

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОЦЕНКЕ
ОБЕСПЕЧЕННЫХ РАСХОДОВ
ПРОЕКТИРУЕМЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ КЛИМАТЕ

*заказано
Льву Николаевичу
от авторов.*

В. В. К.
И. И. И.
И. И. И.



Санкт-Петербург
2010

*Методические рекомендации одобрены Ученым советом РГГМУ
(протокол № 9 от 25.05.2010 г.)*

УДК [627:551.583.15+91+550.3](07)

ББК 38.77

Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В., Громова М.Н., Хаустов В.А., Шевнина Е.В. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустойчивом климате / Под ред. В.В. Коваленко. – СПб., изд. РГГМУ, 2010. – 51 с.

ISBN 978-5-86813-276-6

Рецензент: д-р физ.-мат. наук С. А. Кондратьев (зам. директора Института озерадения РАН).

Настоящие Рекомендации надлежит использовать при расчете гидрологических характеристик для строительного проектирования, а также при подготовке Территориальных строительных норм по территории деятельности УГМС. Они выполняют роль рекомендательного дополнения к действующему своду правил СП 33-101-2003, если при оценке обеспеченных расходов воды проектируемых сооружений необходимо учесть возможные сценарии климатических изменений.

Рекомендации предназначены для инженеров-проектировщиков, студентов-гидрологов, аспирантов и слушателей курсов повышения квалификации инженеров-гидрологов, занимающихся гидрологическим обеспечением надежности проектируемых строительных и водохозяйственных объектов.

Kovalenko V.V., Victorova N.V., Gaidukova E.V., Gromova M.N., Haustov V.A., Shevnina E.V. The methodical recommendations according to the supplied charges of projected hydraulic engineering structures at the unsteady climate / Under edition V.V. Kovalenko. – St. Petersburg, RSHU Publishers, 2010. – 51 pp.

The present Recommendations should be used at account of the hydrological characteristics for building designing, and also by preparation of Territorial building norms on territory of activity of Management on hydrometeorology and monitoring of an environments. They carry out a role of recommendational addition to working CR 33-101-2003, if at an estimation of the supplied charges of water of projected structures it is necessary to take into account the possible scripts of climatic changes.

The recommendations are intended for the engineer-designers, students-hydrologists, post-graduate students and students of courses of improvement of qualification of the engineers-hydrologists engaged in hydrological maintenance of reliability projected building and of water facilities objects.

ISBN 978-5-86813-276-6

- © Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В., Громова М.Н., Хаустов В.А., Шевнина Е.В., 2010
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2010

Предисловие

Настоящие Рекомендации – первая попытка ввести в практику гидрологического обеспечения строительного проектирования расчетные элементы, позволяющие учитывать эволюционный характер развития гидрометеорологических процессов, связанный с ожидаемыми климатическими изменениями. Конкретнее: указаны пути учета при нахождении обеспеченных значений проектных расходов не только предыстории статистического режима рек, как это делается в настоящее время с использованием фактических рядов наблюдений, но и ожидаемых (прогнозных) климатических сценариев.

Рекомендации – это итог многолетних исследований в области оценки долгосрочных гидрологических последствий изменения климата (неважно, за счет каких именно причин значение имеет лишь наличие климатического сценария), проводимых на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ). Эти исследования финансировались многочисленными грантами (включая международные), но основной вклад внесло Министерство образования и науки РФ, в частности, проекты № 2.1.1/3355, № П2588, № П740.

Рекомендации составлены коллективом авторов (д-р техн. наук В.В. Коваленко, канд. техн. наук Н.В. Викторова, канд. техн. наук Е.В. Гайдукова, канд. техн. наук М.Н. Громова, канд. техн. наук В.А. Хаустов, канд. техн. наук Е.В. Шевнина) под общим руководством проф. В.В. Коваленко (им же осуществлено и научное редактирование текста).

Авторы попытались сделать текст Рекомендаций максимально лапидарным. Исключением является раздел 10, связанный с характеристиками группировок (выбросов) многолетнего стока. Эти вопросы в действующем нормативном документе СП 33-101-2003 не затрагиваются. Поэтому потребовалось достаточно подробно излагать эту методику и для случая установившегося климата.

В данные Рекомендации не вошел раздел, связанный с максимальным стоком дождевого происхождения. Существуют проблемы, которые авторы попытаются преодолеть.

Введение

Действующий нормативный документ в области обеспечения гидрологической надежности строительных проектов СП 33-101-2003 основан на предположении стационарности случайного процесса формирования многолетнего речного стока. Считается, что обеспеченное проектное значение расхода, полученное путем обработки рядов за прошедшие десятилетия, останется таким же и в будущем. Это входит в некоторое противоречие с имеющимися фактами статистической нестационарности гидрометеорологических процессов, в частности, инструментально подтвержденным потеплением климата (споры ведутся только о его причинах).

На кафедре гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ уже 20 лет ведутся исследования по методологии оценки долгосрочных изменений вероятностных характеристик стока в условиях климатической и антропогенной нестабильности. Значительная их часть доведена до простых, доступных для практического применения формул. В данных Рекомендациях приведены конкретные примеры их использования.

Рекомендаций составлены таким образом, чтобы они носили аддитивный характер по отношению к действующему своду правил СП 33-101-2003. Это означает, что сначала находят проектное значение расхода воды в полном соответствии с предписаниями нормативного документа (СП), к которому затем добавляют «климатическую добавку», вычисленную в соответствии с данными Рекомендациями. Для того чтобы не снижать надежность проектируемого сооружения (водохозяйственного объекта), в качестве проектного расхода берется наибольшее из значений, полученных указанными двумя путями.

Мотивация появления данных рекомендаций

История зарождения нормативных документов в области гидрорасчетов начинается с Д. И. Кочерина. Занимаясь в 20-е годы прошедшего века экспертизой гидротехнических проектов (работая в Главэнерго ВСНХ), он как никто другой ощущал разрыв между гидротехникой и гидрологией. Последняя была беспомощна в деле обеспечения курса на индустриализацию СССР (принятого большевиками на XIV съезде ВКП(б) в 1925 г.) в области промышленного гидротехнического строительства. Им впервые была

предложена карта среднего многолетнего стока Европейской территории СССР и, также впервые, поднят вопрос о вероятностных его колебаниях. Карта Кочерина (вплоть до появления более основательной карты ГГИ в 1937 г.) служила для гидрологического обоснования гидротехнических проектов.

Конечно, предложения Кочерина не носили нормативного характера в современном понимании, но именно его идеология стала основой существующих СНиПов и СП. Последние гарантировали самодостаточность статистически обработанных рядов гидрологических наблюдений для принятия проектных решений в области гидротехнического строительства. Многомерное гидрометеорологическое фазовое пространство проецировалось на одну ось – гидрологическую фазовую переменную (если выразаться языком частично инфинитной гидрологии). Дальновидные гидрологи это понимали и высказывали свои опасения. Например, Е.В. Оппоков на II Всесоюзном гидрологическом съезде указал, что «сводная работа Д.И. Кочерина по изучению стока для целей гидросиловых установок носит статистический характер без связи с атмосферными осадками и другими факторами стока» [9].

В дальнейшем позиция Кочерина только усиливалась. Появились варианты более обоснованных карт, причем не только годового стока, но максимального и минимального. Большой вклад внес Д. Л. Соколовский в 1930 г., взяв на вооружение уравнение К. Пирсона и введя в практику гидрорасчетов биномиальную асимметричную кривую как одно из решений этого уравнения. Кривую «поправили» С.Н. Крицкий и М.Ф. Менкель, зафиксировав левое граничное условие нулевым значением расхода, «запретив» рекам пересыхать и перемерзать. Третий Всесоюзный гидрологический съезд (1957 г.) предложил провести своеобразную «кодификацию» методов расчета гидрологических характеристик при строительном проектировании. После этого впервые в истории гидрологии появилось несколько локальных нормативных документов (СН 346-66 – минимальный сток; СН 356-66 – максимальный сток талых вод; СН 371-67 – годовой сток и его внутригодовое распределение; СН 397-69 – наивысшие уровни воды рек и озер).

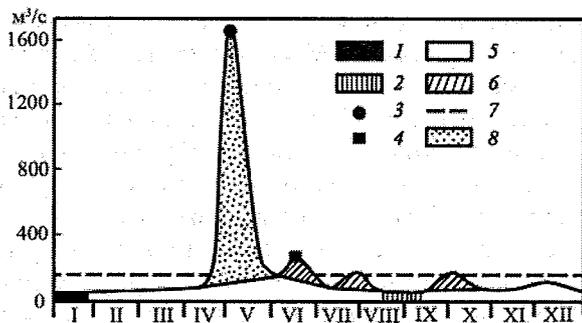
В 1972 г. строительные нормы (СН) были сведены в единый документ «Указания по определению расчетных гидрологических характеристик СН 435-72» (в него дополнительно вошли методы расчета максимальных расходов воды дождевых паводков). В по-

следние 30 лет в него дважды вносили изменения: СНиП 2.01.14-83 и СП 33-101-2003.

Подобная историческая линия гидрорасчетов, конечно, имеет положительные моменты, закрывая путь всевозможной «отсебятине». Однако оборотной ее стороной является опасность проглядеть эволюционные изменения гидрометеорологической среды. Сделав основную ставку на фактические ряды наблюдений за стоком (да еще в предположении их стационарности), гидрологи столкнулись с тем, что гидрорасчеты оказались нечувствительными к прогнозируемым изменениям в окружающем мире. Свод правил СП 33-101-2003 явно требовал дополнений. Это не исключают и его составители (см. разд. 4.1 СП [14]). Данные Рекомендации отвечают на вопрос: «Как учесть климатические сценарии при гидрологическом обеспечении надежности строительных проектов?»

Действующий СП включает много аспектов технического характера (действия при отсутствии или недостаточности наблюдений, погрешности статистических оценок и т. п.), которых мы касаться не будем. Нам важно поведение характеристик многолетнего стока в условиях изменяющегося климата.

Интересующие нас характеристики представлены на приведенном ниже рисунке. Именно в отношении характеристик 1 – 4, 7 будут сделаны рекомендации о возможности их однозначной идентификации в условиях изменяющегося климата.



Гидрологические характеристики, рассматриваемые в Рекомендациях: 1 – зимний меженный сток; 2 – летне-осенний меженный сток; 3 – максимальный сток весеннего половодья; 4 – максимальный сток дождевого паводка; 5 – грунтовое питание; 6 – дождевое питание; 7 – среднегодовой сток; 8 – снеговое питание.

Раздел 1. Область применения

В настоящих Рекомендациях расширяется возможность использования положений и методов инженерных гидрологических расчетов, изложенных в нормативном документе СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».

Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате предназначены для использования в инженерно-строительных расчетах по определению гидрологических характеристик при проектировании, расширении, реконструкции и техническом перевооружении действующих объектов для всех видов строительства и водозависимых отраслей экономики Российской Федерации.

Кроме того, данные Рекомендации могут быть использованы в учебном процессе по дисциплинам: «Стохастическое моделирование гидрологических процессов», «Гидрологические прогнозы», «Гидротехника и мелиорация», а также на курсах повышения экологической безопасности руководителей и инженерно-технического персонала предприятий.

Раздел 2. Нормативные ссылки

В настоящем издании использованы ссылки на следующие стандарты:

СН 346-66. Указания по определению расчетных минимальных расходов воды рек при строительном проектировании.

СН 356-66. Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений.

СН 371-67. Указания по определению расчетных величин годового стока рек и его внутригодового распределения.

СН 435-72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик.

СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидротехнических характеристик.

СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.

Раздел 3. Термины и определения

В настоящем издании использованы следующие термины с соответствующими определениями:

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

Гидрологические характеристики – количественные оценки элементов гидрологического режима.

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

Обеспеченность гидрологической характеристики – вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической характеристики может быть превышено среди совокупности всех возможных ее значений.

Гидрограф – график изменения во времени расходов воды за год или часть года (сезон, половодье или паводок) в данном створе водотока.

Раздел 4. Обозначения и сокращения

РГТМУ	–	Российский государственный гидрометеорологический университет
УГМС	–	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
СП	–	Свод правил
РАН	–	Российская Академия наук
ГУ	–	Государственное учреждение
РФ	–	Российская Федерация
ВКП(б)	–	Всесоюзная Коммунистическая Партия (большевиков)
ВСНХ	–	Высший совет народного хозяйства
СССР	–	Союз советских социалистических республик
ГГИ	–	Государственный гидрологический институт
СНиП	–	Строительные нормы и правила
ФПК	–	Уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова
DDC	–	Data Distribution Centre
IPCC	–	Intergovernmental Panel on Climate Change
СНГ	–	Содружество независимых государств

Раздел 5. Эволюционная модель формирования многолетнего речного стока

Ядром базовой стохастической модели формирования речного стока является дифференциальное уравнение первого порядка:

$$dQ/dt = -(1/k\tau)Q + \dot{X}/\tau, \quad (5.1)$$

где Q – скользящие осредненные расходы воды (модули или слой) в замыкающем створе речного бассейна; k – коэффициент стока, которому может придаваться разный смысл в зависимости от вида многолетнего стока [он может приниматься как постоянным, так и зависящем от факторов подстилающей поверхности (залесенность бассейна, его заболоченность, степень урбанизации и т. п.) или от гидрометеорологических факторов – интенсивности осадков \dot{X} и температуры воздуха T °C]; τ – время релаксации речного бассейна, соответствующее радиусу корреляции, как правило, один год.

