

УДК 556.165: 556.16.047 (476)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА РЕЧНОГО СТОКА

А.А. Волчек¹, С.И. Парфомук², С.В. Сидак²

¹ Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

² Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

Разработана программа для автоматического расчленения гидрографа речного стока и определения его основных характеристик. Предложена новая методика для выделения дат начала и окончания периода весеннего половодья по данным ежедневных расходов воды.

Введение

Водный режим рек зависит от множества различных факторов, среди которых ведущая роль принадлежит метеорологическим и гидрологическим, а в последнее время – и антропогенным факторам. Так как эти факторы подвержены постоянным изменениям, в водном режиме рек также проявляются периоды различной длительности.

Наиболее детальное представление о гидрологическом режиме реки дает гидрограф – график изменения во времени расходов воды в реке или другом водотоке за год, несколько лет или часть года (сезон, половодье или паводок). Гидрограф отражает сложные процессы взаимодействия поверхностных и подземных вод.

В водном режиме практически всех рек Беларуси выделяются следующие фазы: весеннее половодье, дождевые паводки, летне-осенние паводки, летняя и зимняя межень.

Условия наступления определенной фазы водного режима из года в год могут существенно меняться, так как возможны значительные отличия в температурных условиях, количестве осадков, влажности, интенсивности таяния снега и др.

Установление закономерностей, по которым происходит распределение стока внутри года, имеет важное практическое и научное значение во многих отраслях народного хозяйства (экологии, сельском хо-

зяйстве, гидрологии, водохозяйственном строительстве и др.). В связи с этим задача расчленения гидрографа, выделения фаз водного режима, определения дат их наступления и экстремальных гидрологических ситуаций является крайне важной.

В цели исследования входила разработка алгоритма и компьютерной программы, которая позволила бы в автоматизированном режиме решать ряд гидрологических задач, а именно:

- по имеющимся данным о ежедневных расходах воды строить гидрограф речного стока, выделять на графике основные фазы водного режима реки: половодье, паводки, летнюю и зимнюю межень;
- определять следующие характеристики речного стока:
 - ✓ величину годового стока, среднегодовой расход воды;
 - ✓ минимальный, максимальный, средний месячный расходы воды;
 - ✓ даты начала и окончания половодья, продолжительность подъема и спада в днях, общую продолжительность половодья, максимальный расход воды половодья и паводка, их объемы и т.д.
 - ✓ периоды (30-дневный, 10-дневный, 7-дневный) минимального стока внутри летне-осенней и зимней межени, а также минимальный расход воды за выбранный период.

