

Гидрология / Составитель В.К. Махлаёв. – Томск: Изд-во
Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. – 33 с.

Рецензент Б.П. Лашкинский

Редактор Е.Ю. Глотова

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине СД. Ф. 17 «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения» для студентов специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение» всех форм обучения.

В методических указаниях содержатся краткие сведения по гидрологии суши, примеры решения задач и задание для выполнения студентами по разделу «Гидрология» дисциплины «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения».

Печатаются по решению методического семинара кафедры водоснабжения и водоотведения, протокол № 1 от 03. 09. 2009 г.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе В.В. Дзюбо

с 01.12.2009
по 01.12.2014

Подписано в печать
Формат 60×90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд.л. 1,73. Тираж 150 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Основные сведения по гидрологии суши	4
1.1. Общие сведения о реках.....	4
1.2. Гидрометрия.....	6
1.3. Гидрологические расчёты.....	7
1.4. Регулирование стока.....	8
2. Примеры решения задач	9
3. Контрольное задание (часть первая)	24
3.1. Вопросы контрольного задания.....	24
3.2. Задачи контрольного задания.....	25
Список рекомендуемой литературы	29
Приложения	30

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания имеют целью оказать помощь студентам при изучении раздела «Гидрология» дисциплины «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения».

При составлении методических указаний были использованы материалы Л.М. Золотарёвой, которой автор выражает искреннюю благодарность.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГИДРОЛОГИИ СУШИ

1.1. Общие сведения о реках

Рекой называется поверхностный водный поток сравнительно больших размеров, протекающий в вытянутых понижениях земной поверхности по разработанному им руслу. Река питается стоком атмосферных осадков. Речной сток является частью общего круговорота воды в природе. Основными факторами, влияющими на речной сток, являются климатические (атмосферные осадки, температура и влажность воздуха, температура почвы и воды, ветер, облачность, испарение с водной поверхности, испарение с поверхности суши). Кроме климатических факторов, на речной сток влияют дополнительные факторы (форма, площадь и рельеф водосбора, густота речной сети, почвенно-геологические условия, растительный покров, болота, озёра, ледники, многолетняя мерзлота и т. д.), а также деятельность человека.

Для характеристики стока в гидрологии применяют следующие понятия:

расход воды Q – количество воды, прошедшее через поперечное сечение реки за 1 с; измеряется в л/с, м³/с;

модуль стока M – количество воды, прошедшее через поперечное сечение реки за 1 с, отнесённое к единице площади водосбора F ; измеряется в л/с км²,

$$M = Q / F ;$$

объём стока W – количество воды, прошедшее через поперечное сечение реки за определенный промежуток времени T , например, за месяц, год и т. д.; измеряется в м³, млн м³, км³,

$$W = Q T ,$$

где T – промежуток времени, с;

слой стока Y – количество воды, прошедшее через поперечное сечение реки за определённый промежуток времени T , отнесённое к единице площади водосбора F ; измеряется в мм,

$$Y = W / F ;$$

коэффициент стока η – отношение слоя стока Y к высоте слоя выпавших в бассейне реки за тот же промежуток времени осадков X ,

$$\eta = Y / X .$$

Для указания интервала времени, к которому относится данная величина, справа от обозначения ставится индекс. Например, среднегодовой расход обозначается $Q_{\text{ср год}}$, средний за май модуль стока $M_{\text{ср/}}$.

Среднемноголетние значения характеристик стока носят название нормы стока и обозначаются Q_0, M_0, W_0, Y_0 .

Отношение характеристики стока данного года к её среднемноголетнему значению называется модульным коэффициентом K_i ,

$$K_i = Q_i / Q_0 = M_i / M_0 = W_i / W_0 = Y_i / Y_0 .$$

Сток реки круглогодичен, но при этом в годовом цикле стока наблюдаются отдельные периоды со свойственными им своеобразными, повторяющимися из года в год режимами расходов и уровней воды, называемые фазами. В режиме рек различают следующие фазы: половодье, паводок и межень.

График изменения расходов воды в хронологическом порядке называется гидрографом, форма которого зависит от типа питания реки (снегового, дождевого, ледникового, смешанного питания).

Вода при своём стекании с поверхности земли производит смыв мельчайших частиц грунта, которые постепенно продвигаются к реке, попадают в неё, а затем речным потоком выносятся в море. Частицы грунта, перемещаемые рекой, называются наносами. В зависимости от скорости движения воды наносы передвигаются во взвешенном состоянии (взвешенные наносы) либо перекачиваются по дну (донные наносы).

1.2. Гидрометрия

Для изучения характеристик стока на реках устраивают специальные пункты (водомерные посты, гидрометрические станции).

Водомерные посты, в зависимости от назначения, могут быть постоянными, действующими длительный период, и временными, действующими ограниченный срок (обычно в период изысканий). По своему устройству водомерные посты могут быть следующих типов: реечные, свайные, смешанные, передаточные, автоматические. Для регистрации максимальных и минимальных уровней воды применяются зубчатые рейки Фролова, рейка Близняка, рейка гидрометслужбы, рейка Проскова, стрелочный указатель уровня и др.

Скорости течения воды измеряются при помощи поверхностных и глубинных поплавков, поплавков-интеграторов, гидрометрических шестов, гидрометрических вертушек.

Расход воды определяется перемножением скорости течения на площадь поперечного сечения.

По результатам наблюдений строятся: кривая расходов $Q = f(z)$, кривая водных сечений $\omega = f_1(z)$ и кривая средних скоростей $V_{cp} = f_2(z)$, где z – уровень воды.

Содержание взвешенных наносов в воде определяется при помощи батометра Жуковского, батометра-бутылки, вакуумного батометра, содержание донных наносов – при помощи батометра Полякова, батометра «Дон», батометра ГГИ.

Результаты измерений на водомерных постах и гидрометрических станциях можно найти в гидрологических ежегодни-

ках. Они служат исходными данными для определения расчётных гидрологических характеристик.

1.3. Гидрологические расчёты

Основным методом гидрологических расчётов для определения характеристик речного стока является обобщение материалов гидрометрических наблюдений на данной реке за длительный период времени. При этом предполагается, что физико-географические и климатические условия останутся на период работы проектируемых сооружений в основном теми же, что и в предыдущее время, и условия формирования речного стока существенно не изменятся. В силу неравномерности распределения стока по годам надёжной базой для расчётов может служить только длительный ряд наблюдений, не менее 20–25 лет. Гидрологические явления рассматриваются как совокупность случайных величин, что даёт возможность применять к ним законы теории вероятностей и математической статистики.

