

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ПО ДАННЫМ ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

канд. техн. наук *Е.В.ШЕВНИНА*

Российский государственный гидрометеорологический университет, e-mail: aqua@aari.ru

Предложены численные критерии выделения дат начала и окончания периода весеннего половодья для расчета слоя стока за этот период по данным ежедневных расходов воды. На основе опубликованных данных наблюдений зональных рек, расположенных в пределах водно-ресурсной границы Российской Арктики, получены оценки предложенной методики.

Ключевые слова: слой стока весеннего половодья, методика расчета.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в изданиях Государственного водного кадастра (ГВК) «Основные гидрологические характеристики» и «Многолетние данные о ресурсах поверхностных вод» опубликованы данные о слоях стока весеннего половодья за период с начала наблюдений по 1980 г. (см., например [Многолетние данные, 1985]). С 1981 г. в гидрологических ежегодниках публикуются данные ежедневных расходов воды, которые используются для расчета слоя стока весеннего половодья.

Слой стока весеннего половодья за отдельный год определяется как сумма ежедневных слоев стока за период половодья. Выделение периода половодья связано с определением даты его начала и окончания и регламентируется методическими рекомендациями Государственного гидрологического института [Методические рекомендации, 1963]. В части определения этих дат рекомендации носят описательный характер и не содержат численных критериев для их выделения. Для автоматизации расчетов такое описание недостаточно.

В настоящей работе предложены численные критерии для определения дат начала и окончания половодья, на основе которых рассчитаны ретроспективные характеристики весеннего половодья, и проведена оценка предложенной методики расчета слоя стока на примере данных средних рек Российской Арктики за период с начала наблюдений до 1980 г.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы данные ежедневных расходов воды на 18 гидрологических постах, расположенных в пределах водно-ресурсной границы Арктики [Иванов, 1991]. Площади водосборов выбранных рек составляли от 1 000 до 50 000 км², на них отсутствует карст, регулирование стока и интенсивная хозяйственная деятельность, влияющая на залесенность, распаханность и озерность водосбора. Для расчета рядов стока весеннего половодья использовались расходы воды за период апрель–сентябрь, опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра (гидрологические ежегодники) (см. табл. 1).

Таблица 1

Список репрезентативных гидрологических постов арктической зоны

Код поста	Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Высота, м	Расстояние от устья, км	Период/длина ряда
01397	М. Анюй – Островное	30000	3,00	279	1960–1980/21
01623	Среднекан – Среднекан	1730	240,50	7	1934–1980/47
01176	Боханча – 5,4 км от устья	13600	333,68	5,4	1934–1980/47
03518	Нера – Ала Чубук	22300	568,25	25	1944–1980/37
03483	Бытантай – Асар	40000	79,74	20	1956–1980/25
03414	Яна – Верхоянск	45300	124,91	850	1936–1980/45
03403	М. Куонапка– Джалинда	20300	30,97	103	1943–1980/38
09425	Турухан – Янов Стан	10100	11,92	277	1941–1980/40
11574	Пяку–Пур – Тарко–Сале	31400	15,25	3	1954–1980/27
11558	Полуй – Полуй	15100	5,67	189	1953–1980/28
70410	Печора – Якша	9620	118,95	1506	1936–1980/45
70238	Вымь – Весляна	19100	80,93	151	1937–1980/44
70540	Сула – Коткина	8500	8,04	101	1936–1980/45
70334	Пинегга – Кулогоры	36700	12,84	125	1936–1980/45
70309	Емца – Ж-д. мост	1860	66,62	162	1928–1980/53
70047	Солза – Сухие пороги	1190	77,41	39	1936–1980/45
71168	Поной – Каневка	10200	124,27	114	1953–1980/28
71044	Ура – Ура-губа	1020	1,38	3	1935–1980/46

Рекомендации методики составления таблицы ежегодных данных по элементам половодья [Методические рекомендации, 1963] в части определения даты начала и окончания половодья носят описательный характер. Так, для выделения даты начала половодья указано, что «за начало половодья принимается первый день с заметным увеличением расхода воды, предшествующий резкому повышению уровня и расхода...». При определении даты окончания половодья следует ориентироваться на «день в конце кривой спада, когда интенсивность спада уже резко снизилась в результате окончания стока основных объемов талых вод», причем ситуация усложняется за счет наличия двух основных типов гидрографов: одновершинные и многопиковые.

