

одновременным наступлением весеннего половодья в различных районах Беларуси и его относительно небольшой продолжительностью по сравнению с процессами формирования минимального и годового стока.

Исследование пространственно-временных колебаний стока рек Белорусского Полесья позволили констатировать факт незначительного влияния интенсивных мелиораций 1966-1985 гг. на годовую сток Припяти и значительного влияния на сток малых рек Белорусского Полесья.

**2. Произведена количественная оценка речного стока.** С использованием кривых трехпараметрического гамма-распределения в зависимости от коэффициента вариации ( $C_v$ ) и соотношения ( $C_s/C_v$ ) по рекам Белорусского Полесья, имеющим гидрометрические наблюдения, были определены годовые расходы воды различной обеспеченности в зависимости от интервала осреднения. Расчеты выполнены для очень многоводного года (5%), многоводного (25%), маловодного (75%) и очень маловодного (95%) лет.

Полученные значения расходов различной вероятности превышения для рек Белорусского Полесья могут быть использованы при проектировании водохранилищ, мелиоративных систем и крупных гидротехнических сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волчек А.А., Шведовский П.В., Образцов Л.В. Математические модели в природопользовании. Учебное пособие. – Минск: Издательский центр БГУ, 2002, – 282 с.

2. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.

УДК 556.5.048

*Мацкевич В.В., Дюон В.В.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Лукша В.В.*

### АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ВОДНОМУ РЕЖИМУ РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ<sup>2</sup>

#### ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением потребления пресной воды и интенсивным преобразованием естественных природных ландшафтов в последнее столетие остро стоит проблема оценки антропогенных изменений гидрологического режима водных объектов и контроля состояния водных ресурсов, через которые происходит важнейший аспект взаимодействия человека и окружающей среды.

Поэтому для успешного развития уникальных природных комплексов, как Белорусского Полесья, так и всей Беларуси, в свете современных социально-экономических задач необходимы детальные исследования формирования водных ресурсов, а также моделирование водных режимов в связи с прогнозируемым изменением климата, для разработки и принятия компенсационных мероприятий.

К настоящему времени учреждениями гидрометеорологической службы Беларуси накоплен довольно большой фактический материал по речному стоку [3, 4], хотя для территории Беларуси он все же недостаточен. Это связано, прежде всего, с закрытием многих гидрометрических постов и прекращением наблюдений за водным режимом рек.

<sup>2</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (Грант № Х07М-023)

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей работе использовались достоверные данные наблюдений за гидрологическими характеристиками по архивным, литературным и другим материалам, относящимся к периоду до начала регулярных наблюдений, а также данные регулярных наблюдений на гидрометрических постах. При этом производилась оценка достоверности и точности полученных материалов.

Для детального анализа отобраны речные бассейны Белорусского Полесья по принципу равномерного освещения территории данными гидрологических наблюдений. Всего выбрано 32 речных створа.

Для надлежащей оценки гидрологические параметры или в целом ряды наблюдений приводились к длительному (достаточному, репрезентативному) периоду. Основой приведения явился метод гидрологической аналогии [2].

Приведение к многолетнему единому периоду выполнено путем годовичного восстановления пропущенных (или недостающих) наблюдений по методике ГИ в редакции Волчека А.А., разработанной в составе программного комплекса автоматизированных расчетов «Гидролог» по заказу проектного института «Полесьегипротводхоз» [1]. Использовалась методика Пособия к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» [2].

Для сопоставимости получаемых результатов все исследуемые ряды приведены к единому периоду наблюдений, равному 61 год (1945-2005 гг.). Продолжительность репрезентативного периода установлена по разностным интегральным кривым с учетом многолетних колебаний исследуемой величины. Продление выполнено для годового, максимального весеннего и минимального летнего речного стока.

Для оценки однородности рядов расходов речного стока использовались критерии однородности Стьюдента ( $t$ ) и Фишера ( $F$ ), а также метод годовунктов и критерий Колмогорова на базе приема сравнения частных кривых обеспеченности с объединенной кривой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя данные о строительстве мелиоративных объектов и используя обновленные карты масштаба 1:25000 и 1:10000, выполнено уточнение водосборных площадей ряда рек.

Так установлено, что водосборная площадь р. Копаювка – с. Черск изменилась с 292 км<sup>2</sup> за 1949-1963 гг., 351 км<sup>2</sup> за 1964-1965 гг., 409 км<sup>2</sup> за 1966-1969 гг. до 440 км<sup>2</sup> за 1970-1980 гг. Водосборная площадь р. Мухавец для створа г. Брест изменилась с 6810 км<sup>2</sup> в 1955-1969 гг. до 6590 км<sup>2</sup> в 1970-1980 гг.; р. Рыта для створа М. Радваничи уменьшилась с 1440 км<sup>2</sup> в 1952-1964 гг. до 1200 км<sup>2</sup> в 1965-1972 гг., 1170 км<sup>2</sup> в 1973-1974 гг., и вновь возросла до 1230 км<sup>2</sup> в 1975 – 1980 гг.; р. Меречанка в створе д. Красеево выросла от 121 км<sup>2</sup> в 1970-1973 гг. до 131 км<sup>2</sup> в 1974-1980 гг.; р. Бобрик для створа Парахонск увеличилась с 1450 км<sup>2</sup> в 1978 г. до 1510 км<sup>2</sup> в 1978-1980 гг.