Понятие *обеспеченность* в гидрологических расчётах равнозначно понятию *вероятность превышения* в математической статистике. Обеспеченность гидрологической характеристики – это вероятность превышения над всеми её возможными значениями. Гидрологические характеристики любой заданной процентной обеспеченности (заданной степени вероятности превышения) определяются с помощью кривых обеспеченности. Теоретическая или эмпирическая кривая обеспеченности строится путём математической обработки ряда наблюдений за необходимой гидрологической характеристикой.

Если имеется короткий ряд наблюдений (10–15 лет), его удлиняют за счёт наблюдений на данной реке в других створах (створах-аналогах) или за счёт наблюдений на смежных реках (реках-аналогах), находящихся в аналогичных физико-географических условиях, а затем строят кривую обеспеченности.

При отсутствии наблюдений за гидрологической характеристикой применяются косвенные методы определения расчётной

гидрологической характеристики заданной обеспеченности: используются эмпирические формулы и карты изолиний различных характеристик стока, полученные на основании обобщения данных наблюдений в больших физико-географических районах.

1.4. Регулирование стока

Естественный режим рек отличается неравномерным распределением стока как в течение года, так и из года в год. Между тем для удовлетворения требований водопользователей появляется необходимость в увеличении расходов воды, по сравнению с бытовыми условиями, в периоды маловодья. Перераспределение стока во времени в соответствии с требованиями водопользователей является основной задачей регулирования стока.

Регулирование стока производится при помощи водохранилищ, заполняемых водой в период половодья и паводков и опорожняемых в период маловодья. По степени регулирования стока различают водохранилища годичного и многолетнего регулирования.

Полезный объём водохранилища определяется либо графически, с помощью интегральной кривой стока, либо аналитически, табличным способом. Полный расчётный объём водохранилища складывается из полезного объёма (регулирующего объёма), мёртвого объёма (занятого наносами, выпавшими в осадок) и потерь воды из водохранилища на испарение, фильтрацию и льдообразование.

По кривой объёмов (графику связи уровня воды в водохранилище с объёмом) $W = f_1(z)$ определяется нормальный подпорный уровень воды в водохранилище (НПУ); по кривой площадей зеркала водохранилища (графику связи уровня воды с площадью зеркала) $\omega = f_2(z)$ определяется площадь зеркала проектируемого водохранилища.

Образование водохранилищ вызывает изменения в режиме водотока: уменьшаются половодные и паводковые расходы, затягивается спад половодья и паводков, увеличиваются меженные расходы.

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Определить расчётный объём годового стока 95 %-й обеспеченности $W_{95\%}$ реки Томь (в створе г. Томска) и построить гидрограф, соответствующий этому стоку, при отсутствии наблюдений за водотоком. Река относится к бассейну Карского моря (западная часть). Площадь частного бассейна $F = 57800 \text{ км}^2$. Координаты центра тяжести бассейна реки для заданного створа: широта – 55° , долгота – 87° .

Решение. По карте изолиний среднемноголетних значений модуля стока (прил. 1) находим: $M_0 = 15,86 \text{ л/с км}^2$.

Затем определяем среднемноголетний расход Q_0 и среднемноголетний объём годового стока W_0 :

$$Q_0 = \frac{M_0 F}{10^3} = \frac{15,86 \cdot 57,8 \cdot 10^3}{10^3} = 916,8 \text{ м}^3/\text{год},$$

где F – площадь частного бассейна, $F=57800 \text{ км}^2$;

$$W_0 = Q_0 T = 916,8 \cdot 31,56 \cdot 10^6 = 28934,21 \cdot 10^6 = 28,93 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год},$$

где T – количество секунд в году, $T = 31,56 \cdot 10^6 \text{ с}$.

Для определения расчётного объёма годового стока 95 %-й обеспеченности $W_{95\%}$ требуется установить значение коэффициента вариации C_V и коэффициента асимметрии C_S для заданного района. Коэффициент вариации может быть найден либо по карте изолиний, либо вычислен по одной из эмпирических формул. В данном случае коэффициент вариации вычисляем по формуле Д.Л. Соколовского – М.Э. Шевелева:

$$C_V = 0,78 - 0,29 \lg M_0 - 0,063 \lg(F + 1);$$

$$C_V = 0,78 - 0,29 \lg 15,86 - 0,063 \lg(57800 + 1) = 0,14.$$

Коэффициент асимметрии C_S принимаем равным двум коэффициентам вариации C_V :

$$C_S = 2 C_V = 2 \cdot 0,14 = 0,28 .$$

Зная $C_S = 0,28$ и заданную обеспеченность $P = 95 \%$, по таблице (прил. 3) находим число А. Фостера – С.И. Рыбкина $\Phi_{95\%}$:

$$\Phi = f(C_V, P); \quad \Phi_{95\%} = -1,56.$$

Затем вычисляем объём годового стока заданной обеспеченности:

$$W_{95\%} = W_0(1 + \Phi_{95\%} C_V) = 28,93 \cdot 10^9 (1 - 1,56 \cdot 0,14) = 22,57 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год} .$$

Для определения среднемесячных расходов необходимо знать распределение годового стока по месяцам. В таблице (прил. 2) приведены осреднённые данные о внутригодовом распределении стока в пределах бассейна Карского моря, которое выражено коэффициентом K_i . Следовательно, среднемесячный расход i -го месяца расчётного гидрологического года P %-й обеспеченности в проектном створе будет определяться по формуле

$$Q_{\text{ср}i} = K_i \frac{W_{P\%}}{2,63 \cdot 10^6} ,$$

где $2,63 \cdot 10^6$ – среднее количество секунд в месяце.

В рассматриваемом примере расчётная обеспеченность $P = 95 \%$, тогда

$$Q_{\text{ср}i} = K_i \frac{W_{95\%}}{2,63 \cdot 10^6} .$$

Вычисление расходов удобно вести табличным способом (табл. 2.1).

Расчёт среднемесячных расходов

Месяцы	Гидрологическая характеристика расчётного года	
	Коэффициент K_i	Среднемесячный расход $Q_{\text{ср}i}$, м ³ /с
1	2	3
Январь	0,011	94,399
Февраль	0,011	94,399
Март	0,011	94,399
Апрель	0,235	2016,711
Май	0,320	2746,160
Июнь	0,147	1261,517
Июль	0,085	729,449
Август	0,033	283,198
Сентябрь	0,055	471,996
Октябрь	0,066	566,395
Ноябрь	0,014	120,144
Декабрь	0,012	102,981

Вычислив среднемесячные расходы, строим гидрограф (рис. 2.1) – график изменения расходов в хронологическом порядке, для чего по оси ординат в масштабе откладываем расходы, а по оси абсцисс (оси времени) – расчётные точки, соответствующие тому или иному месяцу (расчётные точки откладываются в середине интервала месячного промежутка времени).

