,2	4,3	2,6	2	1,7	1,5	1,4	25,4	6,6
5	1,8	51,2	15,5	8,1	5,1	6	4,3	1,9	1,9	1,6	1,4	1,2	25,4	6,1
6	1,9	47,1	19	7,6	5,7	5,2	4,3	2,6	2	1,7	1,5	1,4	25,4	6,6
7	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
8	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
9	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
10	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
11	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
12	6,9	47,1	15,3	7,1	4,3	4,6	5,9	3,3	1,7	1,4	1,3	1,1	25,2	5,5
13	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
14	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
15	6	27,8	17,9	11,4	14,8	8,5	7,1	2,4	1,7	1	0,7	0,7	9,5	4,1
16	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
17	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
18	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
19	1	48,8	17,4	8	5,5	5,1	4,3	2,9	2,2	1,8	1,6	1,4	25,8	7
20	1,8	9,4	21,4	25,9	17,9	13	4,9	2,1	1,2	0,9	0,8	0,7	7	3
21	1,8	9,4	21,4	25,9	17,9	13	4,9	2,1	1,2	0,9	0,8	0,7	7	3
22	5,4	11,3	16,6	25	17,3	10,7	6,6	2,8	1,6	1,1	0,8	0,8	9,4	4,3
23	5,4	11,3	16,6	25	17,3	10,7	6,6	2,8	1,6	1,1	0,8	0,8	9,4	4,3
24	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
25	5	11,3	17	25,2	17,3	10,9	6,4	2,7	1,5	1,1	0,8	0,8	9,1	4,2
26	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
27	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
28	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
29	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
30	3,1	10,1	19,4	25,6	17,7	12,4	5,5	2,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8	3,9
31	5	11,3	17	25,2	17,3	10,9	6,4	2,7	1,5	1,1	0,8	0,8	9,1	4,2
32	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
33	1	48,8	17,4	8	5,5	5,1	4,3	2,9	2,2	1,8	1,6	1,4	25,8	7
34	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
35	5,4	11,3	16,6	25	17,3	10,7	6,6	2,8	1,6	1,1	0,8	0,8	9,4	4,3
36	1	48,8	17,4	8	5,5	5,1	4,3	2,9	2,2	1,8	1,6	1,4	25,8	7
37	5	11,3	17	25,2	17,3	10,9	6,4	2,7	1,5	1,1	0,8	0,8	9,1	4,2
38	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
39	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
40	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
41	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
42	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
43	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
44	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
45	6,6	28,8	18,2	14,5	7,8	10,5	7,1	2,4	1,7	1,1	0,7	0,6	9,5	4,1
46	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
47	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
48	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
49	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3
50	5,8	11,5	15,8	24,8	17,1	10,5	7,1	3,1	1,6	1,1	0,8	0,8	10,2	4,3

Вопросы для самопроверки

1. Внутригодовой сток реки.
2. Факторы формирования внутригодового стока.
3. Методы расчета внутригодового стока.
4. Метод компоновки.
5. Метод реального года.
6. Расчет внутригодового стока при наличии данных наблюдений.
7. Расчет внутригодового стока при недостаточности данных наблюдений.
8. Расчет внутригодового стока при отсутствии данных наблюдений.
9. Лимитирующий период.
10. Нелиметирующий период.
11. Лимитирующий и нелиметирующий сезоны.
12. Некалендарный год.
13. Расчет внутригодового стока по периодам.
14. Расчет внутригодового стока по сезонам.
15. Расчет внутригодового стока по месяцам.
16. Практическое значение расчета внутригодового стока.

7 Генетическая формула стока

Цель работы – рассмотреть теоретические основы формирования стока.

Задачи

- 1) изучить стадии формирования гидрографа стока;
- 2) рассмотреть характеры максимального стока (развитый и замедленный);
- 3) построить гидрографы стока по данным о притоке и времени добегания.

Краткая справка

Ординаты гидрографа стока формируются при взаимодействии климатических факторов с подстилающей поверхностью. В процессе стокообразования можно выделить четыре стадии:

- 1) выпадение осадков и снеготаяния,
- 2) водообразование,
- 3) склонное стекание,
- 4) русловую трансформацию склонного притока (рис. 7.1).

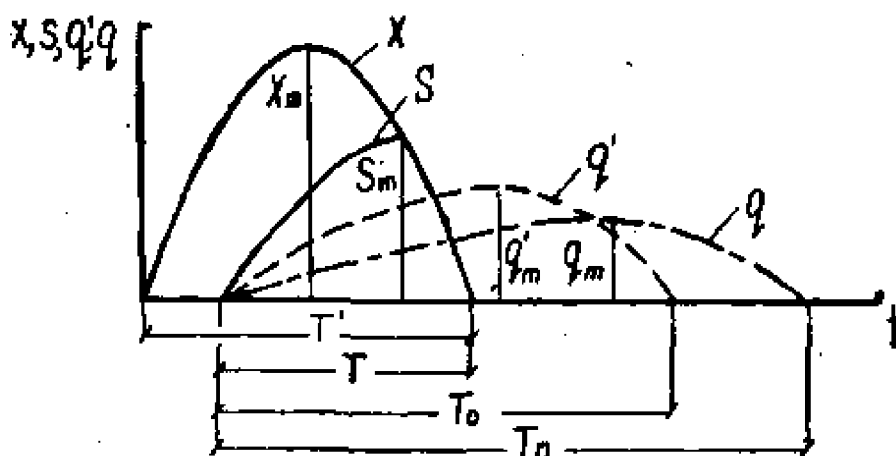


Рисунок 7.1 – Стадии формирования гидрографа стока на водосборе

Каждая стадия описана в виде нелинейного треугольника. Осадки характеризуются продолжительностью T' , максимальной ординатой X_m и площадью треугольника или слоем Y_x . Часть выпавших осадков перехватывается растительностью R , задерживается на бессточных углублениях земной поверхности V , впитывается в почву K .

В результате происходит уменьшение слоя водообразования:

$$Y_s = X - R - V - K_T,$$

который зависит от максимальной ординаты S_m и продолжительности T .

После прекращения дождя, стекая по склонам, часть вод теряется на впитывание K_{ick} . Происходит уменьшение величины S_m и Y_s . Гидрограф склонового притока характеризуется слоем $Y_m^* = Y_s - K_{ick}$, максимальной ординатой q_m и продолжительностью T_0 , которая складывается из времени водообразования T и склонового добегания t_{ck} .

В последней стадии ординаты гидрографа притока трансформируются в ординаты стока, уменьшаясь по величине. Вместе с тем продолжительность T_n зависимости $q=q(t)$ увеличивается по сравнению с параметром T_0 на значение руслового добегания t_p и добавки Δt , отражающей асинхронность движения приточных вод и русло-пойменный водообмен.

Допуская пространственную однородность склонового притока и отсутствие русло-пойменного обмена, процесс трансформации, склонового гидрографа в русловой нетрудно описать с помощью генетической формулы. Рамки ее практического использования расширяются при вводе функции русло-пойменной аккумуляции.

Пусть известны время добегания вод из различных частей речного бассейна до замыкающего створа и гидрограф склонового притока. Тогда по размеченным линиям одинакового времени добегания (изохронам) и ординатам притока в виде модулей, можно определить значение гидрографа стока в замыкающем створе, выяснить характер формирования максимальной ординаты.

Если продолжительность притока T_0 превышает максимальное время добегания по руслу реки t_p , сток по терминологии А.Н. Бефани, называется развитым. В этом случае максимальная ордината зависимости $q=q(t)$ формируется наибольшей частью слоя притока U'_m за время t_p и всей площадью бассейна реки F . При $t_p > T_0$ сток замедленный, а максимум гидрографа стока определяется всем слоем притока U'_m и наибольшей частью площади водосбора за время T_0 , которая называется действующей (F_g). Величина q_m формируется всей площадью бассейна F и слоем U'_m при выполнении условия $T_0=t_p$.

Пример выполнения задания

Исходные данные:

- 1) бассейн реки Вольная, размеченный изохронами (рис. 7.2);
- 2) гидрограф притока (рис. 7.3).

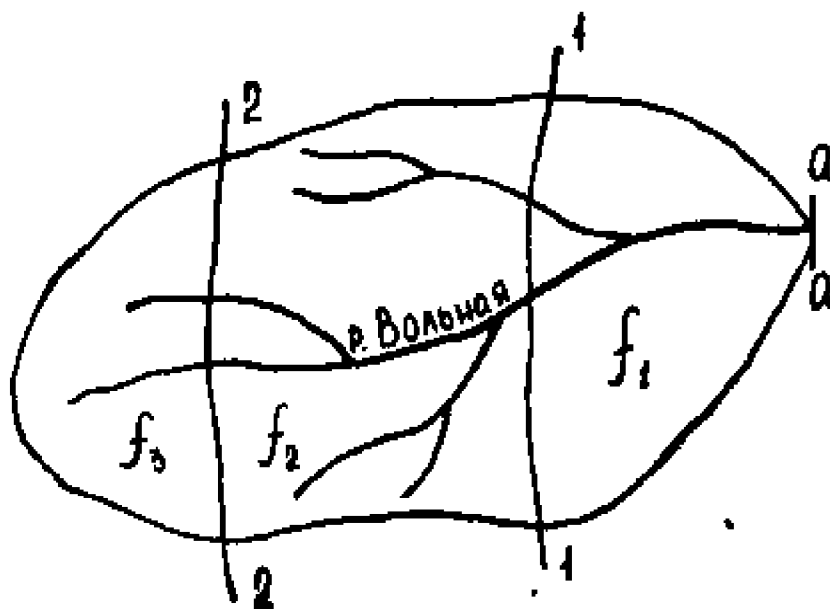


Рисунок 7.2 - Схема бассейна реки Вольная; a-a - замыкающий створ, 1-1, 2-2 - изохроны стока

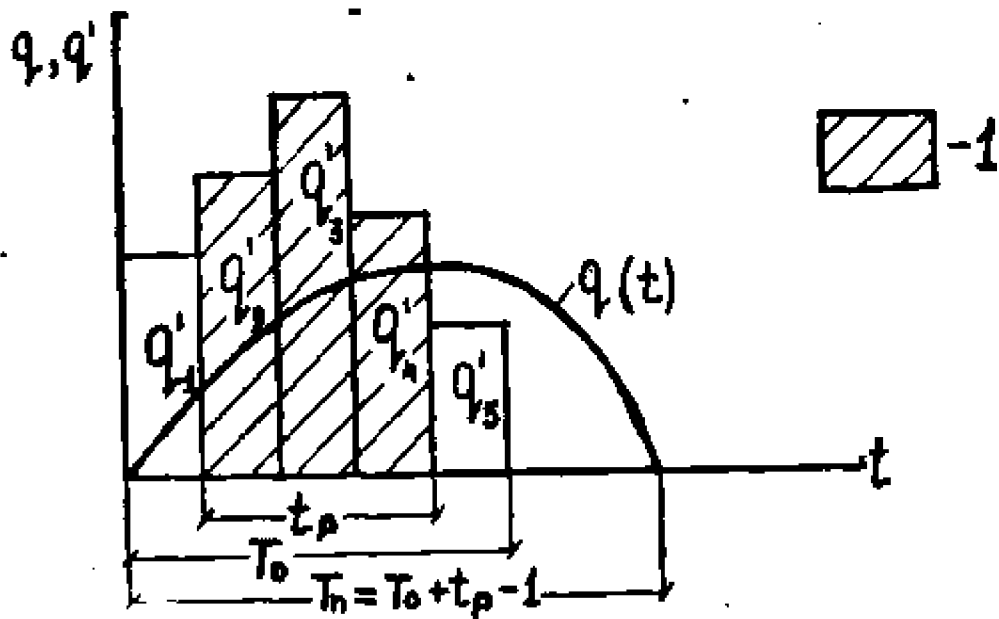


Рисунок 7.3 - Гидрограф притока q'_i и стока q_i ; I - действующий слой притока V_{ip} .

Требуется:

- 1) определить характер стока;
- 2) найти ординаты гидрографа в замыкающем створе и обобщить в виде формулы;
- 3) определить максимальную величину стока;
- 4) построить полученный в замыкающем створе гидрограф стока.

Порядок выполнения работы

Согласно рис. 7.2 наибольшее время добегания вод по руслу $t_p=3$. Продолжительность притока $T_0=5$ (рис. 7.3). Таким образом, на водосборе наблюдается развитый сток, $T_a > t_p$.

В первую единицу времени площади f_1, f_2, f_3 покроем приток величиной q'_1 , во вторую - q'_2 , в третью - q'_3 , в четвертую - q'_4 , и в пятую - q'_5 . Изобразим этот процесс в виде схемы (рис. 7.4).

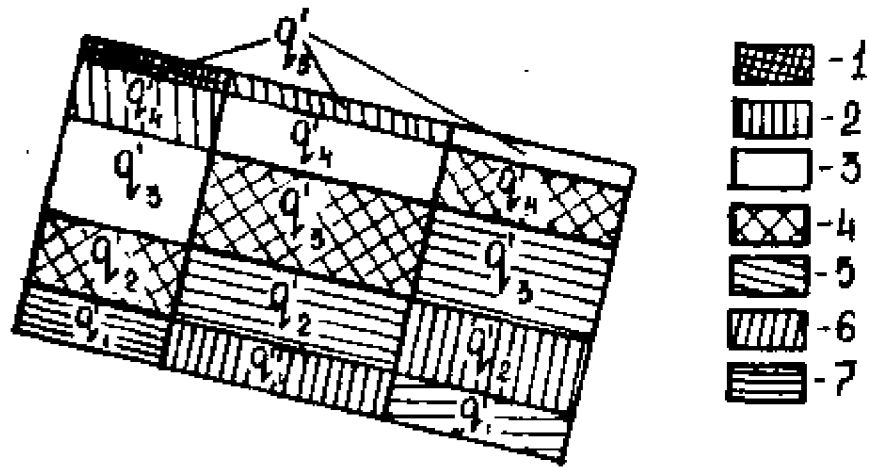


Рисунок 7.4 - Схема добегаания слоев притока до замыкающего створа за 1,2,3,4,5,6 и 7 единицы времени

В момент времени $t=1$ замыкающий створ пересечет слой притока q'_1 , добежавший с площади f_1 , т.е. первая ордината гидрографа стока.