Для автоматизации расчетов, когда требуются численные критерии, такое описание недостаточно. Однако рекомендации используют понятие интенсивности изменения расхода за интервал времени (математически представляется первой производной величины расхода по времени). В настоящей работе для расчета даты начала половодья (t_b) использовались следующие условия: $D(t) \geq \alpha_b, T \geq \beta_b$, где $D(t) = 1 - Q_{t-1} / Q_t$ (относительное изменение расхода воды за сутки), T – продолжительность периода подъема (в днях). Т.е. датой начала половодья является день, когда изменение суточного расхода воды превышает величину α_b и увеличение стока продолжается в течение периода, большего величины β_b . Величины α_b и β_b оптимизировались по опубликованным данным для каждого водосбора.

Используя свойство производной менять знак в точках перегиба (1), задавая величину наблюдаемого в точке перегиба расхода (2) и продолжительность последующего периода подъема (3), получим расчетные условия даты конца половодья t_e :

$$D(t) < 0; D(t+1) < 0; \quad (1)$$

$$Q(t_e) < 3Q_{\text{меж}}; \quad (2)$$

$$T \geq \beta_e, \quad (3)$$

где $D(t)$, $D(t+1)$ – относительные изменения суточного расхода за текущий и последующий день; $Q(t_e)$ и $Q_{\text{меж}}$ – расход воды на дату окончания половодья и расход летней межени; β_e – заданная продолжительность периода увеличения суточного расхода воды (определяется для каждого водосбора); T – период увеличения стока. Часто сразу за половодьем начинается период с паводками (когда последовательно выполняются условия 1 и 3), поэтому за дату окончания половодья принята дата, соответствующая первому паводку на гидрографе. Согласно рекомендациям, следует выделять два типа гидрографа, поэтому для случая одновысотного гидрографа, как правило, не учитывалось условие (2), при многопиковом гидрографе использовались все условия.

Даты начала и окончания половодья а также величина слоя стока, рассчитанные на основе предложенных критериев, сравнивались с опубликованными данными, приведенными в изданиях Государственного водного кадастра («Основные гидрологические характеристики» и «Многолетние данные о ресурсах поверхностных вод»).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Условия расчета даты начала половодья содержат два параметра: критическое (пороговое) значение относительного изменения расхода воды за временной шаг (α_b) и продолжительность периода, в течение которого эта величина была превышена (β_b). Для определения этих параметров были использованы опубликованные в многолетниках ГВК данные о сроках начала половодья. Для 20-дневного интервала времени (10 дней до и 10 после даты начала половодья) были рассчитаны значения относительного изменения суточного расхода воды. За каждый год для каждой реки рассчитаны эти параметры и выбраны многолетние оптимальные значения, представленные в табл. 2. В дальнейшем эти параметры использовались, чтобы генерировать даты начала половодья за период с начала наблюдения по 1980 г. по исследуемым рекам и оценить среднее отклонение рассчитанных дат начала половодья от дат, опубликованных в изданиях ГВК (табл. 2).

Как видно из табл. 2, значение параметра α_b изменяется от 0,11 до 0,48. Его величина для рек Восточной Сибири больше, чем для рек европейской части Арктики, поскольку для гидрографов стока характерно резкое увеличение стока после зимней межени (сток которой часто близок к нулю) за счет таяния значительных объемов снега. Оптимальное значение продолжительности периода (β_b), в течение которого сохранялась α_b , для таких рек несколько меньше, чем для западных рек региона. На европейской территории Арктики, где начало половодья характеризуется меньшими значениями относительного увеличения расхода и более продолжительным периодом, значение параметра α_b меньше (0,12–0,19), а β_b – больше, чем у северо-сибирских рек.

