

Гидрологические расчеты часть I

Лекция №1

*Для студентов III курса
гидрологического факультета
РГГМУ*

© к.г.н., доц. Сикан Александр Владимирович



Основная задача гидрологических расчетов – получить количественные характеристики, описывающие гидрологические явления и процессы в ближайшем и отдаленном будущем на основе анализа состояния водных объектов в прошлом и настоящем.



Датой рождения инженерной гидрологии принято считать 1674 год, когда француз Пьер Перро измерил водный баланс реки Сены и доказал, что количество осадков выпавших на поверхность ее бассейна превышает объем стока. Таким образом, инженерной гидрологии в этом году исполняется 343 года.



Основные разделы курса «Гидрологические расчеты»

I часть (VI семестр)

- ✓ Расчет среднегодовых расходов воды.
- ✓ Расчет внутригодового распределения стока.
- ✓ Расчет минимального стока.

II часть (VII семестр)

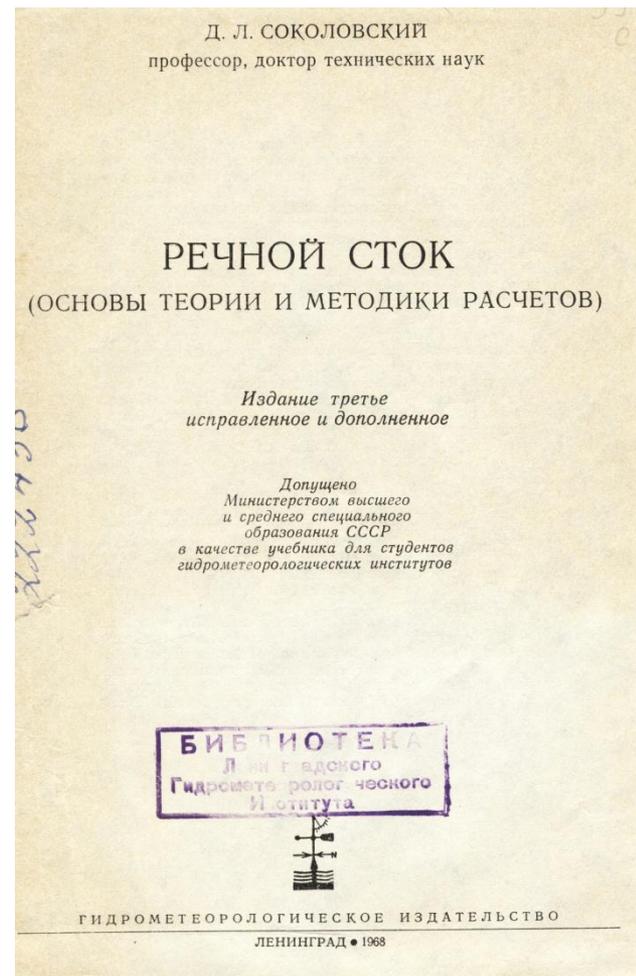
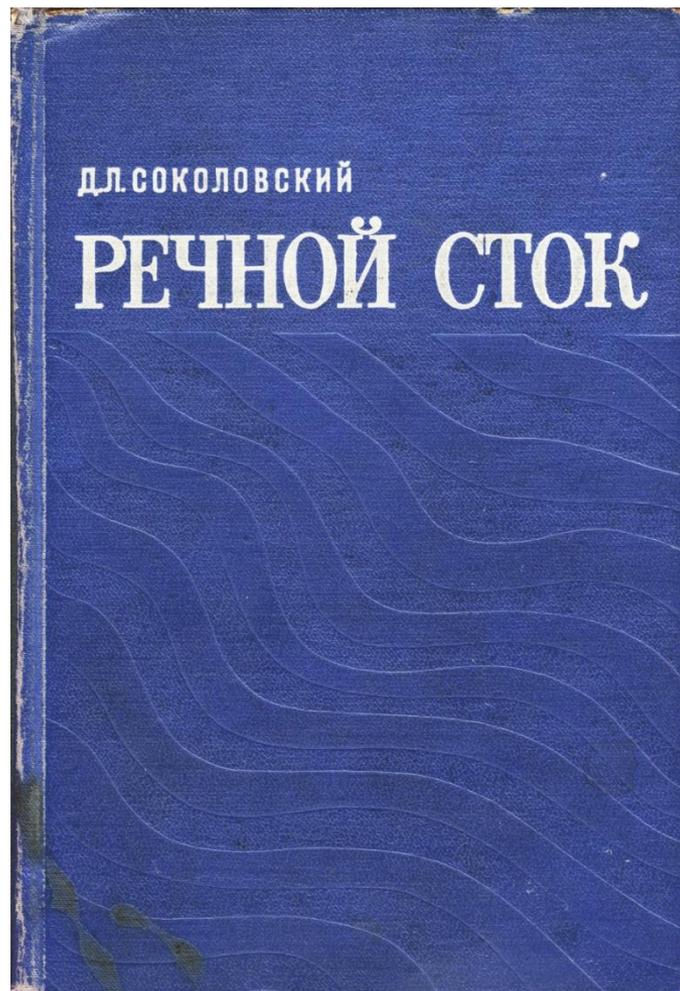
- ✓ Расчет максимальных расходов весеннего половодья.
- ✓ Расчет максимальных расходов дождевых паводков.
- ✓ Расчет максимальных уровней рек и озер.
- ✓ Расчет гидрографов половодий и паводков.
- ✓ Расчет твердого стока.



Краткий обзор учебной и учебно-методической литературы по гидрологическим расчетам

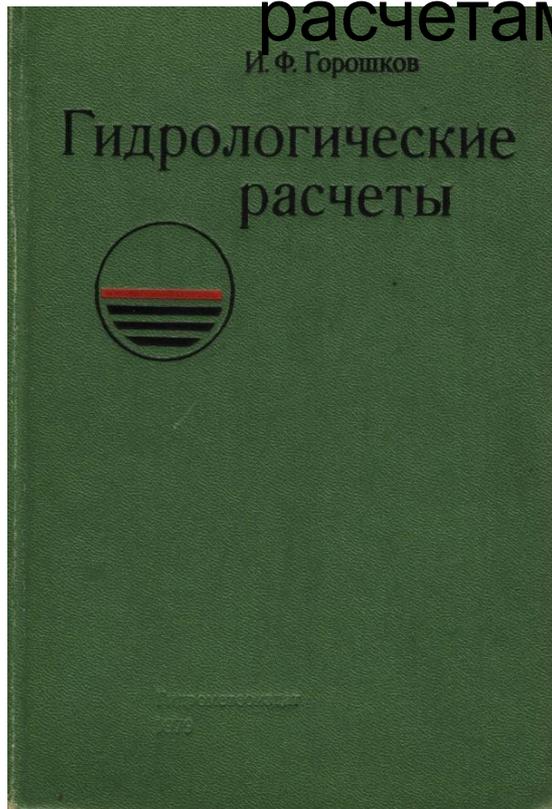


Даниил Львович
Соколовский –
д. т. н., проф.,
заслуженный деятель
науки и техники, лауреат
Государственной премии,
В период с 1945 по 1972 г.
- зав. Кафедрой
инженерной гидрологии

