

Таблица 1. Точность расчета динамики влагозапасов на торфяных почвах Белорусского Полесья (слой 0 – 30 см) с применением интегральной модели водного баланса

Год	Расчетный период	Пределы колебания УГВ, см	Пределы колебания влагозапасов, мм	Стандартное отклонение (мм) результатов расчета по (33)	Примечания
1	2	3	4	5	6
1977	12.05-21.09	95 – 135	118 – 196 142 – 191	13,5 10,5	Без полива Орошение
1978	18.05-02.10	120 – 140	72 – 169 93 – 192	19,9 17,0	Без полива Орошение
1979	25.05-11.09	90 – 120	92 – 137 144 – 187	8,0 6,9	Без полива Орошение
1980	23.04-22.09	90 – 130	137 – 188 131 – 196	16,6 16,5	Без полива Орошение

В засушливом и холодном 1978 году стандартная ошибка расчета была наибольшей, снижаясь при расчете от 20 до 17% на варианте с орошением. Во влажные годы (1977, 1980) сохранялась тенденция повышения точности расчета при улучшении водного режима. Стандартные отклонения колебались от 10,5 до 16,5 мм на вариантах с орошением, против 13,5 – 16,6 мм на неорошаемых участках. В засушливом и теплом 1979 году стандартная ошибка расчета составила по вариантам всего 6,9 – 8,0 мм, что не превышает 5 – 9 %.

В заключение отметим, что при расчете динамики почвенных влагозапасов (табл.1) максимальная эвапотранспирация многолетних трав на торфяных почвах Белорусского Полесья определялась по максимальной суточной температуре воздуха с использованием соответствующих биологических коэффициентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. – М.: Колос, 1978.
2. Афанасик Г.И., Финский А.И. Подпитывание корнеобитаемого слоя от уровня грунтовых вод // Проблемы мелиорации Полесья: Доклады научно-технической конференции по мелиорации земель Полесья – ч. II – Минск, 1970.
3. Бudyко М.И. Об определении испарения с поверхности суши // Метеорология и гидрология. – М., 1955, № 1.
4. Исполинов А.А. Осушение болот глубокими каналами, врезанными дном в песок // Осушение и освоение земель – Рязань: Московский рабочий, 1971.
5. Лихацевич А.П. К определению влагообмена корнеобитаемой зоны, нижележащими почвенными слоями // Модернизация мелиоративных систем и пути повышения эффективности использования осушенных земель (Материалы конференции). – Минск: БелНИИМиЛ, 1998.
6. Лихацевич А.П., Стельмах Е.А. Модель влагообмена корнеобитаемой зоны с нижележащими почвенными слоями // Проблемы мелиорации и водного хозяйства на со-
- временном этапе. Часть 1 (материалы конференции). – Горки: БГСХА, 1999.
7. Маслов Б.С., Стельмах Е.А., Сидоров И.В. Водобмен почвы с зоной аэрации при дополнительном увлажнении осушаемых земель // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1981, № 1.
8. Пыленок П.И. Определение влагообмена между грунтовыми водами и зоной аэрации в Мещерской низменности // Вестник сельскохозяйственной науки. – М., 1985, № 1.
9. Пягай Э.Т. Особенности влагопереноса на орошаемых почвах и их учет при обосновании мелиоративных мероприятий. – Дисс. канд. с.-х. наук. – М., 1983.
10. Рекс Л.М., Якиревич А.М., Зимина Е.А. Математическая модель влагопереноса в солонцовых и содово-засоленных почвах // Коллекторно-дренажные системы в аридной зоне. – М.: ВНИИГиМ, 1986.
11. Стельмах Е.А., Мажайский Ю.А. Вертикальный влагообмен при орошении картофеля на осушаемых супесчаных почвах // Мелиорация и водное хозяйство. Сер.2. Осушение и осушительные системы: Экспресс-информация / ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1986. – Вып. 10.
12. Турулев В.В. Регулирование водного режима орошаемых черноземов юга степной зоны Российской Федерации. – Автореферат дисс. докт. с.-х. наук. – Новочеркасск, 2002.
13. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.
14. Химин Н.М. Метод расчета влагообмена между корнеобитаемым слоем почвы и грунтовыми водами на орошаемом сельскохозяйственном поле // Метеорология и гидрология, 1989, № 9.
15. Химин Н.М. Обоснование границ применимости термодинамических моделей влагопереноса в зоне аэрации // Метеорология и гидрология, 1988, № 8.
16. Kasa E. Modelowanie nawodnien pogsiakowych. – Falenty: Wydawnictwo IMUZ, 1999.