При выделении даты окончания половодья первоначально выделялись точки смены знака (с минуса на плюс) значения относительного изменения суточного расхода воды (т.е. уменьшение расхода на его паводковое увеличение). Далее определялась продолжительность положительной ветви (β_e), где относительное изменение суточного расхода воды было больше α_e (параметры также оптимизировались по

Таблица 2

Оптимальные параметры соотношений для определения даты начала половодья

Код поста	Река – пункт	α_b	β_b	Среднее отклонение даты начала половодья, дни
01397	М. Анюй – Островное	0,40	4	1
01623	Среднекан – Среднекан	0,21	4	4
01176	Бохапча – 5,4 км от устья	0,21	5	5
03518	Нера – Ала Чубук	0,33	5	3
03483	Бытантай – Асар	0,13	3	6
03414	Яна – Верхоянск	0,22	4	2
03403	М. Куонапка – Джалинда	0,48	3	3
09425	Турухан – Янов Стан	0,21	4	2
11574	Пяку–Пур – Тарко–Сале	0,18	4	4
11558	Полуй – Полуй	0,18	4	2
70410	Печора – Якша	0,16	5	3
70238	Вымь – Весляна	0,16	5	3
70540	Сула – Коткина	0,13	5	4
70334	Пинега – Кулогоры	0,12	5	4
70309	Емца – Ж.-д. мост	0,12	4	3
70047	Солза – Сухие пороги	0,14	5	3
71168	Поной – Каневка	0,11	5	3
71044	Ура – Ура-губа	0,19	4	5

данным наблюдений). Из всех полученных дат (часто паводки следуют друг за другом, а следовательно, условия 1 и 3 могут быть выполнены несколько раз) выбиралась первая, которая и соответствовала расчетной дате окончания половодья. В случае необходимости (чаще для рек Восточной Сибири) дополнительно привлекалась информация о среднем расходе за летнюю межень.

Рис. 1 иллюстрирует расчеты даты начала и окончания половодья для случаев четко выраженной волны половодья (I – р. Сула – д. Коткина, 1957 г.) и многопикового гидрографа (II – р. Бохапча – 5,4 км от устья, 1964 г.).

Предложенные численные критерии выделения дат начала половодья позволяют определять искомую дату с расхождениями в 1–6 дней в 73 % случаях. Даты окончания половодья определяются с погрешностью до 6 дней в 80 % случаев для рек с одновершинным гидрографом и в 76 % для рек с многопиковым типом гидрографа.

Величина допустимой погрешности расчета сроков начала и окончания половодья связана с ее многолетней изменчивостью и определяется согласно Наставлениям [Наставления, 1961]. Однако в настоящей работе допустимая погрешность расчета этих дат должна быть напрямую связана с задаваемой точностью определения слоя стока, равной 10 % от величины слоя стока [Методические рекомендации, 1963]. Общее правило такое: объемы стока за расчетный и опубликованный периоды половодья не должны отличаться более чем на 10 %. В этом смысле допускаются даже значительные (до 25 дней на реках Восточной Сибири) расхождения дат начала и окончания половодья, наблюдаемые на некоторых реках в отдельные годы. Пример