За вторую единицу времени с площади f_2 до створа $a-a$ добежит слой q'_1 , а с $f_1 - q'_2$. Величина стока $q_2=f_2 q'_1+ f_1 q'_2$. Аналогично определяются остальные ординаты гидрографа:

$$\begin{aligned} q_3 &= f_3 q'_1 + f_2 q'_2 + f_1 q'_3, \\ q_4 &= f_3 q'_2 + f_2 q'_3 + f_1 q'_4, \\ q_5 &= f_3 q'_3 + f_2 q'_4 + f_1 q'_5, \\ q_6 &= f_3 q'_4 + f_2 q'_5, \\ q_7 &= f_3 q'_5. \end{aligned}$$

В общем виде закон вычисления величины q_t можно записать в редакции

$$q_t = q'_t f_1 + q'_{t-1} f_2 + q'_{t-2} f_3 + \dots + q'_1 f_t = \sum_{t_p=1}^{t_p=t} q'_{t-t_p+1} f_{t_p}. \quad (7.1)$$

Полученное аналитическое выражение называется генетической формулой стока, а ее предел при $t_p \rightarrow 0$ с учетом того, что площади $f(t, t_p)$ слои q'_{t-t_p+1} являются элементарными, - интегралом свертки

$$q_t = \int_0^t q'_{t-t_p} \frac{\partial f}{\partial t_p} dt_p. \quad (7.2)$$

Ввод в подынтегральное выражение функции русло-пойменного обмена позволяет учесть процесс аккумуляция воды в пойме и ее отдачи.

Продолжительность искомого гидрографа $T_n = t_p + T_0 - 1 = 3 + 5 - 1 = 7$.

Наименьшая ордината стока наблюдается в восьмую единицу времени q и равна нулю. Величины q_3 , q_4 , и q_5 сформированы всей площадью водосбора $F = f_1 + f_2 + f_3$ и частью слоя притока за время t_p . Наибольшая из них наблюдается в четвертую единицу времени:

$$q_m = q_4 = f_3 q'_2 + f_2 q'_3 + f_1 q'_4. \quad (7.3)$$

Допуская $q'_2 = q'_3 = q'_4 = \frac{q'_2 + q'_3 + q'_4}{3} = \bar{q}'_{t_p}$ из формулы (7.3) получим

$$q_m = \bar{q}'_{t_p} (f_3 + f_2 + f_1) = q'_{t_p} \text{ поскольку сумма относительных площадей } f_1 + f_2 + f_3 = 1.$$

Величину q'_{t_p} можно определить, разделив действующий слой притока y_{tp} (рис.7.3) на t_p . По найденным координатам построена схема гидрографа стока (рис.7.3).

Приведенные рассуждения справедливы и для замедленного стока ($t_p > T_0$).

Исходные данные:

- 1) бассейн р.Синь, размеченный изохронами (рис.7.5);
- 2) гидрограф притока (рис .7.6).

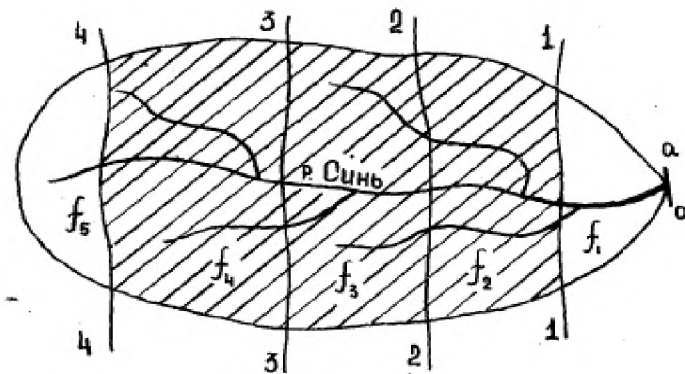


Рисунок 7.5 - Бассейн реки Синь, размоченным изохронами

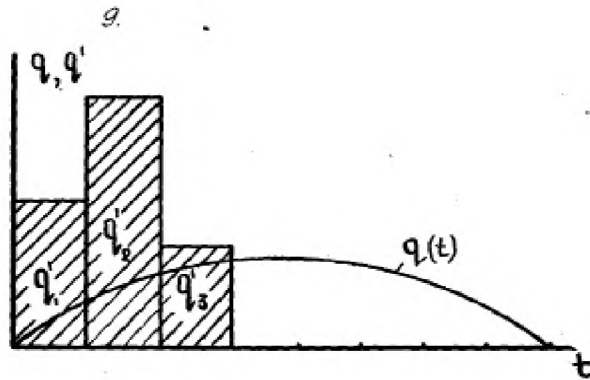


Рисунок 7.6 - Гидрограф притока q_t и стока q_t ; и слой притока u_m

Требуется:

- 1) определить характер стока;
- 2) найти ординаты гидрографа в замыкающем створе и обобщить в виде формулы;
- 3) определить максимальную величину стока;
- 4) построить полученный в замыкающем створе гидрограф стока.

Порядок выполнения работы

Поскольку время руслового добегания $t_p=5$ (рис. 7.5) превышает продолжительность притока $T_0=3$ (рис. 7.6), на водосборе формируется замедленный сток. В первую единицу времени площади f_1, f_2, f_3, f_4, f_5 и f_6 покрывает слой притока q'_1 , во вторую - q'_2 , и в третью - q'_3 (рис.7.7). В момент времени $t=1$ замыкающий створ пересечет слой притока q'_1 , добежавший с площади f_1 , т.е. первая ордината гидрографа стока:

$$q'_1=f_1 q'_1$$

За вторую единицу времени с площади f_2 до створа $a-a$ добежит слой q'_1 , а с f_1 - q'_2 . Величина стока $q_2=f_2 q'_1 + f_1 q'_2$. Остальные ординаты гидрографа вычисляются по формулам

$$q_3=f_3 q'_1+f_2 q'_2+f_1 q'_3,$$

$$q_4=f_4 q'_1+f_3 q'_2+f_2 q'_3,$$

$$q_5=f_5 q'_1+f_4 q'_2+f_3 q'_3,$$

$$q_6=f_6 q'_2+f_5 q'_3,$$

$$q_7 = f_3 q'_3.$$

В общем виде закон определения ординат q_t записывается в редакции

$$q_t = f_t q'_1 + f_{t-1} q'_2 + f_{t-2} q'_3 + \dots + f_1 q_t = \sum_{t_p=1}^{t_p=t} f_{t-t_p} q_{t_p} = \sum_{t_p=1}^{t_p=t} q_{t-t_p+1} f_{t_p} \quad (7.4)$$

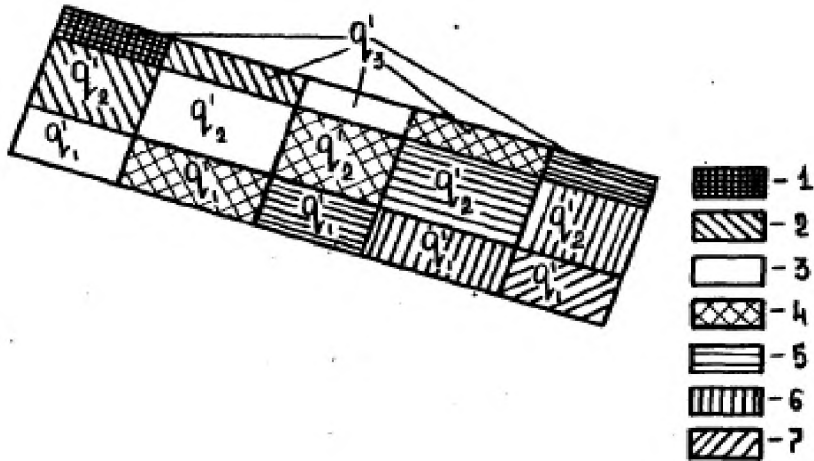


Рисунок 7.7 - Схема добегания слоев притока до замыкающего створа за 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 единицы времени

Формула (7.4) аналогична полученному выше аналитическому выражению (7.1) и в пределе представляет собой интеграл свертки (7.2).

Продолжительность гидрографа

$$T_n = t_p + T_0 - 1 = 5 + 3 - 1 = 7.$$

Наименьшая ордината наблюдается в восьмую единицу времени и равна нулю. Величины q_3 , q_4 , и q_5 сформированы всем слоем притока $y_m = q'_1 + q'_2 + q'_3$ и частью площади водосбора, которая называется действующей (f_d). Максимальная ордината гидрографа наблюдается в четвертую единицу времени

$$q_m = q_4 = f_4 q'_1 + f_3 q'_2 + f_2 q'_3 \quad (7.5)$$

Допуская $q'_1 = q'_2 = q'_3 = \frac{q'_1 + q'_2 + q'_3}{3} = \bar{q}'_{t_0}$ из формулы (7.3) получим

$$q_m = \bar{q}'_{t_0} (f_4 + f_3 + f_2) = \bar{q}'_{t_0} f_d \quad (7.6)$$

Величина f_d относительно общей площади водосбора вычисляется по формуле

$$f_{\delta} = \frac{F_{\delta}}{F} = \frac{\bar{B}_{\delta} T_0}{B_{t_p} t_p} = K_{\Gamma} \frac{T_0}{t_p}, \quad (7.7)$$

где \bar{B}_{δ} - средняя ширина действующей площади бассейна, \bar{B} - средняя ширина бассейна, K_{Γ} - гидрографический коэффициент. Выражение (7.6) с учетом уравнения (7.7) примет вид

$$q_m = \bar{q}'_{T_0} K_{\Gamma} \frac{T_0}{t_p} = K_{\Gamma} \frac{y'_m}{t_p} \quad (7.8)$$

где $y'_m = \bar{q}'_{T_0} T_0$ - слой притока (рис. 7.6).

При равенстве $T_0 = t_p$ для составления генетической формулы можно воспользоваться одной из приведенных в работе схем. В этом частном случае максимальная ордината гидрографа формируется всей площадью водосбора $f = 1$ и полным слоем притока y'_m , поскольку $\bar{q}'_{t_p} = \bar{q}'_{T_0}$, $\bar{B}_{\delta} = \bar{B}$. Иначе $q_m = \frac{y'_m}{t_p}$.

Вопросы для самопроверки

1. Осадки и слой водообразования.
2. Склоновое стекание.
3. Русловая трансформация склонового стекания.
4. Стадии стокообразования.
5. Развитый сток.
6. Замедленный сток.
7. Продолжительность склонового стекания.
8. Время доруслового добегания.
9. Гидрограф склонового притока.
10. Гидрограф стока реки.
11. Генетическая формула стока.
12. Формула определения максимальной ординаты гидрографа для развитого стока.
13. Формула определения максимальной ординаты гидрографа для замедленного стока

8 Расчёт максимального стока

Цель работы – изучить процесс формирования максимального стока и методы его расчета

Задачи

- 1) изучить факторы формирования максимального стока дождевых паводков и весеннего половодья;
- 2) ознакомиться с методами расчета максимального стока при наличии, недостаточности и отсутствии данных наблюдений;
- 3) рассчитать максимальный сток дождевого паводка и весеннего половодья заданной вероятности превышения.

Краткая справка

Наибольший максимальный расход воды наблюдается в половодье или паводок. Максимальным расчетным расходом называется расход, на пропуск которого рассчитывают отверстия гидротехнических сооружений. От этого расхода зависят размеры плотин, водосборных сооружений, отверстия железнодорожных мостов и т.д.

Максимальные расходы по происхождению делят на три группы: снеговые максимумы, или максимумы талых вод; ливневые или дождевые максимумы; смешанные максимумы.

Основные факторы, влияющие на формирование весеннего половодья - запасы воды в снеге и характер распределения его на площади водосбора, интенсивность и продолжительность снеготаяния, степень осеннего увлажнения и промерзания почвогрунтов. Кроме того, на весеннее половодье оказывают влияние площадь и форма бассейна, рельеф, характер почв, геологическое строение бассейна, наличие в бассейне озер, лесов, болот.

Перечисленные факторы в той или иной мере вызывают аккумуляцию и

регулирование образовавшихся от снега талых вод.

Количество воды, поступающей на водосбор в период половодья, определяется главным образом запасами воды в снеге и интенсивностью снеготаяния.

Сток талых вод на поверхности водосбора происходит с запозданием относительно начала снеготаяния. Снег обладает влагоемкостью - способностью удерживать воду в виде пленочной или капиллярной воды. Поэтому водоотдача из снега, то есть поступление (не удерживаемой снегом) талой воды на почву, не равна интенсивности снеготаяния как по величине, так и по времени.

Вода, образующаяся в начале снеготаяния, просачивается и увлажняет нижние слои снежного покрова. До тех пор, пока снег не насытится водой до максимальной влагоемкости, порции талой воды удерживаются снегом и не достигают почвы. В дальнейшем, наоборот, водоотдача из снега становится несколько больше того количества воды, которое образуется от снеготаяния за рассматриваемый период. К концу половодья интенсивность водоотдачи может значительно превышать интенсивность снеготаяния. Существенное увеличение водоотдачи происходит под влиянием весенних дождей, которые уменьшают аккумуляционную способность снега, изменяя его структуру; дождями разрушаются снежные капилляры, вследствие чего содержащаяся в снеге капиллярная и пленочная вода переходит в гравитационную, быстро стекающую вниз.