УДК 556.512:556.135 (476)

Лукиа В.В.

ПРОДЛЕНИЕ РЯДОВ СТОКА РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ И АНАЛИЗ ИХ ОДНОРОДНОСТИ

Проектирование гидротехнических сооружений и мелиоративных систем базируется на значениях расходов воды как средних, так и различной вероятности превышения. Очень часто реки не имеют достаточно длинных рядов инструментальных наблюдений за расходами, поэтому привлекаются реки-аналоги для восстановления гидрологических рядов, но

даже и после восстановления необходима проверка их на однородность.

Целью исследований являлось восстановление рядов речного стока и с последующей проверкой их на однородность. Основу исследования составили расходы 32 рек-створов Белорусского Полесья (табл. 1).

Лукиа Владимир Валентинович. Ассистент каф. сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология

Таблица 1. Перечень опорных гидропостов Белорусского Полесья, отобранных для анализа исходной гидрологической информации

Наименование реки – створ	Период наблюдений
Бобрик – с. Парахонск	1924 – 1933, 1944 – 1987 (закрыт)
Горынь – пос. Горынь	1922 – 1962 (закрыт)
Горынь – пгт. Речица	1963–2000
Гривда – гпт. Ивацевичи	1940, 1944 – 1967 (закрыт)
Жабинка – с. Малая Жабинка	1950 – 1986 (закрыт)
Жегулянка – с. Нехачево	1965 – 1983 (закрыт)
Каменка – пос. Мухавец	1979 – 1988 (закрыт)
кан. Винец – с. Рыгали	1962 – 2000
Копаявка – с. Черск	1949 – 2000
Лесная – с. Замосты	1946 – 2000
Лесная – с. Тюхиничи	1981 – 2000
Малорыта – г. Малорыта	1972 – 2000
Меречанка – с. Ставок	1951 – 1970
Меречанка – с. Красеево	1970 – 2000
Мухавец – г. Брест	1955 – 2000
Мухавец – г. Пружаны	1947 – 1976 (закрыт)
Мышанка – с. Березки	1960 – 1987 (закрыт)
Неслуха – с. Рудск	1970 – 1980, 2000
Припять – с. Коробы	1923 – 1933, 1944 – 1987 (закрыт)
Припять – пгт. Туров	1930 – 1941, 1945 – 2000
Припять – г. Пинск (мост Любанский)	1978 – 2000
Пульва – г. Высокое	1959 – 2000
Рудавка – с. Рудня	1962 – 1986 (закрыт)
Ружанка – г. Ружаны	1965 – 1986 (закрыт)
Рыта – с. Малые Радваничи	1952 – 2000
Цна – с. Дятловичи	1954 – 2000
Щара – с. Доманово	1925 – 1933, 1963 – 1977 (закрыт)
Щара – с. Залужье	1963 – 1980 (закрыт)
Ясельда–г. Береза	1929 – 1933, 1941, 1945 – 2000
Ясельда – с. Сенин	1944 – 2000
Ясельда – с. Мотоль	1963 – 1969 (закрыт)
Ясельда – с. Старомлыны	1926 – 1933, 1963 – 1968 (закрыт)

Если имеющийся фактический материал не соответствовал требованиям, предъявляемым при статистической обработке, то такой ряд гидрометрических наблюдений считался недостаточным. Недостаточность данных обычно связана с коротким периодом наблюдений, не отражающим основной характер колебаний стока во времени. Однако есть случаи, когда и относительно долгий период наблюдений не дает необходимой надежности при расчете гидрологических характеристик, если они испытывают большие колебания во времени. Размах временных колебаний характеристик стока, обусловленных естественными причинами, зависит от степени увлажненности территории: чем меньше средняя увлажненность территории, тем резче колебания стока по годам (и внутри года по сезонам и месяцам) и тем больший период наблюдений нужен для определения их основных закономерностей.