После переобозначений и введения в (5.1) шумов получим стохастическое дифференциальное уравнение (модель линейного формирующего фильтра):

$$dQ = [-(\bar{c} + \tilde{c})Q + \bar{N} + \tilde{N}]dt, \quad (5.2)$$

где $c = 1/k\tau = \bar{c} + \tilde{c}$; $N = \dot{X}/\tau = \bar{N} + \tilde{N}$ (здесь \bar{c} , \bar{N} – математические ожидания; \tilde{c} , \tilde{N} – коррелированные друг с другом белые шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$, $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$).

В науке известна процедура замены (5.2) статистически эквивалентным ему уравнением Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК), описывающим марковскую эволюцию плотности вероятности $p(Q; t)$:

$$\frac{\partial p(Q; t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial Q}(A(Q; t)p(Q; t)) + 0,5 \frac{\partial^2}{\partial Q^2}(B(Q; t)p(Q; t)), \quad (5.3)$$

где A и B – коэффициенты сноса и диффузии, определяющиеся физико-статистическими параметрами, входящими в (5.2).

Основным аргументом в пользу модели (5.3), как описывающей процесс формирования многолетнего стока, является то об-

стоятельство, что для стационарных случайных процессов она переходит в уравнение Пирсона:

$$\frac{dp}{dQ} = \frac{Q - a}{b_0 + b_1 Q + b_2 Q^2} p, \quad (5.4)$$

решением которого является семейство кривых $p(Q)$, взятых на вооружение инженерной гидрологией. Изначально это уравнение не имело отношение к гидрологии, оно было предложено для аппроксимации эмпирических распределений без всякой связи с уравнением ФПК. Коэффициенты a, b_0, b_1, b_2 до настоящего времени рассматриваются в гидрологии как «подгоночные», чтобы аналитическая кривая $p(Q)$ лучше всего соответствовала эмпирическим точкам.

Ситуация кардинально меняется при подходе к (5.4) со стороны уравнения ФПК: коэффициенты связываются формулами с параметрами $\bar{c}, \bar{N}, G_{\bar{c}}, G_{\bar{N}}, G_{\bar{c}\bar{N}}$ (см. [8]) и приобретают физический (а не «подгоночный») смысл. Это открывает возможность рассматривать уравнение (5.3) как генетическую модель формирования стока, а решение $p(Q)$ уравнения Пирсона с физически обоснованными коэффициентами a, b_0, b_1, b_2 — как теоретическое распределение, с которым согласуется или не согласуется эмпирический набор точек. Самое главное (с точки зрения данных Рекомендаций) — можно, меняя факторы формирования стока (климатические или подстилающей поверхности бассейнов) через параметры \bar{c} и \bar{N} , т. е. через осадки X и величины, влияющие на коэффициент стока k , оценивать чувствительность к подобным изменениям кривой плотности вероятности. Все это очень подробно описано в учебнике [8]. Ниже будут воспроизводиться только те моменты, которые помогают практической реализации подобных возможностей.

Так как в практической гидрологии из-за коротких рядов наблюдений ограничиваются 3–4 моментами вероятностных распределений, то имеет смысл аппроксимировать (5.3) системой дифференциальных уравнений для начальных моментов m_i :

$$\begin{aligned}
 dm_1/dt &= -(\bar{c} - 0,5G_{\bar{c}})m_1 - 0,5G_{\bar{c}\bar{N}} + \bar{N}; \\
 dm_2/dt &= -2(\bar{c} - G_{\bar{c}})m_2 + 2\bar{N}m_1 - 3G_{\bar{c}\bar{N}}m_1 + G_{\bar{N}}; \\
 dm_3/dt &= -3(\bar{c} - 1,5G_{\bar{c}})m_3 + 3\bar{N}m_2 - 7,5G_{\bar{c}\bar{N}}m_2 + 3G_{\bar{N}}m_1; \\
 dm_4/dt &= -4(\bar{c} - 2G_{\bar{c}})m_4 + 4\bar{N}m_3 - 14G_{\bar{c}\bar{N}}m_3 + 6G_{\bar{N}}m_2.
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

Этой системы уравнений достаточно для определения всех расчетных гидрологических характеристик: нормы $\bar{Q} = m_1$, коэффициентов вариации $C_v = f(m_1, m_2)$ и асимметрии $C_s = f(m_1, m_2, m_3)$, а также эксцесса $Eh = f(m_1, m_2, m_3, m_4)$.

Решение прогностической задачи разбивается на два этапа: по имеющимся норме стока, коэффициентам вариации и асимметрии (из данных наблюдений или карт) находим значения моментов m_i и по ним выполняем параметризацию модели (5.5), т. е. вычисляем \bar{c} , \bar{N} , $G_{\bar{c}}$, $G_{\bar{N}}$, $G_{\bar{c}\bar{N}}$, а затем, меняя (в соответствии с климатическим сценарием) значения $c(\dot{X}, T)$ и $N(\dot{X})$, находим прогнозные (точнее, сценарные) значения моментов $m_i^{\text{пп}}$. По ним вычисляем прогнозные расчетные характеристики, строим прогнозные распределения $p^{\text{пп}}(Q)$ и находим обеспеченные значения $Q_{p\%}^{\text{пп}}$, отличающиеся от фактических учетом климатических изменений за период эксплуатации проектируемого сооружения.

Ситуацию можно (а по практическим соображениям – нужно) упростить [7]:

1. На практике четвертый момент m_4 не используется, а в отношении коэффициента асимметрии целесообразнее выбрать соотношение C_s/C_v , чем рассчитывать его самостоятельно. Если при обработке фактических рядов (как это делается в СП) в качестве мотивации подобного «насилия» над C_s указывается его низкая точность определения из-за недостаточности наблюдений, то в данном случае это физическая неустойчивость моментов при $G_{\bar{c}} \approx \bar{c}$. Для m_3 , как видно из третьего уравнения системы (5.5), неустойчивость возникает при $G_{\bar{c}}/\bar{c} = 0,67$, что прослеживается почти на половине территории России [6].

2. Климатические сценарии носят квазистационарный характер, т. е. выделяется временной промежуток, например в 20 лет, и

для него указываются характеристики метеовеличин. Другой набор – для следующего интервала и т. д. Таким образом, для каждой «ступеньки» процесс формирования многолетнего стока можно рассматривать как статистически стационарный, т. е. можно считать, что $dm_i / dt \approx 0$.

Таким образом, система (5.5) сводится к двум алгебраическим уравнениям для m_1 и m_2 , в которых присутствует только $a = 2\bar{N} / 2\bar{c}$ и $b_0 = -G_{\bar{N}} / 2\bar{c}$. Рассматривая систему (5.5) в полном объеме, приходится «замораживать» три параметра, характеризующих интенсивности шумов ($G_{\bar{c}}, G_{\bar{c}\bar{N}}, G_{\bar{N}}$). В случае же сделанных только что допущений – только один $G_{\bar{N}}^{\text{пр}} = G_{\bar{N}}$ (для снятия и этого допущения в климатическом сценарии требуется наличие дисперсии осадков).

Раздел 6. Климатические сценарии

Информация по климатическим сценариям и прогнозные метеорологические характеристики по ним опубликованы в открытом доступе на официальном сайте Центра распространения данных (DDC) Межправительственной группы по изменению климата (IPCC) (<http://www.ipcc-data.org>).

Рассматривались сценарии четвертого доклада (AR4) оценки наблюдаемых изменений климата (2007 г.) [15]: Scenario 1PTO2X, Scenario 1PTO4X, Scenario 20C3M, Scenario COMMIT, Scenario PICTL, Scenario SRA1B, Scenario SRA2, Scenario SRB1. Кратко дадим характеристику каждому сценарию.

– Сценарий 1PTO2X: увеличение парниковых газов происходит со скоростью 1 % в год от 1990 г. до двойной концентрации, после концентрация принимается постоянной.

– Сценарий 1PTO4X: увеличение парниковых газов происходит со скоростью 1 % в год до концентрации большей в 4 раза по сравнению с 1990 г., после концентрация принимается постоянной.

– Сценарий 20C3M: увеличение концентрации парниковых газов происходит с такой же скоростью, что и в XX в.

– Сценарий COMMIT: идеальный сценарий, по которому концентрация парниковых газов остается на уровне 2000 г.

– Сценарий PICTL: концентрация парниковых газов постепенно возвращается к уровню 1990 г.

– Сценарий SRA1B: сценарий очень быстрого экономического развития и роста численности населения; максимум достигается в середине столетия и после этого снижается, так как развиваются новые и более эффективные технологии с альтернативными источниками энергии.

– Сценарий SRA2: непрерывное увеличение численности населения на земле, локальный экономический рост, который приводит к медленному развитию новых технологий.

– Сценарий SRB1: сценарий похожий на SRA1B, но с еще более быстрым экономическим развитием и ростом численности населения.

В табл. 6.1 представлен перечень сценариев и прогнозных моделей четвертого доклада. Разнообразие моделей связано с количеством мировых исследовательских институтов и центров в разных странах, занимающихся изменением климата. Описание моделей не распространяется. (Наиболее распространенной моделью климатических изменений, используемой в водноресурсных прогнозах, является HadCM3.)

Получение прогнозных значений метеорологических характеристик осуществляется на странице http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=ar4_gcm (рис. 6.1). На этой странице в табличной форме предлагается выбрать модель (первый столбец), сценарий (второй столбец), метеорологическую величину (четвертый столбец) и прогнозный период. Порядок выбора не важен.

На рис. 6.2 показана таблица после выбора сценария (в данном случае был выбран сценарий COMMIT). Ячейка с названием сценария подсвечивается красным цветом, и из списка первого столбца исчезают некоторые модели. После этого необходимо выбрать период, на который хотим получить прогнозную величину и саму метеорологическую характеристику. Для примера был выбран период с 2046 по 2065 г., а также температура воздуха. Результирующее окно представлено на рис. 6.3. В этом окне можно настроить границы (широта и долгота), в пределах которых будет выводиться прогнозная величина. Кроме этого, можно также задать вывод не среднегодовых величин, а среднемесячных. После нажатия на кнопку Submit внизу страницы появится таблица с прогнозными значениями метеорологической характеристики в пределах выбранных географических координат.

На сайте IPCC есть возможность получения прогнозных величин в виде многоцветных карт (http://www.ipcc-data.org/ddc_visualisation.html).

Сценарии и прогнозные модели четвертого доклада оценки наблюдаемых изменений климата (2007 г.)

IPCC-DDC 4th Assessment Report									
Scenario 1P02X	Scenario 1P04X	Scenario 20C3M	Scenario COMMIT	Scenario P1CTL	Scenario SRA1B	Scenario SRA2	Scenario SRB1		
BCC-CM1	BCC-CM1	BCCR-BCM2.0	BCCR-BCM2.0	BCCR-BCM2.0	BCCR-BCM2.0	BCCR-BCM2.0	BCC-CM1		
BCCR-BCM2.0	CCSM3	CCSM3	CCSM3	CCSM3	CCSM3	CCSM3	BCCR-BCM2.0		
CCSM3	CGCM3.1(T47)	CGCM3.1(T47)	CNRM-CM3	CGCM3.1(T47)	CGCM3.1(T47)	CNRM-CM3	CCSM3		
CGCM3.1(T47)	CNRM-CM3	CNRM-CM3	CSIRO-Mk3.0	CNRM-CM3	CSIRO-Mk3.0	CSIRO-Mk3.0	CGCM4.1(T63)		
CNRM-CM3	ECHAM5/MPI-OM	CSIRO-Mk3.0	ECHAM5/MPI-OM	CSIRO-Mk3.0	CNRM-CM3	ECHAM5/MPI-OM	CNRM-CM3		
CSIRO-Mk3.0	ECHO-G	ECHAM5/MPI-OM	ECHO-G	ECHAM5/MPI-OM	CSIRO-Mk3.0	ECHO-G	CSIRO-Mk3.0		
ECHAM5/MPI-OM	GFDL-CM2.0	ECHO-G	FGOALS-g1.0	ECHO-G	ECHAM5/MPI-OM	GFDL-CM2.0	ECHAM5/MPI-OM		
ECHO-G	GFDL-CM2.1	FGOALS-g1.0	GFDL-CM2.0	FGOALS-g1.0	ECHO-G	GFDL-CM2.1	FGOALS-g1.0		
FGOALS-g1.0	GISS-ER	GFDL-CM2.0	GFDL-CM2.1	GFDL-CM2.0	FGOALS-g1.0	GISS-ER	GFDL-CM2.0		
GFDL-CM2.0	INM-CM3.0	GISS-ER	GISS-ER	GFDL-CM2.1	GFDL-CM2.0	INM-CM3.0	GFDL-CM2.1		
GFDL-CM2.1	IPSL-CM4.0	INM-CM3.0	INM-CM3.0	GISS-AOM	GFDL-CM2.1	IPSL-CM4.0	GISS-AOM		
GISS-EH	MIROC3.2(medres)	IPSL-CM4.0	IPSL-CM4.0	GISS-EH	GISS-AOM	MIROC3.2(medres)	GISS-ER		
GISS-ER	MRI-CGCM2.3.2	GISS-ER	MIROC3.2(medres)	GISS-ER	GISS-EH	MRI-CGCM2.3.2	INM-CM3.0		
INM-CM3.0	PCM	INM-CM3.0	MRI-CGCM2.3.2	INM-CM3.0	GISS-ER	PCM	IPSL-CM4.0		
IPSL-CM4.0	UKMO-HadCM3	IPSL-CM4.0	UKMO-HadCM3	IPSL-CM4.0	INM-CM3.0	UKMO-HadCM3	MIROC3.2(hires)		
MIROC3.2(hires)		MIROC3.2(hires)		MIROC3.2(hires)	MIROC3.2(hires)	UKMO-HadGEM1	MIROC3.2(medres)		
MIROC3.2(medres)		MIROC3.2(medres)		MIROC3.2(medres)	MIROC3.2(medres)		MRI-CGCM2.3.2		
MRI-CGCM2.3.2		MRI-CGCM2.3.2		MRI-CGCM2.3.2	MRI-CGCM2.3.2		UKMO-HadCM3		
PCM		PCM		PCM	MRI-CGCM2.3.2		UKMO-HadCM3		
UKMO-HadGEM1		UKMO-HadCM3		UKMO-HadCM3	PCM		UKMO-HadCM3		
		UKMO-HadGEM1		UKMO-HadGEM1	UKMO-HadCM3		UKMO-HadGEM1		