К основным факторам дождевого (ливневого) стока относятся: интенсивность дождя, его продолжительность и площадь, охватываемая ливневым дождем, инфильтрация воды в почву, добегание дождевых вод по русловой сети бассейна. Главное значение в формировании максимальных расходов на малых водосборах имеет максимальная интенсивность водоотдачи, а в формировании максимальных расходов на больших водосборах слой стока за паводок. В соответствии с этим при исследовании ливневого стока важен расчет интенсивности ливня и слоя дождевых осадков.

Ливни и ливневые дожди отличаются большой изменчивостью интенсивности во времени. В начальный период интенсивность дождя сравнительно небольшая и почти вся вода расходуется на увлажнение почвы и заполнение неровностей рельефа. В формировании максимумов дождевых паводков основное значение имеет центральная часть гидрографа ливневого дождя с наибольшей интенсивностью.

Следует иметь в виду, что слой осадков зависит не только от продолжительности, но и от площади, которую захватывает ливневый дождь. Чем больше площадь бассейна, тем менее часто она полностью покрывается дождем, но даже при полном охвате площади дождем слой осадков уменьшается с увеличением площади их распространения. Отношение среднего слоя осадков на площади F (X_F) к осадкам в одном пункте наблюдений (в центре дождя) X_0 называют коэффициентом редукции слоя осадков

$$K = X_F / X_0. \quad (8.1)$$

Расчет максимальных расходов воды отличается некоторыми особенностями. В этом расчете представляют интерес наиболее высокие расходы воды, крайне редко повторяющиеся и поэтому слабо или совсем не представленные в материалах наблюдений. Вследствие недостаточно продолжительных периодов наблюдений над стоком расходы редкой повторяемости рассчитывают на основе методов математической статистики.

При наличии гидрометрических данных по максимальному стоку за достаточно длительный период наблюдений расчетные максимальные расходы талых (снеговых) и дождевых вод определяют по аналитической функции распределения, построенной по гидрологическому ряду.

Статистической обработке данных по максимальному стоку предшествует тщательная проверка и анализ исходных материалов.

Детальной проверке следует подвергать так называемый исторический максимум, то есть наибольший максимальный расход за продолжительный период. Величину исторического максимума определяют по меткам высоких вод, устанавливаемых в процессе гидрологических изысканий.

В соответствии с нормами продолжительность периода наблюдений за максимальным стоком должна составлять для зоны: лесотундровой и лесной не менее 25 лет; лесостепной - 30 лет; степной - 40 лет; сухостепной и полупустынной - 50 лет; горных районов - 40 лет.

В отличие от статистической обработки ряда наблюдений при наличии данных об исторических максимумах (экстремальных) расходах воды используются формулы расчета статистических параметров:

$$\bar{Q}'_{\max} = \frac{1}{N} (Q_N + \frac{N-1}{N-1} \sum_1^{n-1} Q_i), \quad (8.2)$$

$$C'_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\left(\frac{Q_N}{\bar{Q}'_{\max}} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-1} \sum_1^{n-1} \left(\frac{Q_i}{\bar{Q}'_{\max}} - 1 \right)^2 \right]}. \quad (8.3)$$

где Q_N – экстремальный расход, установленный по историческим данным; n – продолжительность периода наблюдений; N – продолжительность периода, в течении которого наблюдений Q_N является наибольшим.

Если период наблюдений меньше указанных значений, результаты расчета необходимо подвергнуть дополнительному анализу, используя данные рек-аналогов.

Для построения теоретической кривой вероятности превышения максимальных расходов воды вычисляют ее параметры: среднемноголетний максимальный расход \bar{Q}_{\max} , коэффициент вариации C_v , коэффициент асимметрии C_s .

Статистические параметры максимальных расходов определяют чаще всего методом моментов.

При недостаточности исходных данных параметры функции распределения максимальных расходов воды приводим к многолетним значениям. Среднемноголетний максимальный расход и коэффициент вариации определяем с помощью регрессионного анализа. Коэффициент асимметрии принимается на основании анализа соотношений C_s/C_v в соответствии с анализом групп рек однородной природно-климатической зоны. Значение C_s в

зависимости от генетического происхождения максимумов принимается для расходов воды талых вод равнинных рек $C_s=(2...2,5) C_v$; для дождевых расходов равнинных рек и горных с муссонным климатом $C_s=(3...4) C_v$; для расходов воды горных рек $C_s=4 C_v$.

По найденным параметрам строят теоретическую функцию распределения вероятности. В качестве законов распределения вероятности выбирают гамма-распределения, логарифмически-нормальный или трехпараметрический степенной гамма-распределения.

При отсутствии данных наблюдений расчет максимальных расходов ведут одним из существующих методов, базирующихся на изучении формирования половодий и паводков.

Расчетный максимальный расход талых вод на равнинных реках определяют по формуле

$$Q_p = M_p F = \frac{K_0 \times h_p \times F}{(F + 1)^n} \delta \delta_2 \mu, \quad (8.4)$$

где Q_p - расчетный мгновенный максимальный расход воды вероятностью превышения p %, м³/с; M_p - модуль максимального расчетного расхода воды, м³/с(км²); F - площадь водосбора до замыкающего створа, км²; h_p - расчетный слой суммарного (без срезки грунтового питания) стока половодья той же вероятности превышения p %, что и искомый максимальный расход, мм; K_0 - параметр дружности половодья; h - показатель степени, характеризующий редукцию (уменьшение) отношения M_p/h_p в зависимости от площади водосбора; δ - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек, зарегулированных озерами δ_1 и водохранилищами δ_1' ; δ_2 - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных и заболоченных бассейнах; μ - коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды.

При расчете максимального стока дождевых паводков для площади водосбора 200 км² используют формулу

$$Q_p = M_p F = M_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^n \lambda_p \delta_1 \delta_2' F \quad (8.5)$$

где M_{200} - модуль максимального расхода воды [$\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$] с вероятностью превышения 1%, приведенный к площади водосбора 200 км^2 ; определяется по карте изолиний; n — показатель степени редукции (уменьшения) модуля максимального расхода воды; определяется по карте; λ_p - переходный коэффициент от вероятности превышения 1% к другой вероятности; δ_1 - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода проточными озерами; определяется по формуле $\delta_1 = 1/(1 + cf'_{os})$, для дождевых максимумов значение C принимается для лесной и лесостепной зон 0,2, для степной зоны 0,4; δ_2' - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода заболоченного водосбора.

Кроме этого, учитывая региональные особенности, на основании формул разработаны редукционные выражения для рек бассейна Ангары. Для определения максимального расхода воды заданной вероятности превышения используют следующие формулы: для весеннего половодья

$$Q_p = F \cdot q_p = F \frac{K_0 \times Y_{1\%}}{(F+1)^n} \delta_1 \delta_2, \quad (8.6)$$

где Q_p – расчетный максимальный расход воды талых вод ($\text{м}^3/\text{с}$), вероятность превышения которого $\text{м}^3/\text{с}$; F – площадь водосбора до замыкающего створа, км^2 ; K_0 – коэффициент, зависящий от дружности половодья; n – показатель степени, характеризующий редукцию коэффициента дружности половодья в зависимости от площади водосбора (для рек Ангарского бассейна принят равным 0,17); δ_1 - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек, зарегулированных озерами (для рек Ангарского бассейна принимается за 1); δ_2 - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных и заболоченных бассейнах (для рек Ангарского бассейна принимается за 1). $Y_{1\%}$ - слой стока, который определяется с помощью карт изолиний $Y_{1\%} = K_{1\%} \cdot \bar{y}$, где $K_{1\%}$ - модуль стока вероятностью превышения 1%, \bar{y} - средний слой стока.

Для определения \bar{y} используется карта среднего слоя стока для Ангарского бассейна (рисунок 8.1). Модульный коэффициент $k_{1\%}$ зависит от коэффициента вариации (C_v), который определяется с помощью карт изолиний на рисунке 8.2. Обычно для определения расчёта k , используется гамма-распределение, для которого коэффициент асимметрии равен двум коэффициентам вариации. K_0 – коэффициент дружности определяется с помощью карты изолиний (рисунок 8.3).

Что касается дождевых паводков, то для средних и больших водосборов для расчёта расхода воды используется формула

$$Q_p = q_p F = \frac{B}{(F+1)^n} F, \quad (8.7)$$

Q_p – максимальный расход воды и модуль стока ($\text{м}^3/\text{с}$), F – площадь водосбора до расчетного створа, км^2 ; B - параметр, равный модулю максимального стока расхода воды при $F \rightarrow 0$ с 1 км^2 , $\text{м}^3/\text{сек}$ с 1 км^2 (параметр определяется в зависимости от района расположения бассейна реки, если по карте (рис 6.1) и таблице 8.1); n – показатель степени редукции в зависимости от рек (для рек Восточно-Саянского района $n=0,40$, Нижне-Ангарского и Средне-Ангарского районов $n=0,25$).

Таблица 8.1 – Районные значения параметра (B)

Номер районов	Параметр (B)
1, 2а (кроме бассейна реки Илим от истока до устья реки Игирмы)	0,35
2б	0,50
2в	0,13
2г	0,68
2д и бассейн реки Илим до устья реки Игирмы	1,70
3а, б	11,8

Очевидно, что более точным расчетом максимального стока является значение данных при наличии наблюдений.

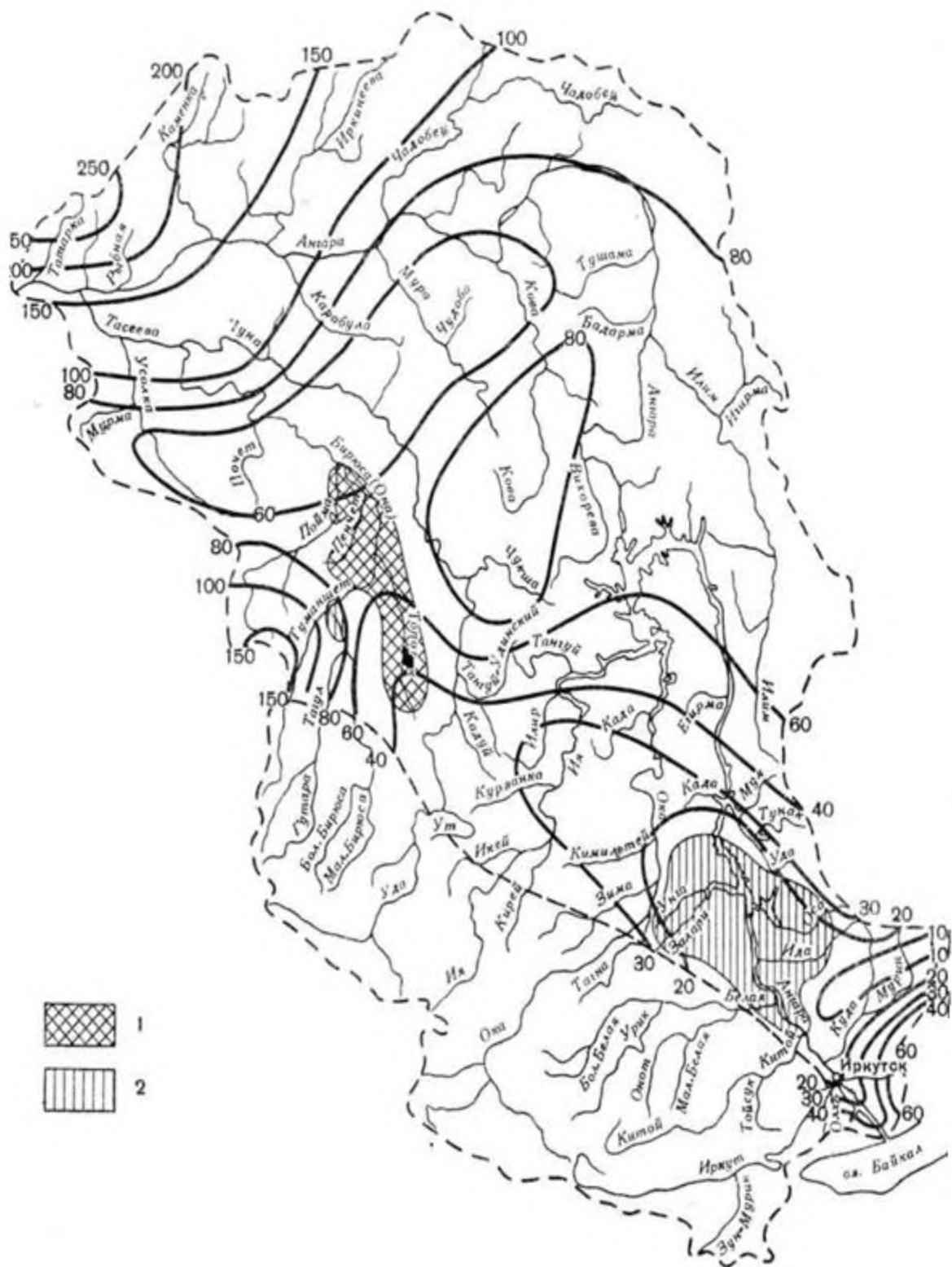


Рисунок 8.1 - Средний слой стока половодья рек Ангарского бассейна в миллиметрах.
 1 - район спорадического распространения карста, 2 - район интенсивного развития карста