Период наблюдений за стоком считался недостаточным [1], если:

1) среднеквадратические погрешности статистических параметров ряда (σ_Q и σ_{C_v}) превышали допустимые пределы;

2) имеющийся ряд данных не содержал полные циклы водности и наиболее многоводные или маловодные годы или группы лет (в зависимости от рассматриваемой характеристики). Используемые ряды стока должны быть качественно однородными и случайными.

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

1) в подборе к расчетному (неизученному) объекту другого, гидрологически изученного, находящегося в сходных с неизученным физико-географических условиях;

2) в распространении гидрологических характеристик изученного объекта на расчетный объект с вводом поправок на неполную аналогию физико-географических факторов стока. Для расчетов используют обычно один-три пункта гидрологических наблюдений, расположенных на реке или реках-аналогах. Их можно использовать последовательно (парная корреляция) или одновременно (множественная кор-

реляция). Используемый в качестве аналога водный объект должен удовлетворять ряду требований.

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений приведение параметров кривых распределения ежегодных вероятностей превышения гидрологических характеристик к многолетнему периоду с применением парной и множественной регрессии осуществляется при соблюдении следующих условий [1]

$$n' \geq 10 ; R \geq 0,7 ; r \geq 0,7 ; \frac{k}{\sigma_k} \geq 2, \quad (1)$$

где n' – число лет совместных наблюдений в приводимом пункте и пункте-аналоге; R – множественный коэффициент корреляции (r – парный коэффициент корреляции при одном аналоге) между значениями стока в пункте приведения и пунктах-аналогах; k – коэффициент регрессии; σ_k – среднее квадратическое отклонение коэффициента регрессии.

Продление осуществляется с использованием рек-аналогов. В общем виде для m -аналогов уравнение регрессии имеет следующий вид [1]:

$$Q = k_0 + \sum_{j=1}^m k_j \cdot Q_{aj}, \quad k_j = (-1)^{j+1} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_{aj}} \cdot \frac{D_{0j}}{D_{00}}; \quad (2)$$

$$D = \begin{vmatrix} 1 & r_{01} & r_{02} & \dots & r_{0j} & \dots & r_{0m} \\ r_{10} & 1 & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1m} \\ r_{20} & r_{21} & 1 & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{j0} & r_{j1} & r_{j2} & \dots & 1 & \dots & r_{jm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m0} & r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mj} & \dots & 1 \end{vmatrix}; \quad (3)$$

$$D_{00} = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{j1} & r_{j2} & \dots & 1 & \dots & r_{jm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mj} & \dots & 1 \end{vmatrix}; \quad (4)$$

$$D_{0j} = \begin{vmatrix} r_{10} & 1 & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{20} & r_{21} & 1 & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m0} & r_{m1} & r_{m2} & \dots & 1 \end{vmatrix}; \quad (5)$$

$$\sigma_{kj} = \pm \frac{\sigma}{\sigma_{aj}} \cdot \sqrt{\frac{1 - R^2}{(n' - m) \cdot D_{00}}}, \quad (6)$$

при этом, D_{0j} – минор определителя D , получаемый из D вычеркиванием первой строки и $(j+1)$ столбца.

Среднее квадратическое отклонение данных наблюдений от вычисленных по уравнению регрессии значений σ_Q определено по зависимости

$$\sigma_Q = \sigma \cdot \sqrt{1 - R^2}, \quad (7)$$

в которой множественный коэффициент корреляции определялся по формуле $R = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{00}}}$.

Выбор одного пункта-аналога осуществляется по вариантам:

- выбирается пункт наблюдений, имеющий более продолжительный период, но меньший коэффициент корреляции со стоком приводимого ряда;
- выбирается пункт с менее продолжительными наблюдениями, но с более тесной связью между величинами стока рассматриваемых рядов.

Если оба варианта удовлетворяют условиям (1), то сначала выбираются ряды с наибольшими коэффициентами корреляции, а затем они дополняются рядами с меньшими коэффициентами корреляции, но с большим периодом наблюдений. В общей сложности для каждого восстанавливаемого ряда возможно привлечение до девяти предполагаемых аналогов.

Приведение параметров кривых распределения ежегодных вероятностей превышения расходов воды к многолетнему периоду возможно осуществлять по данным гидрологических наблюдений и погодично восстановленным, с помощью уравнений регрессии, значениям расходов воды.

