

того, что период инструментальных наблюдений достаточно ограничен, исследование стока рек должно проводиться с учетом цикличности колебаний основных элементов водного баланса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Картвелишвили Н.А. Стахостическая гидрология.- Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 167с.
2. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. Закономерности и регулирование.- Л.: Гидрометеиздат, 1967.-225с.
3. Шелутко В.А. Статистические модели и методы многолетних колебаний стока.- Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 159с.
4. Андрусенко К.А. Использование центра циркуляции атмосферы при составлении долгосрочных прогнозов погоды в Казахстане//Тр.Каз.НИГМИ, №90, 1984. - С.36-39.
5. Анискина Н.А. Синоптические условия формирования годового стока рек северо-запада СССР и возможность его прогноза//Тр.ГГИ. Вып.118, 1965. - С.3-44.
6. Андреянов В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах//Тр.ГГИ. Вып.68, 1965. - С.326-334.
7. Антонов А.Г. Климатические причины колебания стока крупных сибирских рек//Тр.ААНИИ. Т208, 1957. - С.15-33.
8. Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. - М.: Наука, 1967. -240с.
9. Байдал М.Х., Ханжина Д.Г. Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. -М.: Гидрометеиздат, 1986.-104с.
10. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы.- Л.: Гидрометеиздат, 1971. -259с.
11. Анискина Н.А., Сорочан О.Г. Циркуляционные условия формирования аномалий месячных осадков в районах ЕТС и Среднего региона, затрагиваемых переборской части стока северных рек// Вопросы гидрометеорологического обоснования перераспределения водных ресурсов.- Л.: Гидрометеиздат, 1981.- С.175-194.
12. Байдал М.Х., Неушкин А.И. Макроциркуляционные факторы и прогноз засух в основных сельскохозяйственных районах СССР// Тр. ВНИИГМИ- МЦД. Вып.59,1975. - С.49-58.
13. Тетерятникова Е.П. Проблемы долгосрочных прогнозов в бассейне р. Амура на основе учета аэросиноптических материалов. Л.: Гидрометеиздат, 1985.-103с.
14. Чернова Н.П. Циркуляционные эпохи и речной сток Европейской территории СССР// Водные ресурсы, 1990, №6.- С.5-15.

УДК 551.480

Цилиндь В.Ю.

ВЫБОР РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО РАСЧЕТНОГО ПЕРИОДА ДЛЯ ОСНОВНЫХ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для оценки пространственной изменчивости элементов водного баланса нами использовался коэффициент пространственной вариации (C_{vi})

$$C_{vi} = \left(\sum_{j=1}^{K_i} (M_{ij} / \bar{M}_i - 1)^2 \cdot (K_i - 1)^{0.5} \right)^{0.5}, (j = \overline{1, K_i}), (1)$$

где $M_{ij}=f(\varphi_j; \lambda_j; h_j; t_j)$ - значения гидрометеоэлемента в любом (j) - пункте Беларуси в функции от его координат и времени;

\bar{M}_i - среднее значение гидрометеоэлемента для (i) -го интервала времени.

Важнейшими факторами формирования водного баланса являются условия и характер увлажнения речного водосбора, определяемые, в первую очередь, режимом атмосферных осадков, поступающих на его поверхность.

Наибольшие годовые суммы атмосферных осадков в Беларуси, свыше 800 мм, приурочены к Минской возвышенности, а также к повышениям рельефа у Новогрудка, Орши, Могилева, Витебска и Слонима. На остальной территории выпадает от 700 до 750 мм осадков, что характерно для обширной Полесской низменности с примыкающими к ней долинами рек бассейна Припяти и Днепра, а также на менее крупных низинах - Полоцкой, Вилейской и Неманской. Меньше всего осадков выпадает в Брестской области - 680 мм.

При этом наблюдается тенденция к увеличению (C_v) годовых сумм атмосферных осадков по направлению с северо-запада на юго-восток (0,14...0,25), в отдельные сезоны уста-

новлены несколько большие значения коэффициентов вариации (0,17...0,27 - для теплого периода), месячные величины (C_v) возрастают до 0,34...0,80. Полученные величины (C_{vi}) для территории Беларуси (в целом) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты пространственной вариации (C_{vi})

атмосферных осадков

для территории Беларуси (в целом)

Месяцы	1	2	3	4	5	6
C_{vi}	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05

→ продолжение таблицы 1

7	8	9	10	11	12	Год
0,07	0,07	0,08	0,07	0,10	0,10	0,05

Наблюдается плавная пространственная изменчивость атмосферных осадков от месяца к месяцу при тенденции увеличения значений (C_{vi}) в холодный период (декабрь - март), когда происходит выпадение твердых осадков. В сравнение с временной, их пространственная изменчивость значительно выше. С увеличением периода осреднения атмосферных осадков, происходит снижение значений коэффициентов вариации (C_v), суммарно характеризующих пространственную и временную их изменчивость.