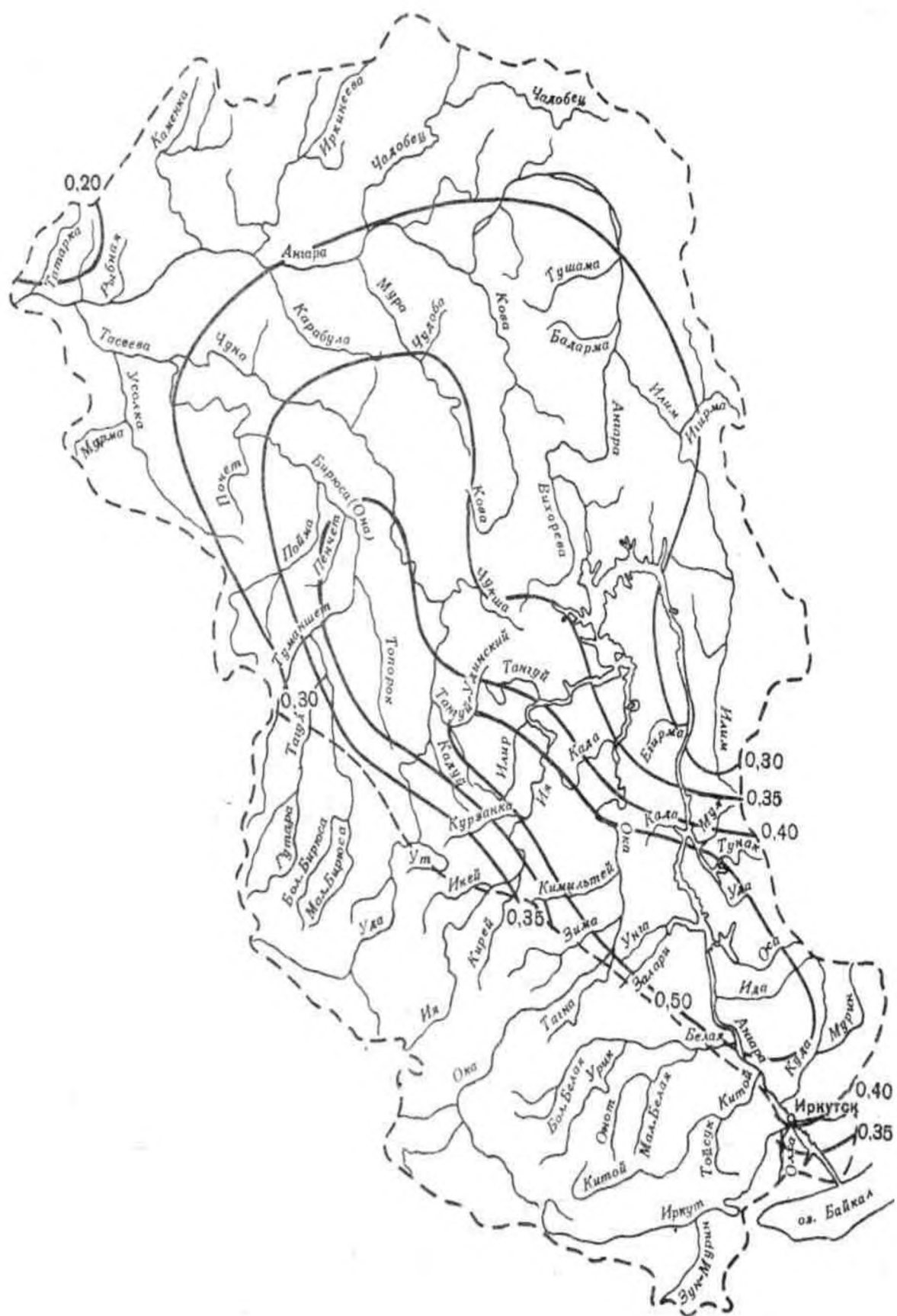


Рисунок 8.2 - Коэффициенты вариации (C_v) слоя стока весеннего половодья рек Ангарского бассейна

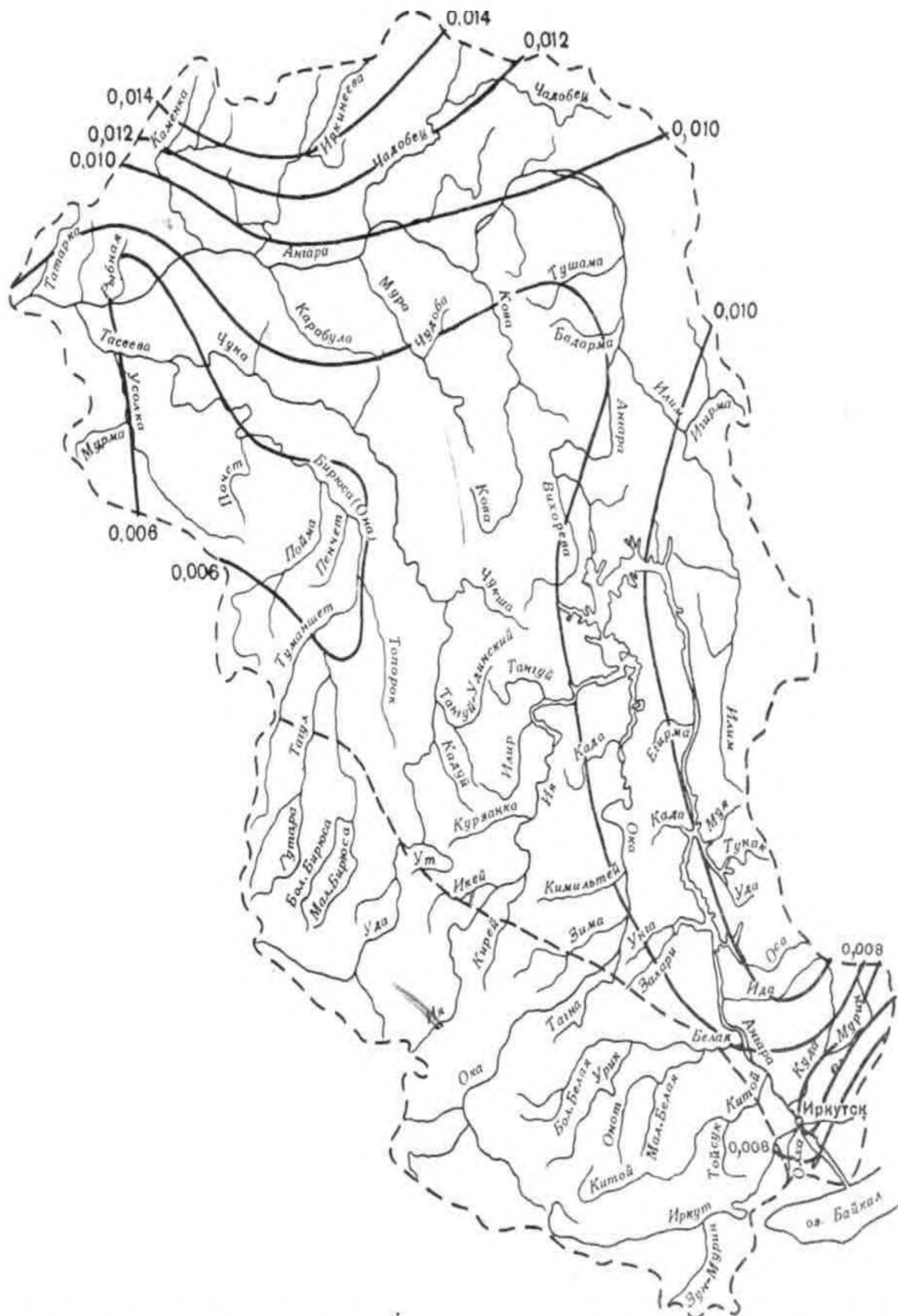


Рисунок 8.3 - Распределение параметра коэффициента дружности рек Ангарского бассейна K_0

Пример выполнения задания

Расчет максимального расхода воды весеннего половодья

Исходные данные: площадь водосбора реки Куды (с Ахины) $F=278 \text{ км}^2$, коэффициент лесистости $\delta_1=1$, коэффициент заболоченности $\delta_2=1$, коэффициент средневзвешенной озерности $\delta_3=1$. Картографический материал Иркутской области (рис 8.1, 8.2, 8.3). Показатель степени редукции (n) для Иркутской области, который составляет 0,17.

Требуется: определить максимальный стока реки Куды (с Ахины) вероятности превышения $P=1\%$

Порядок выполнения задания

1) по карте Ангарского бассейна река Куды (с Ахины) протекает в Среднеангарском районе, где весеннее половодье превышает дождевые паводки;

2) определяем средний слой стока по карте (рис 8.1), соответствующий $y=10 \text{ мм}$;

3) снимаем с карты (рис 8.2) коэффициент вариации, $C_v=0,48$;

4) определяем коэффициент дружности весны по изолиниям (рис. 8.3), соответственно $K_0=0,0090$;

5) определяем средний слой стока вероятности превышения $P=1\%$, для чего используем закон гамма-распределение применяя функцию Excel

$$=\text{ГАММАОБР}(0,99;1/0,48^2;0,48^2)=2,44$$

6) значение 2,44 соответствует модульному коэффициенту $K_{1\%}$;

7) вычисляем слой стока вероятностью превышения 1% для реки Куды (с. Ахины)

$$y=2,44 \cdot 10=24,4 \text{ мм},$$

8) находим расчетный расход при вероятности превышения 1% для реки Куды (с. Ахины)

$$q_{1\%} = \frac{K_0 \times Y_{1\%}}{(F+1)^n} \delta_1 \delta_2 \delta_3 = \frac{0,009 \times 24,4}{(278+1)^{0,17}} 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,084 \text{ м}^3/\text{с км}^2,$$

9) находим максимальный расход реки Куды (с. Ахины)

$$Q = q_{1\%} \times F = 0,084 \times 278 = 23,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким образом, определен максимальный сток реки Куда (с. Ахины) вероятности превышения который составил $23,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расчет максимального расхода воды дождевого паводка

Исходные данные: площадь водосбора реки Китой (пос. Ясочная) $F=7480 \text{ км}^2$.

Требуется: определить максимальный стока реки Китой (пос. Ясочная) вероятности превышения $P=1\%$.

Порядок выполнения задания

1) по карте Ангарского бассейна (рис. 6.1) река Китой (пос. Ясочная) протекает в Восточно-Саянском районе, где дождевые паводки превышают весеннее половодье;

2) по таблице 8.1 определяем параметр B , характеризующий модуль стока при $F=1 \text{ км}^2$, который составляет для Восточно-Саянского района 11,8;

3) находим показатель степени редукции (n), который для Восточно-Саянского района составляет 0,40.

4) находим максимальный расход реки Китой (пос. Ясочная)

$$Q_{1\%} = q_{1\%} F = \frac{B}{(F+1)^n} F = \frac{11,8}{(7480+1)^{0,40}} 7480 = 2490 \text{ м}^3/\text{с},$$

Таким образом, определен максимальный расход дождевого паводка реки Китой (пос. Ясочная) вероятности превышения 1% равен $2490 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вопросы для самопроверки

1. Факторы формирования максимального стока дождевых паводков.
2. Факторы формирования максимального стока весеннего половодья.
3. Максимальный сток смешанного происхождения
4. Расчет максимального стока дождевых паводков при наличии данных наблюдений.

5. Расчет максимального стока весеннего половодья при наличии данных наблюдений.
6. Расчет максимального стока дождевых паводков при недостаточности данных наблюдений.
7. Расчет максимального стока весеннего половодья при недостаточности данных наблюдений.
8. Расчет максимального стока дождевых паводков при отсутствии данных наблюдений.
9. Расчет максимального стока весеннего половодья при отсутствии данных наблюдений.
10. Особенности расчета максимального стока с учетом исторических максимумов.
11. Региональные особенности формирования максимального стока на реках Ангарского бассейна.
12. Районирование и картирование характеристик максимального стока дождевых паводков.
13. Районирование и картирование характеристик максимального стока весеннего половодья.
14. Схема расчета максимального стока дождевых паводков для рек Ангарского бассейна.
15. Схема расчета максимального стока весеннего половодья для рек Ангарского бассейна.

9 Переформирование береговой линии водохранилища

Краткая справка

Процессы размыва и обрушения берегов (абразия) и отложения части обрушившегося материала и приносимых наносов (аккумуляция) в береговой части водохранилищ называют переформированием берегов. При проектировании водохранилищ необходимо учитывать размеры переформирования берегов, объемы заиления продуктами размыва, последствия этих процессов для эксплуатации водохранилищ и хозяйственного освоения прибрежной территории.

Переформирование берегов водохранилища - процесс достаточно длительный и сложный. На его интенсивность влияет ветровое волнение, колебание уровня воды при сработке и наполнении водохранилища, состав грунтов и гидрогеологические условия прибрежной зоны, скорости вдоль береговых течений, режим движения влекомых наносов и др. Наиболее интенсивно процесс переработки берегов протекает в первые годы эксплуатации водохранилища. С течением времени наступает динамическое равновесие и формируется устойчивый профиль береговой отмели, достаточно пологий и широкий, защищающий берег от дальнейшего размыва.

В расчетной практике получили широкое распространение методы прогноза переформирования берегов водохранилищ, предложенные Н.Е. Кондратьевым, Г.С. Золотаревым, Н.Г. Качугиным и др.

Рассмотрим метод Н.Е. Кондратьева, имеющий гидродинамическое обоснование и позволяющий прогнозировать наиболее вероятные береговые переформирования на заданный срок. Схема расчета по этому методу приведена на рисунке 9.1. Расчет заключается в определении глубины, на которую распространяется действие заданной волны, и установлении очертания береговой отмели.