Значения стока, рассчитанные по уравнениям регрессии, систематически преуменьшают размах колебаний рассматриваемой гидрологической характеристики по сравнению с данными наблюдений.

Систематическое преуменьшение дисперсий исключается путем дополнительного расчета годичных значений Q'_i по формуле

$$Q'_i = \frac{Q_i - \bar{Q}_{n'}}{R} + \bar{Q}_{n'}, \quad (8)$$

где Q_i – годичные значения гидрологической характеристики, рассчитанные по уравнению регрессии; $\bar{Q}_{n'}$ – среднее значение гидрологической характеристики за совместный период наблюдений.

Приведение параметров к многолетнему периоду осуществляется последовательно по нескольким уравнениям регрессии в порядке убывания парного или множественного коэффициентов корреляции при соблюдении требований (1).

Для этой цели все уравнения регрессии, удовлетворяющие условиям (1), располагаются в порядке убывания коэффициентов корреляции. Затем по уравнению регрессии, имеющему наибольший коэффициент парной (один аналог) корреляции, восстанавливаются годичные значения стока в приводимом пункте за весь период наблюдений в пунктах-аналогах. Далее используется уравнение регрессии, коэффициент корреляции для которого меньше предыдущего, но больше всех остальных. По данному уравнению восстанавливаются годичные значения стока, которые не были восстановлены ранее.

Процедура поэтапного удлинения ряда продолжается до тех пор, пока не будет восстановлено требуемое количество значений стока, при этом вновь привлекаемые уравнения регрессии должны удовлетворять условиям 1.

По восстановленному ряду расходов Q_i совместно с данными наблюдений рассчитываются параметры распределения (\bar{Q}, C_v, C_s) и коэффициент автокорреляции $r(1)$ между значениями стока смежных лет.

Анализ исходной информации по периодам наблюдений (таблица 1) показал, что для двух створов (Ясельда – с. Мотоль и Ясельда – с. Старомлыны) для восстанавливаемого периода (1945 – 2000 гг.) количество исходной гидрологической информации (расходов воды) менее 10 лет, что не позволяет осуществить продление при недостаточности данных гидрометрических 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 [2, 3].

Таблица 2. Основные характеристики исходных (в числителе) и продленных (в знаменателе) рядов годового стока

Наименование реки – створа	Норма \bar{Q} , м ³ /с	К-т вариации C_v	К-т асимметрии C_s	К-т автокорреляции $r(1)$
Бобрик – с. Парахонск	5,87/6,13	0,37/0,36	0,17/0,30	0,15/-0,01
Горынь – пос. Горынь	77,2/74,7	0,34/0,29	0,99/1,29	0,12/-0,19
Горынь – пгт. Речица	111/102	0,31/0,33	0,43/0,59	0,09/0,16
Гривда – пгт. Ивацевичи	2,78/2,82	0,32/0,27	2,37/1,59	0,08/-0,05
Жабинка – с. Малая Жабинка	0,64/0,61	0,45/0,40	1,09/1,47	0,07/0,08
Жегулянка – с. Нехачево	1,13/0,98	0,31/0,40	1,84/0,98	-0,17/0,08
Каменка – пос. Мухавец	0,31/0,30	0,37/0,47	0,29/1,01	-0,09/0,04
кан. Винец – с. Рыгали	0,74/0,66	0,34/0,44	1,81/1,16	-0,20/0,00
Копаяовка – с. Черск	1,29/1,26	0,56/0,55	0,79/0,88	0,19/0,19
Лесная – с. Замосты	8,42/8,43	0,28/0,28	1,20/1,20	0,16/0,10
Лесная – с. Тюхиничи	10,2/11,4	0,16/0,28	1,38/1,22	0,01/0,16
Малорыга – г. Малорита	1,87/1,89	0,46/0,48	1,31/0,81	-0,04/-0,04
Меречанка – с. Ставок	0,50/0,50	0,32/0,28	1,22/0,44	0,30/0,15
Меречанка – с. Красеево	0,58/0,54	0,28/0,32	0,51/0,52	0,21/0,17
Мухавец – г. Брест	26,2/24,6	0,57/0,54	2,62/2,77	0,14/0,10
Мухавец – г. Пружаны	0,340/0,36	0,41/0,33	1,29/0,99	0,01/0,09
Мышанка – с. Березки	3,70/3,94	0,28/0,34	0,88/0,57	0,45/0,65
Неслуха – с. Рудск	1,40/1,36	0,31/0,40	0,19/1,80	-0,41/-0,02
Припять – с. Коробы	115/117	0,37/0,36	0,66/0,78	0,15/-0,09
Припять – пгт. Туров	263/268	0,34/0,34	0,82/0,77	0,06/0,03
Припять – г. Пинск	70,4/64,1	0,29/0,30	0,46/0,62	-0,54/-0,08
Пульва – г. Высокое	1,21/1,21	0,29/0,27	0,96/0,88	0,19/0,14
Рудава – с. Рудня	0,71/0,67	0,42/0,37	1,44/1,30	0,08/0,03
Ружанка – г. Ружаны	3,31/2,47	1,11/0,97	1,39/2,69	0,43/0,46
Рыга – с. Малые Радваницы	4,16/4,13	0,47/0,44	0,97/1,03	0,04/0,05
Цна – с. Дятловичи	4,59/4,35	0,42/0,44	0,40/0,45	-0,05/0,09
Щара – с. Доманово	17,2/16,6	0,28/0,23	1,07/0,53	0,07/0,03
Щара – с. Залужье	4,12/4,01	0,24/0,28	0,94/1,36	-0,27/-0,12
Ясельда – г. Береза	4,80/4,80	0,35/0,35	0,74/0,74	-0,06/-0,06
Ясельда – с. Сенин	19,3/19,5	0,38/0,37	0,79/0,72	0,11/0,02
Среднее	25,4/25,0	0,38/0,39	1,03/1,13	0,04/0,07

