

Д. В. Магрицкий

РЕЧНОЙ СТОК И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ. КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО
БАКАЛАВРИАТА**

2-е издание, исправленное и дополненное

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2017

УДК 556(075.8)

ББК 26.222я73

М12

Автор:

Магрицкий Дмитрий Владимирович — доцент кафедры гидрологии суши географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, доцент.

Рецензенты:

Евстигнеев В. М. — профессор, доктор географических наук, профессор Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;

Христофоров А. В. — профессор, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;

Айбулатов Д. Н. — кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры гидрологии суши.

Магрицкий, Д. В.

М12 Речной сток и гидрологические расчеты. Компьютерный практикум : учеб. пособие для академического бакалавриата / Д. В. Магрицкий. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 184 с. — (Серия : Университеты России).

ISBN 978-5-534-04788-2

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В учебном пособии представлены приемы расчетов речного стока с использованием специализированных компьютерных программ. В нем подробно описана работа с программами Microsoft Excel, StokStat, HydroStatCalc и «Гидрорасчеты», а также методы расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Для студентов высших учебных заведений, а также всех интересующихся гидрологическими расчетами.

УДК 556(075.8)

ББК 26.222я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Магрицкий Д. В., 2014

© Магрицкий Д. В., 2017, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

ISBN 978-5-534-04788-2

Оглавление

Предисловие	5
-------------------	---

Тема I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НАЛИЧИИ И НЕДОСТАТОЧНОСТИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Раздел 1. Статистический анализ рядов стока в Microsoft Excel.....	9
Задание 1. Проверка исходного ряда данных на соответствие статистическим гипотезам	10
Задание 2. Построение разностной интегральной кривой и оценка репрезентативности периода наблюдений.....	25
Задание 3. Восстановление значений стока за отдельные годы (по одному аналогу) и расчет параметров кривых обеспеченности	30
Задание 4. Приведение параметров кривых обеспеченности годового стока к многолетнему периоду.....	41
Раздел 2. Расчеты гидрологических характеристик при совместном использовании программ StokStat и MS Excel	44
Задание 5. Определение расчетных гидрологических характеристик годового стока.....	45
Задание 6. Расчеты внутригодового распределения стока методом компоновки.....	51
Раздел 3. Гидрологические расчеты в среде программного комплекса HydroStatCalc.....	57
Задание 7. Подготовка и первичный анализ исходных данных	61
Задание 8. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья.....	69
Задание 9. Расчет максимальных расходов воды в случае выдающегося значения	74
Задание 10. Расчет максимальных расходов воды в случае генетической неоднородности данных наблюдений.....	79

Задание 11. Восстановление пропусков в наблюдениях с привлечением одного пункта-аналога	83
Задание 12. Восстановление пропусков в наблюдениях на основе данных нескольких пунктов-аналогов.....	87
Раздел 4. Гидрологические расчеты в программном комплексе «Гидрорасчеты»	91
Задание 13. Оценка параметров функции распределения вероятностей и построение кривых обеспеченности годового стока	99
Задание 14. Приведение параметров кривой обеспеченности к многолетнему периоду в случае одного или нескольких пунктов-аналогов	106
Задание 15. Расчеты внутригодового распределения стока методом компоновки.....	112
Задание 16. Построение расчетного гидрографа весеннего половодья.....	119

Тема II

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Раздел 5. Основные методы и теоретические принципы проведения гидрологических расчетов в условиях отсутствия данных	127
Раздел 6. Решение расчетных гидрологических задач с использованием программного комплекса ArcGIS	137
Задание 17. Определение морфометрических, ландшафтных и гидрографических характеристик речного водосбора	139
Задание 18. Пространственная интерполяция характеристик годового стока с использованием ГИС-технологий	151
Задание 19. Расчет характеристик годового стока на основе интерполяционных карт.....	159
Литература	162
Рекомендуемая литература.....	165
Приложения.....	166

ПРЕДИСЛОВИЕ

Компьютеризация практически всех сфер человеческой деятельности, постоянный рост функциональных возможностей компьютеров и упрощение интерфейсов обращения с ними подтолкнуло специалистов-гидрологов заняться решением задачи автоматизации инженерных гидрологических расчетов, позволяющей многократно ускорить расчетный процесс, повысить точность гидрологических расчетов, работать с большими массивами данных, ставить и решать новые, более сложные расчетные задачи, разрабатывать и реализовывать новые методы расчетов, визуализировать полученные результаты и др.