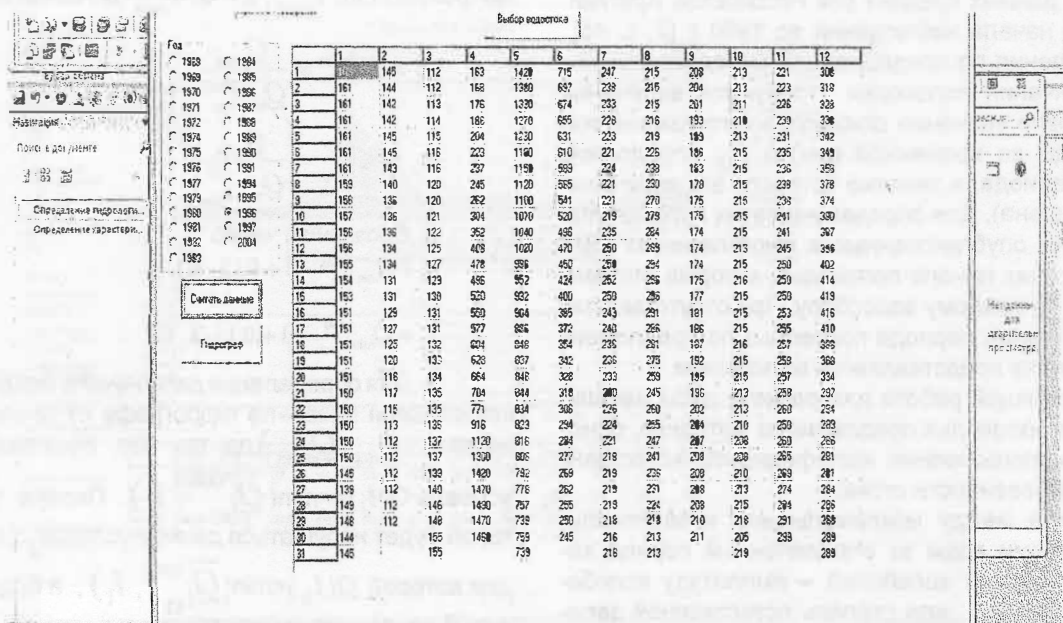


Рисунок 1. – Исходные данные

Методика и объекты исследования

Исходными данными послужили материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы с программой пользователю предлагается выбрать реку-створ, а также год, за который необходимо провести расчеты. На рисунке 1 показаны данные о ежедневных расходах воды р. Припять в створе Мозырь за 1996 год.

Определение характеристик весеннего половодья.

Весеннее половодье является основной характеристикой водного режима рек Беларуси.

Расчет характеристик весеннего половодья имеет свои трудности. Особенно затруднительным является выделение периода половодья, так как методы и способы определения дат начала и окончания половодья носят преимущественно описательный характер, не содержат формул для их вычисления. При сильнорастянном из-за похолоданий снеготаяния или при выпадении обильных дождей на реках формируются половодья, гидрографы которых имеют сложные очертания и состоят из нескольких самостоятельных волн. В годы же с дружным снеготаянием формируются стройные однопиковые половодья, характеризующиеся большой интенсивностью подъема и спада.

В работе Е.В. Шевниной «Методика расчета характеристик весеннего половодья по данным ежедневных расходов воды» предложены численные критерии для определения дат начала и окончания половодья, на основе которых рассчитаны ретроспективные характеристики весеннего половодья, и проведена оценка предложенной методики расчета схода стока на примере данных средних рек Российской Арктики за период с начала наблюдений до 1980 г. [2, с. 45]. Для определения по предложенной методике дат начала и окончания половодья требуются величины α_{β} (пороговое значение относительного изменения расхода воды за временной шаг) и β_{β} (продолжительность периода, в течение которого эта величина была превышена). Для определения этих параметров использованы опубликованные в многолетниках ГВК данные о сроках начала половодья, которые оптимизировались по каждому водосбору. При отсутствии таких данных расчет периода половодья по предложенной методике не представляется возможным.

В настоящей работе для расчета даты начала и окончания половодья предлагается методика, основанная на использовании коэффициента естественной зарегулированности стока.

Разница между максимальными и минимальными расходами воды за определенный период характеризует размах колебаний – амплитуду колебаний расходов воды, или степень естественной зарегулированности стока рек. Очевидно, что чем более

равномерно распределен сток в году, тем меньше амплитуда колебаний расходов воды, и наоборот. Амплитуду колебаний расходов воды в реках можно характеризовать отношением наибольшего наблюдаемого расхода к наименьшему: $K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$. Величи-

ну K называют коэффициентом естественной зарегулированности.

В данной работе использован предложенный нами коэффициент естественной зарегулированности за период времени от t_1 до t_2 :

$$K_{|t_1}^{t_2} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}|_{t_1}^{t_2}}, \quad (1)$$

где $Q_{\min}|_{t_1}^{t_2}$ – минимальный расход воды за период времени от t_1 до t_2 .

Порядок определения дат начала и окончания половодья.

1. Определяется максимальный расход воды с середины февраля по июнь с учетом того, что реки Беларуси относятся к рекам западно-европейского типа со стоком во все сезоны года, но с преобладанием весеннего стока (в Беларуси период половодья на реках наступает в весенний или весенне-летний сезоны), и обозначен как Q_{\max} . За t_{\max} принят день, в который наблюдается пик половодья.