Корреляционный анализ годовых значений атмосферных осадков указывает на их циклический характер. Для районов Минска и Бреста периодичность колебаний - 2 года, Верхнедвинска - 5 лет. Автокорреляционная функция осадков для Василевич несколько размыта, хотя тоже могут быть выделе-

Цилиндь Валерий Юозефович. Начальник вычислительного центра.

Брестский политехнический институт (БПИ). Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.

ны 4-х и 12 - летние циклы (рисунок 1).

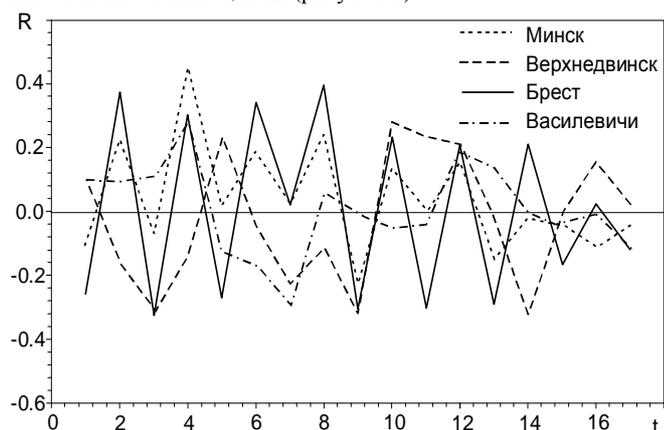


Рисунок 1. Автокорреляционные функции годовых значений атмосферных осадков (КХ).

Хотя суммарное испарение и является основным расходным элементом водного баланса, в настоящее время его пространственные колебания изучены недостаточно. В литературе имеются лишь отрывочные данные в виде карт норм испарения, коэффициентов вариации, асимметрии. Вместе с тем, сведения о пространственно-временной изменчивости суммарного испарения необходимы для решения целого ряда научных и практических задач. Как показал А.Г.Булавко [3], существовавшее ранее мнение об испарении как о полуинвариантном элементе водного баланса ошибочно.

Ранее выполненные исследования показали [4], что пространственная изменчивость испарения зависит от множества факторов. Так, анализ колебаний уровней грунтовых вод в верховьях рек Муховец и Ясельда показал, что на сравнительно малой территории их размах может достигать больших величин (0...8). Это, в свою очередь, приводит к образованию локальных полей с различной степенью увлажненности почвы. В связи с чем, колебания величин испарения, при одних и тех же теплоресурсах в отмеченном районе могут увеличиваться до 40%.

Корреляционный анализ годовых величин максимально возможного испарения – (Z_m) (39 пунктов территории Беларуси) указывает на слабо выраженную периодичность колебаний (фазы и амплитуды циклов в процессе теплообмена меняются). Коэффициенты автокорреляции ($R(I)$) величин (Z_m) обычно не превышают – 0,2...0,3, ряды отличаются от бесвязных рядов дальними внутренними связями, цикличностью и слабой коррелированностью их членов; установлены 3...5 и 9...11-летние циклы колебаний (Z_m). На рисунке 2

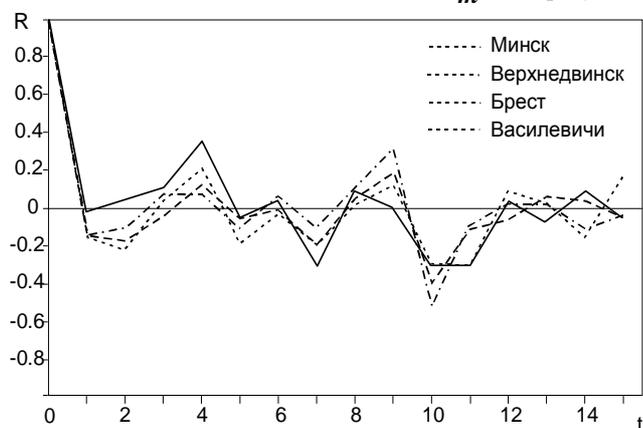


Рисунок 2. Автокорреляционные функции годовых значений максимально возможного испарения (Z_m).

представлены графики автокорреляционных функций максимально возможного испарения для основных актинометрических пунктов Беларуси. Как видно из графика, для этих пунктов четко прослеживаются 4-х и 9-ти летние циклы.