В настоящее время в российской практике гидрологических расчетов и проектирования используется несколько программных продуктов, автоматизирующих процесс гидрологических расчетов. К ним относятся как специализированные компьютерные программы (Гидростатистика, «Гидрорасчеты», HydroStatCalc и StokStat), так и широко распространенные программные средства общераспространенные (Microsoft Excel, OpenOffice.org Calc и др.) и научного (Statistica, SPSS и др.) назначения. Они используются большинством проектных, изыскательских организаций и субъектами водохозяйственного комплекса, службами Росгидромета и МЧС, а также связанными с гидрометеорологической исследовательской деятельностью научными и учебно-научными центрами. Все это диктует необходимость овладения студентами-бакалаврами, обучающимися по направлению подготовки «Гидрометеорология» по программе академического и прикладного бакалавриата, приемами компьютерной обработки и анализа гидрологических данных.

Ознакомление с материалами пособия и последовательное выполнение всех практических заданий позволит студентам-бакалаврам успешно решить для себя упомянутую и любую другую профессиональную задачу.

Представленное пособие использует набор и логику построения заданий в немногочисленных учебно-практических вузовских изданиях по гидрологическим расчетам, например в пособии В.М. Евстигнеева и Д.В. Магрицкого¹, предлагая пути их выпол-

¹ Евстигнеев В.М., Магрицкий Д.В. Практические работы по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты». 2013.

нения именно при помощи программных средств, а не вручную, как это на протяжении многих десятилетий осуществлялось ранее. Практические задания пособия, предлагаемые методики, расчетные схемы и формулы опираются на действующие строительные нормы (СП 33-101-2003) и методические руководства по определению гидрологических характеристик, разработанные Государственным гидрологическим институтом (ГГИ).

Структура пособия построена следующим образом. Пособие составляют четыре раздела, ориентированных на обучение работе с программами Microsoft Excel, StokStat, HydroStatCalc и «Гидро-расчеты» и решению с их помощью ряда расчетных задач при наличии или недостаточности данных наблюдений. Программа Гидростатистика 2.1 в пособии не представлена.

Пятый (теоретический) и шестой разделы пособия посвящены определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Они подготовлены совместно с профессором МГУ имени М.В. Ломоносова А.В. Христофоровым и со специалистом кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова по геоинформационным системам Д.И. Школьным.

Каждый из разделов включает текстовое описание структуры и функциональных возможностей компьютерных программ, особенностей подготовки исходных данных, практические задания по некоторым видам расчетов стока. Всего пособие включает 19 практических заданий.

Во избежание повторений подробность описания алгоритма действий при выполнении задания уменьшается от задания к заданию с учетом постепенного освоения студентами программного продукта. В примечаниях, сопровождающих задания, содержится дополнительная (справочная) информация, часто не имеющая отношение к заданию, но позволяющая студенту, во-первых, эффективнее освоить программу и разобраться в важных особенностях ее функционирования; во-вторых, лишний раз обратить внимание на некоторые положения действующего СП 33-101-2003, возможности и варианты их практической реализации.

Необходимо отметить, что материалы данного пособия не знакомят со всеми нюансами и функциональными возможностями упомянутых программ и не подменяют собой руководства пользователя, требующие от неподготовленного читателя значительных

временных ресурсов для их прочтения и специализированных знаний. Задача данного пособия — обучить студента-бакалавра правильно формировать массивы исходных данных и переносить их в компьютерную программу; освоив основные разделы программы и ее функциональные возможности, правила перехода от одной опции к другой, от одного раздела к другому, понять, как осуществлять обработку данных, анализировать и сохранять полученные результаты, выполнять основные виды гидрологических расчетов, строить графики и др. Все это позволит студенту в дальнейшем решать любые другие задачи, связанные с гидрологическими расчетами, развивать полученные навыки и обратную связь с разработчиками специализированных программных продуктов.

При этом всегда следует помнить, что вычислительная техника и программные средства, как и человек, несовершенны. Поэтому к результатам расчетов, выполненных с использованием той или иной компьютерной программы, следует относиться осторожно и при возможности проверять их с привлечением дополнительных данных, других методов и инструментов.