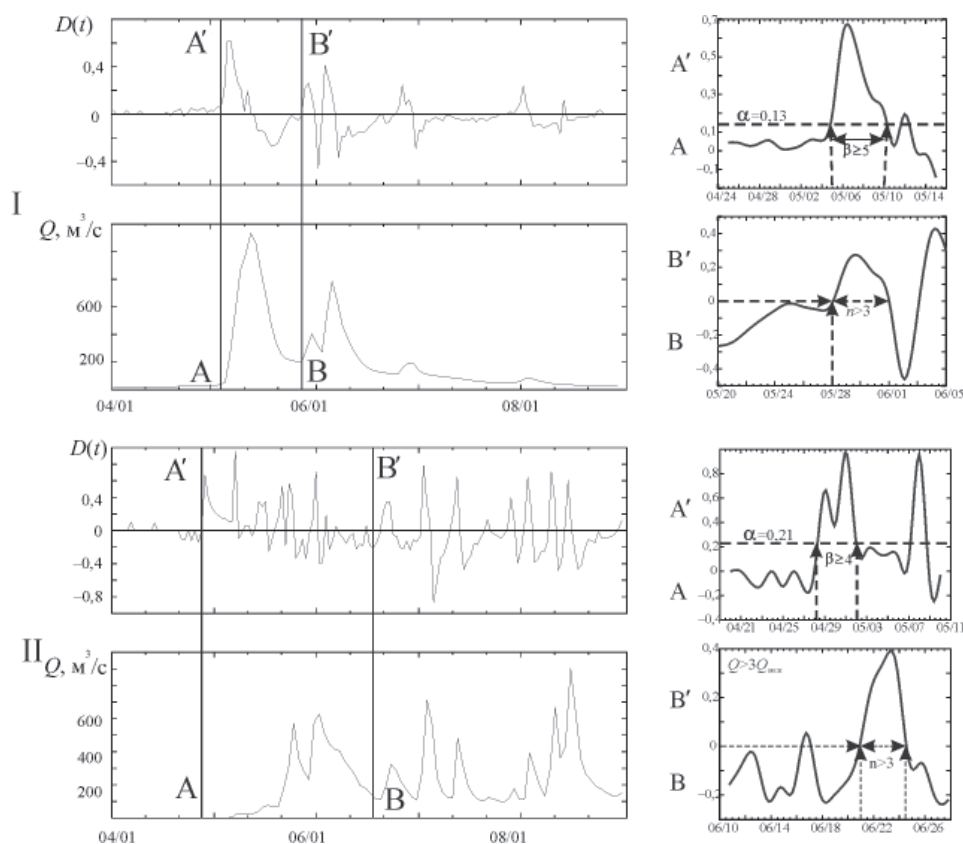


Рис. 1. Выделение дат начала (А–А') и окончания (В–В') половодья на основе численных критериев для разных типов гидрографов.

проиллюстрирован на рис. 2.

Рассчитанные слои стока весеннего половодья сравнивались с данными, опубликованными в изданиях Государственного водного кадастра («Основные гидрологические характеристики» и «Многолетние данные о ресурсах поверхностных вод»). Выборка рассчитанных и соответствующих им опубликованных данных составила 283 значения, из которых в 88 % случаев рассчитанное значение слоя стока лежит в пределах 10-процентной погрешности вычисления слоев стока. Однако необходимо учесть, что погрешность вычисления опубликованных данных иногда превышает 10 %, в этом случае данные приводятся в скобках.

Рассматривая две статистические совокупности рассчитанных и опубликованных слоев стока и принимая в качестве нулевой гипотезу об их принадлежности к одной генеральной совокупности, были рассчитаны статистики Стьюдента, Фишера и Колмогорова–Смирнова равные 0,52, 1,00 и 0,06 соответственно. Значения первых двух критериев не превышают критические на 5-процентном уровне значимости равных 1,96 и 1,00, а значит, нулевая гипотеза не опровергается. Значения максимального отклонения распределений двух выборок соответствует значению $(1 - k(\lambda))$, равному 0,687 или 68,7 %. Так как значение $(1 - k(\lambda))$ больше 5 %, то нулевая гипотеза также

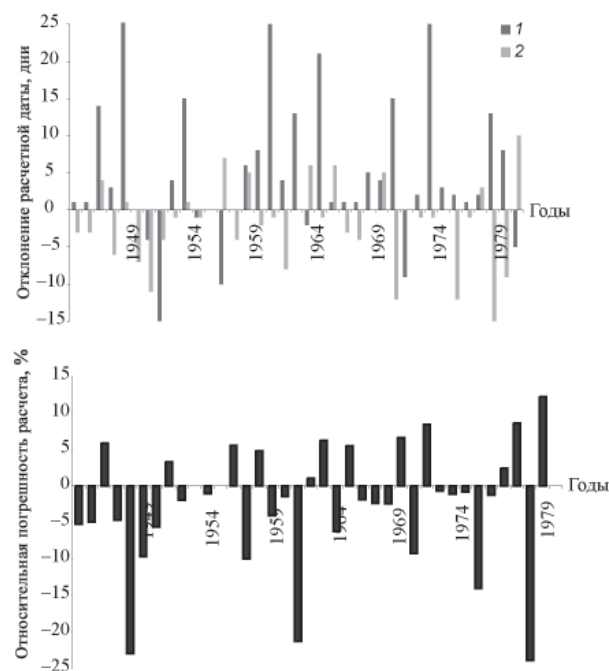


Рис. 2. Отклонения расчетных дат начала (1) и окончания (2) половодья (вверху) и соответствующие им относительные погрешности расчета слоя стока весеннего половодья за период 1944–1980 гг. (внизу) для р. Бохапча – 5,4 км от устья.

не отвергается [Митропольский, 1961]. На рис. 3а показаны кривые обеспеченностей рассчитанных и опубликованных данных о слое стока весеннего половодья, которые очень близко расположены друг к другу и практически неразличимы в зонах экстремальных значений. Коэффициент корреляции между рассчитанными по описанной выше методике и опубликованными значениями слоев стока составил 0,96 (рис. 3б).