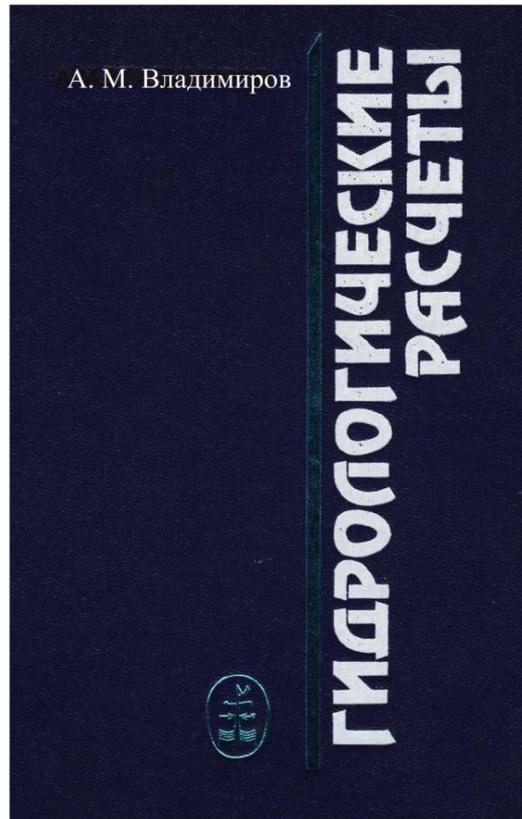


Первая вышедшая в СССР книга, где систематически изложены принципиальные основы и практические методы расчета основных характеристик речного стока. Третье издание 1968 г. Первые два вышли в 1952 и 1959 гг.

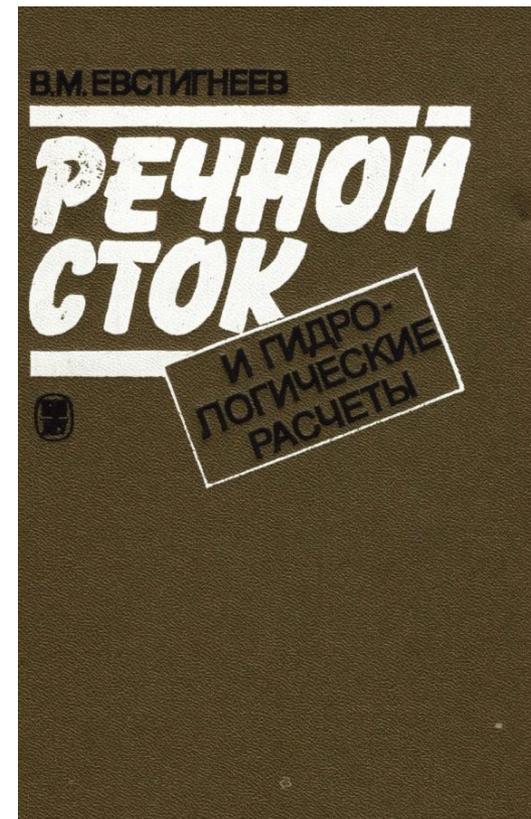
Учебники по гидрологическим расчетам



Горошков И.Ф.
**Гидрологические
расчеты.**
Л.: Гидрометеиздат,
1979. – 431 с.



Владимиров А.М.
**Гидрологические
расчёты. Л.:**
Гидрометеиздат,
1990. – 364с.



Евстигнеев В. М.
**Речной сток и
гидрологические
расчеты.**
М.: Изд-во МГУ,
1990. — 304 с.



В.М.Евстигнеев, Д.В.Магрицкий

РЕЧНОЙ СТОК

Методические основы
современной практики
гидрологических расчетов

Издательство Триумф

Излагаются закономерности формирования речного стока, его колебаний во времени и территориального распределения.

Рассматривается комплекс методик расчета характеристик водного режима рек, используемых в практике гидротехнического и водохозяйственного проектирования.

В. М. Евстигнеев, Д. В. Магрицкий
Речной сток.

Методические основы современной
практики гидрологических расчетов

2016. – 224 с.

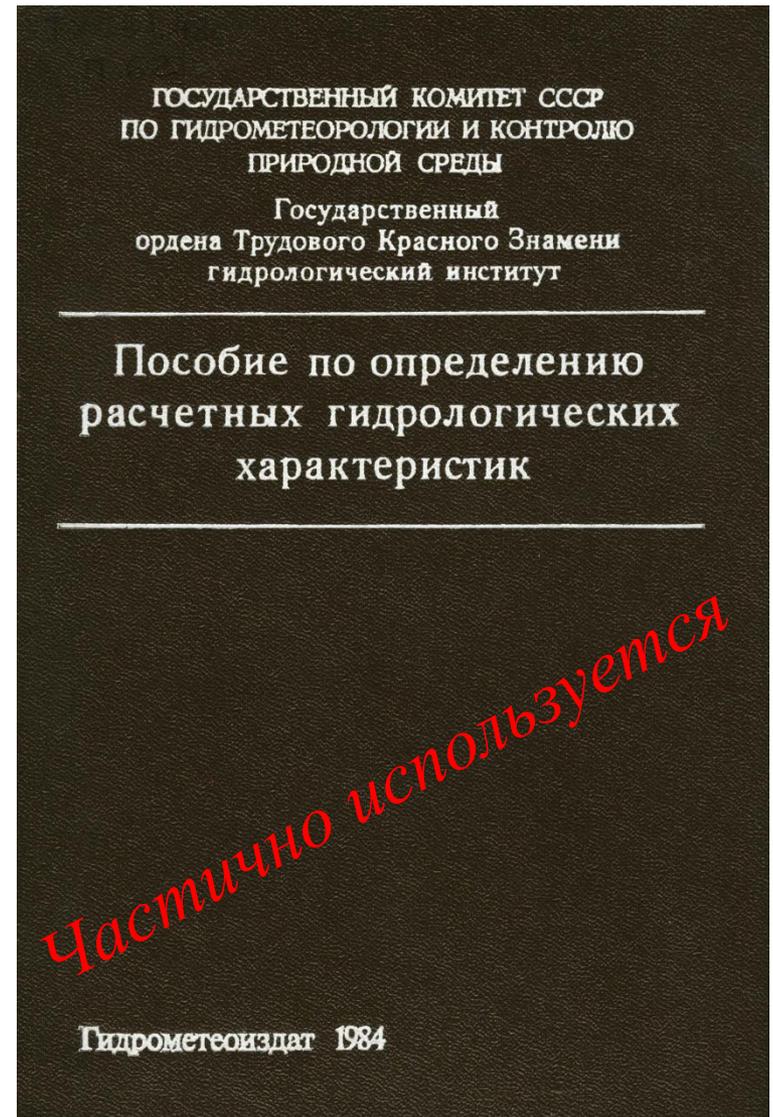
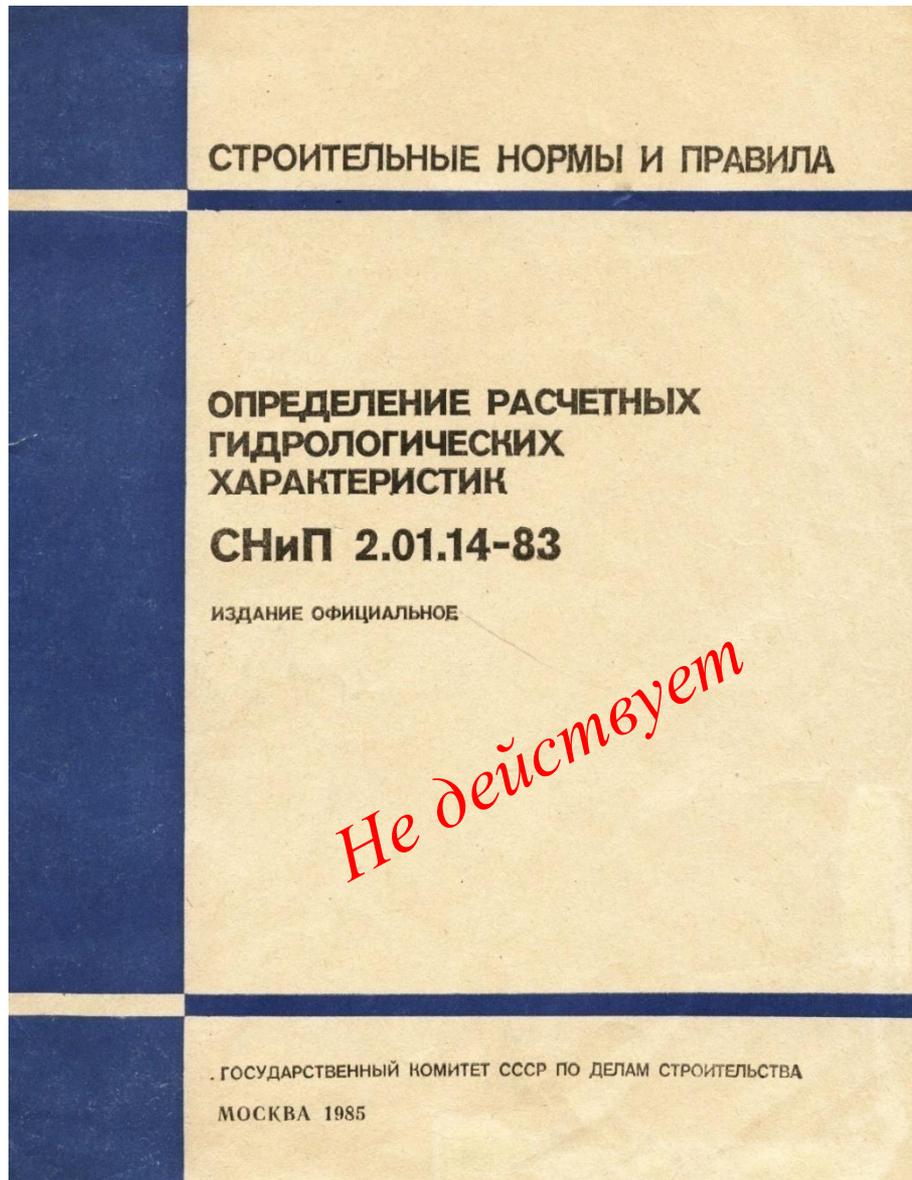
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ
РАСЧЕТНЫХ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