Все задания выполняются студентом в электронном виде. К каждому заданию студенты составляют в текстовом редакторе краткую пояснительную записку. Текст сопровождают таблицы и графики, импортированные из программы, которые обязательно нумеруют и подписывают. Каждое задание начинается с титульного листа.

В результате изучения дисциплины «Речной сток и гидрологические расчеты» и выполнения практических заданий студент-бакалавр должен:

знать

- основные закономерности формирования стока, его колебаний в пространстве и времени;
- методы изучения этих закономерностей, источники информации, конкретные методики расчета параметров и характеристик стока;
- требования, предъявляемые практикой и нормами строительного проектирования к составу и точности расчетов речного стока;

уметь

- количественно выражать закономерности колебаний стока;
- самостоятельно разрабатывать региональные методы расчета;

- рассчитывать параметры и характеристики стока в условиях наличия данных продолжительных гидрометрических наблюдений, а также при их отсутствии или недостаточности, оценивать точность их расчетов;

владеть

- стандартными приемами расчетов речного стока в соответствии с нормами строительного проектирования;
- навыками работы с вычислительной техникой и специализированными программными комплексами.

ТЕМА I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НАЛИЧИИ И НЕДОСТАТОЧНОСТИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Раздел 1. Статистический анализ рядов стока в Microsoft Excel

Microsoft Excel – очень распространенное приложение компании Microsoft для работы с массивами данных (<http://office.microsoft.com/ru-ru/>). Входит в состав офисного программного пакета Microsoft Office. Применительно к задачам гидрологических расчетов Excel (и его аналоги) удобен тем, что: 1) позволяет относительно легко и быстро формировать в электронном виде ряды и целые массивы гидрологических данных, выполнять их форматирование, экспорт в другие форматы и программы, включая «Гидрорасчеты», HydroStatCalc и StokStat, и, наоборот, импортировать данные из различных источников, а также со сканирующих и распознающих устройств; 2) с использованием встроенных в Excel логических, математических и, главное, статистических функций и формул выполнять некоторые виды анализа рядов данных, вычислять числовые характеристики; 3) графически представлять ряды данных, результаты их обработки и анализа. Последнее особенно следует отметить, поскольку возможности уникального графического редактора Excel позволяют строить самые разнообразные графики и диаграммы, производить любое их форматирование.

В целом же использование Excel в практике гидрологических расчетов рекомендуется при решении задач, связанных с: 1) формированием и ведением баз гидрологических данных, подготовкой данных для программ «Гидрорасчеты», HydroStatCalc и StokStat; 2) предварительным анализом рядов данных, например, на наличие в них ошибок и опечаток, на репрезентативность выборки, на нарушение однородности (стационарности), на независимость членов ряда и др.; 3) вычислением стандартных числовых характеристик, в частности, среднего, моды, медианы, среднеквадратического от-

клонения, коэффициента асимметрии, коэффициента автокорреляции, наибольшего и наименьшего значений ряда и др.; 4) расчетом и построением зависимостей между характеристиками, погодичным восстановлением отсутствующих значений по рядам пунктов-аналогов; 5) построением хронологических графиков и подбором для них линии тренда. Кроме того, в Excel можно создавать готовые (отформатированные в соответствии с существующими требованиями) таблицы с данными и результатами их обработки для их дальнейшей вставки в тексты отчетов, в пояснительные записки к практическим заданиям, главы курсовых и дипломных работ.

Возможности Excel в плане реализации в ее среде гидрологических расчетов в Разделе 1 раскрыты на примерах подготовки исходных данных, проверки их на соответствие основным статистическим гипотезам, на репрезентативность выборки, восстановления и удлинения рядов данных. В Разделе 2 будут показаны другие возможности Excel и их интеграция с ресурсами программы StokStat.

Задание 1.

Проверка исходного ряда данных на соответствие статистическим гипотезам

Требуется:

- построить график многолетних колебаний годового стока и суммарную интегральную кривую,
- проверить ряд на случайность,
- проверить ряд на нарушение однородности (стационарности).

Дано:

- ряд (n лет) среднегодовых расходов воды,
- районные значения C_s .

Порядок выполнения

1. Открыть Excel 2007 (или Excel 2010) и создать новый XLSX-файл, т.е. новую "книгу": кнопка <Office> → опция <Создать> → <Новая книга>. Откроется электронная таблица, в которой необходимо будет выполнять все ниже перечисленные действия.