Речной сток является одним из расходных элементов водного баланса. Строение и развитие гидрографической сети Беларуси - Верхнего Поднепровья тесно связано с климатическими и геоморфологическими особенностями.

Средний слой годового стока в пределах Беларуси изменяется в небольших пределах: от 130 мм (в Гомельской) до 210 мм (в Витебской области). Коэффициенты вариации годового стока тесно связаны с площадью водосбора и колеблются от 0,17 до 0,88 [4]. Месячный сток рек по территории колеблется в больших пределах: для лимитирующего месяца (июль) C_{vi} изменяется от 0,3 до 1,88, в период весеннего половодья (апрель) - от 0,35 до 1,57, в зимнюю межень (февраль) – от 0,33 до 1,14.

Результаты спектрально-статистического анализа, предварительно сглаженных данных наблюдений за годовым стоком крупных рек Беларуси (Березина, Днепр, Неман, Припять, Сож, Западная Двина), говорят о наличии цикличности в его колебаниях. Об этом свидетельствуют и высокие значения коэффициентов автокорреляции, отражающие тесноту внутривременных связей (рисунок 3). Установленная, при этом, продолжительность наиболее устойчивых периодов в колебаниях стока рек составляет 28-30 лет, за исключением Немана (70 лет).

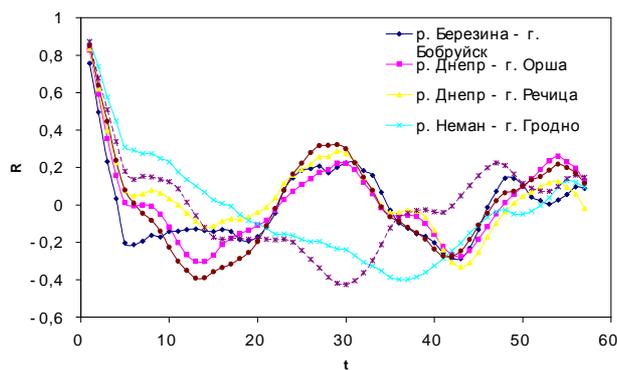


Рисунок 3. Автокорреляционные функции годового стока рек (Y).

Автокорреляционная функция характеризует внутреннюю структуру и динамику развития процесса во времени. Полученные данные о частоте и продолжительности циклов могут быть использованы в инженерных расчетах. Например, высокая точность в определении нормы стока (Q) и коэффициента вариации (C_v) обеспечивается, если они определяются за интервал времени, кратный половине продолжительности устойчивого периода колебаний стока (для большинства рек 14-15 лет).

Исследования пространственно-временной изменчивости осадков, испарения и определяемого ими речного стока свидетельствует о наличии цикличности их колебаний. Поэтому, существенное значение для воднобалансовых расчетов, в целом, имеет выбор расчетного периода.

Оценка репрезентативности расчетных периодов нами осуществляется на основе разработанных с помощью ЭВМ специальных таблиц величин ошибок в вычислении основных гидрологических параметров, связанных как с продолжительностью, так и с хронологической приуроченностью этих периодов. Использование таблиц позволяет минимизировать

расчеты по продлению коротких рядов, максимально использовать эмпирические величины стока.

Методические основы используемого подхода следующие. Имеем ряды среднегодовых расходов воды исследуемой реки (реки-аналога) продолжительностью (n)-лет: $(Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n)$. Известными способами устанавливаем параметры длительного ряда (реки-аналога):

$$\text{среднее значение} - \bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i; \quad (2)$$

$$\text{коэффициент вариации} - C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i / \bar{Q} - 1)^2}{(n-1)}}; \quad (3)$$

среднеквадратические ошибки их определения –

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2 \cdot n}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Считаем, что исследуемый ряд расходов воды реки непрерывен, а пропуски в наблюдениях - восстановлены по связи со стоком реки-аналога (до 10-15%). С целью установления репрезентативного периода для изучаемой реки, формируем из длительного периода наблюдений по реке-аналогу более короткие периоды длиной (n)-лет и исследуем параметры стока по каждому из них. В зависимости от решаемой задачи, задаемся минимальной длиной ряда – (n_{min}) и устанавливаем момент времени – (t_1), с которого начинается формирование коротких периодов, и момент – (t_2), которым оно завершается.

При шаге квантования, равном одному году, длина выделенных периодов (n) заключается в интервале ($n_{min} \leq n \leq (t_2 - t_1 + 1)$), а число периодов при заданном (n) определяется как ($m = t_2 - t_1 - n + 2$). В случае анализа всего ряда с числом членов (N), длина периодов находится в пределах ($n_{min} \leq n \leq (N - 1)$), а их число составляет ($m = N - n + 1$).