СП 33-101-2003

Одобен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

Взамен СНиП 2.01.14-83

Система нормативных документов СНиП 2.01.14-83

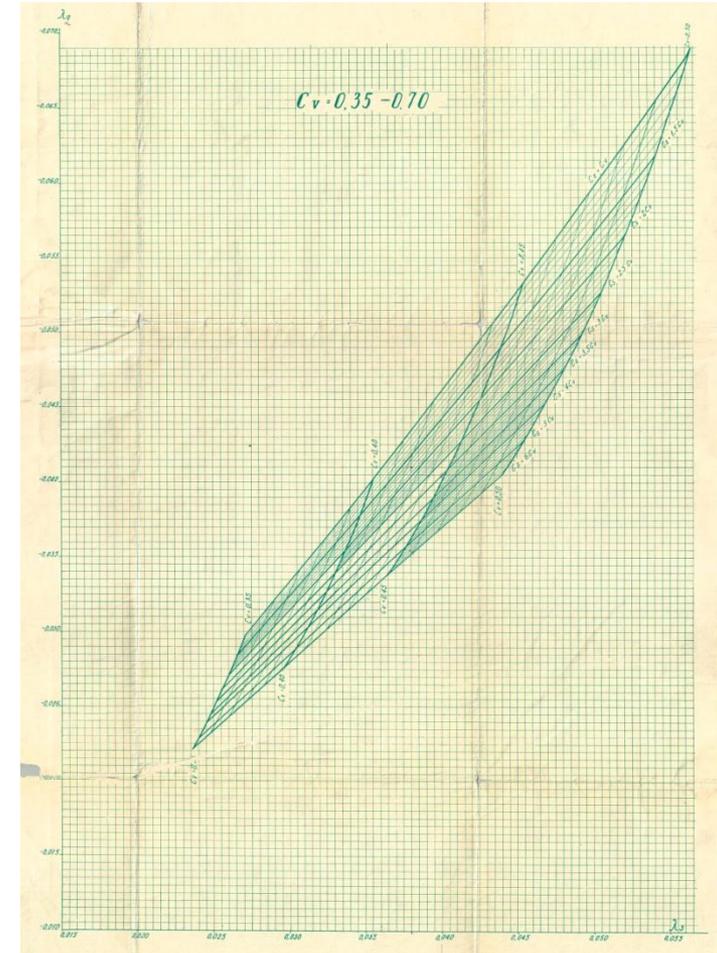


ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АТЛАС РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ И НОМОГРАММ

(Приложение 1 к „Пособию по определению расчетных
гидрологических характеристик“)

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД 1986



Система нормативных документов в строительстве
СВОД ПРАВИЛ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

СП 33-101-2003

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ
(ГОССТРОЙ РОССИИ)

Москва
2004

Федеральная служба России по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по определению расчетных гидрологических
характеристик при наличии данных
гидрометрических наблюдений**

Нижний Новгород
2007

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-Тис. 2007. – 134 с.

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по определению расчетных
гидрологических характеристик при
недостаточности данных
гидрометрических наблюдений**

Санкт-Петербург
2007г.

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – СПб, 2007. – 67 с. (Ротапринт ГНЦ РФ АНИИ)

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по определению расчетных гидрологических
характеристик при отсутствии данных
гидрометрических наблюдений**

Санкт-Петербург
Нестор-История
2009

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб, изд. «Нестор-История», 2009. – 193 с.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по оценке однородности гидрологических
характеристик и определению их расчетных
значений по неоднородным данным**

Санкт-Петербург
Нестор-История
2010



Всемирная
Метеорологическая
Организация

ВМО-№ 168

**Руководство
по гидрологической практике**

Том II

Управление водными ресурсами и практика
применения гидрологических методов

Погода • Климат • Вода

Учебники и учебные пособия

1. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
2. *Владимиров А.М., Дружинин В.С.* Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 208 с.
3. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.–279 с.
4. *Сикан А.В., Малышева Н.Г., Винокуров И.О.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. *Лабораторный практикум.* – СПб.: изд. РГГМУ, 2014.– 76 с.

Интернет-ресурсы

Руководство по гидрологической практике (ВМО-№ 168)

http://www.whycos.org/hwrp/guide/index_ru.php

Издания ГГИ

<http://www.hydrology.ru/izdaniya-ggi-0>



Выдержки из СП 33-101-2003

4.1 Свод правил (СП) содержит основные методы и схемы расчета...

При применении других методов расчетов следует провести анализ, включающий сравнительную оценку погрешностей расчетов с результатами расчетов по методам, изложенным в настоящем СП.

4.3 Определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в официальных документах Росгидромета, *и неопубликованных данных последних лет наблюдений...*

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений в пункте проектирования *необходимо проводить гидрометеорологические изыскания.*

4.2 Региональные особенности гидрологического режима и соответствующие методы определения расчетных характеристик учитываются и регламентируются *территориальными строительными нормами (ТСН)*, имеющими статус нормативного документа субъекта Российской Федерации.