Приведение к многолетнему единому периоду выполнено путем годичного восстановления пропущенных (или недостающих) наблюдений по методике ГГИ в редакции Волчека А.А., разработанной в составе программного комплекса автоматизированных расчетов «Гидролог» по заказу проектного института «Полесьегипроводхоз». Использовалась методика Пособия П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик», которая изложена выше [1].

Для сопоставимости получаемых результатов все исследуемые ряды приведены к единому периоду наблюдений, равному 56 лет (1945 – 2000 годы). 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. Результаты продления для годового стока приведены в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что, в среднем, норма стока для продленного ряда уменьшилась на 2,43 % 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 из-

менений нормы стока не наблюдается. Что касается коэффициентов вариации (C_v) и асимметрии (C_s), то их среднее увеличение соответственно составило 5,0 % и 45,2 %. Для р. Мухавец – г. Пружаны уменьшение C_v максимальное (-19,8%), а для р. Лесная – с. Тюхиничи увеличение максимальное – 71,6%. Для значений C_s соответственно р. Меречанка – с. Ставок (-64,2 %) и р. Неслуха – с. Рудск (863,1 %). Коэффициент автокорреляции ($r(1)$) имеет максимальное значение для р. Мышанки – с. Березки как до восстановления (0,45), так и после (0,64). Максимальные его изменения отмечены для р. Цна – с. Дятловичи (-285 %) и р. Лесная – с. Тюхиничи (2616 %). 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 расходами на восстановление значений при использовании одно-, двух-, и трехфакторных моделей. Например, для р. Щара у с. Доманово при продлении ряда по однофакторной модели использовались четыре уравнения регрессии с коэффициентами корреляции соответственно 0,98; 0,97; 0,954; 0,931. При этом норма стока – \bar{Q} = 16,6 м³/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: $\bar{Q}=16,6 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v=0,24$, $C_s=0,73$ и по трехфакторной – по 3-м уравнениям (4 аналога) с коэффициентами корреляции 0,97; 0,92 и 0,89 при $\bar{Q}=16,1 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v=0,27$, $C_s=1,08$. 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 любые 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 трехфакторных 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.

Что касается рядов максимальных весеннего половодья и минимальных летне-осенней межени значений речного стока, то картина продленных (восстановленных) рядов приблизительно аналогична рядам годового стока.