Задача 2. Определить полезный и полный объёмы водохранилища годичного регулирования в условиях предыдущей задачи при потребной отдаче воды водохранилищем $Q_{\text{потр}} = 220,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Среднемноголетняя мутность потока $\rho = 0,12 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Решение. Определение полезного объёма водохранилища может быть произведено графоаналитическим или аналитическим (табличным) методами. В данном случае задача решена графоаналитическим методом.

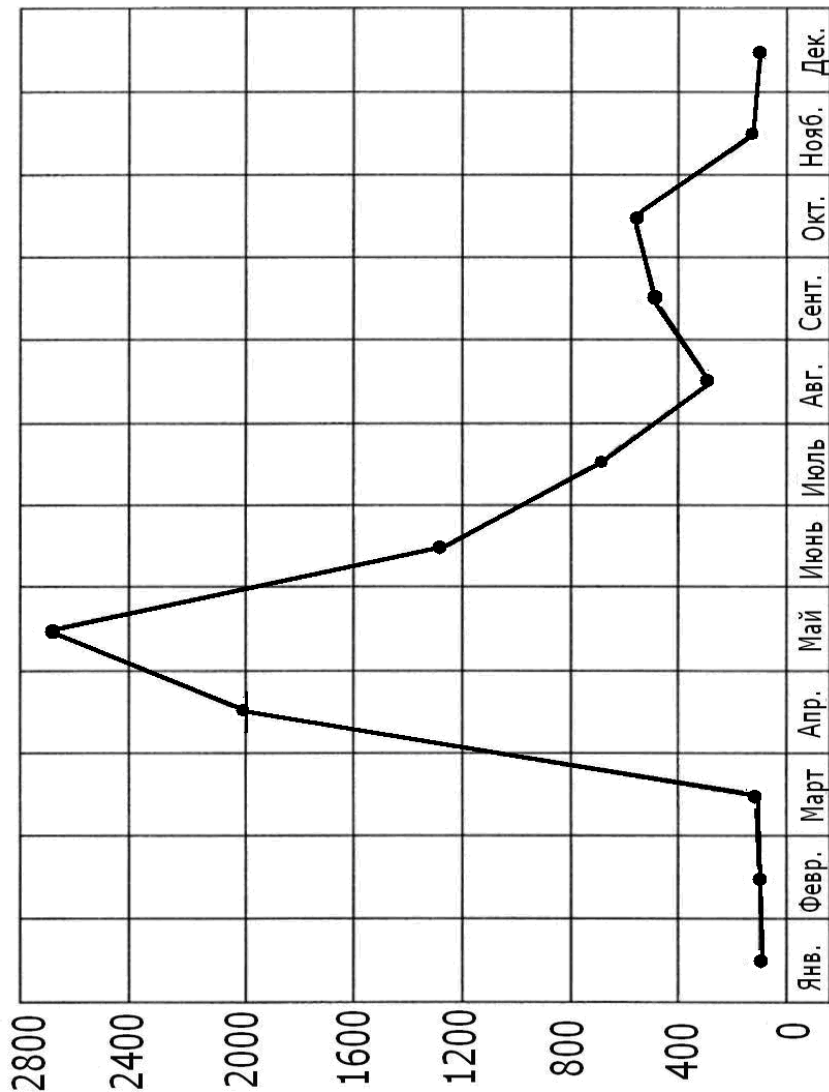


Рис. 2.1.1. Гидрограф реки Томи

Строим интегральную кривую стока, соответствующую гидрографу сухого года заданной обеспеченности (в данном случае $P = 95\%$). Интегральную кривую удобно строить не для календарного, а для водохозяйственного года, начинающегося с 1 числа месяца, в котором бывают самые ранние весенние половодья (в условиях Западной Сибири обычно с 1 апреля). По этой причине начало интегральной кривой должно совпадать с началом весеннего половодья, когда приток воды превышает потребление. Наименование такого месяца легко установить по табл. 2.1 или по гидрографу (рис. 2.1). В данном случае построение интегральной кривой начинаем с апреля.

В качестве исходных данных используем среднемесячные расходы $Q_{срi}$, приведенные в табл. 2.1 (столбец 3).

Интегральную кривую строим в прямоугольных координатах. Вычисление координат интегральной кривой производим в табличной форме (табл. 2.2).

По данным табл. 2.2 (столбцы 1, 5) строим интегральную кривую стока (рис. 2.2). При построении кривой по оси абсцисс откладываем интервалы времени (месяцы), по оси ординат – суммарный сток на последний день каждого месяца.

Затем определяем расход брутто

$$Q_{бр} = 1,2 Q_{потр} = 1,2 \cdot 220 = 264,0 \text{ м}^3/\text{с} ,$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий предполагаемые потери воды из водохранилища на испарение, фильтрацию и льдообразование.

Произвольно выбираем период времени, например, три месяца.

$$T = 3 \cdot 2,63 \cdot 10^6 = 7,89 \cdot 10^6 \text{ с} ,$$

где $2,63 \cdot 10^6$ – среднее количество секунд в одном месяце, и определяем объём стока за этот период:

$$W_{бр} = Q_{бр} \cdot T = 264,0 \cdot 7,89 \cdot 10^6 = 2,08 \cdot 10^9 \text{ м}^3 .$$

Таблица 2.2

Вычисление координат интегральной кривой стока

Месяцы	Интервал времени (число секунд в месяце) $\Delta t_i, c$	Средний расход за интервал времени Δt_i $Q_{срi}, м^3/c$	Сток за интервал времени Δt_i : $\Delta W = Q_{срi} \cdot \Delta t_i, м^3$	Суммарный сток на последний день месяца $W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_n, м^3$
1	2	3	4	5
Апрель	$2,59 \cdot 10^6$	2016,711	$5,22 \cdot 10^9$	$5,22 \cdot 10^9$
Май	$2,68 \cdot 10^6$	2746,160	$7,36 \cdot 10^9$	$12,58 \cdot 10^9$
Июнь	$2,59 \cdot 10^6$	1261,517	$3,26 \cdot 10^9$	$15,84 \cdot 10^9$
Июль	$2,68 \cdot 10^6$	729,449	$1,95 \cdot 10^9$	$17,79 \cdot 10^9$
Август	$2,68 \cdot 10^6$	283,198	$0,75 \cdot 10^9$	$18,54 \cdot 10^9$
Сентябрь	$2,59 \cdot 10^6$	471,996	$1,22 \cdot 10^9$	$19,76 \cdot 10^9$
Октябрь	$2,68 \cdot 10^6$	566,395	$1,51 \cdot 10^9$	$21,27 \cdot 10^9$
Ноябрь	$2,59 \cdot 10^6$	120,144	$0,31 \cdot 10^9$	$21,58 \cdot 10^9$
Декабрь	$2,68 \cdot 10^6$	102,981	$0,27 \cdot 10^9$	$21,85 \cdot 10^9$
Январь	$2,68 \cdot 10^6$	94,399	$0,25 \cdot 10^9$	$22,10 \cdot 10^9$
Февраль	$2,42 \cdot 10^6$	94,399	$0,22 \cdot 10^9$	$22,32 \cdot 10^9$
Март	$2,68 \cdot 10^6$	94,399	$0,25 \cdot 10^9$	$22,57 \cdot 10^9$

Строим лучевой масштаб, для чего вправо от точки M в масштабе оси абсцисс интегральной кривой откладываем отрезок MN , равный периоду времени T (в данном случае $T = 3$ месяца), и от точки N откладываем вверх в масштабе оси ординат отрезок $NN' = W_{бр}$. Соединив точки M и N' , получим луч MN' , соответствующий расходу $Q_{бр}$ (рис. 2.2).