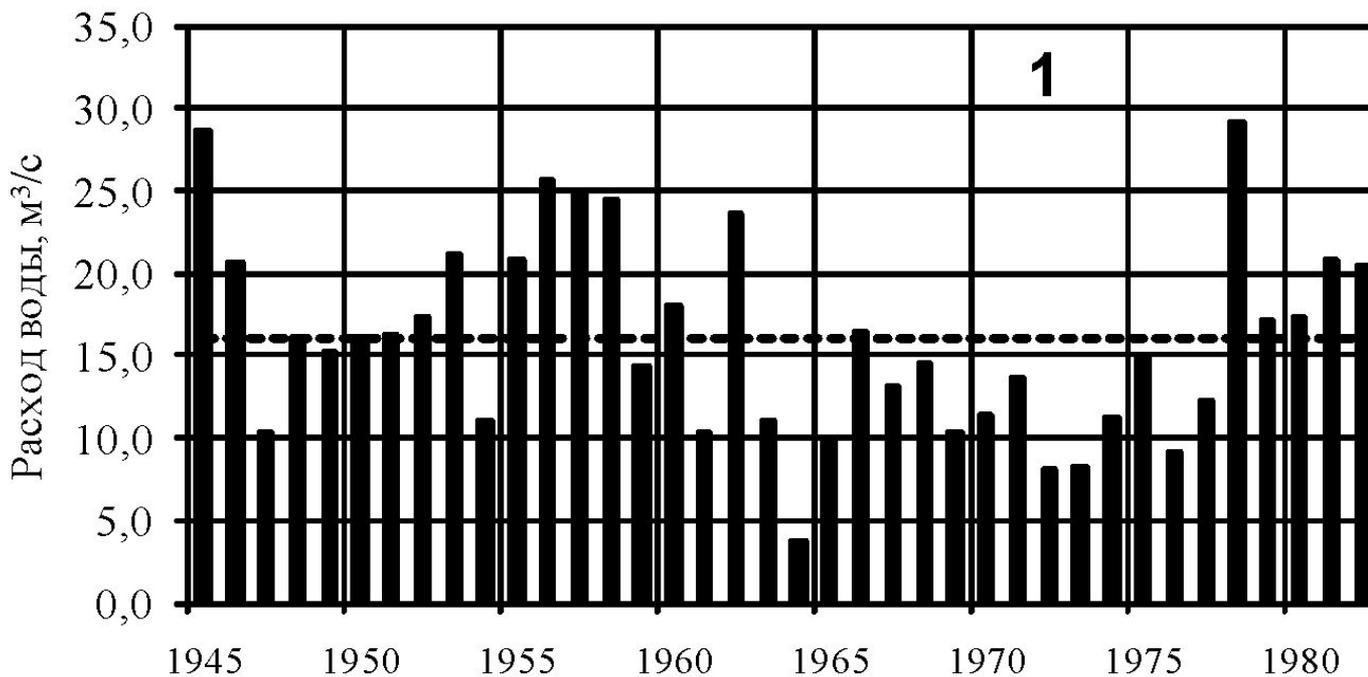
1. Норма годового стока

Нормой годового стока называется среднее его значение за многолетний период, включающий несколько полных (не менее двух) циклов колебаний водности реки при неизменных физико-географических и климатических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки.

Говоря другими словами, если условия формирования стока на водосборе остаются неизменными, то под нормой стока понимается среднее значение стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное значение практически не меняется, т. е. находится в пределах допустимой погрешности.

Значение нормы годового стока может быть выражено в виде любой из четырех характеристик, представленных в таблице

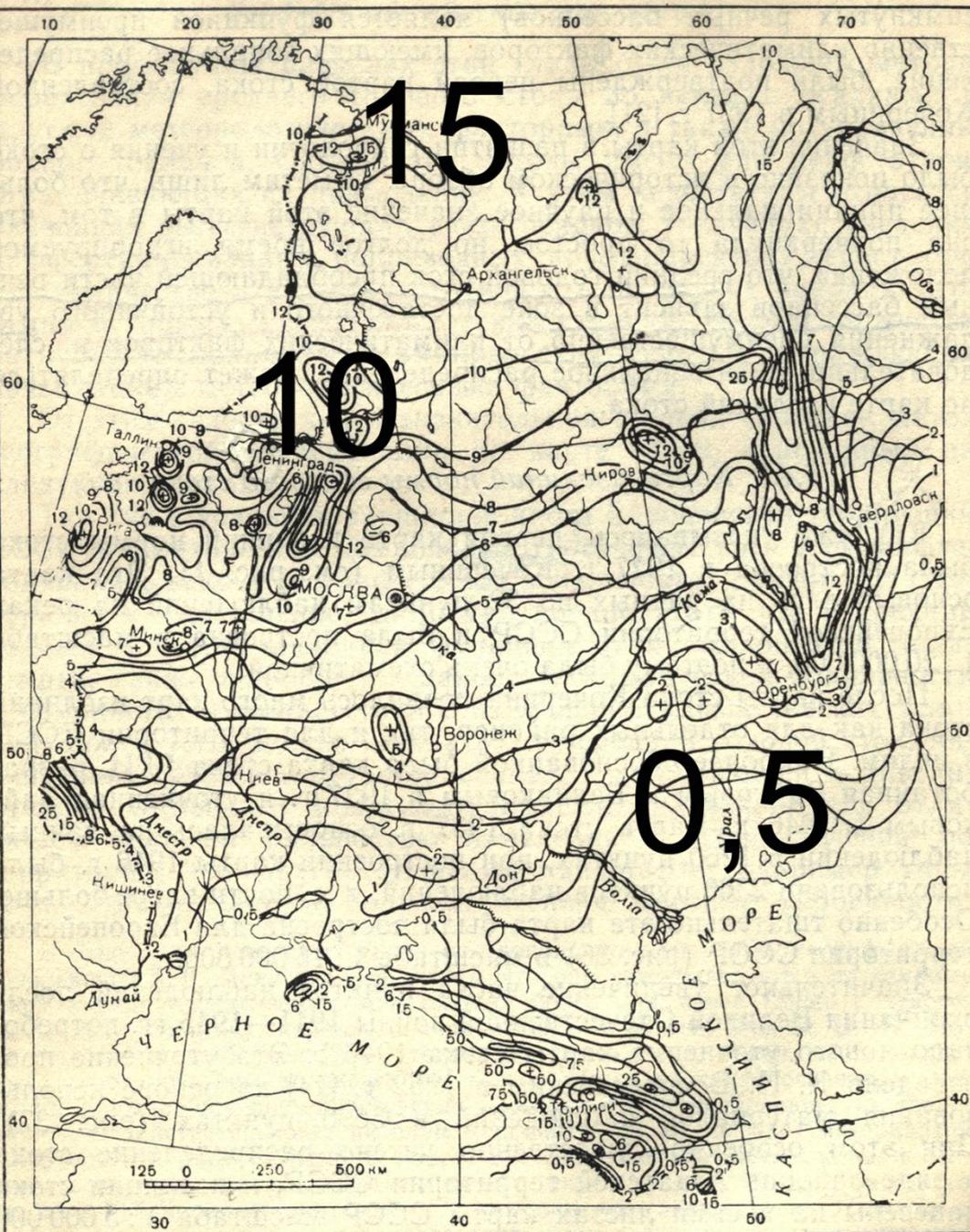
Характеристика стока	Обозначение	Размерность	Расчетная формула
Средний многолетний расход воды	\bar{Q}	м ³ /с	$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i / n$
Средний многолетний модуль стока	\bar{q}	л/с км ²	$\bar{q} = (\bar{Q}/F)10^3$
Средний многолетний объем годового стока	\bar{W}	км ³	$\bar{W} = 31,5 \bar{Q} 10^{-3}$
Средний многолетний слой годового стока	\bar{h}	мм	$\bar{h} = 31,5(\bar{Q}/F)10^3$



Хронологические графики среднегодовых расходов воды;
р. Утроя – д. Большая Губа

Норма годового стока является основной и устойчивой характеристикой, определяющей общую водоносность рек и потенциальные водные ресурсы данного бассейна или района.