Если уточненные водосборные площади отличались от опубликованных в справочниках «Ресурсы поверхностных вод СССР» [3, 4] не более чем на 5 %, принимались опубликованные данные.

Анализ исходной информации по периодам наблюдений показал, что для двух створов (Ясельда – с. Мотоль и Ясельда – с. Старомлыны) для восстанавливаемого периода (1945-2005 гг.) количество исходной гидрологической информации (расходов воды) менее 10 лет, что не позволяет осуществить продление при недостаточности данных гид-

рометрических наблюдений. Поэтому для продления были оставлены 30 рек-створов. При этом для р. Ясельда – г. Береза не требуется продление ряда, значения за весь исследуемый период представлены измеренными расходами воды.

Анализ продленных рядов показывает, что, в среднем, норма стока для продленного ряда уменьшилась на 1,57 % при максимальном увеличении на 11,76 % (р. Лесная – с. Тюхиничи) и максимальном уменьшении на 25,38 % (р. Ружанка – г. Ружаны), что можно объяснить небольшим по продолжительности периодом исходных наблюдений (19 и 20 лет соответственно). Для остальных рек-створов значительных колебаний изменений нормы стока не наблюдается.

Что касается коэффициентов вариации ( $C_v$ ) и асимметрии ( $C_s$ ), то их среднее увеличение соответственно составило 2,63 % и 9,71 %. Для р. Мухавец – г. Пружаны уменьшение  $C_v$  максимальное (-19,5%), а для р. Лесная – с. Тюхиничи увеличение максимальное – 75 %. Для значений  $C_s$  соответственно р. Меречанка – с. Ставок (-63,9 %) и р. Неслуха – с. Рудск (847 %). Коэффициент автокорреляции ( $r(1)$ ) имеет максимальное значение для р. Мышанка – с. Березки как до восстановления (0,45), так и после (0,65). Максимальные его изменения отмечены для р. Цна – с. Дятловичи (-280 %) и р. Лесная – с. Тюхиничи (1500 %). Большие значения изменения  $r(1)$  объясняются его небольшими значениями (около 0).

В качестве основной модели продления использовались однофакторные модели, т. е. имеющие в составе уравнения регрессии один аналог. Такой выбор обосновывается высокими коэффициентами корреляции (более 0,9) и небольшими расхождениями восстановленных значений при использовании одно-, двух-, и трехфакторных моделей. Например, для р. Щара у с. Доманово при продлении ряда по однофакторной модели использовалось четыре уравнения регрессии с коэффициентами корреляции соответственно 0,98; 0,97; 0,954; 0,931. При этом норма стока –  $\bar{Q}=16,6$  м<sup>3</sup>/с, коэффициенты вариации  $C_v=0,23$  и асимметрии  $C_s=0,53$ . Для двухфакторной модели продление осуществлялось по 3-м уравнениям регрессии (4 аналога) с коэффициентами корреляции 0,99; 0,97; 0,93 и статистическими параметрами ряда:  $\bar{Q}=16,6$  м<sup>3</sup>/с,  $C_v=0,24$ ,  $C_s=0,73$  и по трехфакторной – по 3-м уравнениям (4 аналога) с коэффициентами корреляции 0,97; 0,92 и 0,89 при  $\bar{Q}=16,1$  м<sup>3</sup>/с,  $C_v=0,27$ ;  $C_s=1,08$ .

Как видно из приведенного примера, использование одно-, двух- или трехфакторных моделей практически незначимо влияет на основные статистические параметры ряда и соответственно на сами восстановленные значения годового стока р. Щара у с. Доманово.

Поэтому для восстановления возможно использование любых из описанных моделей. Но так как однофакторные модели имеют большую наглядность (можно сказать, даже линейность) и, как правило, незначительно более высокие коэффициенты корреляции, то продление рядов речного стока базировалось, в основном, на них. Исключение составили лишь некоторые реки-створы при продлении рядов максимального стока весеннего половодья и минимального летне-осенней межени.

В некоторых случаях привлекались двух- и трехфакторные модели (продление осуществлялось в ручном режиме), при этом одним из аналогов в таких моделях была река-створ с более полным, чем у других рядом наблюдений, но меньшим коэффициентом парной корреляции с восстанавливаемым рядом.

Так как наиболее вероятным переломом в формировании водного режима рек Беларуси можно считать 1966 год – начало массовых мелиораций, то ряды речного стока разбивались на две части: первая – 1945-1965 гг., вторая – 1966-2005 гг. Далее был

произведен расчет всех параметров для нахождения критериев Фишера и Стьюдента для каждого исходного ряда речного стока. Используя [2, Приложения Г, Д], были найдены критические значения критериев Стьюдента и Фишера для каждой из двух частей разбитого исходного ряда.