Затем на интегральной кривой стока находим точку перегиба (A), проведя через неё касательную к интегральной кривой (AB), параллельную линии $Q_{бр}$ лучевого масштаба. Это означает, что в данной точке (A) расход реки равен расходу $Q_{бр}$. Вправо от точки A суммарная линия потребления AB проходит выше суммарной (интегральной) линии стока. Наибольшее расхождение между этими линиями по вертикали – отрезок DC в масштабе оси ординат интегральной кривой – равен полезному объёму водохранилища $W_{плз}$.

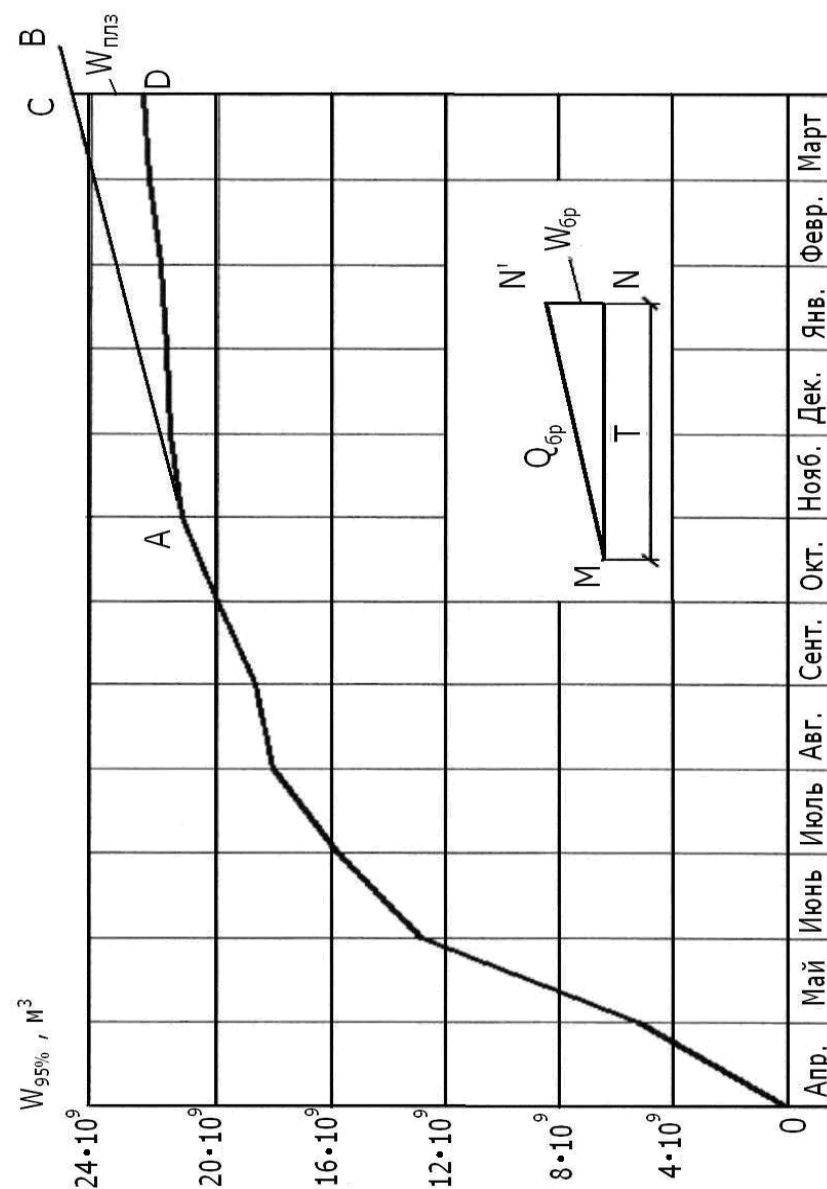


Рис. 2.2. Интегральная кривая стока и лучевой масштаб

В данном случае

$$W_{\text{плз}} = 2,23 \cdot 10^9 \text{ м}^3 \text{ (рис. 2.2).}$$

Определяем мёртвый объём водохранилища, т. е. объём, занятый наносами, выпавшими в водохранилище в осадок вследствие уменьшения скоростей потока:

$$W_{\text{мо}} = \frac{\rho W_0 T}{\gamma_{\text{н}}},$$

где $W_{\text{мо}}$ – мёртвый объём водохранилища, м^3 ;
 ρ – среднегоголетняя мутность потока, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 W_0 – среднегоголетний объём годового стока, $\text{м}^3/\text{год}$;
 T – период эксплуатации водохранилища, $T = 50 - 200$ лет;
 $\gamma_{\text{н}}$ – объёмная масса наносов, $\gamma_{\text{н}} = (1,1 - 1,2) \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

В данном случае

$$W_{\text{мо}} = \frac{0,12 \cdot 28,93 \cdot 10^9 \cdot 50}{1,1 \cdot 10^3} = 157,8 \cdot 10^6 \text{ м}^3 = 0,16 \cdot 10^9 \text{ м}^3.$$

Тогда полный объём водохранилища

$$W_{\text{полн}} = W_{\text{плз}} + W_{\text{мо}} = 2,23 \cdot 10^9 + 0,16 \cdot 10^9 = 2,39 \cdot 10^9 \text{ м}^3.$$

Уровни воды в водохранилище, соответствующие полному и мёртвому объёмам, определяются по графику связи уровней с объёмом $W=f(H)$.

Задача 3. Рассчитать обеспеченности среднегодовых модулей стока р. Белой при наличии длительных наблюдений за водотоком. Построить теоретическую и эмпирическую кривые обеспеченности. Определить объём годового стока 95 %-й обеспеченности. Площадь водосбора в расчётном створе реки составляет 48600 км^2 . Среднегодовые модули стока приведены в табл. 2.3 (столбцы 2, 3).

Решение. Для построения теоретической кривой обеспеченности необходимо сначала вычислить параметры кривой распределения: среднееарифметическое значение членов ряда $M_{\text{ср}}$, коэффициент вариации C_V и коэффициент асимметрии C_S .