Она служит своего рода гидрологическим **«эталонном»** или **«репером»**, от которого исходят при определении других характеристик стока.



Норма стока увеличивается с увеличением общей увлажненности территории.

Как следствие: норма стока подчиняется широтной и высотной зональности.

Наблюдается увеличение нормы стока по направлению с юга на север (на европейской территории), а в горных районах - с увеличением высоты местности.

Карта изолиний нормы годового стока, л/с км²



Александр Иванович Воейков (1842-1916)

вошел в историю отечественной и мировой науки как создатель крупных сочинений по климатологии и физической географии.

Воейков дал классификацию рек в зависимости от характера их водного питания.

Воейков говорил: «При прочих равных условиях страна будет тем богаче текучими водами, чем обильнее осадки и чем менее испарение как с поверхности почвы и вод, так и растений. **Таким образом, реки суть продукт климата их бассейнов**».

1.1 Расчет нормы годового стока при наличии длинного ряда гидрометрических наблюдений

Средний многолетний расход воды определяется по формуле:

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

где Q_i – среднегодовые расходы воды; n – длина ряда.

Относительная погрешность среднего многолетнего расхода воды определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\% \quad (2)$$

где C_v – коэффициент вариации; r – районный коэффициент автокорреляции:

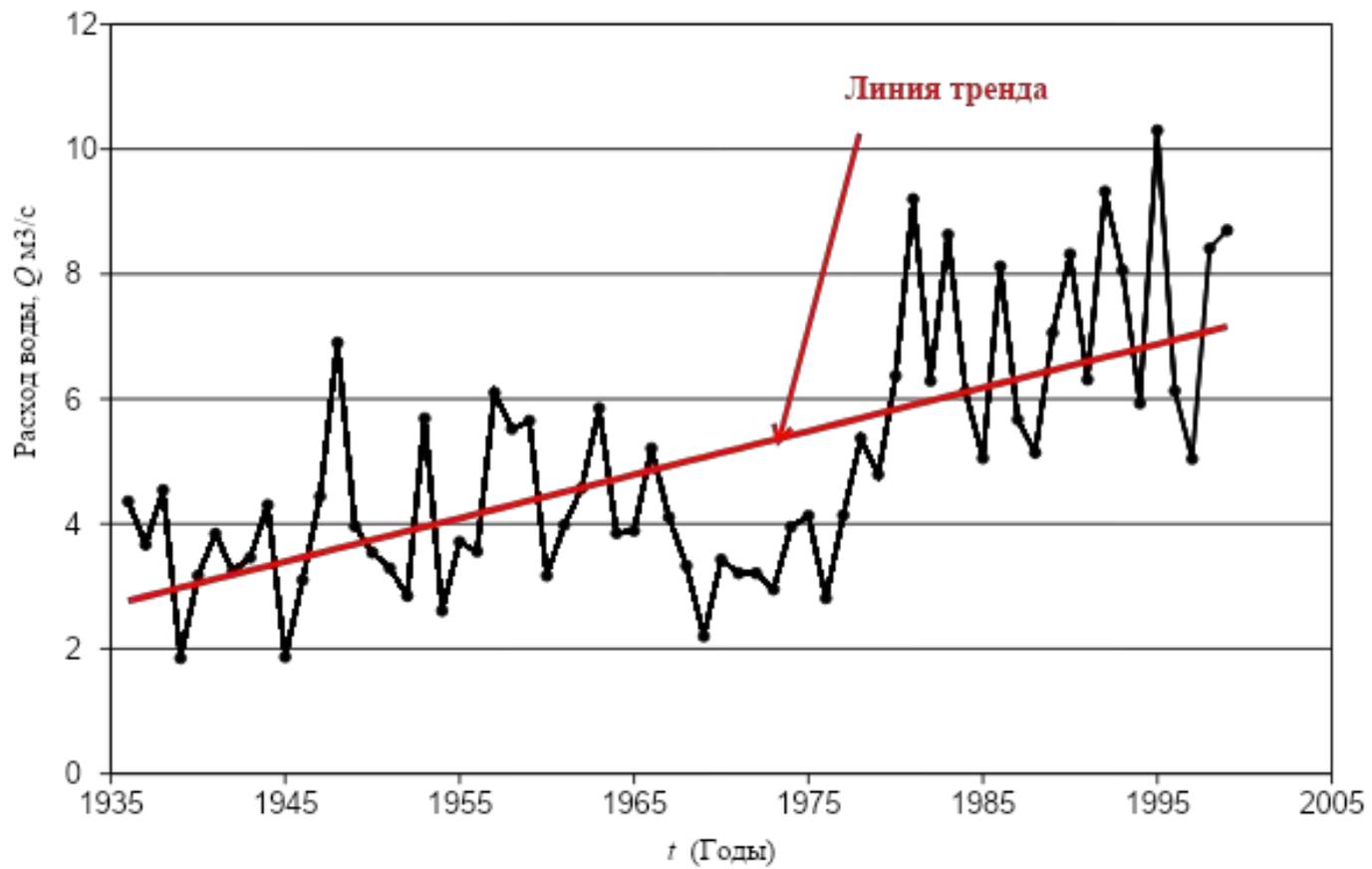
$$r = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} (Q_i - \bar{Q})(Q_{i+1} - \bar{Q})}{(n-2)D_Q} \quad (3)$$

В соответствии с СП 33-101-2003:

допустимая погрешность среднего многолетнего расхода воды 10%

Коэффициенты автокорреляции для различных районов СССР

Район	r
Кольский п-ов, Карелия	0,24
Северо-запад и Северный край Европейской территории России	0,21
Прибалтика	0,20
Белоруссия, Верхнее Поднепровье, Верхневолжский район, Средний Урал (бассейн р. Камы) и Приуралье, Нижнее Поволжье и Западный Казахстан	0,23
Украина, Молдавия, Донской район, Северный Кавказ	0,22
Закавказье и Дагестан	0,17
Средний Урал и Приуралье (бассейн р. Тобола), Западная Сибирь и Северный Казахстан	0,31
Урало-Эмбинский район, Актюбинская, Кустанайская области, Центральный и Южный Казахстан, Средняя Азия	0,24
Ангаро-Енисейский, Лено-Индигирский районы, Северо-восток СССР, Дальний Восток, п-ов Камчатка	0,14
<i>* Источник: табл.5а Приложения 2 в Пособии 1984</i>	



Оценка значимости линейного тренда для зависимости $Q = at + b$

1-й вариант

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Тренд незначим если } |R| < t_{2\alpha} \sigma_R \quad (1) \\ \text{где } \sigma_R = (1 - R^2) / \sqrt{n - 1} \quad (2) \end{array} \right.$$

2-й вариант

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Тренд незначим если } |a| < t_{2\alpha} \sigma_a \quad (3) \\ \text{где } \sigma_a = \frac{\sigma_Q^*}{\sigma_t^*} \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - 2}} \quad (4) \end{array} \right.$$

1.2.1. Расчет нормы годового стока при наличии короткого ряда гидрометрических наблюдений продолжительностью 6 и более лет

Ряд считается коротким, если погрешность среднего значения и коэффициента вариации больше допустимого значения.