Примечание 1.1. Книга Excel состоит из отдельных, так называемых рабочих листов (их может быть всего 255), к которым можно перейти с помощью щелчка на соответствующей закладке. В свою очередь, лист состоит из ячеек, образованных пересечением строк и столбцов электронной таблицы, каждая из которых может содержать текст, число или формулу. Каждая ячейка имеет свои координаты, которые определяются по латинской букве столбца и номеру строки, например, ячейка с адресом "B4".

В первой ячейке первой строки (с адресом A1) набрать слово "Таблица 1.1" (рис. 1.1). В ячейках второй строки записать в следующем порядке: «Год» (в ячейке с адресом A2), «Расход воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$ » (B2), «Модульный коэффициент K_i » (C2), «Сумма модульных коэффициентов ΣK_i » (D2). Набрать ряд значений среднегодовых расходов воды и соответствующие им календарные годы.

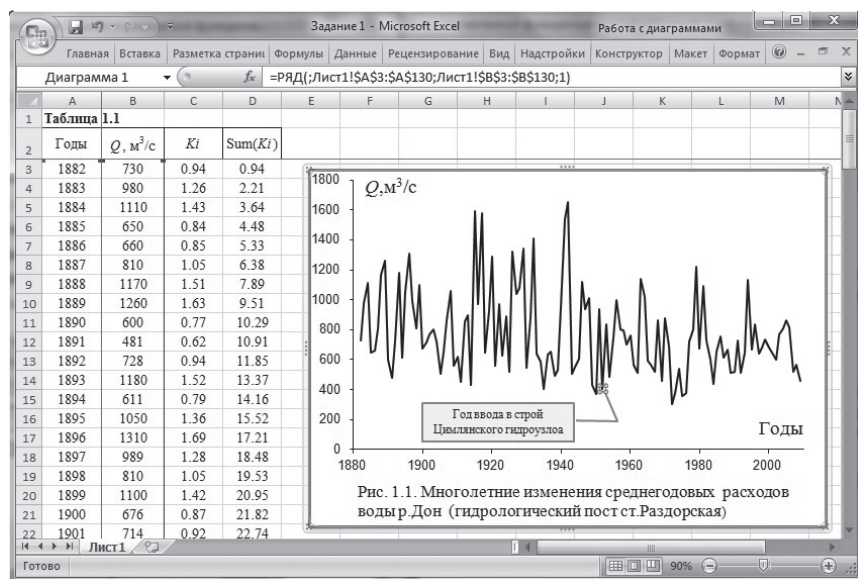


Рис. 1.1. Пример рабочего листа Microsoft Excel с набранным рядом расходов воды, рассчитанными ординатами суммарной интегральной кривой и построенным на этом же листе хронологическом графиком (с указанием времени антропогенного нарушения однородности ряда)

2. Построение графиков.

Построить хронологический график (рис. 1.1). Выделить при помощи курсора ряд календарных лет. Затем нажать клавишу «CTRL» и, не отпуская ее, выделить ряд среднегодовых расходов воды (для соседних столбцов выделение выполняется одновременно). Начать построение "Графика колебаний годового стока воды реки" в исследуемом створе: выбрать на панели Ленты вкладку «Вставка» → <Диаграммы> → <Точечная> → <Точечная с прямыми отрезками>. На рабочем листе появится график.

Выполнить форматирование графика. Удалить линии сетки (выделить их правой клавишей мыши и нажать клавишу «Delete», или выполнить это же действие через контекстное меню). Отформатировать ось X : щелкнуть по оси правой клавишей мыши и вызвать контекстное меню → опция <Формат оси> → указать на вкладке «Параметры оси» цену основных делений, выбрать «не выводить промежуточные деления», подписи лет «рядом с осью» → на вкладках «Цвет и тип линии» задать цвет («черный»), тип («сплошная») и нужную толщину линии оси. Отформатировать ось Y ; также через контекстное меню отформатировать саму кривую – изменить ее цвет и толщину линии.

Добавить на график название осей. На панели Ленты перейти на вкладку «Вставка» → <Текст> → <Надпись> → ввести надпись для оси Y – « Q , м³/с» и для оси X – «Годы». Отформатировать надписи и перетащить их к осям. Подписать график.