Среднегоголетний модуль стока определяем по формуле

$$M_{\text{ср}} = \frac{\sum M_i}{n},$$

где M_i – члены ряда наблюдений (наблюдённые модули стока), $\text{л}/\text{с км}^2$;
 n – число членов в ряду.

В данном случае $\sum M_i = 118,6 \text{ л}/\text{с км}^2$, $n = 21$, тогда

$$M_{\text{ср}} = \frac{118,6}{21} = 5,65 \text{ л}/\text{с км}^2.$$

Располагаем модули стока в убывающем порядке (столбцы 4, 5 табл. 2.3) и вновь проверяем $\sum M_i$ и $M_{\text{ср}}$.

Для каждого года вычисляем модульные коэффициенты

$$K_i = \frac{M_i}{M_{\text{ср}}}$$

(они приведены в столбце 6 в табл. 2.3). Правильность расчётов проверяем по сумме модульных коэффициентов, которая должна равняться числу членов ряда. В данном случае $\sum K_i = 21,00$.

Коэффициент вариации C_V определяем по формуле

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

для чего предварительно вычисляем значения величин $(K_i - 1)$ и $(K_i - 1)^2$. Расчёты выполняем в табл. 2.3 (столбцы 7, 8). Проверкой правильности расчётов служит $\sum (K_i - 1)$, которая должна равняться нулю.

Таблица 2.3

Вычисление коэффициента вариации и обеспеченности среднегодовых модулей стока р. Белой ($F = 48600 \text{ км}^2$)

	Хронологический порядок		Убывающий порядок		Модульный коэффициент $K_i = M_i / M_{\text{ср}}$	$K_i - 1$	$(K_i - 1)^2$	Обеспеченность P , %
	Годы	Модуль стока M , л/с км^2	Годы	Модуль стока M , л/с км^2				
1	2	3,7	4	5	6	7	8	9
1	1950	3,7	1953	8,6	1,52	0,52	0,2704	3,3
2	1951	7,9	1951	7,9	1,40	0,40	0,1600	7,9
3	1952	6,8	1969	7,5	1,33	0,33	0,1089	12,6
4	1953	8,6	1967	7,1	1,26	0,26	0,0676	17,3
5	1954	5,5	1968	7,1	1,26	0,26	0,0676	22,0
6	1955	4,5	1952	6,8	1,20	0,20	0,0400	26,6
7	1956	5,6	1970	6,2	1,10	0,10	0,0100	31,3
8	1957	6,0	1957	6,0	1,06	0,06	0,0036	36,0
9	1958	4,7	1965	5,7	1,01	0,01	0,0001	40,6
10	1959	4,5	1956	5,6	0,99	-0,01	0,0001	45,3
11	1960	5,1	1954	5,5	0,97	-0,03	0,0009	50,0
12	1961	5,2	1961	5,2	0,92	-0,08	0,0064	54,7
13	1962	3,0	1964	5,2	0,92	-0,08	0,0064	59,3
14	1963	3,9	1960	5,1	0,90	-0,10	0,0100	64,0
15	1964	5,2	1966	4,8	0,85	-0,15	0,0225	68,7
16	1965	5,7	1958	4,7	0,83	-0,17	0,0289	73,4
17	1966	4,8	1955	4,5	0,80	-0,20	0,0400	78,0
18	1967	7,1	1959	4,5	0,80	-0,20	0,0400	82,7
19	1968	7,1	1963	3,9	0,69	-0,31	0,0961	87,4
20	1969	7,5	1950	3,7	0,66	-0,34	0,1156	92,1
21	1970	6,2	1962	3,0	0,53	-0,47	0,2209	96,7
Сумма		118,6		118,6	21,00	+2,14	1,3160	
Среднее		5,65		5,65		-2,14		
						=0,00		

В данном случае

$$\sum (K_i - 1) = +2,14 - 2,14 = 0.$$

Подставив в вышеприведенную формулу значения $\sum (K_i - 1)^2 = 1,316$ и $n = 21$, получим коэффициент вариации среднегодовых модулей стока:

$$C_v = \sqrt{\frac{1,316}{21-1}} = 0,26.$$

Коэффициент асимметрии C_S принимаем равным двум коэффициентам вариации C_V :

$$C_S = 2C_V = 2 \cdot 0,26 = 0,52.$$

Вычисляем среднеквадратичную ошибку арифметической середины ряда:

$$\sigma_{\text{Мср}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,26}{\sqrt{21}} \cdot 100\% = 5,7\%.$$

Вычисляем среднеквадратичную ошибку коэффициента вариации:

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{1 + 0,26^2}{2 \cdot 21}} \cdot 100\% = 15,9\%.$$

Так как $\sigma_{\text{Мср}} = 5,7\% < 10\%$ и $\sigma_{C_v} = 15,9\% < 20\%$, ряд наблюдённых величин считается достаточным, а данные расчётов – надёжными.

По таблице А. Фостера – С.И. Рыбкина (прил. 3) определяем отклонение ординат кривой обеспеченности $\Phi_{P\%}$ от среднего значения при $C_S = 0,52$ для обеспеченности 0,1; 1; 5; 10; 20; 30; 50; 70; 80; 90; 95; 99; 99,9%. В таблице ближайшие к 0,52 значения C_S состав-

ляют 0,50 и 0,60, поэтому искомые величины $\Phi_{P\%}$ определяем интерполяцией. Например, для обеспеченности 0,1 % при $C_S = 0,50$ $\Phi = 3,81$, а при $C_S = 0,60$ $\Phi = 3,96$, следовательно, при $C_S = 0,52$ $\Phi = 3,84$.

Затем по формуле

$$K_{P\%} = \Phi_{P\%} C_V + 1$$

вычисляем значения модульных ординат (модульных коэффициентов) $K_{P\%}$.

Зная модульные коэффициенты $K_{P\%}$ и среднегодовое значение модуля стока $M_{ср}$, по формуле

$$M_{P\%} = K_{P\%} M_{ср}$$

вычисляем ординаты кривой обеспеченности, т. е. модули стока любой обеспеченности. Все расчёты выполняем в табличной форме (табл. 2.4).

По полученным данным строим теоретическую кривую обеспеченности среднегодовых модулей стока (рис. 2.3). На рисунке она изображена сплошной линией.

Для построения эмпирической кривой обеспеченности вычисляем значения обеспеченности модулей стока для каждого года по формуле Н.Н. Чебодаева

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

где P – обеспеченность, %;

m – порядковый номер членов ряда при расположении их в убывающем порядке;

n – число членов ряда.