Далее, по коротким рядам определяются "динамические средние" (\bar{Q}_j) [1] при переменном значении числа членов ряда (N_j), в пределах от (α) до (β):

$$\bar{Q}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=\alpha}^{i=\beta} Q_i, \quad (6)$$

где $\alpha = j + N_j$; $\beta = n + N_j + (j - 1)$; $N_j = t_2 - t_0$; $j = 1, 2, \dots, m$; t_0 - начало стокового ряда по реке-аналогу.

Полученные, таким образом, "динамические средние" сопоставляются с нормой стока, определенной по формуле (2); абсолютная ошибка, при этом, характеризует репрезентативность выбранного периода. Согласно СНИП 2.01.14-83 [2], точность определения нормы годового стока считается достаточной, если средняя квадратическая ошибка ($\varepsilon_{\bar{Q}} \leq 5 \dots 10\%$).

Задавшись точностью (ε), в соответствии с имеющейся информацией по короткому ряду, выбираем такой период, для которого ($|\Delta Q| = |\bar{Q} - Q_j| \leq \varepsilon$). Нами установлены ошибки

"динамических средних" для различных периодов по основным рекам Беларуси, имеющим длинные ряды наблюдений.

Для отобранных выше периодов, выполняются "динамические" оценки основных гидрологических параметров по коротким рядам. Например,

$$C_{vj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=\alpha}^{i=\beta} (Q_i / \bar{Q}_j - 1)^2}{(n-1)}}. \quad (7)$$

Ошибки "динамических" коэффициентов вариации также нами установлены.

В качестве репрезентативного выбираем такой период, который не выходит за пределы наблюдений по изучаемой реке, даст минимум лет, по которым требуется восстановление гидрологических параметров, и обеспечивает максимальное приближение к соответствующим характеристикам длительного ряда. Сказанное относится, главным образом, к норме стока и коэффициенту вариации. В принципе, такой подход применим и для оценки коэффициентов асимметрии. Коэффициент асимметрии может существенно отличаться от значений, характеризующих многолетний режим стока. Ориентироваться необходимо либо на наилучшее соответствие эмпирических точек теоретической кривой обеспеченности, либо - на данные оценок коэффициента асимметрии по группе рек.

Метод годовых точек и метод подбора кривых распределения дали одинаковые результаты по коэффициентам асимметрии (для рек Беларуси он колеблется от 0,9 до 1,1).

Продолжительность (14..40 лет) и временные границы репрезентативных периодов для рек Беларуси, даже в пределах одного физико-географического комплекса могут быть различными потому, что не всегда удается выявить короткий отрезок ряда, соответствующий многолетнему периоду по всем гидрологическим параметрам. В отдельных случаях, 10..15 - летние выборки оказываются в этом отношении представительнее 20 - летних. Например, мы располагаем наблюдениями за стоком исследуемой реки в бассейне Западной Двины в период с 1965 по 1985 год (21 год). Корреляционный анализ показывает, что в качестве аналога может быть использован створ у Витебска на реке Западная Двина. По соответствующим таблицам, оцениваем ошибку (ε) в определении нормы годового стока (\bar{Q}), для чего, на пересечении строки начала периода ($N_{нач} = 1965$ год) со столбцом окончания периода ($N_{кон} = 1985$ год) снимаем её величину, равную 12%. Данное значение ($\varepsilon_{факт} > \varepsilon_{норм}$), которое, согласно СНиП 2.01.14-83 [2], не должно превышать 10%. Высокое значение ошибки обусловлено выбором начала расчетного периода, которое приходится на минимум цикла водности. Если сместить начало расчетного периода вправо и рассчитывать (\bar{Q}) по 11-ти летнему интервалу наблюдений (1975-1985 годы), ошибка в расчетах нормы годового стока составит 4%, что соответствует нормативному ее значению [2]. Аналогично оценивается репрезентативность расчетного периода для определения (C_v).

При исследовании стока недостаточно изученных рек и выборе рек-аналогов задачу необходимо решать на фоне карты синхронного колебания соответствующих гидрологических характеристик. Кроме того, теснота связи гидрологических характеристик зависит от расстояния между рассматриваемыми пунктами и оценивается с помощью пространственных корреляционных функций.