2. Определяются средний и минимальный расходы воды от середины февраля до

$$t_{\max} - \bar{Q}_{|45}^{t_{\max}} \text{ и } Q_{\min}|_{45}^{t_{\max}}.$$

3. Определяются средний и минимальный расходы воды от t_{\max} до конца июня – $\bar{Q}_{|t_{\max}}^{180}$ и $Q_{\min}|_{t_{\max}}^{180}$.

4. Определяются коэффициенты естественной зарегулированности стока за 2 периода (1 – с середины февраля до t_{\max} , 2 – от t_{\max} до конца июня):

$$k_1 = K_{|45}^{t_{\max}} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}|_{45}^{t_{\max}}}, \quad (2)$$

$$k_2 = K_{|t_{\max}}^{180} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}|_{t_{\max}}^{180}}. \quad (3)$$

5. Обозначим через

$$l_1 = Q_{\min}|_{45}^{t_{\max}} \cdot (1 + 0,15 \cdot k_1),$$

$$l_2 = Q_{\min}|_{t_{\max}}^{180} \cdot (1 + 0,15 \cdot k_2).$$

6. Для определения даты начала половодья (t_b) «спускаются влево» по гидрографу от точки с координатами (t_{\max}, Q_{\max}) до тех пор, пока выполняется условие: $Q(t_i) \geq \min(\bar{Q}_{|45}^{t_{\max}}, l_1)$. Первую точку, в которой будет нарушаться данное условие, т.е. точку t_b , для которой $Q(t_b) < \min(\bar{Q}_{|45}^{t_{\max}}, l_1)$, и будем считать датой начала весеннего половодья.

7) Для определения даты окончания половодья (t_e) «спускаются вправо» по гидрографу от точки с координатами (t_{max}, Q_{max}) до тех пор, пока выполняется одно из двух условий: $Q(t_j) \geq \min(Q_{t_{max}}^{180}, I_2)$,

$$D(t_j) \geq 0, \quad \text{где} \quad D(t_j) = 1 - \frac{Q(t_{j+1})}{Q(t_j)}$$

(относительное изменение расхода воды за сутки). Первая точка, в которой нарушаются оба условия, считается датой окончания весеннего половодья (t_e).

В таблице 1 приведены результаты вычисления максимальных расходов весеннего половодья, а также значения коэффициентов k_1 и k_2 для р. Припять в створе Мозырь за период с 1980 по 1988 гг., которые показывают неравномерность расхода воды, как в течение рассчитанного промежутка времени, так и значительные отличия в соотношении между максимальным и минимальным расходами из года в год.

Таблица 1. – Значения коэффициентов естественной зарегулированности стока

Год	Максимальный расход половодья, м³/с	Коэффициент k_1	Коэффициент k_2
1980	964	6,06	2,4
1981	1900	2,72	6,42
1982	1330	3,32	2,5
1983	1210	2,85	4,45
1984	383	3,02	2,1
1985	907	7,67	2,24
1986	998	4,25	6,57
1987	847	9,16	2,58
1988	783	4,04	3,05

Определение летней и зимней межени и паводков.

При выделении данных фаз водного режима учитывали, что в меженный период включаются паводки, если величина объема каждого из них не превышает 15 % объема стока за меженный период, предшествующий и последующий этому паводку.

На втором этапе работы программа проводит выделение фаз водного режима реки и определяет различные характеристики речного стока. Пример расчленения гидрографа для р. Припять в створе Мозырь (1996 г.) представлен на рисунке 2.

Определение характеристик минимального стока.

Исследование характеристик минимального стока в зимний и летне-осенний сезоны имеет большое значение для правильного и наиболее эффективного использования вод в ряде отраслей народного хозяйства.