При расчетах годового стока допустимая

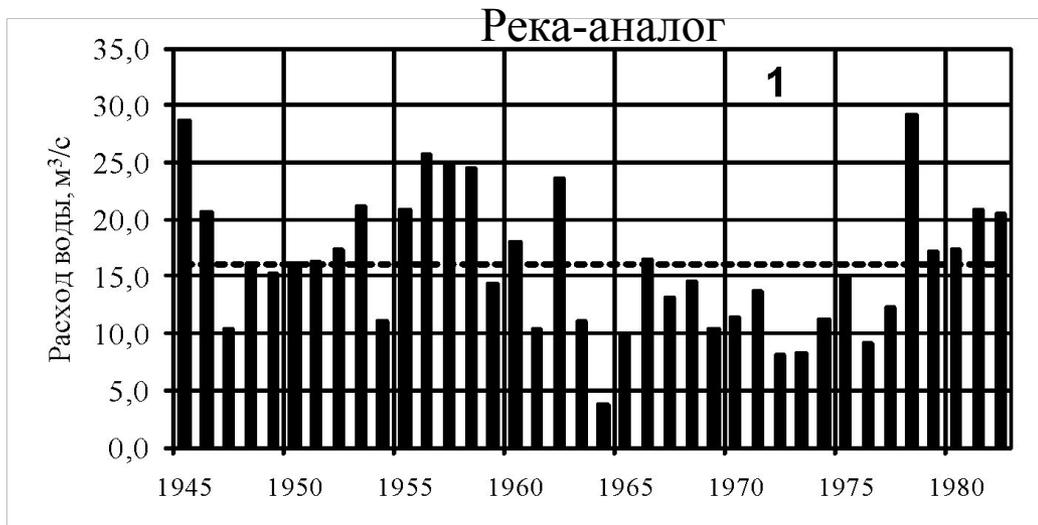
погрешность 10%.

В этом случае для расчета нормы годового стока применяется *метод гидрологической аналогии.*

При выборе рек-аналогов необходимо учитывать следующие условия:

- ❖ географическую близость расположения водосборов;
- ❖ сходство климатических условий;
- ❖ однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий;
- ❖ сходство гидрографических характеристик;
- ❖ средние высоты водосборов не должны существенно отличаться;
- ❖ отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и др.).

Для проверки **синхронности** колебаний стока на расчетной реке и реке-аналоге строятся совмещенные хронологические графики



В рядах годового стока рек, как правило, наблюдается чередование групп маловодных и многоводных лет, что приводит к образованию так называемых **«циклов водности»**.

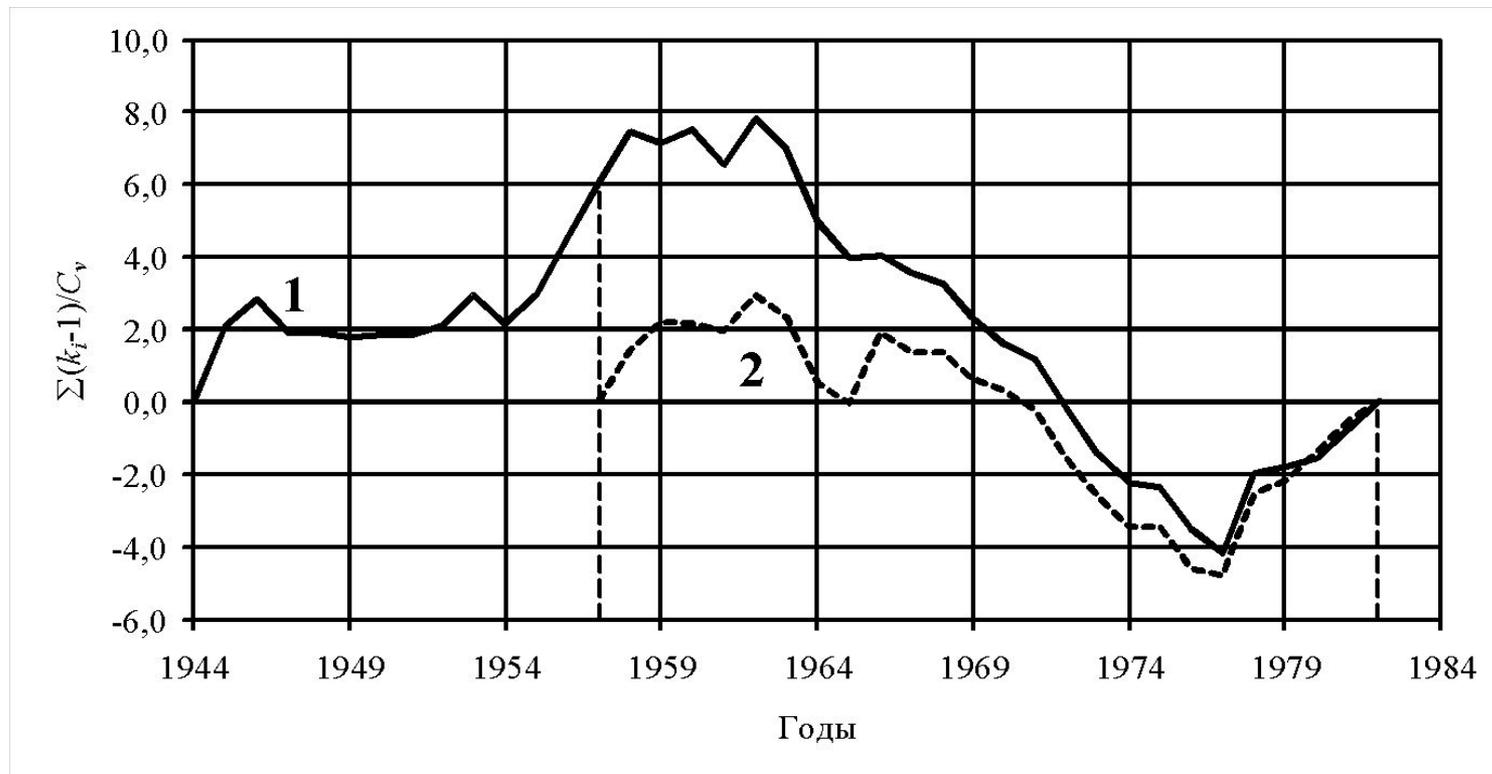
Один цикл водности включает в себя маловодную и многоводную фазы.