Построить суммарную интегральную кривую. Вычислить среднее значение ряда: в нижней части таблицы, в ячейке первого столбца набрать надпись "Среднее значение" → в ячейке справа ввести знак равенства «=» (ввод формулы или функционального выражения в Excel обязательно должен предварять знак равенства!) → выбрать в Окне функций опцию <Другие функции> → категорию <Статистические> → функцию <СРЗНАЧ> → выделить ряд расходов воды (с первого года наблюдений). В результате в ячейке справа от надписи «Число1» в диалоговом окне "Аргументы функции" появится ссылка на диапазон ячеек с расходами воды. Нажать кнопку <ОК>. В расчетной ячейке Excel выдаст значение среднего $\bar{Q}$.

Примечание 1.2. Ввод математических, статистических и других выражений можно осуществлять и через кнопку $\langle fx \rangle$ – «вставить функцию», и через «Библиотеку функций» на вкладке «Формулы» на панели Ленты.

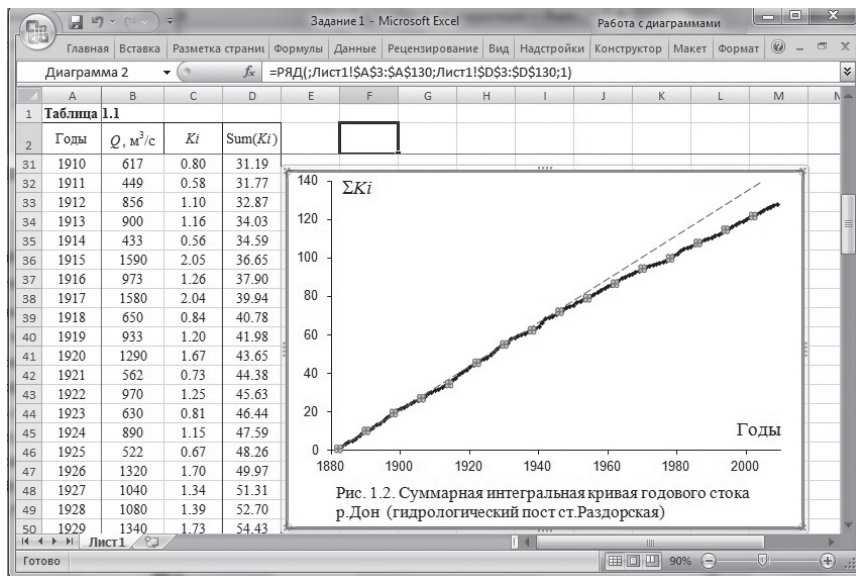


Рис. 1.2. Пример построения суммарной интегральной кривой в Excel

Вычислить для каждого года модульный коэффициент $K_i = Q_i / \bar{Q}$. В ячейке третьего столбца с адресом C3, т.е. напротив первого года периода наблюдений и первого значения, ввести формулу для вычисления K_i : знак «=» → щелкнуть на ячейке с расходом воды (в ячейке C3 после знака «=» появится адрес этой ячейке) → знак деления «/» → щелкнуть на ячейке с вычисленным средним многолетним расходом воды (после знака деления появится адрес этой ячейке) → нажать клавишу F4, чтобы перейти от относительной ссылки на ячейку с $\bar{Q}$ к абсолютной, с закреплением адреса этой ячейки в формуле (появятся символы "\$") → клавиша «Enter». Ввод формулы закончен. Скопировать формулу для всех лет: установить курсор на ячейку с результатом вычисления → зацепить

курсором за черный квадратик в правом нижнем углу ячейки и, не отпуская левой кнопки мыши, скопировать формулу на все нижние ячейки в пределах ряда. Вычислить, начиная с ячейки D4, ординаты суммарной интегральной кривой. Схема расчета следующая: $S_1=K_1$, $S_2=S_1+K_2, \dots$, $S_m=S_{m-1}+K_m, \dots$, $S_N=S_{N-1}+K_N$.

Выполнить построение графика суммарной интегральной кривой (абсциссы – это годы, ординаты – это S_i в последнем столбце) с обязательным форматированием и подписью осей графика, подписью рисунка (рис. 1.2). Резкое отклонение интегральной кривой от условной прямой линии с некоторого момента времени указывает на нарушение однородности ряда. Эти выводы будут использованы в п.4.

3. Проверка ряда на независимость его членов.