Примечание: Не по всем перечисленным сценариям есть прогноз климатических характеристик. Например, по сценарию 20C3M даются только ретроспективные оценки, что не противоречит описанию сценария: все изменения климатических характеристик такие же, как в XX в.

Aspect: http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/tdc_nav/dataset=ar4_gcm

BCCCM1			huss	
BCCRBCM2			huss-change	
CCMA:CGCM3_1-T63			pi	1901-1930
CCMA:CGCM3_1-T47			pr-change	1931-1960
CNRMCM3			psi	1961-1990
CSIRO:MK3			psi-change	2010-2039
CONS:ECHO-G			psl-change	2011-2030
LAGG:FGOALS-G1_0			rsds	2040-2069
GFDL:CM2	1PTO2X		rsds	2046-2065
GFDL:CM2_1	1PTO4X		rsds-change	2070-2099
NASA:GISS-AOM	20C3M		rsds-change	2080-2099
NASA:GISS-EH	COMMIT	1	tas	2180-2199
NASA:GISS-ER	PICTL	2	tas-change	o0001-0030
UKMO:HADCM3	SRA1B		tas-change	o0010-0039
UKMO:HADGEM1	SRA2		tasmax	o0011-0030
INMCM3	SRB1		tasmax-change	o0031-0060
IPSL:CM4			tasmin	o0040-0069
NIES:MROCC3_2-HI			tasmin-change	o0046-0065
NIES:MROCC3_2-MED			tasmin-change	o0061-0090
MPIMECHAM5			uas	o0070-0099
MRI:CGCM2_3_2			uas-change	o0080-0099
NCAR:CCSM3			vas	o0180-0199
NCAR:PCM			vas-change	

Рис. 6.1. Страница с возможностью выбора сценария и модели.

Aspect: http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/tdc_nav/dataset=ar4_gcm?Exp=COMMIT&%3DExp=20C3M&Ins=18&%3Ddisplay_mode=wy

Scenario: COMMIT Ensemble: Mean=1

BCCCM1			huss	
BCCRBCM2			huss-change	
CCMA:CGCM3_1-T63			pi	1901-1930
CCMA:CGCM3_1-T47			pr-change	1931-1960
CNRMCM3			psi	1961-1990
CSIRO:MK3			psi-change	2010-2039
CONS:ECHO-G			psl-change	2011-2030
LAGG:FGOALS-G1_0			rsds	2040-2069
GFDL:CM2	1PTO2X		rsds	2046-2065
GFDL:CM2_1	1PTO4X		rsds-change	2070-2099
NASA:GISS-AOM	20C3M		rsds-change	2080-2099
NASA:GISS-EH	COMMIT	1	tas	2180-2199
NASA:GISS-ER	PICTL	2	tas-change	o0001-0030
UKMO:HADCM3	SRA1B		tas-change	o0010-0039
UKMO:HADGEM1	SRA2		tasmax	o0011-0030
INMCM3	SRB1		tasmax-change	o0031-0060
IPSL:CM4			tasmin	o0040-0069
NIES:MROCC3_2-HI			tasmin-change	o0046-0065
NIES:MROCC3_2-MED			tasmin-change	o0061-0090
MPIMECHAM5			uas	o0070-0099
MRI:CGCM2_3_2			uas-change	o0080-0099
NCAR:CCSM3			vas	o0180-0199
NCAR:PCM			vas-change	

Рис. 6.2. Пример выбранного сценария.

AAPEC: http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=ar4_gcm/monthSeason=annual&endY=13&startY=41&endX=12&startX=1&forwardbutton=Submit&ddc-regis=0

Climatology, 2046 to 2065AD

Time and location selection

Time period	annual	▼
Upper Latitude	29.29	▼
Lower Latitude	23.71	▼
Upper Longitude	30.94	▼
Lower Longitude	0.00	▼

Submit

Select display mode:

Latitude-Longitude grid

Time series at a point

Data table

Download as csv spreadsheet

Air Temperature [K], annual

latitude	longitude											
	0.00	2.81	5.63	8.44	11.25	14.06	16.88	19.69	22.50	25.31	28.13	30.94
29.29	294.1	293.9	294.0	292.9	291.8	291.7	291.8	292.9	293.3	292.5	292.2	292.2
26.50	297.1	296.2	292.9	291.7	292.1	292.1	292.5	293.2	292.8	292.0	292.4	293.6
23.71	298.6	296.3	291.6	290.5	292.0	293.1	292.8	292.8	293.3	292.3	293.7	295.9

Рис. 6.3. Получение прогнозных значений.

В табл. 6.2 – 6.5 для примера представлены прогнозные климатические характеристики (осадки и температура воздуха) для р. Плюсса – с. Плюсса (широта $58^{\circ}25'$, долгота $29^{\circ}24'$, площадь водосбора 1440 км^2) на 2050 г.

Таблица 6.2

Среднегодовые осадки и температура приземного воздуха на 2050 г. для р. Плюсса – с. Плюсса по моделям сценариев 1PТO2X и 1PТO4X

Scenario 1PТO2X	N мм	T °C	Scenario 1PТO4X	N мм	T °C
BCC-CM1	40	7,2	BCC-CM1	37	7,4
BCCR-BCM2.0	566	2,4	–	–	–
CCSM3	719	3,0	CCSM3	755	6,5
CGCM3.1(T47)	796	1,5	CGCM3.1(T47)	875	5,4
CNRM-CM3	719	3,0	CNRM-CM3	755	6,5
CSIRO-MK3.0	–	–	–	–	–
ECHAM5/MPI-OM	741	7,9	ECHAM5/MPI-OM	–	–
ECHO-G	818	6,5	ECHO-G	816	6,5
FGOALS-g1.0	–	–	–	–	–
GFDL-CM2.0	694	1,5	GFDL-CM2.0	757	0,8

продолжение таблицы 6.2

Scenario IPTO2X	N мм	T °C	Scenario IPTO4X	N мм	T °C
GFDL-CM2.1	785	1,9	GFDL-CM2.1	755	1,5
GISS-EH	—	—	—	—	—
GISS-ER	—	—	GISS-ER	—	—
INM-CM3.0	923	6,6	INM-CM3.0	1044	8,6
IPSL-CM4.0	679	3,7	IPSL-CM4.0	697	7,4
MIROC3.2(hires)	—	—	—	—	—
MIROC3.2(medres)	748	5,8	MIROC3.2(medres)	748	5,8
MRI-CGCM2.3.2	—	—	MRI-CGCM2.3.2	—	—
PCM	—	—	PCM	—	—
UKMO-HadGEM1	—	—	—	—	—

Таблица 6.3

Среднегодовые осадки и температура приземного воздуха на 2050 г. для
р. Плюсса – с. Плюсса по моделям сценариев COMMIT и PICTL

Scenario COMMIT	N мм	T °C	Scenario PICTL	N мм	T °C
BCCR-BCM2.0	553	0,7	BCCR-BCM2.0	533	-0,8
CCSM3	825	5,8	CCSM3	—	—
—	—	—	CGCM3.1(T47)	663	-1,1
CNRM-CM3	690	2,6	CNRM-CM3	810	3,1
CSIRO-MK3.0	733	1,0	CSIRO-MK3.0	687	-0,5
ECHAM5/MPI-OM	653	4,7	ECHAM5/MPI-OM	—	—
ECHO-G	691	2,5	ECHO-G	626	0,0
FGOALS-g1.0	673	-0,7	FGOALS-g1.0	712	-0,3
GFDL-CM2.0	697	1,1	GFDL-CM2.0	727	-0,7
GFDL-CM2.1	756	2,2	GFDL-CM2.1	765	1,0
—	—	—	GISS-AOM	655	0,9
—	—	—	GISS-EH	—	—
GISS-ER	432	-0,4	GISS-ER	—	—
INM-CM3.0	897	4,5	INM-CM3.0	810	3,1
IPSL-CM4.0	636	1,2	IPSL-CM4.0	591	-0,9
—	—	—	MIROC3.2(hires)	—	—
MIROC3.2(medres)	785	4,3	MIROC3.2(medres)	—	—
MRI-CGCM2.3.2	658	0,7	MRI-CGCM2.3.2	—	—
—	—	—	PCM	—	—
UKMO-HadCM3	—	—	UKMO-HadCM3	—	—
—	—	—	UKMO-HadGEM1	—	—

Таблица 6.4

Среднегодовые осадки и температура приземного воздуха на 2050 г. для
р. Плюсса – с. Плюсса по моделям сценариев SRA1B и SRA2

Scenario SRA1B	N мм	T °C	Scenario SRA2	N мм	T °C
BCCR-BCM2.0	566	3,0	BCCR-BCM2.0	–	–
CCSM3	873	7,6	CCSM3	855	7,2
CGCM3.1(T47)	801	2,7	–	–	–
CGCM4.1(T63)	613	3,2	–	–	–
CNRM-CM3	756	4,8	CNRM-CM3	728	4,7
CSIRO-MK3.0	753	1,9	CSIRO-MK3.0	776	2,7
ECHAM5/MPI-OM	758	6,4	ECHAM5/MPI-OM	–	–
ECHO-G	757	4,8	ECHO-G	772	5,3
FGOALS-g1.0	714	1,3	–	–	–
GFDL-CM2.0	753	3,2	GFDL-CM2.0	772	2,9
GFDL-CM2.1	833	4,3	GFDL-CM2.1	827	3,8
GISS-AOM	726	3,6	–	–	–
GISS-EH	495	2,3	–	–	–
GISS-ER	–	–	GISS-ER	460	0,9
INM-CM3.0	931	6,6	INM-CM3.0	924	6,3
IPSL-CM4.0	678	4,5	IPSL-CM4.0	680	4,3
MIROC3.2(hires)	718	9,8	–	–	–
MIROC3.2(medres)	788	7,0	MIROC3.2(medres)	809	6,8
MRI-CGCM2.3.2	723	2,6	MRI-CGCM2.3.2	713	2,2
PCM	864	2,4	PCM	915	3,4
UKMO-HadCM3	684	4,1	UKMO-HadCM3	685	4,0
UKMO-HadGEM1	729	7,7	UKMO-HadGEM1	–	–

Таблица 6.5

Среднегодовые осадки и температура приземного воздуха на 2050 г. для
р. Плюсса – с. Плюсса по моделям сценария SRB1

Scenario SRB1	N мм	T °C
BCC-CM1	71	7,6
BCCR-BCM2.0	550	1,2
CCSM3	803	7,1
CGCM4.1(T63)	592	2,6
CNRM-CM3	882	6,0
CSIRO-MK3.0	739	1,8
ECHAM5/MPI-OM	729	6,2

продолжение таблицы 6.5

Scenario SRB1	N мм	T °C
FGOALS-g1.0	712	0,9
GFDL-CM2.0	720	3,0
GFDL-CM2.1	800	3,6
GISS-AOM	705	2,9
GISS-ER	447	0,8
INM-CM3.0	882	6,0
IPSL-CM4.0	653	3,9
MIROC3.2(hires)	665	9,5
MIROC3.2(medres)	781	6,5
MRI-CGCM2.3.2	721	2,0
UKMO-HadCM3	684	3,0

В табл. 6.2 максимальные различия в значениях осадков наблюдаются в моделях BCC-CM1 и INM-CM3.0, а по температуре — в моделях GFDL-CM2.0 и ECHAM5/MPI-OM. Следует отметить, что норма осадков на настоящий момент составляет 720 мм/год.