Наиболее наглядное представление о циклах колебаний годового стока дает разностная интегральная кривая, которая представляет собой график зависимости

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (k_i - 1)}{C_v} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_i - \bar{Q})}{\sigma_Q} = f(t)$$

Расчет координат разностной интегральной кривой

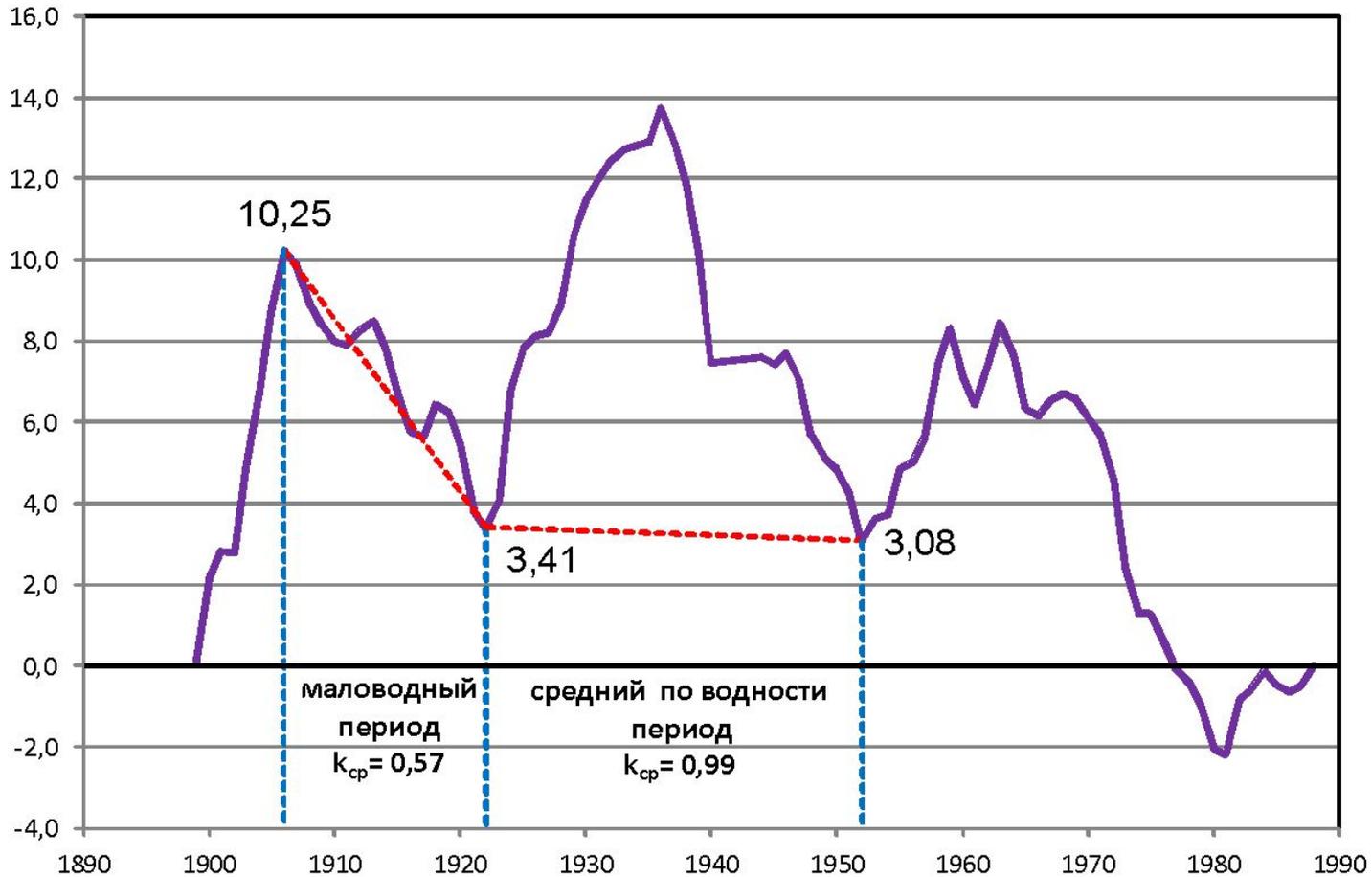
№ п/п	Год	Среднегодовые расходы воды, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	$k_i = \frac{Q_i}{Q}$	$k_i - 1$	$\sum (k_i - 1)$	$\frac{\sum (k_i - 1)}{C_v}$
	1944				0,000	0,00
1	1945	28,6	1,786	0,786	0,786	2,09
2	1946	20,6	1,286	0,286	1,072	2,85
.....						
34	1978	29,2	1,823	0,823	-0,739	-1,96
35	1979	17,2	1,074	0,074	-0,665	-1,77
36	1980	17,3	1,080	0,080	-0,585	-1,55
37	1981	20,9	1,305	0,305	-0,280	-0,74
38	1982	20,5	1,280	0,280	0,000	0,00
Среднее		16,0	1,00	0,00		



Разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды.

- 1 – р. Утроя – д. Большая Губа (река-аналог);
- 2 – р. Лжа – д. Фелицианово (расчетная река).

Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов реки Невы – д. Новосаратовка



Водность за любые m лет можно оценить по формуле

$$k_{cp} = \frac{l_k - l_n}{m} + 1$$

$$k_{cp} = \frac{3,41 - 10,25}{1922 - 1906} + 1 = 0,57$$

$$k_{cp} = \frac{3,08 - 3,41}{1952 - 1922} + 1 = 0,99$$

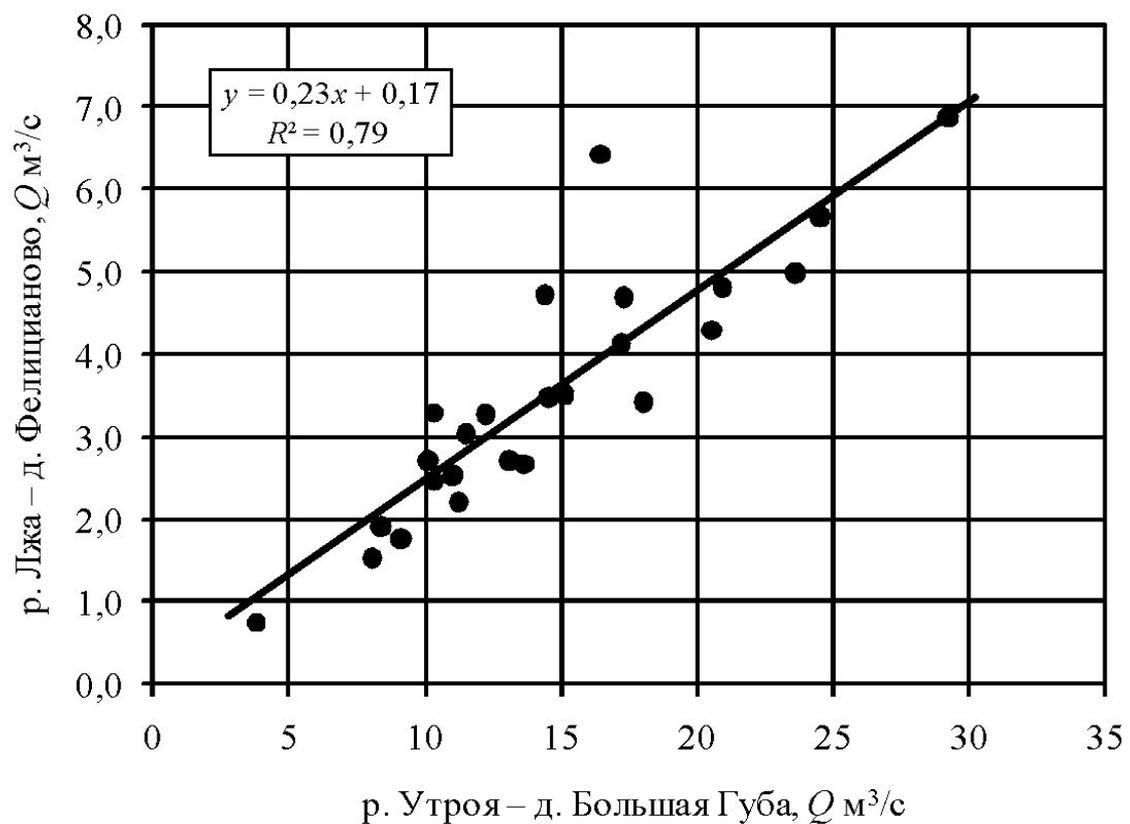


График связи среднегодовых расходов расчетной реки и реки-аналога за совместный период наблюдений.