Таблица 2.4

Вычисление ординат теоретической кривой обеспеченности модулей стока р. Белой
($M_{ср} = 5,65$ л/с км², $C_V = 0,26$, $C_S = 0,52$, $F = 48600$ км²)

Расчётные величины	Обеспеченность P , %												
	0,1	1	5	10	20	30	50	70	80	90	95	99	99,9
$\Phi_{P\%}$	3,84	2,69	1,78	1,32	0,81	0,46	-0,08	-0,58	-0,85	-1,22	-1,48	-1,94	-2,37
$\Phi_{P\%} C_V$	1,00	0,70	0,46	0,34	0,21	0,12	-0,02	-0,15	-0,22	-0,32	-0,38	-0,50	-0,62
$K_{P\%} = \Phi_{P\%} C_V + 1$	2,00	1,70	1,46	1,34	1,21	1,12	0,98	0,85	0,78	0,68	0,62	0,50	0,38
$M_{P\%} = K_{P\%} M_{ср}$	11,30	9,60	8,25	7,57	6,84	6,33	5,54	4,80	4,41	3,84	3,50	2,82	2,15

Например, для первого члена ряда, а именно для 1953 г, $m = 1$; при общей продолжительности ряда наблюдений $n = 21$ обеспеченность P будет равна

$$P = \frac{1 - 0,3}{21 + 0,4} \cdot 100\% = 3,3\%.$$

Для второго члена ряда (1951 г) $m = 2$, тогда

$$P = \frac{2 - 0,3}{21 + 0,4} \cdot 100\% = 7,9\% \text{ и т. д.}$$

Результаты расчётов приведены в табл. 2.3 (столбец 9).

По данным столбцов 5 и 9 табл. 2.3 строим эмпирическую кривую обеспеченности среднегодовых модулей стока (рис. 2.3). На рисунке точки эмпирической кривой обозначены крестиками. Как видно, эмпирическая кривая хорошо согласуется с теоретической, поэтому параметры теоретической кривой в дальнейшей корректировке не нуждаются.

Для определения годового объёма стока 95 %-й обеспеченности с кривой обеспеченности снимаем значение модуля стока соответствующей обеспеченности, в данном случае

$$M_{95\%} = 3,50 \text{ л/с км}^2.$$

Затем определяем среднегодовой расход 95 %-й обеспеченности $Q_{95\%}$ по формуле

$$Q_{95\%} = \frac{M_{95\%} \cdot F}{1000},$$

где F – площадь водосбора в расчётном створе, $F = 48600 \text{ км}^2$.

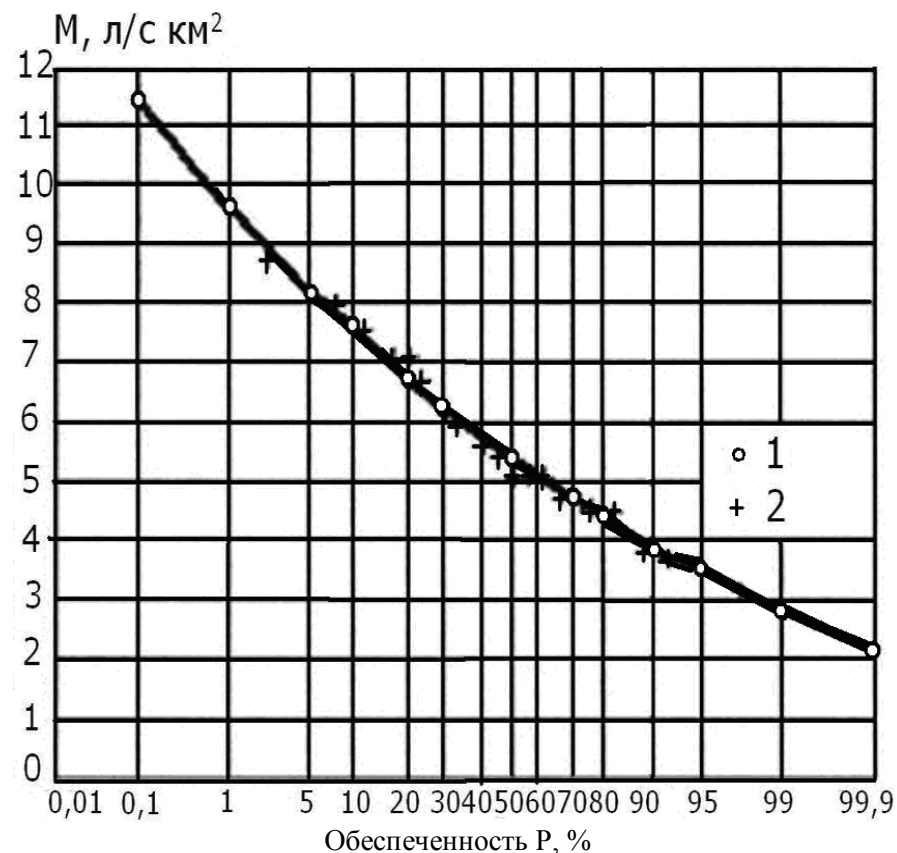


Рис. 2.3. Кривые обеспеченности среднегодовых модулей стока р.Белой: 1 — точки теоретической кривой; 2 — точки эмпирической кривой

Тогда

$$Q_{95\%} = \frac{3,50 \cdot 48600}{1000} = 170,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Годовой объём стока 95 %-й обеспеченности $W_{95\%}$ вычисляем по формуле

$$W_{95\%} = Q_{95\%} T,$$

где T – количество секунд в году, $T = 31,56 \cdot 10^6$ с.

Тогда

$$W_{95\%} = 170,1 \cdot 31,56 \cdot 10^6 = 5,368 \cdot 10^9 \text{ м}^3.$$

3. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ (ЧАСТЬ ПЕРВАЯ)

Выполняя контрольное задание по разделу «Гидрология», студент должен письменно ответить на два вопроса и решить три задачи. *Номера вариантов вопросов и задач выбираются по последней цифре шифра зачётной книжки.* Например, если шифр заканчивается цифрой 3, студент должен ответить на вопросы 3.1.3, 3.1.13 и решить задачи, вариант № 3.

3.1. Вопросы контрольного задания

- 3.1.1. Что такое водомерный пост, гидрометрическая станция?
- 3.1.2. Устройство свайного водомерного поста и способ определения уровня воды на нём.
- 3.1.3. Устройство речного водомерного поста.
- 3.1.4. Устройство передаточного водомерного поста.
- 3.1.5. Устройство автоматического водомерного поста.
- 3.1.6. Начертите примерную схему линий равных скоростей на поперечном сечении реки.