В табл. 6.3 сценарий PICTL по всем моделям прогнозирует похолодание, хотя норма осадков отличается от современной в среднем на 12 %. По обоим сценариям табл. 6.3 прослеживается следующая тенденция: с увеличением температуры увеличивается норма осадков.

В табл. 6.4 представлено большее количество моделей для сценария SRA1B, чем для остальных сценариев. Для всех моделей температура больше нуля. Современная температура равна 4,6, только 8 из 21 модели показывают потепление.

В табл. 6.5 показаны прогнозные нормы осадков и среднегодовая температура для последнего сценария SRB1. Модели CCSM3 и BCC-CM1 прогнозируют примерно одинаковые температуры, но количество осадков отличается в 11 раз. Этот пример показывает, что при прогнозе гидрологических характеристик следует учитывать не только прогнозные осадки, но и температуру, от которой зависят потери стока на водосборах.

Раздел 7. Годовой сток

Годовой сток в большей степени, чем другие виды многолетнего стока, отвечает модели формирующего линейного фильтра

(5.2) и соответствующему упрощенному варианту (5.5) уравнения ФПК (5.3) для возможности учета климатических сценарных характеристик при оценке проектных расходов (модулей, слоев) заданной обеспеченности. Это «скользяще-непрерывный» процесс, и такие параметры модели, как коэффициент стока и время релаксации, достаточно адекватны характеру годового стока.

Модель, представленную в разделе 5, трудно опровергнуть какой-либо дедуктивной аргументацией. Однако все равно возникает вопрос: где экспериментальные данные, подтверждающие ее дееспособность? Причем применимость семейства Пирсона (решения модели) для статистического описания рядов стока вряд ли кому-либо надо доказывать. Защищать надо возможность «замораживания» коэффициентов модели ($G_{\bar{c}}$, $G_{\bar{n}}$ и т. д.) при оценке по ней расчетных гидрологических характеристик в условиях нового климата. Такая работа была проделана [8]. Не останавливаясь подробно на ее методологии (выявление рядов, неоднородных по норме осадков, и перекрестный прогноз кривых плотности вероятности по изложенной в разд. 5 методике), приведем окончательные результаты.

На рис. 7.1, а приведен пример используемой информации. Для оценки расхождения ординат фактической и прогнозной кривых обеспеченности (см. рис. 7.1, б) использован критерий Колмогорова. Проверена нулевая гипотеза об их соответствии. В данной ситуации важен вопрос об уровне значимости, т. е. значении вероятности, которое может иметь практически невозможное событие. Его появление указывает на неправильность принятия нулевой гипотезы с вероятностью, не превышающей выбранный уровень значимости. При этом с вероятностью, равной выбранному уровню значимости, можно отвергнуть нулевую гипотезу, хотя она может оказаться правильной (совершить ошибку первого рода). В противном случае, допустив малый уровень значимости, можно принять неправильную альтернативную гипотезу (совершить ошибку второго рода). От ошибок полностью избавиться нельзя, можно уменьшить риск совершения ошибки одного рода за счет увеличения ошибки другого рода. С уменьшением уровня значимости уменьшается вероятность забраковать нулевую гипотезу, когда она верна, но увеличивается вероятность ее принятия, когда она неверна.

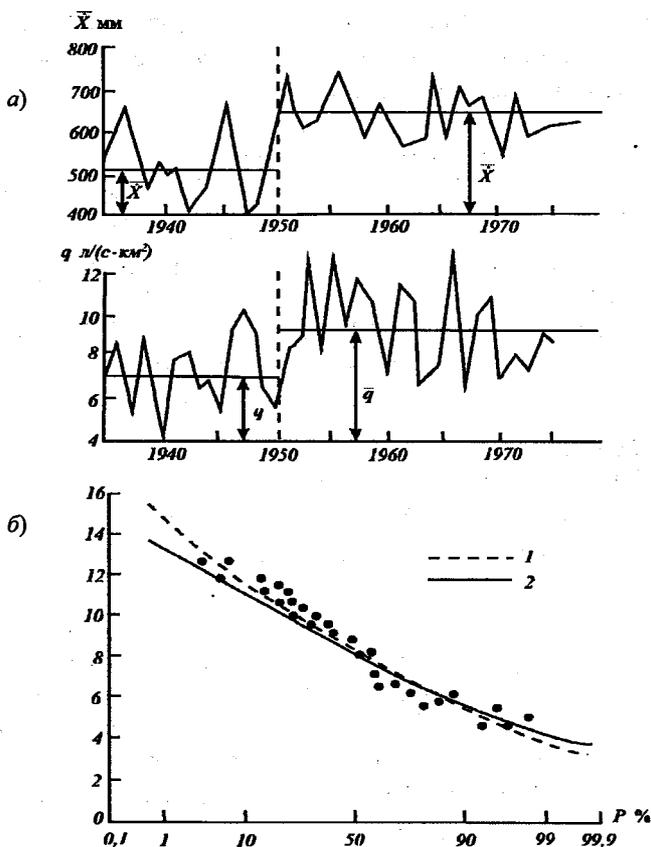


Рис. 7.1. Хронологические графики гидрологических характеристик (а) и кривые обеспеченности стока (б) р. Сухоны у г. Тотьма.
1 – фактическая, 2 – прогнозная.

Оправдываемость прогнозов¹ оценена на 5-, 10- и 20 %-ном уровнях значимости. В табл. 7.1 приведено абсолютное и относительное число оправдавшихся прогнозов по всей территории СНГ и отдельно для увлажненных ($\bar{X} > 450$ мм) и засушливых ($\bar{X} < 450$ мм) районов. Данные табл. 7.1 указывают на правомер-

¹ Термин «оправдываемость прогноза» надо понимать, имея в виду рассуждения по поводу ошибок первого и второго рода.

ность гипотезы квазистационарности, особенно для увлажненных районов, хотя модель можно еще усовершенствовать, сделав ее коэффициенты изменяющимися.

Таблица 7.1

Итоговые результаты прогнозов

Район	Общее число прогнозов	Число оправдавшихся прогнозов при уровне значимости		
		5 %	10 %	20 %
Территория СНГ в целом	214	170/79,4	161/75,2	145/67,8
Увлажненный район	151	125/82,8	120/79,4	108/74,5
Засушливый район	63	45/71,4	41/66,0	37/58,7

Примечание. В знаменателе – процент общего числа прогнозов.

Пример 7.1

Рассмотрим створ на р. Сула – г. Лубны с координатами 50°с.ш., 33°в.д.; площадь водосбора $F = 14\,200 \text{ км}^2$. По картам (или фактическим рядам наблюдений) находим: $\dot{X} = 600 \text{ мм}$; $m_1 = 31,1 \text{ м}^3/\text{с}$ (69 мм); $C_v = 0,44$; $C_s / C_v = 2$.

Пользуясь рекомендациями СП 33-101-2003, находим $Q_{1\%} = 71,4 \text{ м}^3/\text{с}$ (проектный расход 1 %-ной обеспеченности). Необходимо уточнить это значение с учетом возможного изменения климата по сценарию СОММИТ на 2050 г. Согласно этому сценарию, в районе проектируемого объекта в интервале 2040 – 2069 гг. норма осадков будет 513 мм, а температура приземного воздуха 9,8 °С.

Согласно сделанным упрощениям, система (5.5) вырождается в две простые формулы:

$$-\bar{c}m_1 + \bar{N} = 0, \tag{7.1}$$

$$-2\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\bar{N}} = 0.$$

Причем, так как $\tau = 1$ (а если не 1, то из-за стационарности процесса этот параметр сокращается), то $\bar{c} = 1/\bar{k}$, $\bar{N} = \bar{X}$. Сначала, зная m_1 , m_2 ($31,1 \text{ м}^3/\text{с}$; $1155 \text{ м}^6/\text{с}^2$) и \dot{X} , находим \bar{c} и $G_{\bar{N}}$, которые равны соответственно 8,70 и $3265 \text{ м}^6/\text{с}^3$.

Затем необходимо определить прогнозное значение коэффициента стока. Используется выражение для коэффициента стока

$k = \bar{Q} / \bar{X} = 1 - \bar{E} / \bar{X}$, полученное из уравнения водного баланса для замкнутых речных водосборов ($\bar{Q} = \bar{X} - \bar{E}$). Коэффициент стока связывается с параметрами, которые фигурируют в климатических сценариях (\bar{T} °C и \bar{X}), путем использования формулы Н.А. Багрова ($E = f(\bar{X}, E_0)$) (здесь E_0 – испаряемость) и Л. Тюрка ($E_0 = f(T)$) (см. [8]):

$$k = 1 - \text{th}((300 + 25\bar{T} + 0,05\bar{T}^3) / \bar{X})$$

(при использовании формулы связи $E = f(\bar{X}, E_0)$ Э. М. Ольдекопа численные результаты практически одинаковы).

Согласно этой формуле, прогнозное значение коэффициента стока $k_{\text{пр}}$ составит $k = 1 - \text{th}((300 + 25 \cdot 9,8 + 0,05 \cdot 9,8^3) / 513) = 0,18$ (принимая, что в новом климате величина G_N останется прежней, так как в сценарии нет информации о ее возможном изменении или дисперсии осадков). Используя систему (7.1), находим прогнозные значения начальных моментов $m_1^{\text{пр}} = 41,9 \text{ м}^3/\text{с}$, $m_2^{\text{пр}} = 2040 \text{ м}^6/\text{с}^2$, а затем по известной формуле $C_v = \sqrt{\mu_2 / m_1} = \sqrt{m_2 - m_1^2} / m_1$ (здесь μ_2 – второй центральный момент) находим прогнозное значение коэффициента вариации $C_v^{\text{пр}} = 0,41$ и асимметрии $C_s^{\text{пр}} = 2C_v = 0,82$.

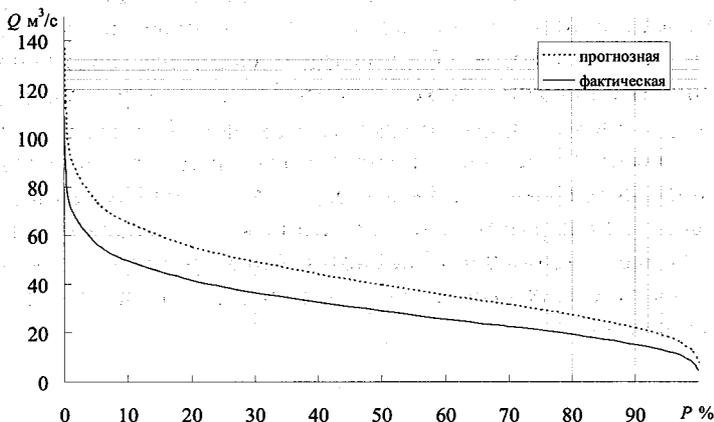


Рис. 7.2. Фактическая и прогнозная кривые обеспеченности расхода воды.

В результате получаем фактическое и прогнозное распределения кривых обеспеченности (рис. 7.2), из которых следует, что $Q_{1\%}^{np}$ при таком сценарии будет 91,7 (203 мм), т. е. на 28 % больше значения, полученного с помощью СП 33-101-2003. Именно это значение надо закладывать в проект (если бы оно было меньше нормативного, то в целях безопасности следовало бы остановиться на последнем).

Раздел 8. Максимальный сток весеннего половодья

Как видно из разделов 5, 6, 7, в основе методики долгосрочных прогнозов изменения вероятностных распределений характеристик многолетнего стока лежат сценарные климатические характеристики (нормы осадков и приземной температуры воздуха), учитываемые в модели либо непосредственно через аддитивное внешнее воздействие (\dot{X}), либо еще и мультипликативно – через коэффициент стока $k(X, T^0)$, входящий в параметр s .

Применительно к максимальному стоку весеннего половодья применение такого подхода требует дополнительных ограничений, связанных с условностью понятия коэффициента максимального стока из-за сложности выделения стокообразующих осадков. Приходится использовать следующий коэффициент: $k_{\text{макс}} = h_{\text{в.п.}} / \dot{X}$. Проведенные исследования показывают, что имеются сравнительно надежные связи между многолетней нормой осадков и нормой слоя стока весеннего половодья (рис. 8.1). Однако если в случае годового стока имеются обоснованные формулы, связывающие коэффициент с нормой осадков и температуры (например, формула Тюрка), а также и с факторами подстилающей поверхности, то для слоя весеннего половодья этот коэффициент при прогнозировании приходится замораживать и ограничиваться (на данном этапе) только теми параметрами климатического сценария, которые входят в модель аддитивно. Рассмотрим два примера прогнозирования вероятностных распределений: при наличии и при отсутствии наблюдений.