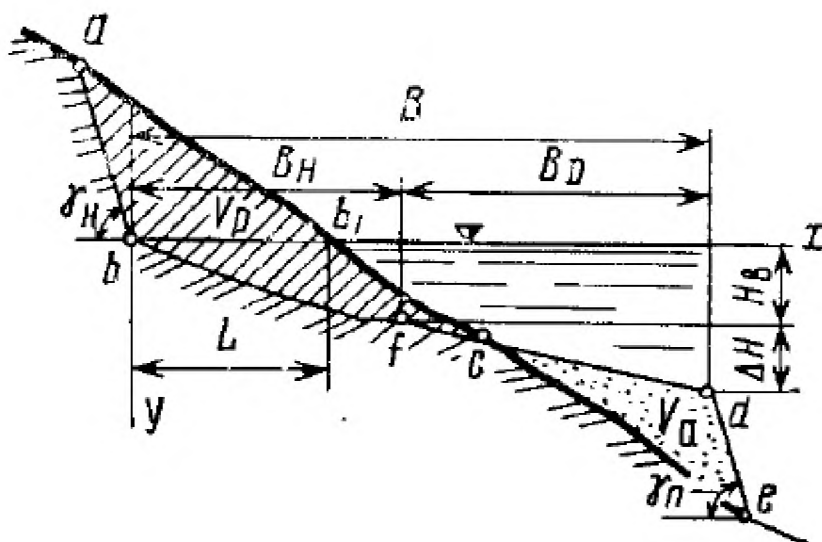


Рисунок 9.1 – Схема переформирования берега

Глубину размывающего действия приближенно вычисляют по формуле

$$H_e = 0,64 h_i \operatorname{arsh}(8,1 h_i), \quad (9.1)$$

где h_i - расчетная высота волны, м; arsh - аресинус, то есть обратный гиперболический синус от $8,1 h_i$.

Для приближенных расчетов глубину размывающего действия H_e определяют по расчетной высоте волны h_i :

h_i , м	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
H_e , м	0,68	1,72	3,00	4,35	5,80	7,30	8,85	10,40

За расчетную высоту волны принимают наибольшую высоту волны, которая может наблюдаться в открытой части водохранилища в непосредственной близости от рассматриваемого участка берега.

Образующаяся отмель может быть разделена на две части: одна из них, примыкающая к коренному берегу, имеет криволинейное очертание профиля (fb на рис. 9.1), другая - прямолинейное очертание (по линии fd). Прямолинейный участок fd распространяется до глубины $H_e + \Delta H$, где ΔH - величина сработки водохранилища. Волны других (меньших) размеров не нарушают положения линий bd , которая отвечает предельной волне. Кривая bf

строится по эмпирическому уравнению:

$$x = \frac{i_0 - i_{10}}{20 \cdot i_0 \cdot i_{10}} y^2 + \frac{1}{i_0} y, \quad (9.2)$$

где x, y - координаты, соответствующие координатной системе, приведенной на рисунке 8.1; i_0 - уклон береговой линии в точке уреза; i_{10} - уклон отмели в 10 м от уреза.

Величины i_0 и i_{10} зависят от крупности частиц, образующих отмель, и определяются по таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Уклоны устойчивости береговой отмели у уреза (i_0) и в 10 м от уреза (i_{10}) в зависимости от крупности грунта (по Н. Е. Кондратьеву)

Грунт	i_0	i_{10}	Грунт	i_0	i_{10}
Песок:			Гравий:		
мелкий	0,03	0,0015	мелкий	0,19	0,03
средний	0,07	0,01	средний	0,21	0,05
крупный	0,14	0,02	крупный	0,25	0,08

Ширину криволинейного участка профиля находят по формуле:

$$B_n = \frac{H_e^2 (i_0 - i_{10})}{20 \cdot i_0 \cdot i_{10}} + \frac{H_e}{i_0}, \quad (9.3)$$

а ширину прямолинейной части – по формуле

$$B_D = \Delta H \left[\frac{2H_e (i_0 - i_{10})}{20 \cdot i_0 \cdot i_{10}} + \frac{1}{i_0} \right], \quad (9.4)$$

Полная ширина отмели $B = B_H + B_D$.

По формулам (9.1)-(9.4) строят профиль береговой отмели, включающий его абразионную и аккумулятивную части. Этот профиль дополняют линиями ba, fd , которые соответствуют углам откоса γ_n и γ_n . Тангенс угла откоса для сыпучих грунтов принимают равным 0,5, а для прочих, в том числе связных грунтов - 1,0.

Далее находят отношение объема аккумуляции V_a к объему размыва V_p , принимая его равным отношению процента фракций, остающихся после

вымыва мелких частиц ($d < 0,05$ мм), к процентному содержанию всех фракций в общем объеме размыва, то есть к 100%.

Найденный по расчету прогнозируемый устойчивый профиль береговой линии $abfde$ совмещают с первоначальным профилем берега ab_1ce (рис. 9.1) и перемещают один профиль по отношению к другому по горизонтальной линии x таким образом, чтобы объемы размыва и отложения находились в найденном соотношении V_a/V_p . В результате определяют предельное смещение уреза b_1b и положение бровки берегового склона a .

Метод Н. Е. Кондратьева позволяет также приближенно оценить ход переработки берегов во времени.

Пример выполнения задания

Исходные данные:

Расчетная высота волны $h_i = 1,55$; (грунт – песок крупный), $\Delta H = 0,7$

Требуется: определить глубину размывающего действия, ширину криволинейного участка профиля и ширину прямолинейной части, полную ширину отмели

Порядок выполнения задания

1. Глубину размывающего действия приближенно вычисляют по формуле (9.1)

$$H_e = 0,64 \cdot 1,55 \cdot \text{ASINH}(1,55 \cdot 8,1) = 3,20$$

2. Величины i_0 и i_{10} зависят от крупности частиц, образующих отмель, и определяются по таблице 9.1, соответственно $i_0 = 0,14$ $i_{10} = 0,02$.

3. Ширину криволинейного участка профиля находят по формуле (9.3)

$$B_H = 3,20^2(0,14 - 0,02) / (20 \cdot 0,14 \cdot 0,02) + 3,20 / 0,14 = 44,78.$$

4. Ширину прямолинейной части определяют по формуле (9.4)

$$B_D = 0,7 \cdot (2 \cdot 3,20 \cdot (0,14 - 0,02) / (20 \cdot 0,14 \cdot 0,02) + 1 / 0,14) = 14,60.$$

5. Полная ширина отмели

$$B = 44,78 + 14,60 = 59,38.$$

Таким образом, по произведенным расчетам можно построить профиль береговой отмели, включающий его абразионную и аккумулятивную части.

Вопросы для самопроверки

1. Водохранилище
2. Абразия.
3. Переформирование берегов водохранилищ.
4. Береговая отмель
5. Методы прогноза переформирования береговой линии.
6. Глубина размыва.
7. Полная ширина отмели.
8. Аккумуляция.

10 Определение параметров водной эрозии

Цель занятия – изучить процессы водной эрозии и методы их оценки для решения практических задач.

Задачи

- 1) изучить основные понятия, факторы и процессы водной эрозии почв;
- 2) освоить методы расчета водной эрозии;
- 3) рассчитать потенциальную величину годового смыва почвы.

Краткая справка

Эрозия почв – процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоев почвы и подстилающих пород талыми и дождевыми водами или ветром. В ряде мест от эрозии почв утрачивается больше плодородных земель, чем вновь осваивается.

Эрозия почв может быть естественная, ветровая и водная.

Естественная эрозия почв – очень медленный процесс. Другими словами это постепенное размывание поверхностного слоя почвы, слабо снабженного растительностью, который постепенно восполняется в процессе естественного формирования почвенного покрова.

В сельском хозяйстве при правильных севооборотах поля теряют 20 см почвы за 100 лет (в 290 раз быстрее, чем под лугом), а при монокультуре кукурузы – всего за 15 лет (в 1930 раз быстрее).

Под ветровой эрозией почвы (дефляция, выдувание) подразумевают процесс разрушения и переотложения почвенных частиц воздушными потоками.

В отличие от ветровой водная эрозия почв представляет собой процесс разрушения и переотложения почвенных частиц водными потоками.

При определении состояния эродированных земель различают два вида водной эрозии:

- естественного происхождения – струйную (линейная или размыв почвы) и плоскостную (поверхностная эрозия или смыв почвы);
- антропогенного происхождения – ирригационную эрозию, формирующуюся при несоблюдении технологий орошения.

Существуют различные способы определения водной и ветровой эрозии, основные из которых базируются на методах – сравнительно-географическом, сравнительно-аналитическом и математического моделирования. Часто применяют сравнительно-аналитические методы контроля состояния эрозионных процессов и определения потери почвенной массы. Для этого путем инструментальных измерений рассчитывают изменения уровня поверхности почвы и определения объема эродированной (смытой) почвы или наносов, появившихся в результате эрозии.

В настоящее время существует ряд эффективных методов выявления эрозионных процессов, к которым относится анализ аэрокосмических снимков, облегчающий почвенное картографирование и улучшающий его детализацию. Данный метод обладает высокой производительностью, большим охватом территории и быстротой получения информации.

Базовой, классической методикой расчета водной эрозии, является схема, разработанная учеными Америки. Для количественной оценки показателя интенсивности водной эрозии используется величина потенциального смыва, под которой понимается модуль смыва почвы в условиях чистого пара, выраженный в тоннах на один гектар в год. Наиболее распространенный метод прогнозирования потенциального смыва базируется на использовании универсального уравнения, имеющего вид (10.1)

$$\mathcal{E}_n = E P R, \quad (10.1)$$

где \mathcal{E}_n – потенциальный смыв от дождевых ($\mathcal{E}=\mathcal{E}_d$) или талых ($\mathcal{E}=\mathcal{E}_m$) вод;
 E – эрозионный индекс осадков, ($E=E_d$ – для дождей, $E=E_m$ – для талых вод);

P – эродируемость почв, т/га на единицу эрозионного индекса осадков;
 R – эрозионный потенциал рельефа.

Данное уравнение считается универсальным, так как оно свободно от частных, географических и климатических ограничений.

Выше приведенная методика является базовой для схемы расчета Г.А. Ларионова, который ее доработал применительно к российским условиям, сделал упор на основные расчетные характеристики – эрозионный потенциал осадков, расчет кинетической энергии дождя, его продолжительности и интенсивности, смываемости почв.

Эрозионный потенциал дождя вычисляется как

$$E_{\partial} = 0,01 DI_{30}, \quad (10.2)$$

где D – кинетическая энергия дождя, т/м/га; I_{30} – максимальная 30-минутная интенсивность дождя. Коэффициент 0,01 вводится для того, чтобы эрозионный потенциал не соответствовал большим числам. В расчет принимались дожди со слоем осадков 10 мм и более.

Интенсивность дождя – скорость выпадения осадков в виде дождя обычно оценивается в мм/ч. Условно принято считать, что слабый дождь 1-5 мм/ч, умеренный 5-20 мм/ч, сильный 20-40 мм/ч и ливень – более 40 мм/ч.

Кинетическая энергия дождя выражается как сумма

$$D = \sum_{j=1}^n [24,73 + 894(\lg 2,364L_j)h_j], \quad (10.3)$$

где L_j – интенсивность дождя за j -й интервал времени, мм/мин; h_j – слой осадков, выпавший за j -й интервал времени, мм; n – число интервалов, в продолжении которых интенсивность дождя оставалась постоянной.

Водная эрозия в наибольшей степени проявляется в течение 10-20-минутного периода выпадения наиболее эффективной части дождя.

Смываемость почвы (P) зависит от процентного соотношения в почве фракций различной величины (песка, глины, пыли и т.д.), количества гумуса, а также от влажности почвы, температурного режима и степени ее уплотнения. Чем выше в почве процентное содержание мелких фракций (глинистых частиц, ила), тем противоэрозионная устойчивость почв ниже, а смываемость – выше, и наоборот, чем выше в почве содержание гумуса, тем ниже смываемость, поскольку гумус повышает устойчивость почв к смыву.

Смываемость почвы вычисляется по формуле (10.4)

$$P = -0.0296 Y^3 + 0,3537 Y^2 + 0,2233 Y + 0,1392, \quad (10.4)$$

где $Y = -0,19365 \Gamma + 0,042576 \Phi_M + 0,011187 \Phi_K$, Γ - содержание гумуса (%), Φ_M - содержание песка (%), Φ_K - содержание пыли и мелкого песка (%).

Расчет эрозионного потенциала рельефа (P) осуществляется следующим образом

$$P = \left[\frac{S}{22,13} \right]^m (0,065 + 0,045i + 0,0065i^2), \quad (10.5)$$

где S – длина склона или участка склона, м; i – уклон, %; m – параметр, величина которого зависит от крутизны склона (от 0,2 до 0,5).

Существуют и другие методы, например, по топографической карте определяется площадь водосбора, и тогда величина эрозии почв вычисляется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{m}{F}, \quad (10.6)$$

где \mathcal{E} – смыв почвы с 1 квадратного метра, г/м²; m – масса смытых частиц, г; F – площадь водосбора, м².

Недостатком данного метода исследования является не совсем точное определение площади водосбора, так как картографический материал не всегда позволяет с высокой точностью определить положение линий стока воды.

Другой способ определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей основан на методе определения факторов атмосферных осадков, устойчивости почв, длины и крутизны склона, севооборота, агротехники и зависимостей между ними.

$$\mathcal{E} = RKLSCP, \quad (10.7)$$

где R – фактор эродирующей способности дождей, K – фактор податливости почв эрозии, т/га, L – фактор длины склона, S – фактор крутизны склона; C – фактор растительности и севооборота; P – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий.

Метод определения потенциальной опасности эрозии почв под воздействием дождей с разбивкой по классам интенсивности устанавливает стандарт для составления карт эрозионной опасности.