- 3.1.7. Измерение скоростей течения воды поплавками.
- 3.1.8. Устройство гидрометрической вертушки.
- 3.1.9. Определение скоростей течения потока гидрометрической вертушкой.
- 3.1.10. Как построить тарифовочную кривую вертушки?
- 3.1.11. В каких точках поперечного сечения потока измеряется скорость течения гидрометрической вертушкой?
- 3.1.12. Как определить среднюю скорость на скоростной вертикали при одноточечном, двухточечном, трёхточечном и пятиточечном измерениях?
- 3.1.13. Приборы для измерения глубины потока.
- 3.1.14. Как отмечают места измерения глубин при различной ширине реки?
- 3.1.15. Аналитический способ определения расхода водотока.
- 3.1.16. Графоаналитический способ определения расхода водотока.
- 3.1.17. Способ определения продольного уклона водотока.
- 3.1.18. Покажите график зависимости $Q=f(z)$ для водотока.
- 3.1.19. Определение расхода водотока гидравлическим способом.
- 3.1.20. Как вычислить годовой сток водотока?

3.2. Задачи контрольного задания

Задача 1. Определить расчётный объём годового стока 95 %-й обеспеченности $W_{95\%}$ водотока и построить гидрограф, соответствующий этому стоку, при отсутствии наблюдений за водотоком. Исходные данные приведены в табл. 3.1.

Задача 2. Определить полезный и полный объёмы водохранилища годичного регулирования при заданном водопотреблении. Расчётный сток взять из задачи 1. Исходные данные приведены в табл. 3.1.

Задача 3. Построить теоретическую и эмпирическую кривые обеспеченности среднегодовых модулей стока при наличии длительных наблюдений за водотоком. Определить объём годового стока 95 %-й обеспеченности $W_{95\%}$. Исходные данные приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Исходные данные для решения задач 1, 2

№ варианта	Наименование водотока и местоположение створа (реки бассейна Карского моря)	Координаты центра бассейна, °		Площадь бассейна F , км ²	Водопотребление $Q_{\text{потр}}$, м ³ /с	Мутность потока ρ , кг/м ³
		Широта	Долгота			
1	р. Уреул (с. Онкудай)	51	86	3260	14,5	0,15
2	р. Чарыш (с. Усть-Кумир)	51	84	3470	19,0	0,19
3	р. Иня (д.Кайлы)	55	84	15700	12,0	0,19
4	р. Алей (с. Забазино)	52	83	20800	9,4	0,26
5	р. Бердь (г. Искитим)	54	83	6970	3,0	0,31
6	р. Барнаулка (г. Барнаул)	53	83	3310	2,0	0,11
7	р. Томь (улус Сыркаш)	53	88	5970	29,0	0,09
8	р. Песчаная (с. Точильня)	52	85	4720	6,9	0,18
9	р. Кондома (с. Кузедеево)	53	87	6940	17,5	0,15
0	р. Чулым (с. Балахта)	55	91	14500	10,0	0,12

Таблица 3.2

Исходные данные для решения задачи 3 (наименование водотока, местоположение створа, водосборная площадь F , км²)

Годы	Номер варианта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
	р. Тым-с. Напас, $F=24500$ км ²	р. Кеть-пос. Максимкин Яр, $F=38400$ км ²	р. Яя-р.п. Яя, $F=3460$ км ²	р. Кля-г. Маринск, $F=9820$ км ²	р. Чулым-пос. Коммунарка, $F=131000$ км ²	р. Кондома-с. Аил, $F=7080$ км ²	р. Уса-г. Междуреченск, $F=3320$ км ²	р. Томь-г. Томск, $F=57800$ км ²	р. Иня-д. Кайлы, $F=15700$ км ²	р. Обь-г. Колпашево, $F=486000$ км ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Среднегодовые модули стока M , л/с км ²											
1935			10,9					23,5		8,35	
1936			11,0	11,1		19,1		20,6		9,46	
1937	6,24	6,56	13,5	15,2		23,9	47,3	23,2		10,2	
1938	5,43	5,99	12,2	14,9	7,27	26,4	55,7	24,0		11,0	
1939	6,94	6,12	11,4	11,5	5,73	15,5	38,3	16,7		8,6	
1940	6,73	4,27	10,4	12,8	4,96	14,3	37,7	15,3		7,3	
1941	7,88	7,86	14,3	23,6	8,24	26,0	58,4	26,3		11,6	
1942	6,86	5,16	10,7	14,7	5,44	22,0	48,8	19,2	2,75	9,32	
1943	9,18	4,48	7,89	9,38	4,14	12,4	36,1	14,1	1,94	7,22	

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1944	10,1	4,87	5,14	12,2	4,27	14,1	39,5	14,2	1,69	7,86
1945	7,39	4,82	4,88	10,1	3,52	12,2	37,3	11,8	1,89	6,30
1946	8,82	6,12	13,2	23,2	6,87	20,6	70,2	20,4	3,47	10,7
1947	9,47	7,29	10,3	16,8	7,27	18,9	50,0	15,5	4,41	9,94
1948	8,61	7,32	11,8	22,5	7,53	19,2	51,2	19,2	3,95	10,2
1949	8,45	8,12	11,6	19,6	7,48	17,4	47,6	19,0	3,95	9,53
1950	7,1	5,96	11,1	14,4	6,69	19,2	39,5	20,1	3,26	8,85
1951	6,9	6,85	9,6	11,9	5,82	14,3	31,9	13,2	2,87	7,41
1952	5,51	5,31	7,86	13,4	4,78	18,6	42,8	16,7	2,10	7,82
1953	6,08	5,05	9,62	14,2	5,62	13,9	38,6	16,5	2,70	7,80
1954	5,76	5,57	10,8	16,1	6,41	21,6	47,0	20,1	2,31	9,26
1955	5,59	5,02	7,54	11,0	5,11	14,1	36,7	14,8	2,78	7,57
1956	6,78	5,98	10,3	15,6	6,27	16,7	41,0	17,6	2,48	8,64
1957	7,06	6,35	9,94	12,9	6,18	18,4	32,8	14,2	2,80	8,75
1958	7,35	6,81	9,05	16,3	5,49	22,3	52,1	17,5	3,24	10,7
1959	9,47	8,26	10,8	16,8	7,00	15,5	50,0	17,8	2,78	8,95
1960	9,06	10,2	12,9	19,0	7,44	19,1	44,9	18,5	3,70	10,3
1961	7,35	7,68	7,57	15,6	6,44	23,9	44,6	20,8	3,35	9,63
1962	6,98	7,79	7,28	13,6	5,66	14,8	46,4	16,7	2,52	7,47