На втором этапе исследований для всех постов выполнена проверка однородности восстановленных рядов стока путем построения графиков связи суммарных значений исследуемой величины (годового стока, максимальных расходов половодья, минимального стока летне-осенней межени) с соответствующим значением реки-аналога имеющей ненарушенный режим стока, или с несколькими аналогами, а для отдельных видов стока (например, минимальные расходы) такие связи строились с осадками, на которые никак не повлияли мероприятия проводимые на водосборах. Момент нарушения однородности ряда устанавливался на основе генетического анализа условий формирования стока путем выявления причин, обусловивших неоднородность данных наблюдений, а также по графикам связи $E_x=f(T)$, где E_x – суммарное значение анализируемой величины; T – годы.

Резкое изменение угла наклона таких кривых характеризует начало изменения водного режима. Результаты графического анализа должны подтверждаться информацией об изменении условий формирования водного режима на водосборе и в русле, так как нарушение однородности рядов стока возможно и по причине естественных природных циклов изменения водности.

Для качественной оценки однородности выборочных средних использовался t -критерий Стьюдента, который рассчитывался по формуле [1]

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x \hat{\sigma}_x^2 + n_y \hat{\sigma}_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y \cdot (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}, \quad (9)$$

где \bar{x} и \bar{y} – выборочные средние; $\hat{\sigma}_x$ и $\hat{\sigma}_y$ – выборочные дисперсии; n_x и n_y – объемы выборок.

При этом исследуемые ряды разбивались в месте начала наиболее вероятного антропогенного вмешательства в процесс формирования речного стока – это 1966 год – как год начала массовых мелиораций в Беларуси.

Оценка однородности выборочных средних из асимметрично распределенных совокупностей выполнялась следующим образом. Полученное значение t -критерия Стьюдента (t) сравнивалось с его критическим значением [1, Приложение Г] при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$. Если $t < t_\alpha$, принималась гипотеза однородности двух выборочных средних.

Критерий однородности Фишера (F) также использовался для оценки однородности продленных рядов речного стока. Критерий однородности Фишера (F) рассчитывался по формуле

$$F = \frac{\hat{\sigma}_x^2}{\hat{\sigma}_y^2}, \quad (10)$$

где $\hat{\sigma}_x^2$ и $\hat{\sigma}_y^2$ – выборочные дисперсии; в числителе берется большая из дисперсий.

Гипотеза однородности выборочных дисперсий отвергалась, если имело место неравенство $F > F_\alpha$ где F_α – критическое значение критерия однородности Фишера, или принималась, если знак неравенства меняется на противоположный, т.е. $F \leq F_\alpha$. В последнем случае считалось, что данные наблюдений не противоречат выдвигаемой гипотезе однородности.

Значения (F_α) определялись по [1, Приложение Д] в зависимости от объема выборок $n_x = n_y$, принятого уровня значимости ($\alpha=5\%$), внутрирядной [$r(1)$] и межрядной (R) корреляции.

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 – 1966-2000 гг. Далее был произведен расчет всех параметров для нахождения критериев Фишера и Стьюдента для каждого исходного ряда речного стока. Используя [1, Приложения Г, Д], были найдены критические значения критериев Стьюдента и Фишера для каждой из двух частей разбитого исходного ряда.

В таблице 3 приведены значения критерия Стьюдента и Фишера, рассчитанные для восстановленных рядов годового стока, а также их критические значения.

Анализ табл. 3 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 «Полесьегипроводхоз» (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 ним незначительными антропогенными воздействиями на водный режим рек.

Полностью однородные ряды годового стока для 14 из проверенных рек-створов свидетельствуют о ненарушенном водном режиме или его сглаживанием мелиоративными мероприятиями. 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.

Таблица 3. Рассчитанные и критические значения критериев Стьюдента и Фишера для оценки однородности восстановленных рядов