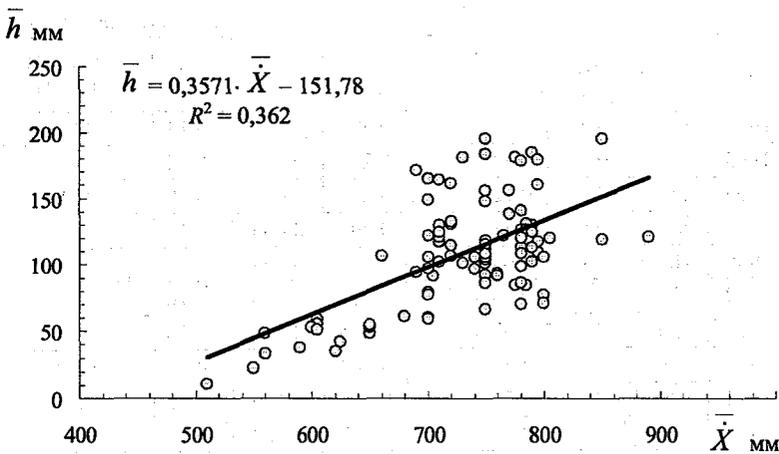


Рис. 8.1. Зависимости между нормой осадков \bar{X} и слоем стока весеннего половодья для Европейской территории России.

Пример 8.1 (при наличии многолетнего ряда наблюдений).

Технология практически такая же, как и в случае годового стока.

Пусть имеется ряд наблюдений за слоем весеннего половодья (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Ряд наблюдений за расходами максимального стока весеннего половодья на р. Вятка – д. Вятские поляны, $F = 124\ 000\ \text{км}^2$

№ п/п	Год	$h_{\text{в.п.}}$	$h_{\text{в.п.}}$ в убыв. пор.	k	$k-1$		$(k-1)^2$	$\lg k$	$P = ((m-0,3) / ((n+0,4))100\%$
					+	-			
1	1920	127	243	1,76	0,76		0,573	0,24	1,3
2	1921	73	232	1,68	0,68		0,459	0,22	3,1
3	1922	120	192	1,39	0,39		0,151	0,14	5,0
4	1923	163	190	1,37	0,37		0,140	0,14	6,8
5	1924	105	186	1,34	0,34		0,119	0,13	8,6
6	1925	133	185	1,34	0,34		0,114	0,13	10,5
7	1926	192	182	1,32	0,32		0,100	0,12	12,3
8	1927	152	174	1,26	0,26		0,067	0,10	14,2
9	1928	128	174	1,26	0,26		0,067	0,10	16,0
10	1929	160	172	1,24	0,24		0,059	0,09	17,8
... ..									
44	1963	123	103	0,74		0,255	0,065	-0,13	80,3

Окончание таблицы 8.1

№ п/п	Год	$h_{в.п.}$	$h_{в.п.}$ в убыв. пор.	k	$k-1$	$(k-1)^2$	$\lg k$	$P = ((m-0,3)/(n+0,4))100\%$	
45	1964	123	101	0,73		0,270	0,073	-0,14	82,2
46	1965	182	101	0,73		0,270	0,073	-0,14	84,0
47	1966	232	99	0,72		0,284	0,081	-0,15	85,8
48	1967	98	98	0,71		0,291	0,085	-0,15	87,7
49	1968	185	96	0,69		0,306	0,094	-0,16	89,5
50	1969	132	95	0,69		0,313	0,098	-0,16	91,4
51	1970	186	92	0,67		0,335	0,112	-0,18	93,2
52	1971	149	91	0,66		0,342	0,117	-0,18	95,0
53	1972	170	78	0,56		0,436	0,190	-0,25	96,9
54	1973	92	73	0,53		0,472	0,223	-0,28	98,7
	Сумма	7468					3,603	-0,77	

Находим статистические моменты и по ним значения $\bar{h}_{в.п.} = m_1 = 138$ мм, $C_v = 0,26$ и $C_s = 0,60$, $m_2 = 20\ 331$ мм². По климатическим картам находим норму осадков для данного бассейна $\bar{X} = 695$ мм, коэффициент максимального стока $k_{\max} = h_{в.п.} / \bar{X} = 0,20$. Обратным пересчетом определяем интенсивность климатического шума $G_{\bar{N}} = 2m_2 / k_{\max} - 2\bar{N}\bar{h}_{в.п.} = 12\ 967$ мм². (Разумеется фактическая размерность должна включать время так же, как и в случае слоя стока: хотя говорят и пишут «слой стока в мм», но всегда, по умолчанию, имеют в виду «слой стока за единицу времени», например за год. Учитывая что в наших расчетах принимается $\tau = 1$, $c = 1/k\tau$, $N = \bar{X}/\tau$, то фактическая размерность $G_{\bar{N}}$ в данном случае – это $[L^2/T^3]$, где L – единица длины, T – единица времени. Аналогичное замечание относится и к величине m_2 , если вычисления проводятся в слоях $[L^2/T^2]$.) В соответствии со сценарием СОММИТ ожидаемые осадки будут составлять 659 мм. При этом прогнозные значения расчетных характеристик, полученных по аналогии с примером 7.1, будут: $\bar{h}_{в.п.} = 132$ мм, $C_v = 0,27$ и $C_s = 0,62$ (так как по фактическим данным $C_s/C_v = 0,60/0,26 = 2,31$, то

$C_s^{пр} = 2,31 \cdot 0,27 = 0,62$). Кривые обеспеченности представлены на рис. 8.2. По фактической кривой значение $h_{в.п.}$ 1 %-ной обеспеченности равняется 237 мм, а по прогнозной – 232 мм. Различие между нормативным и климатическим значениями слоя стока весеннего половодья составило 2 %.

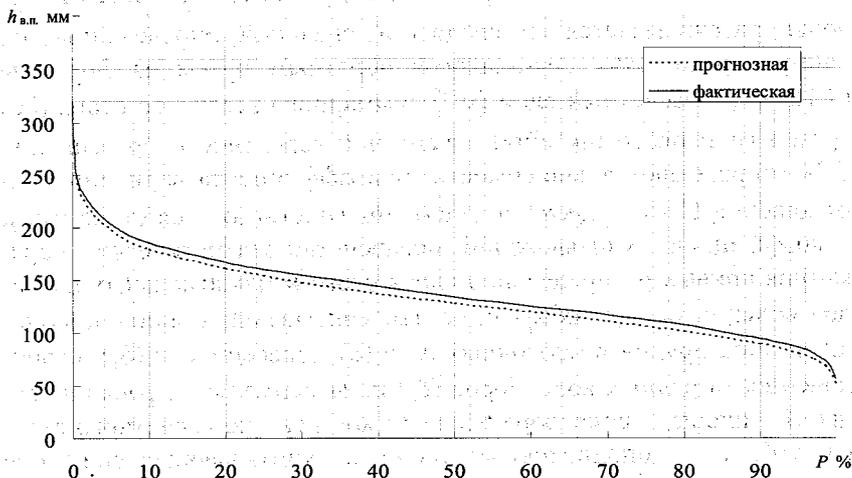


Рис. 8.2. Фактическая и прогнозная кривые обеспеченности слоя стока весеннего половодья.

Пример 8.2

Имеется створ на р. Тигода, расположенный в 48 км от устья. Морфометрические и физико-географические характеристики водосбора в створе: $F = 1080 \text{ км}^2$, $L = 95 \text{ км}$, $f_{л.} = 75 \%$, $f_{б.} = 10 \%$, $f_{оз.} < 1 \%$. Требуется определить максимальный сток 1%- и 10 %-ной обеспеченностей в данном створе при отсутствии наблюдений по нормативной методике без учета возможного изменения климата и в полученные значения внести климатические добавки.

В соответствии с СП 33-101-2003 при отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений на исследуемой реке, но наличии рек-аналогов, определение максимальных расходов весеннего половодья осуществляется по редуccionной формуле. Данный метод расчета применим для рек с площадями водосборов от элементарно малых (менее 1 км^2) до $20\,000 \text{ км}^2$ для Европейской территории РФ и до $50\,000 \text{ км}^2$ – для Азиатской части.

Расчетный максимальный расход воды весеннего половодья $Q_{P\%}$, м³/с, заданной вероятности превышения $P\%$ при наличии рек-аналогов определяется по редуccionной формуле:

$$Q_{P\%} = K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 A / (A + A_1)^n, \quad (8.1)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; рассчитывается как среднее из значений, определенных по данным нескольких рек-аналогов обратным путем из формулы (8.1); $h_{P\%}$ – расчетный слой (мм) суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания), ежегодной вероятности превышения $P\%$ (определяют в зависимости от коэффициента вариации C_v и отношения C_s/C_v , а также среднего многолетнего слоя стока h_0); μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения слоев стока и максимальных расходов воды; δ , δ_1 , δ_2 – коэффициенты, учитывающие влияние водохранилищ, прудов и проточных озер (δ), залесенности (δ_1) и заболоченности речных водосборов (δ_2) на максимальные расходы воды; A – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км²; A_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редуccion модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км²; n – показатель степени редуccion.

Показатель степени редуccion n и параметр A_1 в формуле (8.1) определяют на основе зависимости $q_{\max P\%} = f(A)$ по данным наблюдений на изученных реках исследуемого района, где $q_{\max P\%}$ – модуль максимального стока.

При обосновании в формулу (8.1) допускается введение дополнительных параметров, учитывающих влияние естественных и искусственных факторов на формирование максимального стока воды рек весеннего половодья.

Расчет максимальных расходов по формуле (8.1) рекомендуется производить на основе применения метода аналогии путем подбора водосборов с наличием данных наблюдений по стоку и расчета параметра K_0 обратным путем по следующей формуле:

$$K_0 = (Q_{P\%} (A + A_1)^n) / (h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 A). \quad (8.2)$$

Расчет по указанным выше формулам сводится к следующей последовательности:

– по всем выбранным рекам-аналогам собираются данные по максимальным расходам воды и по слоям стока весеннего половодья за весь период наблюдений;

– производится расчет и построение эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды и слоев стока весеннего половодья, подбор аналитических кривых распределения и расчет статистических параметров;

– по формуле (8.2) рассчитывается коэффициент дружности для рек-аналогов при вероятности превышения максимальных расходов воды необходимой обеспеченности;

– с использованием крупномасштабных карт определяются основные гидрографические характеристики водосбора до рассматриваемого створа;

– по формуле (8.1) выполняется расчет максимальных расходов заданной обеспеченности для рассматриваемого створа.

В качестве аналога выбран пост ст. Любань, расположенный на р. Тигода на 38 км выше по течению от рассматриваемого створа. Морфометрические характеристики: $F = 589 \text{ км}^2$, $L = 57 \text{ км}$, $f_n = 80 \%$, $f_6 = 14 \%$, $f_{оз} < 1 \%$. В результате расчета эмпирического распределения и подбора аналитической кривой распределения были получены статические параметры, представленные в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Расчетные характеристики максимального стока половодья
для р. Тигоды – ст. Любань

$Q_{\text{ср}}^3$ м ³ /с	C_v	$C_{\text{ср}}/C_v$	Макс. расходы, заданной обеспеченности, м ³ /с		$h_{\text{ср}}$ мм	C_v	$C_{\text{ср}}/C_v$	Слой стока заданной обеспеченности, мм	
			1 %	10 %				1 %	10 %
55,4	0,44	3	133	88,5	126	0,31	4	247	178

Полученные данные по максимальным расходам воды и рассчитанные слои стока за половодье использовались для определения коэффициента дружности. Численные значения параметра K_0 , рассчитанные по формуле (8.2), для расходов 1 %-ной и 10 %-ной обеспеченностей оказались одинаковыми и составили 0,01.

Искомые значения максимальных расходов в исследуемом створе определялись по формуле (8.1). Исходные данные и результаты расчетов представлены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Расчетные характеристики максимального стока половодья для р. Тигода в расчетном створе

Водоток	δ	δ_1	δ_2	$K_{1\%}$	$K_{10\%}$	$\mu_{1\%}$	$\mu_{10\%}$	Слой стока, мм		Расход воды, м ³ /с	
								$h_{1\%}$	$h_{10\%}$	$Q_{1\%}$	$Q_{10\%}$
р. Тигода	1	0,39	0,76	0,01	0,01	1	0,93	247	178	238	160

Норма годовых осадков составляет 640 мм. В соответствии с климатическим сценарием СОММТ для рассматриваемого створа осадки составят 672 мм.

Расчет по формулам $-\bar{c}m_1 + \bar{N} = 0$, $-2\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\bar{N}} = 0$, которые получают путем упрощения системы (5.5) с учетом того, что $\tau=1$, позволил определить статистические характеристики максимального стока в новых климатических условиях: $\bar{Q}_{\max} = 101 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,43$ и $C_s/C_v = 3$. По полученным значениям и по формуле (8.2) были определены модули и соответствующие им расходы 1 %-ной и 10 %-ной обеспеченности: $Q_{\max 1\%} = 260 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{\max 10\%} = 170 \text{ м}^3/\text{с}$. Полученные оценки максимальных расходов отличаются от значений, определенных в соответствии с нормативными документами, на 9 % и 6 % вследствие увеличения нормы максимального стока и уменьшения коэффициента вариации.