Минимальный сток – наименьший по величине сток, обычно наблюдающийся в межень. Периодом минимального стока называют отрезок времени от 1 до 30 суток внутри меженного периода, когда наблюдаются наименьшие расходы воды. Расчет минимального 30-дневного расхода вместо минимального среднемесячного исключает влияние календарных месяцев, завывавших оценки низкого стока в условиях прерывистой межени. В зависимости от целей водохозяйственных расчетов применяются также величины 7 и 10-дневных минимальных расходов воды [1].

На третьем этапе работы программы выполняется расчет периодов минимального стока, а также минимальных расходов воды за выбранный период. Пользователь может выбрать интересующий его период (30-дневный, 10-дневный, 7-дневный), а также межень, внутри которой необходимо получить рассчитываемые параметры.

Результаты начала периодов минимального стока для р. Ясельда в створе Береза представлены в таблице 2.

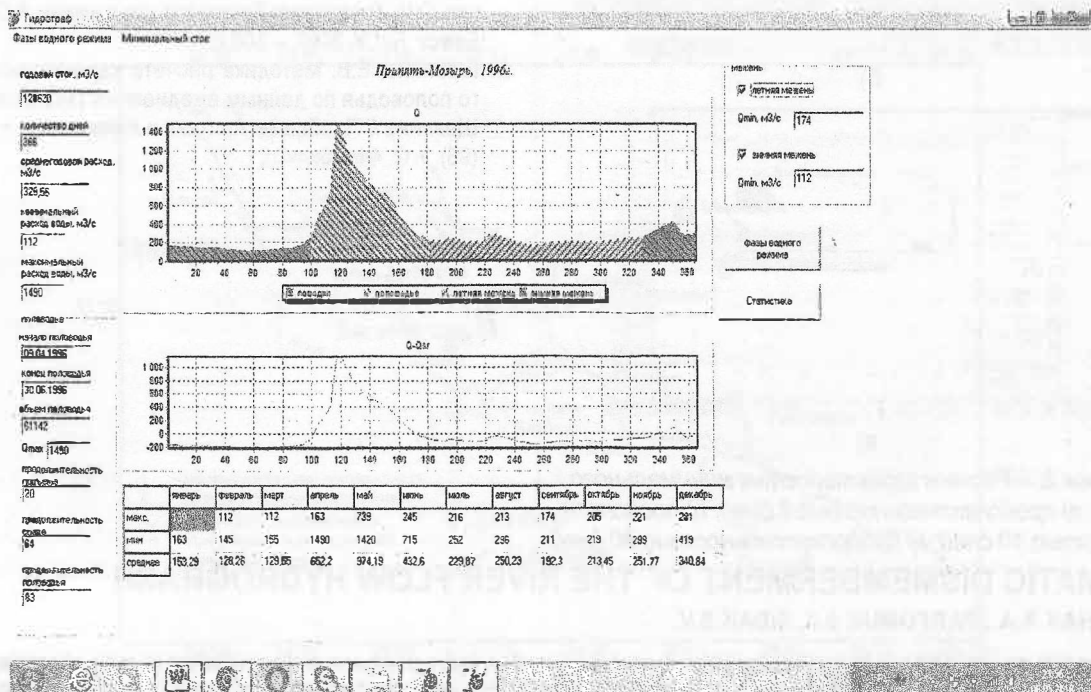
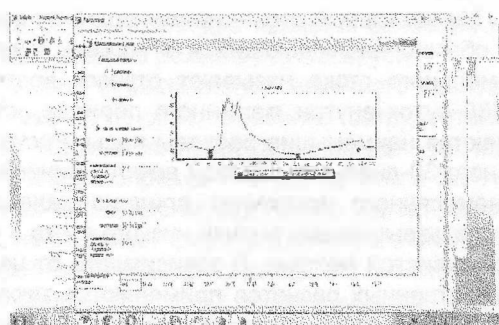