Параметры уравнения линейной регрессии

Параметр	Формула	Значение
Коэффициент корреляции, R	$R = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{(n-1)\sigma_x\sigma_y}$	0,89
Погрешность коэффициента корреляции, σ_R	$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n-1}}$	0,044
Коэффициент регрессии, a	$a = R \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$	+ 0,23
Погрешность коэффициента регрессии, σ_a	$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \sqrt{\frac{1 - R^2}{n-2}}$	0,025
Свободный член, b	$b = \bar{y} - a\bar{x}$	+ 0,17
Уравнение регрессии	$y = ax + b$	$y = 0,23x + 0,17$

Уравнение регрессии является надежным, если выполняются условия:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0,7; \quad \frac{R}{\sigma_R} \geq 2; \quad \frac{a}{\sigma_a} \geq 2$$

Норма стока расчетной реки, приведенная к длинному ряду реки-аналога определяется по формуле (1) или по формуле (2)

$$\bar{Q}_N = a\bar{Q}_{N,a} + b \quad (1)$$

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + R \frac{\sigma_n}{\sigma_{n,a}} (\bar{Q}_{N,a} - \bar{Q}_{n,a}) \quad (2)$$

Относительная ошибка приведенного среднего многолетнего значения определяется по формуле (3)

$$\varepsilon_{\bar{Q}_N} = \frac{100\sigma_n}{\bar{Q}_N \sqrt{n}} \sqrt{1 + R^2 \left(\frac{n\sigma_{N,a}^2}{N\sigma_{n,a}^2} - 1 \right)} \quad \% \quad (3)$$

1.2.2. Расчет нормы годового стока при наличии короткого ряда гидрометрических наблюдений продолжительностью менее 6 лет

Метод отношений

Метод основан на приблизительном равенстве модульных коэффициентов в пункте с кратковременными наблюдениями и в пунктах-аналогах:

$$\frac{\overline{Q}_i}{\overline{Q}_N} = \frac{\overline{Q}_{i,a}}{\overline{Q}_{N,a}} \longrightarrow \overline{Q}_N = \overline{Q}_i \frac{\overline{Q}_{N,a}}{\overline{Q}_{i,a}}$$

Метод отношений используют при выполнении условия $R \geq R_{\text{кр}}$ где R определяют по пространственной корреляционной функции.

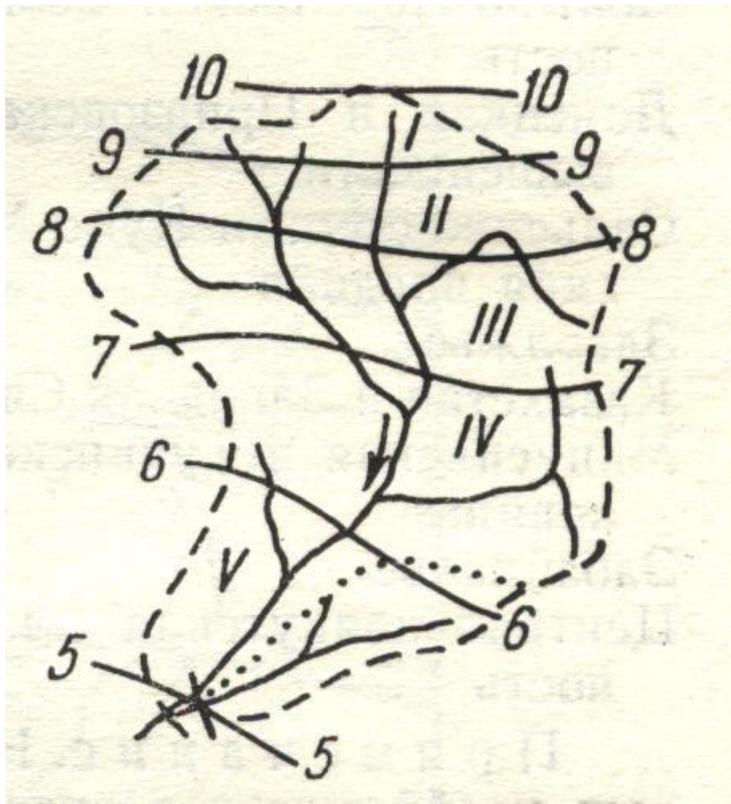
При наличии нескольких пунктов-аналогов расчеты осуществляют последовательно по всем аналогам и результаты осредняют (не более трех аналогов).

1.3 Расчет нормы годового стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

При отсутствии данных наблюдений норма годового стока определяется следующими методами:

1. Осреднение по ближайшим пунктам-аналогам.
2. Пространственная интерполяция.
3. Использование карт изолиний нормы годового стока.
4. Методом водного баланса.
5. По региональным зависимостям нормы годового стока от стокоформирующих факторов и факторов подстилающей поверхности (для малых рек)

норма годового стока должна быть выражена в виде слоя (мм) или модуля стока (л/с км²).



При использовании карты в случае пересечения водосбора несколькими изолиниями средневзвешенное значение стока вычисляют по формуле:

$$\bar{q} = \frac{q_1 f_1 + q_2 f_2 + \dots + q_n f_n}{F}$$

где q_1, q_2, \dots, q_n - средние значения стока между соседними изолиниями;

f_1, f_2, \dots, f_n - площади между изолиниями;

F - общая площадь водосбора до расчетного створа.

Поправки к карте нормы годового стока для малых рек

В значения нормы годового стока, определенные по районной карте, следует вводить **поправки на влияние местных азональных факторов**, которые учитывают:

- неполное дренирование реками подземных вод,
- наличие карста,
- выходов подземных вод,
- особенности геологического строения бассейна,
- характер почв (грунтов),
- промерзание и пересыхание рек,
- различие средних высот водосборов
- и другие особенности.

Определение нормы годового стока по уравнению водного баланса

$$\bar{h} = \bar{X} - \bar{P} \quad (1)$$

\bar{h} – норма годового стока, мм;

\bar{X} – норма годовых осадков, мм;

\bar{P} – норма годового испарения, мм;

$$\bar{h} = \bar{\alpha} \bar{X} \quad (2)$$

$\bar{\alpha}$ – средний многолетний коэффициент стока.

М.А. Великанова – Д.Л. Соколовского	Б.В. Полякова	С.Н. Крицкого – М.Ф. Менкеля
$\bar{\alpha} = 1 - \sqrt{\frac{d}{4,8}}$	$\bar{\alpha} = \frac{9}{d^3 + 9}$	$\bar{\alpha} = \frac{11}{d^3 \sqrt{d + 11}}$

Конец лекции №1



ЛИТЕРАТУРА.

Владимиров А.М. Гидрологические расчеты, с. 104-146.

Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты, с.42-80, с. 114-115.

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений, с.5-24.

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, с.20-27.