Так же как и в случае годового стока, были выполнены ретроспективные прогнозы (аналог климатических сценарных оценок) для слоев стока весеннего половодья.

Для ретроспективного прогноза ряды слоя стока весеннего половодья делились на две части с максимальным отклонением в средних значениях, оценивавшимся по критерию Стьюдента. Из 98 рядов на ЕТР выявлено 46, на которых наблюдалась ситуация, соответствующая увеличению нормы осадков и увеличению нормы слоя стока; на 15 постах наблюдалось уменьшение нормы осадков и – как прямое следствие – уменьшение нормы слоя стока; на 35 постах увеличение осадков приводило к уменьшению стока.

Сравнение фактической и условной прогнозной кривых обеспеченностей производилось по критерию согласия Крамера–Мизеса–Смирнова для различных уровней значимости (1 %, 5 %, 10 % и 20 %). Результаты представлены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Результаты сравнения фактической и условной прогнозной кривых обеспеченностей

Уровень значимости, %	1	5	10	20
Число случаев согласования, % для ($\dot{X}_1 < \dot{X}_2, h_{в.п.1} < h_{в.п.2}$)	96	78	70	50
Число случаев согласования, % для ($\dot{X}_1 > \dot{X}_2, h_{в.п.1} > h_{в.п.2}$)	67	60	60	40
Число случаев согласования, % для ($\dot{X}_1 < \dot{X}_2, h_{в.п.1} > h_{в.п.2}$)	31	11	6	3

Как следует из этой таблицы, результаты хуже, чем для годового стока, но в 70 % случаев на 5–10 %-ном уровне значимости гарантируют получение вполне приемлемых результатов. Исключения составляют случаи асинхронного изменения нормы годовых осадков и стока весеннего половодья, когда коэффициент стока необходимо «размораживать» (см. [6]).

Раздел 9. Минимальный сток

Обоснованность применимости стохастической модели для оценки характеристик минимального стока подтверждается тем, что, как и годовой, минимальный сток описывается семейством кривых Пирсона, которые являются решением уравнения ФПК в квазистационарном приближении. Суть методики, как для годового и максимального стока, так и для минимального, сводится к нескольким этапам: параметризации модели по имеющимся фактическим данным; корректировке параметров с учетом изменившихся климатических и физико-географических условий; оценке статистических характеристик минимального стока с учетом возможных изменений основных стокоформирующих факторов.

В качестве внешнего воздействия в модели при оценке минимального стока используется норма среднегодовых осадков, так как выделение осадков, влияющих на изменчивость минимального

стока, является сложной задачей, требующей детального рассмотрения на территориальном уровне. Минимальный сток наблюдается в периоды с ограниченным поступлением поверхностного стока в русло. Однако значение осадков в формировании минимального стока остается довольно существенным, поскольку подземные воды, питающие реки в этот период, в свою очередь, сформированы осадками. Кроме того, правомерность использования годовых осадков подтверждается наличием связи между последними и минимальным стоком, выявленной многими исследователями [2]. Норма годовых осадков используется и при оценке одного из параметров модели – коэффициента стока.

Апробация методики, выполненная с целью проверки возможности прогнозирования характеристик минимального стока, проводилась на обширном ретроспективном материале [3].

Методика ретроспективных прогнозов сводилась: к выявлению неоднородных рядов минимального стока (которые использовались как аналоги рядов, подвергшихся антропогенному воздействию или статистически значимому изменению климатического воздействия); разбиению рядов на две части; параметризации модели по одной части ряда и выполнению поверочных расчетов статистических характеристик для второй половины ряда.

Проведенные поверочные расчеты по створам, расположенным на Европейской территории России, позволили сделать вывод о том, что стохастическая модель позволяет проводить достаточно надежную оценку статистических характеристик минимального стока. Оправдываемость на 10 %-ном уровне значимости, оцененная по критерию Колмогорова, составляет в среднем 70 %. «Размораживание» коэффициентов модели с привлечением информации об интенсивности хозяйственной деятельности на водосборах, а также климатических изменениях, позволяет повысить оправдываемость на 5 – 15 %.

Решением модели (5.5) являются статистические характеристики, которые позволяют рассчитать расходы требуемой обеспеченности. При проектировании различных объектов, в зависимости от требований к бесперебойности в подаче воды, используются минимальные расходы, имеющие различную вероятность ежегодного превышения (обеспеченность) в диапазоне от 75 до 97 %.

Наиболее востребованной обеспеченностью является $P = 80 \%$, используемая при расчетах для отраслей, где допускается кратковременный перерыв и уменьшение подачи воды.

В практике инженерных гидрологических расчетов подобные характеристики определяются в соответствии с СП 33-101-2003 [14].

При *наличии* данных гидрометеорологических наблюдений определение расчетных минимальных расходов производят по кривым обеспеченности, аппроксимируемым распределением Пирсона III типа или трехпараметрическим распределением Крицкого–Менкеля. При *наличии* нулевых расходов воды в ряду наблюдений ежегодные вероятности превышения определяют по формуле:

$$P = \frac{n_1 P_1}{(n_1 + n_2)}, \quad (9.1)$$

где n_1 , n_2 – число членов однородных элементов, P_1 – ежегодная вероятность превышения однородных элементов, выраженная в процентах.

В случае несоответствия полученной аналитической кривой наблюдаемым значениям расчеты производят по эмпирической кривой вероятностей превышения.

При *недостаточности* данных параметры кривых распределения приводят к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов.

При *отсутствии* данных гидрометрических наблюдений в расчетном створе метод определения расчетного расхода воды зависит от категории реки: малая, средняя или большая. К малым относятся реки с верхним пределом площади водосбора от 1000 до 5000 км² (в зависимости от района). К средним относятся реки с площадью водосбора от вышеуказанных до 50 000 – 75 000 км². Реки с большей площадью считаются большими.

Минимальные расходы воды на больших и средних реках определяют по интерполяции между пунктами наблюдений с учетом боковой приточности и данных полевых гидрометеорологических изысканий в расчетном створе.

Минимальный сток малых равнинных рек рассчитывают по зависимости минимальных расходов 80 %-ной обеспеченности от площади водосбора для районов, однородных по условиям форми-

рования минимального стока, которая в общем виде имеет следующий вид:

$$Q_{p\%} = b(A \pm A_1^m) \delta_1 \delta_2 \lambda_{p\%}, \quad (9.2)$$

где A – площадь водосбора, км²; A_1 – дополнительная площадь водосбора: при положительном значении отражает дополнительное питание рек в период минимального стока за счет озерного регулирования при относительной озерности водосбора до 5 %; в случае отрицательного значения показывает площади водосбора с ежегодным отсутствием стока в течение 30 сут.; δ_1 – коэффициент, учитывающий увеличение минимальных расходов воды на озерных реках; δ_2 – коэффициент, учитывающий увеличение минимальных расходов воды заболоченных водосборов; $\lambda_{p\%}$ – переходный коэффициент от минимального 30-суточного расхода воды 80 %-ной обеспеченности к расходу воды расчетной обеспеченности.

Рассмотрим примеры оценки вероятных значений расходов воды по двум методикам при наличии и отсутствии данных наблюдений с учетом климатических изменений, задаваемых существующими сценариями.

Пример 9.1

Определим значения минимального 30-суточного модуля стока 80 %-ной обеспеченности за период зимней и летне-осенней межени на р. Ассилан-Йоки (пост д. Застава). Площадь водосбора в створе $F = 1370$ км².

По имеющемуся ряду наблюдений (1956–1998 гг.) статистические характеристики минимального стока составили:
зимний сток:

$$\bar{Q}_{\text{мин 30-сут зим}} = 6,28 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,44, C_s/C_v = 3, \sigma_Q = 8\%, \sigma_{C_v} = 16\%,$$

$$Q_{\text{мин 30-сут зим 80\%}} = 3,98 \text{ м}^3/\text{с};$$

летне-осенний сток:

$$\bar{Q}_{\text{мин 30-сут л-о}} = 5,59 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,40, C_s/C_v = 3, \sigma_Q = 8\%, \sigma_{C_v} = 16\%,$$

$$Q_{\text{мин 30-сут л-о 80\%}} = 3,71 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По климатическим картам находим норму осадков для данного бассейна $\bar{X} = 700$ мм. В соответствии со сценарием СОММИТ ожидаемые осадки будут 761 мм. Выполним расчет по стохастической модели при допущении постоянства параметров модели в новой климатической ситуации.

Согласно формулам (7.1) (при $\tau = 1$, $\bar{c} = 1/\bar{k}$, $\bar{N} = \bar{X}$), зная m_1 , m_2 (5,59 м³/с, 47,1 м⁶/с² – летне-осенняя межень; 6,28 м³/с, 36,2 м⁶/с² – зимняя межень) и \dot{X} , находим \bar{c} и $G_{\bar{N}}$, которые равны соответственно 4,85 и 74,0 м⁶/с³ (для зимней межени) и 5,45 и 54,5 м⁶/с³ (для летне-осенней межени).

Полученные значения сценарных оценок характеристик составляют:

для минимального зимнего стока –

$$\bar{Q}_{\text{мин 30-сут зим}} = 6,95 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,40, C_s = 1,20;$$

для минимального летне-осеннего стока –

$$\bar{Q}_{\text{мин 30-сут л-о}} = 5,96 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,37, C_s = 1,11.$$

Расчетные значения модуля стока 80 %-ной обеспеченности составят соответственно:

$$\text{зимний сток: } M_{\text{мин 30-сут зим 80\%}} = 4,61 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2),$$

$$\text{летне-осенний сток: } M_{\text{мин 30-сут л-о 80\%}} = 4,10 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2),$$

что на 15 % больше значений, определенных по нормативной методике для зимнего стока, и на 10 % больше – для летне-осеннего стока.

Пример 9.2

Определим значения минимального 30-суточного модуля стока на р. Тигода, в створе, расположенном в 48 км от устья. Морфометрические и физико-географические характеристики водосбора в створе: $F = 1080$ км², $L = 95$ км, $f_d = 75$ %, $f_6 = 10$ %, $f_{os} < 1$ %. Требуется определить статистические характеристики минимального стока в данном створе при отсутствии наблюдений по нормативной методике и методике, учитывающей изменение климата.

Рассматриваемая река относится к категории средних рек. В соответствии с СП 33-101-2003, на средних реках характеристики

стока определяются путем интерполяции между соседними пунктами наблюдений.

После соответствующей обработки, расчета статистических характеристик минимального стока на соседних пунктах и интерполяции в рассматриваемый створ были определены следующие характеристики минимального 30-дневного стока:

зимний сток: $M_{\text{мин 30-сут зим}} = 4,38 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2), C_v = 0,44,$

$$C_s/C_v = 2;$$

летне-осенний сток: $M_{\text{мин 30-сут л-о}} = 4,09 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2), C_v = 0,44,$

$$C_s/C_v = 2.$$

По климатическим картам находим норму осадков для данного бассейна $\bar{X} = 640 \text{ мм}$. В соответствии со сценарием СОММИТ ожидаемые осадки будут составлять 673 мм. Выполним расчет по стохастической модели при допущении постоянства параметров модели в новой климатической ситуации. Полученные значения сценарных оценок характеристик составят:

для минимального зимнего стока –

$$\bar{Q}_{\text{мин 30-сут зим}} = 4,61 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,42;$$

для минимального летне-осеннего стока –

$$\bar{Q}_{\text{мин 30-сут л-о}} = 4,38 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,41.$$

Отклонения значения нормы минимального зимнего стока при существующем гидрометеорологическом режиме от значения с учетом климатического сценария составляют 5 %, для летне-осеннего стока эта величина составляет 7 %.

В силу простоты адаптированного к инженерной практике варианта прогнозной стохастической модели легко проводить фоновые оценки гидрологических последствий изменения климата. В качестве примера на рис. 9.1 представлена карта аномалий (отличий прогнозных от существующих) коэффициентов вариации летне-осенней межени на территории России. Параметризация модели проводилась по карте приложения к СН 435-72 [13] на расчетной сетке 30 км × 30 км по долготе и широте, а построение карты – с использованием ГИС-технологий (программы *ArcView* и *Surfer*).