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

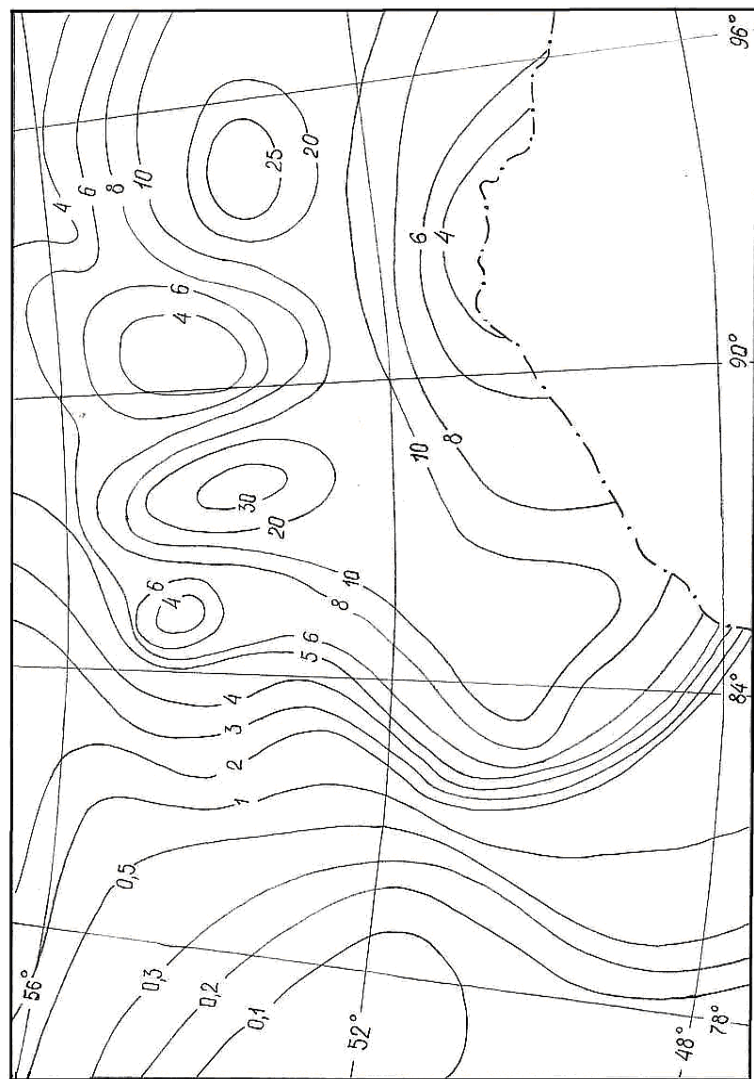
Основная литература

1. Михайлов, В.Н. Гидрология / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – М.: Высшая школа, 2007. – 464 с.
2. Михайлов, В.Н. Гидрология / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – М.: Высшая школа, 2008. – 463 с.

Дополнительная литература

3. Железняков, Г.В. Гидрология и гидрометрия / Г.В. Железняков. – М.: Высшая школа, 1981. – 264 с.
4. Железняков, Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1984. – 432 с.
5. Константинов, Н.М. Гидрология и гидрометрия / Н.М. Константинов. – М.: Высшая школа, 1980. – 199 с.
6. Константинов, Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. Часть 2 / Н.М. Константинов, Н.А. Петров, Л.И. Высоцкий. – М.: Высшая школа, 1987.– 432 с.

Карта изолиний среднемноголетних модулей стока, л/с км²



Осреднённые данные о внутригодовом распределении стока рек бассейна Карского моря

Месяцы	Коэффициент K_i
Январь	0,011
Февраль	0,011
Март	0,011
Апрель	0,235
Май	0,320
Июнь	0,147
Июль	0,085
Август	0,033
Сентябрь	0,055
Октябрь	0,066
Ноябрь	0,014
Декабрь	0,012

**Отклонение ординат биномиальной кривой обеспеченности от среднего значения
при $X_{ср} = 1$ и $C_V = 1$ (по А. Фостеру – С.И. Рыбкину)**

Коэффициент асимметрии C_S	Обеспеченность P , %														
	0,1	1	5	10	20	30	50	70	75	80	90	95	99	99,9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0,0	3,09	2,33	1,64	1,28	0,84	0,52	0,00	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-2,33	-3,09	
0,1	3,23	2,40	1,67	1,29	0,84	0,51	-0,02	-0,53	-0,68	-0,85	-1,27	-1,61	-2,25	-2,95	
0,2	3,33	2,47	1,70	1,30	0,83	0,50	-0,03	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-2,18	-2,81	
0,3	3,52	2,54	1,72	1,31	0,82	0,48	-0,05	-0,56	-0,70	-0,85	-1,24	-1,55	-2,10	-2,67	
0,4	3,66	2,61	1,75	1,32	0,82	0,47	-0,07	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-2,03	-2,54	
0,5	3,81	2,68	1,77	1,33	0,81	0,46	-0,08	-0,58	-0,71	-0,84	-1,22	-1,49	-1,96	-2,40	
0,6	3,96	2,75	1,80	1,33	0,80	0,44	-0,10	-0,59	-0,72	-0,85	-1,20	-1,45	-1,88	-2,27	
0,7	4,10	2,82	1,82	1,34	0,79	0,43	-0,12	-0,60	-0,72	-0,85	-1,18	-1,42	-1,81	-2,14	
0,8	4,24	2,89	1,84	1,34	0,78	0,41	-0,13	-0,60	-0,73	-0,85	-1,17	-1,38	-1,74	-2,02	
0,9	4,38	2,96	1,86	1,34	0,77	0,40	-0,15	-0,61	-0,73	-0,84	-1,15	-1,35	-1,68	-1,90	
1,0	4,53	3,02	1,88	1,34	0,76	0,38	-0,16	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,59	-1,79	
1,1	4,67	3,09	1,89	1,34	0,74	0,36	-0,18	-0,62	-0,74	-0,85	-1,10	-1,28	-1,52	-1,68	
1,2	4,81	3,15	1,91	1,34	0,73	0,35	-0,19	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,45	-1,58	

Окончание прил. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1,3	4,95	3,21	1,92	1,34	0,72	0,33	-0,21	-0,63	-0,74	-0,84	-1,06	-1,20	-1,38	-1,48
1,4	5,09	3,27	1,94	1,34	0,71	0,31	-0,22	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,32	-1,39
1,5	5,23	3,33	1,95	1,33	0,69	0,30	-0,24	-0,64	-0,73	-0,82	-1,02	-1,13	-1,26	-1,31
1,6	5,37	3,39	1,96	1,33	0,98	0,28	-0,25	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,10	-1,20	-1,24
1,7	5,50	3,44	1,97	1,32	0,66	0,26	-0,27	-0,64	-0,72	-0,81	-0,97	-1,06	-1,14	-1,17
1,8	5,64	3,50	1,98	1,32	0,64	0,24	-0,28	-0,64	-0,72	-0,80	-0,94	-1,02	-1,09	-1,11
1,9	5,77	3,55	1,99	1,31	0,63	0,22	-0,29	-0,64	-0,72	-0,79	-0,92	-0,98	-1,04	-1,05
2,0	5,91	3,60	2,00	1,30	0,61	0,20	-0,31	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,99	-1,00