Пример выполнения задания

Исходные данные: данные известных величин приведены в таблице вариантов по разделу 10: интенсивность дождя (L_j), мм/час; слой осадков (h_j), мм; число интервалов постоянного дождя (n); время дождя (T), мин; протяженность участка (S), м; уклон участка (i), %; содержание гумуса (Γ), %; содержание песка (Φ_m), %; содержание пыли и мелкого песка (Φ_k) %; параметр, величина которого зависит от крутизны склона ($m = 0,2-0,5$).

Требуется: вычислить кинетическую энергию дождя (D), эрозионный потенциал дождя (E_d), смываемость почвы (Π), эрозионный потенциал рельефа (P), потенциальный смыв (эрозию) (\mathcal{E}_n).

Порядок выполнения задания

Для того чтобы рассчитать параметр водной эрозии по формуле (10.1), необходимо определить все соответствующие параметры выражения.

1. Необходимо определить кинетическую энергию дождя (10.3)

$$D = \sum_{j=1}^n [24,73 + 894(\lg 2,364 \times 0,02)^2] = 38,09 \text{ т/м/га},$$

где L_j – интенсивность дождя за j -й интервал времени, мм/мин; (слабый дождь 1 мм в час, то 0,02 мм в мин), h_j – слой осадков, выпавший за j -й интервал времени, мм; (например 2 мм), n – число интервалов, в продолжении которых интенсивность дождя оставалась постоянной.

2. Эрозионный потенциал дождя вычисляется по формуле (10.2)

$$E_d = 0,01 \times 38,09 \times 20 = 7$$

3. Известно, что приводораздельный участок склона протяженностью $S=100$ м, с уклоном $i=3\%$. Характеристика почвы: количество гумуса $\Gamma=0,5\%$, содержание песка (фракция 0,1-1,0 мм) $\Phi_K=10\%$, пыли и мелкого песка (фракция 0,1-0,001 мм) $\Phi_M=80\%$.

С начала находим параметр $У$:

$$У = -0,19365 \times 0,5 + 0,042576 \times 80 + 0,011187 \times 10 = 3,365;$$

далее рассчитываем Π :

$$\Pi = -0,0296 \times У^3 + 0,3537 \times У^2 + 0,2233 \times У + 0,1392 = 3,768 \text{ т/га}.$$

4. Находим эрозионный потенциал рельефа (10.5) для $S=100$ м, $i=3\%$, $m=0,30$.

Получаем: $(100/22,13)^{0,30} = 1,572$;

$$0,065 + 0,045 \times i + 0,0065 \times i^2 = 0,259;$$

$$P = 1,572 \times 0,259 = 0,407.$$

5. Определяем потенциальный смыв по уравнению (10.1)

$$\mathcal{E}_n = E_d \times \Pi \times P = 7 \times 3,768 \times 0,407 = 10,3 \text{ т/га}.$$

Эрозия или потенциальный смыв равен 10,3 т/га в год.

Вывод. В результате вычислений получены параметры: кинетическая энергия дождя $D = 38,09$ т/м/га и потенциальный смыв (эрозию) $\mathcal{E}_n = 10,3$ т/га

Вопросы для самопроверки

1. Эрозия и ее виды.
2. Естественная эрозия.
3. Ветровая эрозия.
4. Водная эрозия.
5. Виды водной эрозии.
6. Методы определения эрозионных процессов.
7. Анализ аэрокосмических снимков
8. Метод прогнозирования потенциального смыва.
9. Интенсивность дождя.
10. Смываемость почвы.
11. Метод определения факторов эрозионного процесса.

Заключение

Значение гидрологии, гидрометрии и регулирования стока определяется главными задачами водного хозяйства как отрасли науки и техники, охватывающей учёт, изучение, использование, охрану водных ресурсов, а также борьбу, а также борьбу с вредным действием вод.

В работе проведены обработки материалов основных гидрометрических наблюдений и измерений уровней, глубин, скоростей течения, расходов и стока воды, рассмотрены методы расчета основных гидрографических характеристик различных рек Восточной Сибири, испарения с поверхности водоемов и суши, речного стока, максимальных расходов воды, определение водной эрозии.

Целью работы является изучение гидрологических процессов и их влияние на земельные ресурсы. В ходе работы над учебном пособии были выполнены основные задачи: изучение основных понятий гидрологии, освоение методов гидрологии и основных гидрологических характеристик, а также их изменчивость во времени. Кроме этого, было предложено ознакомиться с основами гидрометрии, изучением методов расчета гидрологических характеристик и влиянием гидрологических объектов на земельные ресурсы.

Основное содержание гидрологических исследований в зависимости от их направления - либо определение географических характеристик водных объектов (их распределения по территории, размеров, общих описаний), либо выяснение физических закономерностей взаимодействия воды с окружающей средой (законы перемещения водных масс, испарения воды, таяния снега и ледяного покрова, воздействия воды на речное ложе и пр.). Таким образом, всестороннее изучение гидрологических процессов должно предусматривать, с одной стороны, исследование вод как элемента географического ландшафта, а с другой - установление физических закономерностей, которым подчиняются гидрологические процессы.

Список используемой литературы

1. Белякова, А.Ю. О вероятностном описании событий максимального стока для моделирования сельскохозяйственного производства / А.Ю. Белякова // Матер. регион. научн.-практ. конф., посвящ. 40-летию экономического факультета «Проблемы социально-экономического развития регионального АПК». - Иркутск, 2005. – С.130-136.
2. Белякова, А.Ю. О моделировании высокого стока дождевых паводков. В кн. Информационные и математические технологии. Труды Байкальской Всероссийской конференции / А.Ю. Белякова, Я.М. Иваньо - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2004. – С. 262-268.
3. Бураков, Д.А. Эрозия почв: учеб. пособие / Д.А. Бураков, Е.Э. Маркова; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2009. – 160 с.
4. Гидрологический словарь / под ред. А.И. Чеботарев – Л. Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
5. Виноградов, Ю.Б. Современные проблемы гидрологии : учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Виноградов, Т. А. Виноградова. - М. : Академия, 2008. – 319 с.
6. Доброумова, Г.Г. Ресурсы поверхностных вод СССР / Г.Г. Доброумова, З.М. Котина – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 595 с.
7. Железняков, Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров - М.: Колос, 1984. – 431с.
8. Иваньо, Я.М. Дождевые паводки на реках бассейнов Ангары и Лены; факты, величины, модели / Матер. междунар. научного семинара «Анализ и стохастическое моделирование экстремального стока на реках Евразии в условиях изменения климата» // Я.М. Иваньо. - Иркутск, 2003. – С.124-135.
9. Иваньо, Я.М. Изменчивость высокого максимального стока рек Восточной Сибири / Гидрологические явления и процессы. Формирование и изменчивость речного стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты: тезисы докладов на VI Всероссийском гидрологическом съезде // Я.М. Иваньо - Спб.: Гидрометеиздат, 2004. Секция 5. – С.98-100.

10. Иваньо, Я.М. О систематизации исторических свидетельств об экстремальных природных явлениях для решения задач прикладной гидрологии // Труды конференции «Современные проблемы стохастической гидрологии». // Я.М. Иваньо – Москва, 2001. - С.46-51.

11. Иваньо, Я.М. Экстремальные природные явления исторического прошлого на территории Иркутской области / Я.М. Иваньо - Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1997. – 96 с.

12. Иваньо, Я.М. Обобщение данных о выдающихся летних наводнениях на реках Ангарского бассейна // Водные ресурсы // Я.М. Иваньо, М.Г. Людвиг 1991.N 2. – С.17-21.

13. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом. - М.: Наука, 1995. – 224 с.

14. Корень, В.И. Математические модели в прогнозах речного стока / В.И. Корень - Л.: Гидрометиздат, 1991. – 200 с.

15. Львович, М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее / М.И. Львович - М.: Мысль, 1974. – 448 с.

16. Мезенцев, В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях / В.С. Мезенцев - Омск: Изд-во СХИ, 1982. – 80 с

17. Мезенцев, В.С. Гидролого-климатические основы проектирования гидромелиораций / Учебное пособие / В.С. Мезенцев. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 1993. – 128 с.

18. Михайлов, В.Н. Гидрология / В. Н. Михайлов, А. В. Добровольский, С. А. Добролюбов. - 2-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2007. – 463 с.

19. Михайлов, В.Н. Гидрология: учеб. для вузов / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. - 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.

20. Овчаров, Е.Е. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока / Е.Е. Овчаров, Н.Н. Захаровская, И.В. Прошлюков и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 224 с.

21. Статистика с применением Excel: учебное пособие / Я.М. Иваньо, А.Ф. Зверев и др; под ред. Я.М. Иваньо. – Иркутск, 2004. – 109 с.

22. Суворов, А.К. Геология с основами гидрологии: учеб. пособие для вузов / А.К. Суворов. – М.: КолосС, 2007. – 207 с.

23. Чеботарев, А.И. Общая гидрология / А.И. Чеботарев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 544 с.

24. Шикломанов, И.А. Исследование водных ресурсов: итоги, проблемы, перспективы / И.А. Шикломанов – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 152 с.

25. Швѐбс, Г.И. Теоретические основы эрозиоведения / Г.И. Швѐбс – Киев-Одесса: Вища школа. Головное издательство, 1981. – 224 с.

26. Эдельштейн, К.К. Гидрология материков / К.К. Эдельштейн. - М.: Академия, 2005. – 303 с.

Приложение

Вариант 1

№ 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		2	0							
1		4	0,78							
2	I	6	1,76					0,44		
3		8	2,3							
4		10	2,33							
5	II	12	2,65					0,63		
6		14	2,14							
7	III	16	2,07					0,52		
8		18	1,87							
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 2

№ 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		2	0							
1		4	0,66							
2	I	6	1,76					0,48		
3		8	2,34							
4		10	2,76							
5	II	12	2,65					0,65		
6		14	2,12							
7	III	16	2,07					0,49		
8		18	1,96							
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 3

№ 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		2	0							
1		4	0,78							
2	I	6	1,94					0,49		
3		8	2,30							
4		10	2,45							
5	II	12	2,75							
6		14	2,19					0,76		
7	III	16	2,07							
8		18	1,90					0,67		
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 4

№ 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		2	0							
1		4	0,78							
2	I	6	1,88					0,56		
3		8	2,3							
4		10	2,44							
5	II	12	2,65							
6		14	2,22					0,73		
7	III	16	2,07							
8		18	1,9					0,67		
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 5

№ 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		2	0							
1		4	0,87							
2	I	6	1,88					0,69		
3		8	2,89							
4		10	2,98							
5	II	12	2,65							
6		14	2,22					0,83		
7	III	16	2,34							
8		18	1,9					0,72		
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 6

№ 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		2	0							
1		4	0,87							
2	I	6	1,65							
3		8	2,89					0,55		
4		10	2,55							
5	II	12	2,65							
6		14	2,09					0,78		
7	III	16	2,22							
8		18	1,86					0,65		
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 7

№ 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		2	0							
1		4	0,77							
2	I	6	1,68					0,59		
3		8	2,76							
4		10	2,58							
5	II	12	2,44							
6		14	2,09					0,83		
7	III	16	2,15							
8		18	1,86					0,65		
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 8

№ 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		2	0							
1		4	0,79							
2	I	6	1,79					0,62		
3		8	1,98							
4		10	2,58							
5	II	12	2,44							
6		14	1,98					0,95		
7	III	16	2,15							
8		18	2,07					0,73		
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 9

№ 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		2	0							
1		4	0,98							
2	I	6	1,79					0,78		
3		8	2,12							
4		10	2,58							
5	II	12	2,67					0,87		
6		14	2,34							
7	III	16	2,24					0,68		
8		18	2,07							
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 10

№ 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		2	0							
1		4	0,86							
2	I	6	1,87					0,69		
3		8	2,16							
4		10	2,58							
5	II	12	2,79					0,93		
6		14	2,24							
7	III	16	2,19					0,71		
8		18	2,07							
9		20	1,65							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 11

№ 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		2	0							
1		4	0,58							
2	I	6	1,67					0,56		
3		8	1,89							
4		10	1,99							
5	II	12	2,23					1,05		
6		14	2,65							
7	III	16	2,19					0,67		
8		18	2,23							
9		20	1,45							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 12

№ 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		2	0							
1		4	0,67							
2	I	6	1,23					0,47		
3		8	1,67							
4		10	2,08							
5	II	12	2,15					0,72		
6		14	2,33							
7	III	16	2,24					0,59		
8		18	1,87							
9		20	1,45							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 13

№ 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		2	0							
1		4	0,54							
2	I	6	1,23					0,39		
3		8	1,74							
4		10	1,84							
5	II	12	2,28					0,65		
6		14	2,33							
7	III	16	1,91					0,45		
8		18	1,87							
9		20	1,32							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 14

№ 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		2	0							
1		4	0,44							
2	I	6	1,09					0,64		
3		8	1,65							
4		10	1,84							
5	II	12	2,28					0,76		
6		14	2,06							
7	III	16	1,89					0,58		
8		18	1,67							
9		20	1,32							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 15

№ 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		2	0							
1		4	0,49							
2	I	6	0,98					0,59		
3		8	1,65							
4		10	1,78							
5	II	12	1,99					0,78		
6		14	2,06							
7	III	16	1,89					0,65		
8		18	1,56							
9		20	1,23							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 16

№ 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		2	0							
1		4	0,49							
2	I	6	0,79					0,64		
3		8	1,59							
4		10	1,89							
5	II	12	2,06					0,84		
6		14	2,34							
7	III	16	2,15					0,67		
8		18	1,67							
9		20	1,45							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 17

№ 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		2	0							
1		4	0,44							
2	I	6	0,68					0,68		
3		8	1,67							
4		10	1,99							
5	II	12	2,16							
6		14	2,45					0,87		
7	III	16	1,79							
8		18	1,67					0,65		
9		20	1,32							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 18