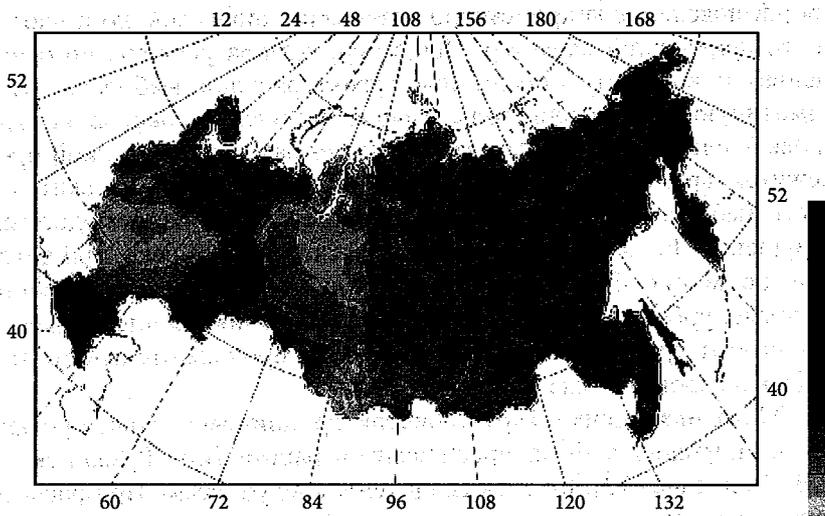


Рис. 9.1. Карта аномалий коэффициентов вариации летне-осеннего стока для одного из сценариев на 2100 г.

Раздел 10. Характеристики группировок (выбросов) многолетнего стока

Существующие традиционные методы анализа многолетних колебаний речного стока не полностью удовлетворяют водохозяйственным потребностям и не всегда являются информативными при оценке экологически допустимых изменений водного режима. Этот недостаток можно устранить путем применения одного из разделов теории случайных процессов – теории выбросов. Под группировкой (выбросом) понимается выход случайной последовательности за уровень заданной обеспеченности. Обычно в гидрологии ограничиваются только получением вероятности такого выхода (вероятности превышения).

Использование аппарата теории случайных выбросов дает возможность получать более подробные и важные характеристики, такие как длительность выбросов, среднее число выбросов за некоторый промежуток времени, интервал между последовательностями выбросов и т. д. Эти характеристики представляют интерес не только с точки зрения лучшего понимания существа и особен-

ностей поведения гидрометеорологических процессов, но имеют и чисто прикладной характер. Например, если за уровень, по отношению к которому определены характеристики выбросов, взят лимитирующий уровень воды в реке, то число выбросов за этот уровень сверху вниз показывает, сколько раз за тот или иной промежуток времени нарушена работа судоходства; продолжительность выбросов представляет собой продолжительность подобных нарушений. Если за уровень выбран расход воды в реке, при котором не могут быть полностью удовлетворены промышленно-бытовые, урбанизационные и другие требования, то число выбросов за этот уровень показывает частоту и продолжительность перебоев в водопотреблении.

Методика оценки характеристик группировок, адаптированная к гидрологии, была предложена в работе В.А. Румянцева и И.В. Бовыкина [12]. Ее суть сводится к следующему. При расчете характеристик выбросов стока исходный ряд рассматривается как случайная последовательность $\{x_k\}$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), удовлетворяющая условию стационарности. Это означает, что любая m -мерная плотность распределения вероятности $P_x(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m})$ зависит только от взаимного расположения моментов времени i_1, i_2, \dots, i_m и не меняется при сдвиге всех отсчетов на одни и те же интервалы времени τ :

$$P_x(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_m}) = P_x(x_{i_1+\tau}, x_{i_2+\tau}, \dots, x_{i_m+\tau}). \quad (10.1)$$

Считается, что в i -й момент времени имеет место выброс случайной последовательности $\{x_k\}$ снизу вверх за уровень a , если выполняется условие:

$$x_{i-1} \leq a, \quad x_i > a, \quad (10.2)$$

и выброс сверху вниз (отрицательный выброс), если

$$x_{i-1} \geq a, \quad x_i < a. \quad (10.3)$$

За значение a принимается величина расхода воды такой обеспеченности, ниже или выше которой могут наблюдаться засухи или наводнения.

В этом случае число выбросов сверху вниз (снизу вверх) и их продолжительность показывают, сколько раз за интересующий нас промежуток времени будут наблюдаться перебои с водоснабжением (или катастрофически повышенная водность) и какова будет их длительность. Поэтому одними из основных характеристик выбросов стока считаются средняя их длительность El и частота появления v .

Для вычисления этих характеристик, кроме одномерной плотности распределения вероятностей, необходимо знать также совместные плотности распределения стокового ряда¹. В гидрологической практике многомерные плотности распределения использовались мало. Объясняется это двумя причинами: во-первых, еще не достаточным объемом выполненных теоретических исследований в области многомерных распределений и, во-вторых, малыми длинами гидрологических рядов, не позволяющими получать надежные выборочные оценки многомерных плотностей распределения вероятностей непосредственно по данным наблюдений.

Из-за малой продолжительности рядов при выполнении статистического анализа в гидрологии ограничиваются, как правило, расчетом только одномерных плотностей распределения вероятностей. В гидрологической практике используется довольно большое число различных их типов.

Знание одномерной плотности распределения вероятностей, а также корреляционной функции стока оказывается недостаточным для однозначного решения вопроса о совместной плотности распределения вероятностей. Одним и тем же одномерной плотности и автокорреляционной функции могут отвечать различные совместные распределения.

Наиболее изученным является многомерное нормальное распределение, однако и его применение к стоковым рядам ограничено случаями, когда асимметрия одномерного распределения незначительна, коэффициент вариации C_v небольшой, и поэтому вероятность выхода в область отрицательных значений пренебрежимо мала. Для большого количества гидрологических рядов одномерные распределения имеют существенную асимметрию, и поэтому принятие по отношению к непосредственно наблюдаемым

¹ На стр. 39–40 данного издания излагаются основы методик с сокращениями и небольшими отклонениями от текста первоисточника [12], стр. 38–54.

данным гипотезы нормальности является сильным упрощением, которое может приводить к серьезным просчетам при определении характеристик группировок. В работе [11] было предложено осуществлять предварительную нормализацию исходного ряда $\{x_i\}$.

Нормализованные значения Y_i удобно получать с помощью преобразования, которое нашло широкое применение при использовании метода Монте-Карло:

$$Y_i = \Phi^{-1}(F(x_i)), \quad (10.4)$$

где $F(x_i)$ – одномерная функция распределения исходного ряда; Φ^{-1} – функция, обратная функции распределения случайной величины, распределенной по нормальному закону с параметрами ноль и единица.

Это преобразование можно произвести, воспользовавшись таблицами математической статистики [1]. Преобразованный таким образом ряд значений $\{Y_i\}$ находится во взаимно однозначном соответствии с исходным рядом $\{X_i\}$ и подчиняется одномерному закону распределения $N(0; 1)$. Если взять величину b , удовлетворяющую условию

$$b = \Phi^{-1}(F(a)), \quad (10.5)$$

то каждой группировке значений стока $\{X_i\}$ относительно уровня a будет однозначно соответствовать аналогичная группировка значений $\{Y_i\}$ относительно уровня b (рис. 10.1). Можно показать, что такие значения характеристик группировок, как число n , длительности Γ^+ и Γ и продолжительность интервалов между ними L для нормализованного и исходного рядов совпадают.

Для расчетов характеристик выбросов нормально распределенной последовательности были составлены таблицы для частоты появления $\nu = \nu(b, q)$, а также для средней продолжительности положительных $E\Gamma^+ = E\Gamma^+(b, q)$ выбросов. Величину $\nu(b, q)$ при отрицательных значениях b можно найти, воспользовавшись таблицей и соотношением [12]:

$$\nu(b, q) = \nu(-b, q), \quad (10.6)$$

где b – уровень, связанный с заданным уровнем a для исходного ряда преобразованием (10.5); q – коэффициент корреляции q между смежными членами нормированной последовательности $\{Y_i\}$.

Данная методика была использована ее авторами при оценке пространственно-временных закономерностей колебания годового стока рек Евразии.

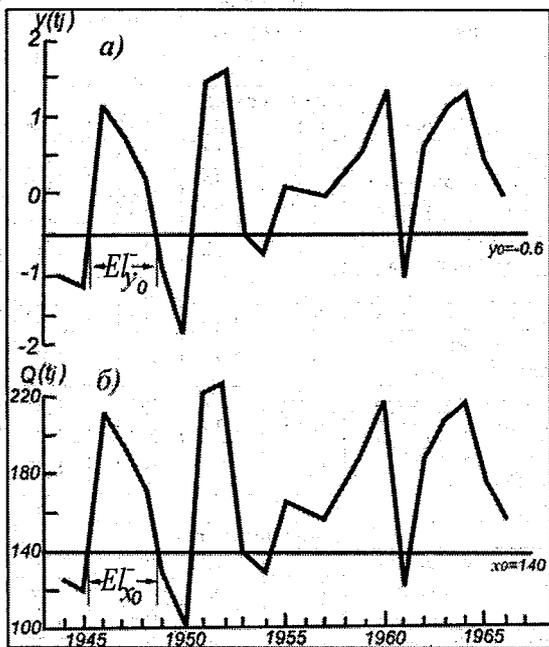


Рис. 10.1. Исходный (б) и нормированный (а) гидрологические ряды [11].

Применительно к минимальному стоку надежность данной методики была оценена в РГГМУ на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов для периодов зимней и летне-осенней межени [4, 5]. Для выявления погрешности определения характеристик выбросов минимального стока по представленной методике выполнялся их расчет по фактическим рядам наблюдений и сравнение результатов. Расчет проводился по 25 произвольно выбранным рядам наблюдений за минимальным зимним и летне-осенним 30-суточным стоком. За значение a принимался расход воды в реке, ниже которого не могут быть полностью удовлетворены промышленно-бытовые или какие-либо другие требования (минимальный 30-суточный расход 80 %-ной обеспеченности). Полученные результаты приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Характеристики группировок минимального стока, полученные по фактическим рядам наблюдений и с использованием методики

№ п/п	Река - пост	По исходному ряду		По методике		Отклонения по модулю, %	
		v	ЕГ	v	ЕГ	v	ЕГ
Зимний сток							
1	р. Паша – д. Дуброво	0,13	1,08	0,15	1,36	13,5	25,5
2	р. Сясь – д. Яхново	0,13	1,13	0,15	1,36	15,6	20,8
3	р. Воложба – д. Воложба	0,16	1,36	0,15	1,36	7,4	0,2
4	р. Тихвинка – д. Горелуха	0,19	1,57	0,15	1,36	22,1	13,4
5	р. Мста – д. Березовский Рядок	0,13	0,98	0,15	1,36	15,6	38,2
.....							
21	р. Томь – с. Светиловка	0,16	1,18	0,14	1,43	13,0	21,1
22	р. Тунгуска – с. Архангеловка	0,16	1,21	0,14	1,43	9,9	18,5
23	р. Кур – с. Новокуровка	0,16	1,31	0,14	1,43	9,8	8,8
24	р. Амгунь – с. Гуга	0,15	1,34	0,14	1,43	8,6	6,3
25	р. Большая Уссурка – с. Роцино	0,13	1,76	0,13	1,51	0,5	14,0
Среднее						12,2	16,2
Летне-осенний сток							
1	р. Паша – с. Часовенское	0,21	0,93	0,14	1,38	29,6	48,3
2	р. Шуя – д. Бесовец	0,11	1,03	0,15	1,3	34,5	27,3
3	р. Водла – д. Харловская	0,13	1,28	0,15	1,34	17,2	4,3
4	р. Сясь – д. Яхново	0,13	0,98	0,14	1,39	8,3	41,3
5	р. Тихвинка – д. Горелуха	0,09	1,91	0,12	1,7	32,8	11,1
.....							
21	р. Ботома – гм. ст. Бролог	0,10	1,28	0,14	1,43	40,3	12,1
22	р. Зея – с. Бомнак	0,19	1,16	0,16	1,28	16,6	11,0
23	р. Ингода – с. Атамановка	0,11	1,25	0,15	1,35	39,4	8,2
24	р. Бикин – ст. Звеньевой	0,11	1,24	0,15	1,35	33,9	9,0
25	р. Хор – пгт Хор	0,16	1,08	0,15	1,35	8,6	24,8
Среднее						17,5	19,1

Из табл. 10.1 видно, что средние отклонения характеристик выбросов, полученных по методике и по фактическим рядам наблюдений, не превышают 20 %, что говорит о правомерности ее использования.

Расчет характеристик выбросов многолетнего стока по вышеприведенной методике подразумевает решение нескольких задач:

а) определение коэффициента вариации C_v исходного гидрологического ряда;

б) расчет коэффициента автокорреляции между смежными членами ряда (или его определение по районным зависимостям);

в) осуществление нормализации исходного асимметричного ряда и определение коэффициента корреляции между смежными членами нормированной последовательности с использованием соответствующих таблиц [1];

г) определение характеристик выбросов по таблицам [12] в зависимости от коэффициента автокорреляции нормализованного ряда и уровня, ниже или выше которого и рассчитываются выбросы многолетнего стока.

Данная методика может быть использована при оценке характеристик группировок как для существующего гидрометеорологического режима, так и при возможных его изменениях.