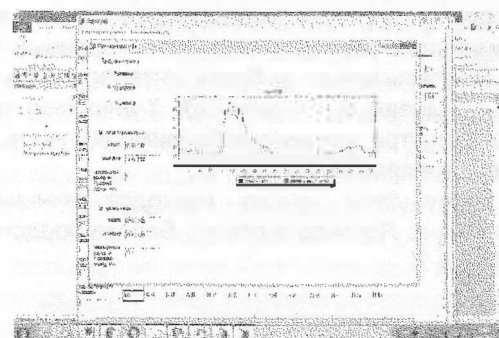
Рисунок 2. – Расчленение гидрографа речного стока

Таблица 2. – Динамика начала периода минимального стока

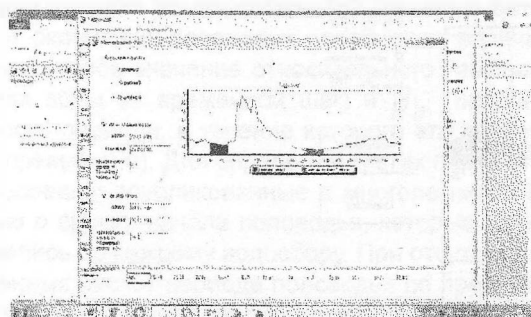
Река-створ	Год	Летне-осенний			Зимний		
		30-дневный	10-дневный	7-дневный	30-дневный	10-дневный	7-дневный
Ясельда-Береза	1979	20 октября	3 ноября	19 июля	8 февраля	20 января	21 января
	1980	15 мая	29 мая	1 июня	29 февраля	17 марта	25 января
	1981	16 июля	19 июля	18 июля	6 февраля	26 февраля	28 февраля
	1982	25 августа	8 сентября	10 сентября	30 января	15 февраля	17 февраля
	1983	15 августа	4 сентября	5 сентября	4 февраля	23 февраля	26 февраля
	1984	9 августа	25 августа	27 августа	7 января	16 января	18 января
	1985	10 июля	19 июля	22 июля	17 февраля	22 февраля	27 февраля
	1986	4 июля	15 июля	16 июля	1 февраля	4 февраля	5 февраля
	1987	28 октября	11 ноября	9 ноября	7 января	13 января	14 января
	1988	13 мая	23 мая	22 мая	16 февраля	18 февраля	9 марта
1989	14 июня	26 мая	26 мая	21 января	10 февраля	8 февраля	



а)



б)



в)

Рисунок 3. – Расчет характеристик минимального стока: а) продолжительностью 7 дней; б) продолжительностью 10 дней; в) продолжительностью 30 дней

AUTOMATIC DISMEMBERMENT OF THE RIVER FLOW HYDROGRAPH

VOLCHAK A.A., PARFOMUK S.I., SIDAK S.V.

A program is developed for automatic dismemberment of the river flow hydrograph and determination of its main characteristics. A new method for allocation of dates of the beginning and the end of the period of a spring high water according to data of daily expenses of water is offered.

На рисунке 3а–3в продемонстрирована работа программы по определению характеристик минимального стока для р. Ясельда в створе Сенин, 1986 г.

Выводы

Авторами разработана программа для автоматического расчленения гидрографа речного стока и определения основных его характеристик. Данная программа может быть использована для изучения динамики, колебаний стока во времени, внутригодового распределения стока, при прогнозировании стока рек в будущем, на этапах планирования мероприятий по улучшению экологического состояния рек, при рационализации использования водных ресурсов, при оценке возможности сезонного превышения среднего месячного расходов воды и соответствующих экономических ущербов.

В настоящее время ведется работа по расширению возможностей и функциональному наполнению программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчек, А.А. Минимальный сток рек Беларуси / А.А. Волчек, О.И. Грядунова; Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина – Брест: БрГУ, 2010. – 300 с.
2. Шевнина, Е.В. Методика расчета характеристик весеннего половодья по данным ежедневных расходов воды / Е.В. Шевнина // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 1 (95). – С. 44–50.