В практике гидрологических расчетов случайность многолетних колебаний стока обычно исследуется с помощью коэффициента автокорреляции:

$$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_1)(x_{i+1} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=2}^n (x_i - \bar{x}_2)^2}}, \quad (1.1)$$

где x_i и x_{i+1} – погодичные и со сдвигом на 1 год значения гидрологической величины; $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – их средние значения.

Вычислить $r(1)$: в информационной ячейке вписать "Коэффициент автокорреляции" → в соседней (расчетной) ячейке ввести знак равенства «=» → <Другие функции> → <Статистические> → <КОРРЕЛ>. В диалоговом окне "Аргументы функции" щелкните на ячейке рядом с надписью "Массив1" → после этого выделите ряд расходов воды от первого до предпоследнего члена. Для ячейки "Массив2" выделите ряд расходов от второго до последнего члена, т.е. со сдвигом на 1 год → нажмите кнопку <ОК>. В расчетной ячейке появится значение $r(1)$. При $r(1) \rightarrow 0$ ряд представляет собой последовательность независимых значений гидрологической характеристики.

Примечание 1.3. Ввиду больших случайных погрешностей

расчета коэффициента автокорреляции по индивидуальным рядам гидрологических наблюдений оценка этого параметра для средних (зональных) рек обычно производится по группе рек с наиболее продолжительными наблюдениями и в однородном гидрологическом районе, или по данным, приведенным к многолетнему периоду (п. 6 в [13]).

Отличные от нуля значения $r(1)$ не всегда могут свидетельствовать о статистически значимой внутрирядной скоррелированности ввиду больших погрешностей расчета $r(1)$. Статистически подтвердить или опровергнуть гипотезу о независимости членов исследуемого ряда позволяют, например, различные критерии, в частности параметрический критерий Андерсона [23], статистика которого основана на $r(1)$ и рассчитывается по формуле:

$$t(A) = \frac{1 + r_1(n-1)}{\sqrt{n-2}}, \quad (1.2)$$

где n – длина ряда. $t(A)$ сравнивают с квантилем стандартного нормального распределения t^* , рассчитываемым для назначенного уровня значимости α . В гидрологических расчетах его обычно принимают равным 5%. Гипотеза о независимости членов ряда принимается, если $|t(A)| < t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right)$. Мощность критерия (вероятность от-

вергнуть неверную гипотезу) возрастает с увеличением n и составляет (при $\alpha=5\%$) более чем 90%, если $|r(1)| \geq \frac{3,24}{\sqrt{n}}$, и менее 50%,

если $|r(1)| < \frac{1,96}{\sqrt{n}}$.

Вычислить статистику $t(A)$. Расчет производится по формуле (1.2): поэтапно, используя математические операторы "+", "-", "/", математическую функцию "КОРЕНЬ". Второй шаг – расчет t^* . Вкладка "Формулы" → <Библиотека функций> → <Другие функции> → <Статистические> → <НОРМСТОБР> → в открывшемся диалоговом окне указать в ячейке доверительная "Вероятность"

значение 0,975 (поскольку $p = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{0.05}{2}$) $\rightarrow$ <ОК>.

Функция выдаст значение $t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right)$. Сравнить его с $t(A)$.

Из непараметрических критериев для проверки гидрологических рядов на случайность часто применяют критерий числа серий. Под серией в данном случае будем понимать всякий участок последовательности, состоящий из элементов одного и того же рода, например только многоводных, или только маловодных лет. Встречаются две записи этого критерия – относительно эмпирической медианы ряда [18] и среднего арифметического [23]. Применять критерий рекомендуют при длине ряда не менее 40–50 лет.

Критерий числа серий предусматривает следующие процедуры [23]. Рассчитывают среднее арифметическое ряда $\bar{Q}$ и сравнивают с ним все расходы воды, причем повышенным значениям $Q_i \geq \bar{Q}$ присваивают один индекс, например, "+", или 0, а пониженным $Q_i < \bar{Q}$ – другой, например, "-", или 1. Выделяют серии повышенных и пониженных значений. Считают их число и суммарное число серий: $U = U_0 + U_1$, где U_0 – число серий с повышенными значениями, U_1 – с пониженными. Вычисляют статистику критерия серий:

$$t_U = \frac{U + 0,5 - m_U}{\sqrt{D_U}} \quad (1.3)$$

Здесь $m_U = \frac{2n_1 n_2}{n} + 1$ – математическое ожидание нормально рас-

пределенной случайной величины U , $D_U = \frac{2n_1 n_2 (2n_1 n_2 - n)}{n^2 (n - 1)}$ – ее