Анализ полученных результатов показывает, что для рек Копаявка – с. Черск и Мышанка – с. Березки получены значения критериев Стьюдента и Фишера значительно больше критических значений при 5%-ном уровне значимости, что отвергает гипотезу об однородности данных в рядах годового стока. Анализ причин неоднородности рядов по этим двум рекам-створам привел к гипотезе об интенсивной хозяйственной деятельности в водосборах этих рек, начиная с 1966 года, что подтвердилось материалами проектного института «Полесьегипрорудхоз» (г.Пинск).

Частично ненарушенный режим рек (гипотеза однородности принимается по критерию Стьюдента, отвергается по критерию Фишера, или наоборот) наблюдается для 14 исследуемых рек-створов, что можно объяснить естественными колебаниями водности или сопоставимыми с ними незначительными антропогенными воздействиями на водный режим рек.

Полностью однородные ряды годового стока для 14 из проверенных рек-створов свидетельствуют о ненарушенном водном режиме. Также возможна гипотеза о синхронности антропогенных воздействий и колебаниях водного режима, т.е. при одновременном увеличении водности рек и интенсивности мелиоративных мероприятий и одновременном спаде этих двух процессов водность реки практически не изменилась, и ряд остался однородным.

Из всех проанализированных рек-створов минимальным нарушением однородности выделяются реки Каменка – пос. Мухавец, Пульва – г. Высокое и Рыта – с. Малые Радваничи. Значения критериев Стьюдента и Фишера для этих рек значительно меньше критических.

При использовании метода годопунктов для рядов модулей годового и минимального стока проверка однородности осуществлялась в два этапа, для максимального – в три. В результате были исключены из дальнейших исследований: для годового стока – 10 рядов, максимального – 39, минимального – 8.

Как показал анализ, наиболее однородным является минимальный сток рек, который формируется, в основном, за счет грунтовых вод и менее подвержен различного рода воздействиям как естественного, так и антропогенного характера в отличие от максимального стока, который формируется под воздействием большого числа неоднородных во времени и пространстве факторов.

Получены статистические параметры рядов модулей стока рек Белорусского Полесья, объединенных в один ряд до выбраковки неоднородных выборок и однородной генеральной совокупности: число анализируемых модулей стока ( $n$ ), их средние значения ( $M_{ср}$ ), сумма квадратов отклонений от среднего ( $\sigma_{ср.кв.}$ ), коэффициенты вариации ( $Cv$ ) и асимметрии ( $Cs$ ), их соотношение ( $Cs/Cv$ ), средние квадратические ошибки модуля стока ( $\delta m_{ср}$ ) и коэффициента вариации ( $\delta cv$ ), а также модули стока различной ежегодной вероятности превышения ( $M5\%-M95\%$ ).

Незначительные изменения параметров вызваны малой долей неоднородных выборок. Для максимального стока, где было выбраковано 39 выборок, параметры смещаются особенно для малых (5%) и больших обеспеченностей (95%), что можно объяснить экстремальностью этих расходов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Произведен выбор и анализ исходных данных по водному режиму рек Белорусского Полесья. Использовались достоверные данные наблюдений за гидрологическими характеристиками по архивным, литературным и другим материалам, относящимся к периоду до начала регулярных наблюдений. Для детального анализа отобраны речные бассейны Белорусского Полесья по принципу равномерного освещения территории данными гидрологических наблюдений. Всего выбрано 32 речных створа.

2. Проведено продление рядов значений стока рек. Приведение к многолетнему единому периоду в 61 год (1945-2005 гг.) выполнено путем годичного восстановления пропущенных (или недостающих) наблюдений по методике государственного гидрологического института (ГГИ) в редакции Волчека А.А., разработанной в составе программного комплекса автоматизированных расчетов «Гидролог» по заказу проектного института «Полесьегипроводхоз» в 2000 году. Использовалась методика Пособия П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик».

3. Проведена проверка однородности исследуемых рядов речного стока. Общий вывод – реки бассейна Припяти имеют в основном неоднородные ряды, в то время как реки бассейна Западного Буга – однородные, что является следствием более существенных мелиоративных воздействий на водосборы рек бассейна Припяти. Это значит, что, начиная с 1966 года, естественный режим средних и малых рек Белорусского Полесья трансформировался под влиянием антропогенной нагрузки, в частности мелиоративных воздействий.

Влияние мелиорации на однородность рядов стока в каждом конкретном случае следует рассматривать индивидуально, имея данные об объемах мелиоративных воздействий на водосборе, гидротехнического строительства в русле реки и естественных колебаниях водности.

Полученные статистические характеристики гидрологических рядов могут быть использованы для расчета расходов воды различной вероятности превышения, которые, в свою очередь, могут быть использованы для решения ряда водохозяйственных и гидротехнических задач. Кроме того, результаты исследования дают возможность выявлять реки-створы с нарушенным водным режимом и выявить природу этих нарушений – естественную (природную) или антропогенную.

## ЛИТЕРАТУРА

Волчек А.А. Автоматизация гидрологических расчетов // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: Труды международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С. 25-34.

Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. 2000. – 174 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.5. – Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Ч.2 «Основные гидрологические характеристики». – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 720 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т.5. – Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Ч.2 «Основные гидрологические характеристики». – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 700 с.