№ 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		2	0							
1		4	0,58							
2	I	6	0,78					0,6		
3		8	1,67							
4		10	1,99							
5	II	12	2,06							
6		14	2,34					0,79		
7	III	16	1,79							
8		18	1,67					0,62		
9		20	1,32							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 19

№ 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		2	0							
1		4	0,69							
2	I	6	0,98					0,58		
3		8	1,77							
4		10	2,07							
5	II	12	2,18					0,81		
6		14	2,34							
7	III	16	1,89							
8		18	1,34					0,67		
9		20	0,67							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 20

№ 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		2	0							
1		4	0,45							
2	I	6	0,69					0,54		
3		8	1,56							
4		10	2,18							
5	II	12	2,34					0,86		
6		14	2,09							
7	III	16	1,78							
8		18	1,22					0,63		
9		20	0,67							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 21

№ 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		2	0							
1		4	0,39							
2	I	6	0,57					0,48		
3		8	0,89							
4		10	1,67							
5	II	12	1,76							
6		14	2,09					0,75		
7	III	16	1,78							
8		18	1,54					0,59		
9		20	1,02							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 22

№ 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		2	0							
1		4	0,54							
2	I	6	0,76					0,5		
3		8	0,89							
4		10	1,55							
5	II	12	1,76							
6		14	1,89					0,72		
7	III	16	1,67							
8		18	1,44					0,53		
9		20	1,02							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 23

№ 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		2	0							
1		4	0,61							
2	I	6	0,67					0,55		
3		8	0,76							
4		10	1,44							
5	II	12	1,76							
6		14	2,05					0,82		
7	III	16	1,78							
8		18	1,44					0,67		
9		20	0,77							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 24

№ 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		2	0							
1		4	0,57							
2	I	6	0,99					0,62		
3		8	1,08							
4		10	1,44							
5	II	12	1,76							
6		14	2,25					0,89		
7	III	16	1,78							
8		18	1,34					0,69		
9		20	0,76							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 25

№ 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		2	0							
1		4	0,34							
2	I	6	0,78					0,65		
3		8	1,34							
4		10	1,44							
5	II	12	1,76					0,92		
6		14	2,34							
7	III	16	1,88					0,72		
8		18	1,45							
9		20	0,76							
Урез лб		24,7	0					0		
Итого:										

Вариант 26

№ 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							
1		5	0,38							
2	I	7	0,87					0,74		
3		9	1,36							
4		11	1,54							
5	II	13	2,02					0,93		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97					0,78		
8		19	1,52							
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 27

№ 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							
1		5	0,35							
2	I	7	0,68					0,71		
3		9	1,46							
4		11	1,68							
5	II	13	2,02					0,95		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 28

№ 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							
1		5	0,39							
2	I	7	0,88					0,72		
3		9	1,39							
4		11	1,64							
5	II	13	2,02					0,9		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 29

№ 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							
1		5	0,38							
2	I	7	0,77					0,69		
3		9	1,52							
4		11	1,72							
5	II	13	2,02					0,89		
6		15	2,35							
7	III	17	1,87							
8		19	1,52					0,72		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 30

№ 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							
1		5	0,48							
2	I	7	0,78					0,7		
3		9	1,44							
4		11	1,54							
5	II	13	2,02					0,93		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 31

№ 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							
1		5	0,42							
2	I	7	0,8					0,68		
3		9	1,36							
4		11	1,62							
5	II	13	2,02					0,91		
6		15	2,38							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 32

№ 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							
1		5	0,29							
2	I	7	0,65					0,74		
3		9	1,28							
4		11	1,65							
5	II	13	1,1					0,89		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,67		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 33

№ 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							
1		5	0,33							
2	I	7	0,95					0,64		
3		9	1,57							
4		11	1,68							
5	II	13	2,02					0,95		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97							
8		19	1,44					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 34

№ 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							
1		5	0,45							
2	I	7	0,78					0,74		
3		9	1,36							
4		11	1,68							
5	II	13	2,02					0,94		
6		15	2,29							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 35

№ 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							
1		5	0,52							
2	I	7	0,87					0,74		
3		9	1,36							
4		11	1,74							
5	II	13	2,02					0,89		
6		15	2,35							
7	III	17	1,97							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,58							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 36

№ 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							
1		5	0,52							
2	I	7	0,87					0,65		
3		9	1,36							
4		11	1,79							
5	II	13	2,02					0,93		
6		15	2,45							
7	III	17	1,97							
8		19	0,98					0,78		
9		21	0,45							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 37

№ 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		4	0							
1		6	0,38							
2	I	8	0,87					0,68		
3		10	1,44							
4		12	1,54							
5	II	14	2,74					1,07		
6		16	2,35							
7	III	18	1,67							
8		20	1,47					0,58		
9		22	0,38							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 38

№ 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		4	0							
1		6	0,45							
2	I	8	0,54					0,77		
3		10	1,53							
4		12	1,81							
5	II	14	2,67					1,1		
6		16	2,35							
7	III	18	1,57							
8		20	1,45					0,69		
9		22	0,49							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 39

№ 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							
1		5	0,37							
2	I	7	0,63					0,69		
3		9	1,35							
4		11	1,81							
5	II	13	2,34					0,94		
6		15	2,64							
7	III	17	1,67							
8		19	1,42					0,72		
9		21	0,64							
Урез лб		23,8	0					0		
Итого:										

Вариант 40

№ 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							
1		5	0,44							
2	I	7	0,56					0,74		
3		9	0,92							
4		11	1,78							
5	II	13	2,48					0,98		
6		15	2,89							
7	III	17	1,67							
8		19	1,23					0,68		
9		21	0,77							
Урез лб		23,8	0					0		
Итого:										

Вариант 41

№ 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							
1		5	0,33							
2	I	7	0,46					0,7		
3		9	0,92							
4		11	1,78							
5	II	13	2,56					0,88		
6		15	2,89							
7	III	17	1,88							
8		19	1,23					0,59		
9		21	0,62							
Урез лб		23,8	0					0		
Итого:										

Вариант 42

№ 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							
1		5	0,47							
2	I	7	0,52					0,58		
3		9	0,92							
4		11	1,98							
5	II	13	2,33					0,92		
6		15	2,89							
7	III	17	1,88							
8		19	1,35					0,54		
9		21	0,51							
Урез лб		23,8	0					0		
Итого:										

Вариант 43

№ 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							
1		5	0,39							
2	I	7	0,51					0,63		
3		9	0,68							
4		11	1,57							
5	II	13	1,96					0,89		
6		15	2,24							
7	III	17	1,88							
8		19	1,35					0,45		
9		21	0,51							
Урез лб		23,8	0					0		
Итого:										

Вариант 44

№ 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							
1		5	0,4							
2	I	7	0,56					0,74		
3		9	0,77							
4		11	1,69							
5	II	13	2,95					1,1		
6		15	3,08							
7	III	17	2,09							
8		19	1,89					0,56		
9		21	0,69							
Урез лб		22,9	0					0		
Итого:										

Вариант 45

№ 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							
1		5	0,45							
2	I	7	0,51					0,73		
3		9	0,68							
4		11	1,69							
5	II	13	2,45					1,08		
6		15	2,56							
7	III	17	2,09							
8		19	1,29					0,65		
9		21	0,75							
Урез лб		23,1	0					0		
Итого:										

Вариант 46

№ 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							
1		5	0,52							
2	I	7	0,67					0,84		
3		9	1,54							
4		11	2,04							
5	II	13	2,46					0,97		
6		15	2,24							
7	III	17	1,89							
8		19	1,77					0,72		
9		21	0,57							
Урез лб		23,8	0					0		
Итого:										

Вариант 47

№ 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							
1		5	0,57							
2	I	7	0,67					0,77		
3		9	1,62							
4		11	1,98							
5	II	13	2,46					0,88		
6		15	2,33							
7	III	17	1,79							
8		19	1,65					0,66		
9		21	0,57							
Урез лб		23,6	0					0		
Итого:										

Вариант 48

№ 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							
1		5	0,51							
2	I	7	0,87					0,74		
3		9	1,35							
4		11	1,54							
5	II	13	2,25					1,05		
6		15	2,35							
7	III	17	1,74							
8		19	1,52					0,78		
9		21	0,46							
Урез лб		24,9	0					0		
Итого:										

Вариант 49

№ 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							
1		5	0,33							
2	I	7	0,58					0,69		
3		9	1,44							
4		11	1,54							
5	II	13	2,25					1,08		
6		15	2,55							
7	III	17	1,74							
8		19	1,48					0,71		
9		21	0,49							
Урез лб		24,1	0					0		
Итого:										

Вариант 50

№ 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							
1		5	0,29							
2	I	7	0,58					0,49		
3		9	1,46							
4		11	1,54							
5	II	13	2,35					1,2		
6		15	2,68							
7	III	17	1,98							
8		19	1,56					0,71		
9		21	0,55							
Урез лб		22,7	0					0		
Итого:										

Варианты заданий к 5 разделу

Годы	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
1928	119														
1929	94,5														
1930	139														
1931	161														
1932	207														
1933	147														
1934	126														
1935	106														
1936	99														
1937	165														
1938	149														
1939	119														
1940	147														
1941	162														
1942	159														
1943	143														
1944	115														
1945	150														
1946	143														
1947	142						118								
1948	165						142								
1949	146						109								
1950	171						137								
1951	134				12,2		108	13,3	5,25		3,15		2,94		
1952	167				10,5	41,7	149	11,1	3,72	11,8	5,23		3,19		
1953	146				11,8	46,5	139	9,76	5,41	11,4	4,16		2,91		
1954	136				8,99	38,4	90,8	8,12	9	8,17	2,32		2,23		
1955	146				9,78	37,4	90,4	10,7	9,01	17,3	2,28		3,78		
1956	106				12,6	51	97,3	11,5	6,76	10,9	2,09		1,48		
1957	136		42	15,2	8,21	38,7	110	5,95	6,18	11,5	2,43		1,73		
1958	112	11,3	66	19,4	10,9	50,7	81,7	8,87	11,4	10,7	1,73	22,8	1,59		
1959	133	18,5	79,2	33,9	16,7	76,1	99,5	11,4	6,2	12,1	1,4	31,4	1,77		
1960	140	12,4	56,9	28,2	14,3	55		15,2	4,73	20,5	2,5	32,2	3,36		
1961	117	14,8	66,3	28,4	13,7	45,2		13,8	5,71	15	2,05	22,9	0,53	4,95	
1962	140	12,6	66,3	25,7	14,1	47,8		13,3	5,48	10,3	2,96	25	1,78	3,71	4,54
1963	127	13,1	66,8	26,4	14,3	61,4		9,47	5,73	11,1	2,74	31,2	1,74	5,13	4,89
1964	117	8,73	48,5	20,5	9,79	42,7	109	6,51	6,69	10,3	2,69	22,3	1,75	4,4	3,5
1965	132	8,64	44,7	21	9,83	37,9	113	9,26	8	14,9	2,25	18,8	1,14	3,94	2,36
1966	179	11,9	62,8	31,2	11,9	55,1	170	10,4	13	20	4,9	22,1	3,27	3,53	2,3
1967	154	11,7	49,1	24,7	10,8	39,1	144	9,09	8,65	14,3	5	19,5	2,47	4,17	2,26
1968	172	7,7	27,1	13,5	4,95	19,5	138	7,88	5,95	9,1	4,13	14,2	2,46	8,66	3,62
1969	113	11,5	50	33	11,1	49,5	113	9,29	5,37	10,5	3,21	28,4	1,13	4,41	2,06
1970	158	5,86	32,5	16,7	8,66	33,2	133	11	8,5	16,8	2,46	16,8	2,46	4	2,93
1971	164	9,1	47,6	23,2	10,1	46,7	133	8,98		16,4	3,2	20,9	2,31	5,75	3,5
1972	108	8,68	53,8	24,8	10	40,3	88	7,5	9,13	12,2	2,29	18,9	2,79	4,99	2,58
1973	188	15,2	56	31,9	15,3	38,7	144	10,9	11,3	17,3	3,28	21,5	1,56	6,69	3,5
1974	133		57,3	21,5	10,1	41	117	6,21	5,34	6,95	3,22	21,8	2,52	3,05	1,97
1975	170	12,8	76,2	29,2	12,3	51,7	121	11,2	6,74	14,5	3,24	26	2,2	6,94	3,61
1976	111	6,08	43,9	13,1	5,91	38,6	89,9	7,28	5,76	5,4	2,22	18,5	2,44	2,96	2,51
1977	133	11,6	64,5	25,7	15,1	52,1	100	9,91	8,31	14,3	2,28	21,2	3,03	3,31	2,76
1978	106	11,3	53	23,1	10,7	45,2	98,1	9,25	6,81	11,2	1,86	22,9	2,19	2,99	2,98
1979	104	9,92	57,3	23	8,95	44,1	97,6	8,77	5,32	13,7	1,79	26,4	1,44	1,99	1,91
1980	119	9,6	53,7	23,8	9,72	35,5	96,4	12,7	8,83	12,8	1,58	18,1	2,72	5,15	2,9
1981	118	8,74	38,9	20,7	8,22	30	121	8,77	8,17	12,6	1,96	16,5	3,1	4,36	
1982	143	9,05	85,3	19	6,34	33	124	9,85	10,9	16,5	2,03	15,8	3,69	3,94	2,08
1983	156	15,1	111	38,2	18,2	61,3	140	12,5	8,6	18,6	2,65	23,4	2,73	6,95	3,51
1984	125	8,01	52,9	25,5	11,9	36,4	121		6,97	9,12	2,91	19,5	2,92	6,12	3,92