Расчет характеристик группировок стока, соответствующих стационарному гидрометеорологическому режиму

Для оценки характеристик группировок необходима информация о коэффициентах вариации и автокорреляции. В случае *наличия* данных гидрометеорологических наблюдений эти характеристики могут быть определены традиционными методами. При *недостаточности* данных параметры определяются по рядам, приведенным к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов. При *отсутствии* данных в расчетном створе для оценки параметров могут быть использованы региональные методы, в основе которых лежат такие основные методы, как метод гидрологической аналогии, метод осреднения в однородном районе, построение карт изолиний.

Как показывает практика расчетов, наибольшие проблемы возникают при оценке численных значений коэффициента автокорреляции. Это связано с тем, что при расчетах автокорреляционных функций по ограниченному объему эмпирических данных их ординаты соизмеримы с их случайными отклонениями. Поэтому при расчетах рекомендуется использовать данные, полученные по методике группового анализа. Результаты оценки однородности выборочных значений коэффициентов автокорреляции основных видов речного стока и районирования их численных значений по территории нашей страны представлены в работе [10].

Рассмотрим оценку характеристик группировок на примере минимального 30-дневного стока.

Пример 10.1

Определим значения продолжительности и частоты выбросов минимального 30-суточного модуля стока за период зимней межени на р. Паша (пост. Д., Дуброво, $F = 3910 \text{ км}^2$). По имеющемуся ряду наблюдений (1935 – 1980 гг.) статистические характеристики минимального зимнего стока составляют: $\bar{M} = 2,31 \text{ л/(с. км}^2\text{)}$; $C_v = 0,36$; $r(1) = 0,15$; $\sigma_{R_3} = 0,14$. Среднеквадратическая погрешность определения коэффициента автокорреляции соизмерима с самим его значением, поэтому возникает необходимость использования значения, осредненного по однородному району.

Анализ однородности коэффициентов $r(1)$ по отдельным физико-географическим районам с близкими условиями формирования стока для рядов минимальных средних месячных расходов воды на территории СССР был выполнен в [10]. Но следует отметить, что, во-первых, условия формирования минимальных средних месячных и минимальных 30-суточных расходов воды несколько отличаются, во-вторых, районы, по которым осреднялись коэффициенты автокорреляции в [10], достаточно большие по площади. А, как известно, формирование минимального стока зависит от факторов, которые очень пестро меняются по территории (например, распределение грунтовых вод, связанное с геологическим строением, почвогрунтами и рельефом). Проведенное детальное районирование, в частности, Европейской территории России, по значениям коэффициента автокорреляции позволило определить, что рассматриваемый створ располагается в районе, где среднее значение составляет $r(1) = 0,16$.

Пользуясь значениями коэффициентов вариации и асимметрии и задаваясь уровнем значимости, соответствующим минимальному стоку 80 %-ной обеспеченности, по таблицам, приведенным в [12], найдем численные значения таких характеристик, как продолжительность (EI) и частота (ν) группировок: $EI = 1,36$, $\nu = 0,147$. Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом: выход минимального 30-дневного зимнего стока за уровень 80 %-ной обеспеченности (выброс) в данном створе наблюдается в среднем 15 раз в 100 лет; продолжительность такого выхода составляет в среднем 1,36 года.

Расчет характеристик группировок стока с учетом возможных изменений гидрометеорологического режима

При оценке характеристик группировок на перспективу с учетом возможных вариаций гидрометеорологического режима необходимо располагать информацией об изменении коэффициентов вариации и автокорреляции. Значения статистических характеристик минимального стока (нормы и коэффициента вариации) в новой климатической ситуации могут быть получены с использованием стохастической модели формирования стока (ФПК) по методике, описанной в разделах 5 и 6. Методики же оценки коэффициента корреляции между смежными членами гидрологического ряда на перспективу не существует. Поэтому целесообразно применять графические зависимости и аналитические выражения, связывающие величину коэффициента корреляции $r(1)$ между смежными членами ряда и такими характеристиками стока, как среднеемноголетний модуль, коэффициент вариации. Пример таких зависимостей, полученных авторами [4] для минимального зимнего стока, в табличном виде для Европейской территории России представлен в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Средневзвешенные значения коэффициентов корреляции между смежными членами рядов минимального 30-суточного зимнего стока по градациям среднеемноголетнего модуля и коэффициента вариации для Европейской территории России

Диапазон \bar{M} л/с км ²	Число рядов, попавших в диапазон	$\bar{r}_{взв}(1)$	$\sigma_{\bar{r}_{взв}}(1)$	Диапазон C_v	Число рядов, попавших в диапазон	$\bar{r}_{взв}(1)$	$\sigma_{\bar{r}_{взв}}(1)$
0,11 – 0,50	12	0,47	0,13	0,12 – 0,15	9	0,47	0,15
0,51 – 1,00	28	0,40	0,14	0,16 – 0,20	16	0,40	0,16
1,01 – 1,50	35	0,27	0,15	0,21 – 0,25	30	0,27	0,15
1,51 – 2,00	31	0,20	0,16	0,26 – 0,30	21	0,20	0,15
2,01 – 2,50	21	0,24	0,15	0,31 – 0,35	29	0,24	0,14
2,51 – 3,00	11	0,18	0,15	0,36 – 0,40	22	0,18	0,15
3,01 – 4,00	5	0,13	0,17	0,41 – 0,45	9	0,13	0,14
4,02 – 4,76	3	0,23	0,14	0,46 – 0,50	8	0,23	0,15
5,54	1	0,20	0,15	0,51 – 0,82	4	0,20	0,13
10,3	1	0,26	0,17	—	—	—	—

Полученные значения $r(1)$ и C_v , соответствующие возможному гидрометеорологическому режиму, используются для определения коэффициента корреляции между членами нормированного ряда. Последний, с учетом заданного уровня водности, служит входом в таблицы, по которым могут быть определены характеристики группировок стока при реализации возможных сценариев изменения климата.

Рассмотрим пример сценарной оценки характеристик группировок минимального 30-дневного стока при изменении климата.

Пример 10.2

Имеется ряд наблюдений за минимальным 30-суточным зимним стоком за период 1937 – 1980 гг. ($n = 44$) в створе р. Воложба – д. Воложба ($F = 1330 \text{ км}^2$). Требуется оценить характеристики группировок с учетом прогнозируемой климатической ситуации.

На первом этапе статистически обрабатываем исходный ряд и находим такие его характеристики, как норма, коэффициент вариации и коэффициент автокорреляции: $\bar{M} = 2,53 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$; $C_v = 0,20$; $r(1) = 0,29$. В результате группового анализа коэффициента автокорреляции выявлено, что рассматриваемый створ располагается в районе, для которого среднее значение $r(1)$ составляет 0,16.

На основе имеющихся статистических характеристик минимального 30-дневного зимнего стока, а также нормы годовых осадков ($\bar{X} = 788 \text{ мм}$), соответствующих стационарному гидрометеорологическому режиму, выполняем параметризацию стохастической модели. На следующем этапе, задаваясь сценарными оценками величины годовых осадков (857 мм), выполняем расчеты возможных значений статистических характеристик минимального стока. Полученные значения составят: $\bar{M} = 2,76 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$; $C_v = 0,19$. Значение коэффициента автокорреляций определяем по представленным в табл. 10.2 зависимостям его от нормы стока и коэффициента вариации – $r(1) = 0,15$. Значение коэффициента автокорреляции нормированного ряда составит $r(1) = 0,14$. Далее, задаваясь полученными значениями C_v и $r(1) = 0,14$, а также уровнем водности, соответствующим минимальному стоку 80 %-ной обеспеченности, определяем характеристики группировок пониженной водности для данного створа на перспективу: продолжительность группировок $EI = 1,36$, частота появления группировок $v = 0,148$.

Заключение

Приведенные примеры отражают только ту часть исследований кафедры гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ, которые доведены до простых расчетных формул и прошли апробацию. Имеются результаты, которые пока не оформлены в доступной для инженеров-проектировщиков форме, например, требуют численного интегрирования систем дифференциальных уравнений. Не доведен еще до практического применения метод оценки долгосрочных изменений характеристик дождевого максимума. Это связано с тем, что в предыдущих климатических сценариях присутствовали только многолетние нормы осадков, которые не коррелируются с дождевым максимумом. Новейшие сценарии содержат внутригодовой ход осадков, что открывает возможность прогнозировать и его долгосрочные изменения. А это, в свою очередь, открывает возможность «прогнозирования» и типового гидрографа в новой климатической ситуации.

В Рекомендациях не затронут также вопрос о физической неустойчивости процесса формирования стока, что особенно характерно для южных регионов России. Эта неустойчивость ведет к невозможности статистического прогнозирования катастроф. Эмпирические гистограммы приводят к так называемым «толстым хвостам» вероятностных распределений или к их полимодальности. Разработаны методы борьбы с этой неустойчивостью в рамках созданного в РГГМУ научного направления «Частично инфинитная гидрология». Они сводятся к переходу от одномерных распределений к многомерным вероятностным поверхностям. В дальнейшем предполагается эти результаты (полученные в основном при выполнении проекта № 2.1.1/3355) также оформить в виде Рекомендаций, доступных инженерам-проектировщикам.

Литература

1. *Большев Л. Н., Смирнов Н. В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
2. *Владимиров А. М.* Сток рек в маловодный период года. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 296 с.
3. *Викторова Н. В.* Исследование применимости стохастической модели формирования летне-осеннего и зимнего минимального стока для оценки гидрологических последствий антропогенного изменения климата // Дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук, спец. 25.00.27. – СПб., РГГМУ, 2002. – 240 с.
4. *Викторова Н. В., Громова М. Н.* Долгосрочный прогноз характеристик выбросов минимального стока рек России при возможном изменении климата // Гидрология и метеорология, 2008, № 6, с. 72 – 80.
5. *Громова М. Н.* Методика долгосрочных оценок характеристик группировок минимального стока в современных условиях и при изменении климата. Дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. – СПб., 2009. – 155 с.
6. *Коваленко В. В.* Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб., изд. РГГМУ, 2009. – 100 с.
7. *Коваленко В. В.* Оценка гидрологической надежности гидротехнических сооружений при неустановившемся климате // Гидротехническое строительство, 2010, № 4, с. 41–44.
8. *Коваленко В. В., Викторова Н. В., Гайдукова Е. В.* Моделирование гидрологических процессов. Учебник. Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб., изд. РГГМУ, 2006. – 559 с. (1-е изд. *Коваленко В. В.* Моделирование гидрологических процессов. – СПб., изд. РГГМУ, 1993. – 256 с.)
9. *Оптоков Е. В.* Постановка и организация изучения годового стока в различных физико-географических условиях. Труды II Всесоюз. гидрол. съезда. – Л., 1928.
10. *Пространственно-временные колебания стока рек СССР.* Под ред. А.В. Рождественского. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 376 с.
11. *Румянцев В. А.* Применение теории случайных выбросов к исследованию временных гидрологических рядов // Труды ГГИ, 1973, вып. 211, с. 192 – 221.
12. *Румянцев В. А., Бовыкин И. В.* Пространственно-временные закономерности колебаний стока рек Евразии. – Л.: Наука, 1985. – 148 с.
13. *СН 435-72.* Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 17 с.
14. *СП 33-101-2003.* Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.
15. The IPCC Assessment Reports // [Электронный ресурс]: IPCC, 2009. – Режим доступа: <http://www.ipcc.ch>

Содержание

Предисловие	3
Введение	4
Раздел 1. Область применения	7
Раздел 2. Нормативные ссылки	7
Раздел 3. Термины и определения	8
Раздел 4. Обозначения и сокращения	8
Раздел 5. Эволюционная модель формирования многолетнего речного стока	9
Раздел 6. Климатические сценарии	12
Раздел 7. Годовой сток	19
Раздел 8. Максимальный сток весеннего половодья	24
Раздел 9. Минимальный сток	31
Раздел 10. Характеристики группировок (выбросов) многолетнего стока	37
Заключение	47
Литература	48

The contents

The foreword	3
Introduction	4
Section 1. Area of application	7
Section 2. Normative references	7
Section 3. Terms and definitions	8
Section 4. Designation and reduction	8
Section 5. Evolutionary model of formation of a long-term river flow	9
Section 6. Climatic scripts	12
Section 7. Annual flow	19
Section 8. Maximal flow of a spring high water	24
Section 9. Minimal flow	31
Section 10. Characteristic of groupings (emissions) of a long-term flow	37
The conclusion	47
The literature	48

Научное издание

Коваленко Виктор Васильевич
Викторова Наталья Владимировна
Гайдукова Екатерина Владимировна
Громова Марина Николаевна
Хаустов Виталий Александрович
Шевнина Елена Валентиновна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ
ОБЕСПЕЧЕННЫХ РАСХОДОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ КЛИМАТЕ**

Редакторы Л. В. Ковель, И. Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 16.11.10. Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 3,2. Тираж 250 экз. Заказ № 66/10.
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1.

THE [illegible]

[Faint, illegible text, possibly a list or table of contents]

[Faint, illegible text, possibly a list or table of contents]