ВЫВОДЫ

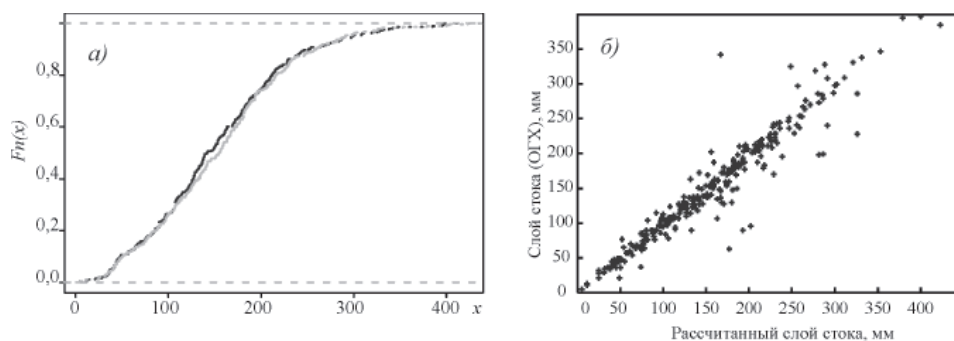


Рис. 3. Оценка погрешности расчета слоя стока весеннего половодья: а – эмпирические кривые обеспеченности рассчитанных (серый) и опубликованных (черный) данных о слое стока; б – зависимость рассчитанных и опубликованных данных о слое стока.

Предложена методика расчета слоя стока весеннего половодья, основанная на выделении дат начала и окончания весеннего половодья по данным ежедневных расходов воды. Методика апробирована для зональных рек, в пределах водно-ресурсной границы Российской Арктики.

Получены численные значения критериев выделения дат начала и окончания весеннего половодья, которые позволяют определять даты с точностью 1–6 дней в 76–80 % рассмотренных случаев. Значительная часть больших отклонений расчетных и опубликованных характерных дат половодья связана с расчетом даты начала половодья на реках Восточной Сибири. Однако для этих рек характерны маленькие величины слоев стока за период отклонений расчетных и опубликованных дат и, как следствие, незначительные отличия расчетных и опубликованных значений слоя стока за период половодья. Для более точного определения даты начала половодья на реках Восточной Сибири, по-видимому, надо вводить еще один параметр, который связан с величиной расхода воды в период зимней межени.

На основании рассчитанных и опубликованных данных о слое стока весеннего половодья проведен анализ погрешностей предложенной методики. В 88 % случаев относительная погрешность расчета слоя стока весеннего половодья по предложенной методике не превышает 10 % от значения, опубликованного в изданиях ГВК («Основные гидрологические характеристики» и «Многолетние данные о ресурсах поверхностных вод»).

Методика применена для удлинения рядов слоя стока весеннего половодья за период 1981–2007 гг. для репрезентативных водосборов арктической зоны России и дальнейшего их анализа в работе [Шевнина, 2011].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов В.В., Янкина В.А. Водные ресурсы Арктики, их изученность и очередные задачи исследований // Проблемы Арктики и Антарктики. 1991. Вып. 66. С. 118–128.
- Методические рекомендации по составлению справочника по водным ресурсам СССР. Вып. 7. Ч. 1. Л.: Половодье, 1962. 107 с.
- Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Т. I. Вып. 12. Л.: Гидрометеопиздат, 1985. С. 113–140.
- Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Физматгиз, 1961. 479 с.
- Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. I. Прогнозы режима вод суши. Л.: Гидрометеопиздат, 1962. 198 с.
- Шевнина Е.В. Анализ стационарности многолетних рядов стока весеннего половодья на водосборах Российской Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1 (87). С. 56–64.

E.V.SHEVNINA

METHODS OF CALCULATION OF SPRING FLOOD RUNOFF CHARACTERISTICS ACCORDING TO THE DAILY DISCHARGE DATA

The numerical criteria for selection of spring flood begin and end dates have been proposed. The calculation method of the depth of spring flood runoff have shown an examples of published observed daily discharge for the rivers located within the water resources boundary of Russian Arctic.

Keywords: depth of spring flood runoff, method of calculation.