Годы	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
1928															
1929				284											
1930				242											
1931				230											
1932				260											
1933				185											
1934				250											
1935				282											
1936				335											
1937				280											
1938				276						165					
1939				292						167					
1940				252						168					
1941				339						179					
1942				200						110					
1943				159						98,7					
1944				329						210					
1945				177						130					
1946		12,1		320						180					
1947		9,87		229						188			100		
1948		26		203						145			128		
1949		12		224						156			102		
1950		13,9		262						158			126		
1951		14,9		249		46,6				119			108		
1952		15,3		368		82,4				231	56,3		150		
1953		10,8		243		61,7				152	47,2		128		
1954		7,82		283		67				144	51,7		95		
1955	1,48	9,9		367		68	16,2			176	50,1		90,4		
1956	1,39	7,41	88,4	218		53,6	16,4			135	34,7		97,3		
1957	1,28	6,51	116	256		57,4	16,2		57,1	123	51		105		
1958	0,88		102	223	40,1	63,5	15,1		47,6	127	37,9		82		
1959	2,04		98	250	40,8	67	17,2	45,1	36,9	154	51		100		
1960	2,71	13,5	128		36,9	78,3	20,4	45	33,7	168	52,4				
1961	2,1	13,7	97,6	269	38,6	77,9	18,3	35,4	33,8	160	41,9				
1962	2,78	15,1	101	252	42,4	66,2	20,2	43,7	35,6	158	56,3				
1963	3,16	19,9	95,4	244	38,6	74,1	19,4	39	94,1	162	42,9	102		23,6	62
1964	2,29	13	89,2	215	37,4	58,3	17,8	34,6	67,5	124	40,1	88	105	45,3	48
1965	2,73	10,5	111	297	35,7	59,1	16,5	35,1	75,5	148	41,3	99,3	110	50,1	69,2
1966	3,42	17,5	127	341	49,2	80,8	21,4	47,2	78	184	54,6	138	180	65,2	98
1967	3,34	14,9	125	280	46,2	76,1	21,7	43,9	73	163	42,2	114	134	34,5	74
1968	2,8	14	86,2	203	38,5	51,1	17,9	41,9	64,1	121	61	128	128	30,2	88
1969	1,74	10,4	86,7	250	33,8	63,1	19	42	78,8	129	38,1	81,6	120	28,1	41,6
1970	2,64	12,7	159	369	43,6	85	19,7	45,9	102	162	58,4	123	130	60,1	83
1971	3,7	16,8	86,7	252	36,2	55,2	19	39,9	65,8	118	61,3	128	128	48,2	88
1972	1,23	8,71	103	278	35	53,9	19,6	36,1	88,7	154	31,8	99	92	19,3	59
1973	4,5	19,6	122	323	42,5	77,3	21,1	52	96,5	180	78,5	132	150	51,7	92
1974	1,68	12,9	72,1	181	38,3	59,5	20,2	45,8	75,6	116	46,4	111	120	60,1	71
1975	2,66	18,7	116	264	41,2	78,2	17	34,2	89,8	153	63,4	133	125	44,5	93
1976	1,71	11,3	93,5	218	33	57,4	17	31,9	80,5	137	38	79,2	92,3	47,2	49,2
1977	1,47	7,8	104	278	31,4	67,4	16,9	29,3	87,8	152	51,8	103	101	41,1	63
1978	2,01		94,1	238	34,3	52,5	17,7	31,3	93,4	159	40	82,7	102	32,8	42,7
1979	0,98	5,75	76,8	195	44,8	67,8	16,1	33,4	77,1	130	36,4	86,9	92,1	46,8	46,9
1980	2,34	9,57	127	326	36,7	70,5	17,2	30,8	102	185	45,2	93,6	93,2	56,3	53,6
1981	1,96	10,5	103	255	43,3	58,4	19,7	47,7	94,5	150	42,9	93,2	115	42,1	53,2
1982	2,98	11	124	309	33,8	55,3	17,3	34,6	84,9	140		105	120	36,5	66
1983	3,37	23,1	98,9	270	44,9	60,8	22,2	44,7	79,2	131	53	122	136	32,1	82
1984	2,85	23,1	96,3		44,8	79,3	23,9	46,4	99,6	170	45	110	118	25	71,2

Годы	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38	B39	B40	B41	B42	B43
1928													
1929													
1930													
1931													
1932													
1933													
1934													
1935													
1936													
1937													
1938													
1939													
1940													
1941													
1942													
1943													
1944													
1945													
1946													
1947													
1948													
1949													
1950													
1951													
1952													
1953													
1954	156						206						
1955	166			1,28			216	0,28					0,45
1956	126			1,19			176	0,19	1,28				0,35
1957	156			1,18			193	1,18	1,19			12,8	1,14
1958	132			0,78			131	0,78	1,18			14,7	2
1959	153			1,94	15		185	0,65	0,78			16	0,77
1960	160	6,52		2,51	15,2		210	0,61	1,94			12,4	0,25
1961	137	7,71	289	1,48	11,7	299	187	0,48	2,51			10,5	0,35
1962	160	10,1	272	2,05	14,2	283	211	1,05	1,48			17,8	0,8
1963	147	15,9	264	2,76	13	274	197	1,2	2,05		18,5	12,8	1,17
1964	137	6	215	2,19	11,5	245	185	2,1	2,76	109	105	13,1	2,01
1965	152	5,7	307	2,53	11,4	328	193	1,5	2,19	65,3	56,8	12	1,56
1966	199	10,4	364	2,78	16,2	369	249	0,78	2,53	70,4	74,1	17,1	0,38
1967	179	9,8	300	3,16	14,2	320	219	0,18	2,78	35,8	63,5	15	1,69
1968	192	12,4	210	1,89	13,6	253	241	0,58	3,16	45,1	27,8	13	0,68
1969	133	7,7	260	1,94	13	291	183	0,57	1,89	50,2	56,2	12,7	0,36
1970	178	8,2	400	2,32	15,1	399	228	0,32	1,94	66,2	49,3	14,8	0,54
1971	184	10,5	274	3,42	13,3	382	236	0,56	2,32	78,3	78,1	21	0,87
1972	128	4,52	288	1,02	12	318	178	1,02	3,42	28,7	35,1	18,9	1,08
1973	208	12,7	333	3,75	14,2	352	156	0,75	1,02	58,2	48,7	10,8	1,26
1974	153	6,8	192	1,65	14,7	211	201	0,65	3,75	77,4	67,2	17,2	0,35
1975	190	10,5	274	2,45	11,3	295	250	0,48	1,65	65,2	27,8	14,8	0,45
1976	121	5,9	230	1,45	10,2	251	173	0,56	2,45	40,7	42,7	13,1	0,89
1977	152	2,8	305	1,23	9,3	301	182	0,23	1,45	36,2	36,2	8,7	0,35
1978	126	4,6	248	1,72	10,4	265	176	0,72	1,23	38,9	40,7	9,4	0,47
1979	124	5,75	206	0,78	10,6	220	174	0,65	1,72	97,6	91,2	14,1	0,87
1980	139	6,34	335	2,33	10,1	356	189	0,35	0,78	37,2	27,4	16,2	0,56
1981	138	5,64	260	1,86	14,5	285	239	0,34	2,33	28,4	35,1	17,2	0,47
1982	163	10,2	319	2,78	10,33	324	204	0,48	1,86	86,1	36,7	14	1,2
1983	176	16,3	280	3,17	14,8	300	218	0,17	2,78	49,2	90,1	10,4	0,42
1984	145	17		1,86	13,2		190	0,52	3,17	50	85,2	10,9	0,33

Годы	В44	В45	В46	В47	В48	В49	В50
1928							
1929							
1930							
1931							
1932							
1933							
1934							
1935							
1936							
1937							
1938							
1939							
1940							
1941							
1942							
1943							
1944							
1945							
1946							
1947							
1948							
1949							
1950							
1951							
1952							
1953							
1954	235					165	1,312
1955	225					159	1,25
1956	169					135	1,46
1957	199		15,2	18,2		165	1,56
1958	135		14,3	10,4	13,5	145	2,45
1959	185	25,7	17,2	9,23	17,2	168	22,36
1960	180	26	10,4	12,1	28,4	179	5,12
1961	196	18,9	19,3	6,38	16,3	203	3,48
1962	240	28,4	16,2	5,46	17,2	208	4,56
1963	200	29	25,4	13,1	20,4	209	5,16
1964	198	19,8	30,8	20,4	13,3	169	5,79
1965	195	35,1	17,1	32	12,8	122	6,17
1966	268	47,2	10,5	12,1	19,4	196	3,12
1967	257	40,2	9,2	6,45	25,1	260	6,18
1968	216	18,7	20,8	5,78	16,4	254	1,23
1969	178	26,5	15,5	7,48	20,1	270	0,89
1970	235	33	16,4	5,46	23,4	198	2,23
1971	168	30,2	23,2	12,4	6,45	169	1,35
1972	169	27,4	12	11	8,97	179	1,56
1973	152	35,1	11,2	12,1	7,98	156	1,12
1974	208	20,7	4,56	20,4	90,18	160	1,11
1975	234	34,2	8,9	12,1	13,4	196	1,14
1976	157	25,1	50,4	14,7	26,2	250	1,16
1977	180	20,7	15,2	15,4	23,1	298	0,56
1978	167	51,2	14,8	13,8	19,4	260	1,78
1979	170	27,4	19,1	3,89	22,1	168	2,38
1980	198	35,6	6,81	8,97	30,1	256	1,56
1981	239	30,4	13,2	4,56	17,2	278	1,23
1982	240	32,1	14,1	12,4	16,2	168	3,54
1983	227	24,2	21,1	15,4	15	167	1,23
1984	158	18,4	10,2	14,2	10,8	200	1,45

Варианты задания к 10 разделу

№ варианта	Интенсивность дождя, мм/час (L_j)	Слой осадков, мм (h_j)	Число интервалов постоянного дождя (n)	Время дождя, мин (L)	Протяженность участка, м (S)	Уклон участка, %	Содержание гумуса, % (Γ)	Содержание песка, % (Φ_M)	Содержание пыли и мелкого песка, % (Φ_K)	Параметр, величина которого зависит от крутизны склона (от 0,2 до 0,5).
0	1	2	1	20	100	3	0,5	80	10	0,30
1	3	2	1	25	100	3	3	50	10	0,2
2	5	2,5	1	28	120	4	4,2	45	11	0,22
3	4	4	1	30	180	2	5	60	15	0,3
4	2	2	2	20	150	3	7	75	12	0,2
5	1	1	1	15	100	7	4	83	12	0,25
6	1	2	2	20	110	4	3,5	65	10	0,2
7	2	4	1	24	160	3	5	60	11	0,34
8	5	1	2	15	200	5	6	64	12	0,2
9	1	3	1	20	150	6	3	50	13	0,2
10	3	1	2	25	130	3	4	55	13	0,3
11	1	2,5	1	20	200	4	2	56	15	0,2
12	2	4	2	15	250	3	3	62	7	0,23
13	3	3	1	22	300	4	4,5	57	10	0,24
14	1	3	2	30	120	5	2	50	9	0,2
15	2	1	2	25	140	5,5	5,2	60	8	0,2
16	3	3	1	12	210	3,9	4	55	10	0,3
17	1,2	2	1	10	115	3,5	3	60	9	0,25
18	4	2,5	2	15	215	4,5	3,5	45	12	0,24

19	5	2,9	1	21	200	4	4,5	54	11	0,3
20	2	3	1	30	290	3,6	4	50	14	0,21
21	3	1	2	19	190	3,9	6	74	9	0,31
22	4	1,3	2	25	140	4,7	5,6	45	10	0,35
23	2	1,6	1	25	100	5	5,5	50	12	0,4
24	1	1,8	1	20	120	6,1	5	45	11	0,25
25	3	1,5	1	20	150	3	2,5	50	8	0,29
26	1,3	2	2	15	210	5	4	60	12	0,3
27	2,2	4	2	19	260	4	4,5	40	15	0,36
28	3,3	3	1	24	300	5	6,5	60	14	0,2
29	4,4	2	1	30	280	6	6	52	10	0,22
30	3	2	1	15	180	7	2,3	51	14	0,3
31	4	4	1	10	100	3	3	47	8	0,4
32	4,2	3	1	15	250	4	3,5	70	7	0,21
33	5	1	2	10	250	5	4	63	19	0,2
34	4,5	1	1	15	260	6	4	45	15	0,25
35	2	2	2	21	210	7	4,1	40	11	0,3
36	4	1	2	23	130	2	2,5	52	14	0,23
37	4,3	1	1	22	160	5	3	50	10	0,25
38	3,8	2	2	25	240	4	3,3	61	11	0,2
39	3,2	1,5	1	35	170	6	3,6	70	12	0,3
40	4,6	1,5	1	30	190	6	6,6	56	9	0,3
41	2,5	1,5	2	29	100	5	3,5	45	7	0,3
42	2,3	1	1	15	160	5,5	4,5	51	13	0,25
43	5	4	2	14	230	6,6	4	40	7	0,39
44	4	3	1	22	280	4,4	4,5	65	10	0,4
45	2	2,5	1	11	300	2	5,2	55	11	0,25
46	3	1,6	2	33	100	3,3	6,3	45	15	0,2
47	2,5	1,1	2	20	110	6	6,1	65	14	0,2
48	4,5	1,2	2	14	260	5,5	7	70	8	0,3
49	2	4	1	15	155	5	4,3	75	16	0,32
50	3	4	1	26	255	4	2,2	45	10	0,26

Иваньо Ярослав Михайлович
Тулунова Евгения Степановна

ПРАКТИКУМ ПО ГИДРОЛОГИИ

Учебное пособие

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.
Подписано в печать 12.10.2023 г.
Тираж 35 экз.

Издательство Иркутского государственного
аграрного университета им. А.А. Ежевского
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,
пос. Молодежный