Данный подход можно экстраполировать на периоды собственно половодья и, вообще, использовать в случаях, когда в

Оценка репрезентативности выбранного периода

Река – створ	Период наблюдений (годы)	Ошибка в определении (Q_{cp}), %	Ошибка в определении (Cv), %
Неман – г. Гродно	1947 - 1981	-3	3
Западная Двина - г. Витебск	1947 - 1981	-5	-1
Днепр – г. Орша	1947 - 1981	-6	0
Днепр – г. Речица	1947 - 1981	-6	9
Березина - г. Бобруйск	1947 - 1981	0	8
Сож - г. Славгород	1947 - 1981	-10	-2
Припять - г. Мозырь	1953 - 1981	8	8

пространственных колебаниях гидрологических характеристик прослеживается определенная синхронность. Короткие репрезентативные периоды могут быть использованы при регулировании стока рек, выборе параметров гидротехнических сооружений, гидравлических расчетах линейных и сетевых сооружений гидромелеоративных систем, разработке экологических мероприятий на водосборах.

По результатам анализа разностных интегральных кривых, с учетом рекомендаций А.Г.Булаво [4], за расчетный нами принят период с 1947 по 1981 год для малых рек бассейнов Немана, Западной Двины, Днепра. Наличие асинхронности колебаний стока реки Припять относительно перечисленных выше рек дало основание к индивидуальному подходу в исследовании ее гидрологического режима. Для реки Припять за расчетный принят период с 1953 по 1981. Анализ точности оценки определения нормы годового стока и коэффициента вариации также свидетельствует о репрезентативности выбранного периода (таблица 2).

УДК 551.579.2(476)"324"

Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П.

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Климат территории Беларуси определяется, главным образом, ее географической широтой, долготой и высотой над уровнем моря, циркуляцией атмосферы и характером земной поверхности. Зимой тепловой режим формируется, в большей степени, за счет адвективной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы, и погода зависит, в основном, от атмосферной циркуляции. Перемещение атлантических воздушных масс вглубь континента, в зимний период, почти всегда связано с циклонической деятельностью, сопровождающейся повышением температуры и относительной влажности воздуха, выпадением атмосферных осадков. По мере продвижения на восток теплый воздух охлаждается, теряет часть влаги и трансформируется в континентальный. Приток воздушных масс с Атлантики чередуется с их поступлением из других географических областей, в частности, с юга и юго-востока, что и создает характерную для территории Беларуси "пестроту" типов погоды. За начало и конец зимнего периода традиционно принимаются даты переходов среднесуточных температур воздуха через 0°C. Почти на всей исследуемой территории зима наступает в ноябре и продолжительность зимнего периода изменяется от 105 дней на юго-западе до 145 дней на северо-востоке. Устойчивый снежный покров устанавливается на большей части территории в де-

Таким образом, анализ пространственно-временной изменчивости позволил определить закономерности распределения тепловлагоресурсов по территории Беларуси, дать количественную и качественную оценку периодичности колебаний основных элементов водного баланса. Предлагаемая методика оценки репрезентативности выбранного периода позволяет минимизировать ошибки и автоматизировать процесс трудоемких вычислений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л.: Гидрометеоздат, 1974.- 424с.
2. СНИП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985.-36с.
3. Булаво А.Г., Водный баланс речных водосборов. - Л.: Гидрометеоздат, 1971. - 304 с.
4. Анализ однородности гидрологических рядов (методические рекомендации), Минск, ЦНИИКИВР, 1985.

кабре и лишь на северо-востоке - в конце ноября и держится, соответственно, от 1,5 до 4 месяцев. В среднем устойчивый снежный покров наблюдается от 75 до 131 дня [1]. В теплые зимы, из-за частых и интенсивных оттепелей, снежный покров в отдельных регионах может отсутствовать. Оттепели в Беларуси достигают в среднем 45...50 дней за зимний период. Окончание зимнего периода приходится на вторую (юго-западная) и третью (центральная и северо-восточная части Беларуси) декады марта. В отличие от летнего периода, когда вода существует в двух фазах (жидкая и газообразная), зимой добавляется твердая фаза (снег и лед). Фазовые превращения воды, сопровождающиеся поглощением или выделением значительного количества тепла, приурочены к переходным периодам года и все чаще проявляющимся оттепелям зимой. Все это требует количественной оценки вод, содержащихся в снеге, льде, временно промерзшей почве и, безусловно, участвующих в переходные периоды в процессах испарения, влагонакопления, формирования паводков и др.

Связующим звеном в процессе тепловлагообмена на уровне деятельной поверхности является суммарное испарение, а уравнение теплоэнергетического баланса испаряющего слоя имеет вид [2]

Валуев Владимир Егорович. Профессор каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

Волчек Александр Александрович. Доцент каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций.

Мешик Олег Павлович. Старший преподаватель каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций. Брестский политехнический институт (БПИ). Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.