дисперсия; n_1 – число лет с расходами воды больше среднего-летнего, т.е. $Q_i \geq \bar{Q}$, n_1 – число пониженных значений, n – общая длина ряда. Назначается уровень значимости α . Критерий серий

принимает гипотезу независимости, если $|t_U| < t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right)$, где t^* – квантиль нормального распределения $N(0,1)$, отвечающий обеспеченности $\frac{\alpha}{2}$. При $\alpha=1\%$ – $t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2,58$; при $\alpha=5\%$ – $t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 1,96$; при $\alpha=10\%$ – $t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 1,64$.

Вычислить статистику t_U . Рассчитаем среднее арифметическое: вкладка "Формулы" → <Библиотека функций> → <Другие функции> → <Статистические> → <СРЗНАЧ> → диапазон ячеек с расходами воды → <ОК>. В соответствии с полученным $\bar{Q}$ вручную идентифицировать каждый год: в случае $Q_i \geq \bar{Q}$ в третьем столбце напротив этого года проставить код 0, при $Q_i < \bar{Q}$ – код 1 (рис. 1.3). Используя функции <СЧЁТЕСЛИ>, определить число многоводных и маловодных лет; общее число лет. Выделить вручную серии маловодных и многоводных лет; определить их число. Используя математические операторы "+", "-", "/" и "*", ссылки на значения в вышерасположенных ячейках, вычислить (по выше приведенным формулам) m_U и D_U . Вычислить по формуле (1.3) статистику критерия числа серий. Вычислить квантиль $t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right)$: вкладка "Формулы" → <Библиотека функций> → <Другие функции> → <Статистические> → <НОРМСТОБР> → "Вероятность"=0,975 → <ОК>. Сравнить t_U (модуль) и $t^* \left(\frac{\alpha}{2} \right)$.

Примечание 1.4. Для проверки гипотезы о независимости членов ряда в практике гидрологических расчетов также привлекают непараметрические критерии наибольшей длины серий (его рекомендуют применять одновременно с критерием числа серий), числа повышений и понижений, числа экстремумов [18,23]. Ограничению их использования способствует малая мощность непараметрических критериев, особенно при малой длине ряда. Вообще в

нормативных документах по гидрологическим расчетам нет строгих указаний на методы проверки ряда на случайность.

Примечание 1.5. При использовании статистических критериев следует иметь в виду, что принятие какой-либо статистической гипотезы не означает ни ее доказательства, ни неверности других гипотез. Принятие гипотезы означает лишь отсутствие явных (при данном уровне α) противоречий между гипотезой и имеющимся рядом наблюдений. Поэтому по итогам анализа необходимо избегать категоричных формулировок.

Задание 1 - Microsoft Excel

Г16 fx =НОРМСТОБР(0.975)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Таблица 1.2. Расчет общего числа серий в колебаниях годового стока р.Дон							
2	Годы	Q , м ³ /с	Индекс	Число лет в серии				
3	1882	730	1	1	Среднее			
4	1883	980	0	2	арифметическое	775		
5	1884	1110	0		Число лет с			
6	1885	650	1	2	повышенными расходами воды	52		
7	1886	660	1		Число лет с			
8	1887	810	0	3	малыми расходами воды	76		
9	1888	1170	0		Общее число лет n	128		
10	1889	1260	0		Число многоводных серий $U1$	26		
11	1890	600	1	3	Число маловодных серий $U2$	27		
12	1891	481	1		Общее число серий U	53		
13	1892	728	1		Величина m_U	62.8		
14	1893	1180	0	1	Величина D_U	29.5		
15	1894	611	1	1	Статистика t_U	-1.70		
16	1895	1050	0	5	Квантиль $t^*(\alpha=5\%/2)$	1.96		
17	1896	1310	0					
18	1897	989	0					
19	1898	810	0					
20	1899	1100	0	3				
21	1900	676	1					
22	1901	714	1					
23	1902	766	1	1				
24	1903	802	0					
25	1904	720	1					
26	1905	504	1					

Готово табл. 1.1 табл. 1.2 F-тест 90%

Рис. 1.3. Пример вычисления критерия числа серий в Excel