Река-створ	Период	Критический критерий Стьюдента $t_{кр}$	Критический критерий Фишера $F_{кр}$	Критерий Стьюдента t	Критерий Фишера F	Подтверждение гипотезы об однородности ряда	
						по t	по F
Бобрик – с. Парахонск	1945-1965	2,034	2,739	3,196	1,128	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Горынь – пос. Горынь	1945-1965	2,034	2,739	0,317	1,530	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Горынь – пгт. Речица	1945-1965	2,034	2,739	3,578	2,002	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Гривда – г. Ивацевичи	1945-1965	2,034	2,739	0,324	2,046	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Жабинка – с. М. Жабинка	1945-1965	2,034	2,739	1,444	1,445	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Жегулянка – с. Нехацево	1945-1965	2,046	2,974	3,582	1,595	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Каменка – пос. Мухавец	1945-1965	2,034	2,739	0,501	1,060	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
кан. Винец – с. Рыгали	1945-1965	2,034	2,739	3,167	1,367	Нет	Да
	1966-2000	1,998	2,078			Нет	Да
Копаяювка – с. Черск	1945-1965	2,034	2,739	4,139	3,482	Нет	Нет
	1966-2000	1,998	2,078			Нет	Нет
Лесная – с. Замосты	1945-1965	2,034	2,739	1,371	1,168	Да	Да
	1966-2000	1,998	2,078			Да	Да
Лесная – с. Тюхиничи	1945-1965	2,040	2,857	1,290	1,139	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Малорыта – г. Малорита	1945-1965	2,034	2,739	1,360	1,130	Да	Да
	1966-2000	1,998	2,078			Да	Да
Меречанка – с. Ставок	1945-1965	2,034	2,739	1,658	1,239	Да	Да
	1966-2000	2,011	2,289			Да	Да
Меречанка – с. Красеево	1945-1965	2,034	2,739	1,905	1,329	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Мухавец – г. Брест	1945-1965	2,046	2,974	1,162	2,753	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Нет
Мухавец – г. Пружаны	1945-1965	2,034	2,739	4,002	1,397	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Мышанка – с. Березки	1945-1965	2,034	2,739	5,402	3,530	Нет	Нет
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Нет
Неслуха – с. Рудск	1945-1965	2,034	2,739	0,517	3,058	Да	Нет
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Нет
Припять – с. Коробы	1945-1965	2,034	2,739	3,408	1,789	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Припять – пгт. Туров	1945-1965	2,034	2,739	3,592	2,026	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Припять – г. Пинск	1945-1965	2,034	2,739	3,491	1,403	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Да
Пульва – г. Высокое	1945-1965	2,040	2,857	1,377	1,008	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Рудавка – с. Рудня	1945-1965	2,034	2,739	1,783	1,008	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Ружанка – г. Ружаны	1945-1965	2,034	2,739	0,314	2,299	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Рыта – с. М. Радваничи	1945-1965	2,034	2,739	0,914	1,070	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Цна – с. Дятловичи	1945-1965	2,034	2,739	4,379	2,507	Нет	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Нет	Нет
Щара – с. Доманово	1945-1965	2,034	2,739	2,344	1,337	Нет	Да
	1966-2000	1,998	2,078			Нет	Да
Щара – с. Залужье	1945-1965	2,046	2,974	0,357	1,998	Да	Да
	1966-2000	1,999	2,097			Да	Да
Ясельда – г. Береза	1945-1965	2,034	2,739	2,964	1,117	Нет	Да
	1966-2000	1,998	2,078			Нет	Да
Ясельда – с. Сенин	1945-1965	2,034	2,739	3,608	1,032	Нет	Да
	1966-2000	1,998	2,078			Нет	Да

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». – Мн.: Министерство

ство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000 – 174 с.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР/ т.5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. ч.2. Основные гидрологические характеристики. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 720 с.
3. Волчек А.А., Калинин М.Ю. Водные ресурсы Брестской области. – Мн.: Изд. центр БГУ, 2002 – 440с.

УДК 556.13

Волчек А.А., Зубрицкая Т.Е.

КОЛЕБАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозируемое изменение глобального климата [1, 2] уже сейчас проявляется в совокупности региональных его изменений различных временных и пространственных масштабов. Суммарное испарение является чувствительным индикатором изменений большинства климатических факторов, так как оно является связующим звеном тепловых и водных ресурсов. Кроме того, оно является одной из основных составляющих общего круговорота воды. Изучение процессов испарения имеет большой научный и практический интерес. При изучении водного баланса территорий и атмосферного водооборота, а также при анализе возможных антропогенных влияний и изменений климата надо иметь представление о режиме испарения и его суммарных величинах. Кроме того, данные об испарении необходимы при решении ряда водохозяйственных проблем, в частности, об испарении с сельскохозяйственных и естественных угодий, а также с водной поверхности.

В настоящей работе испарение рассматривается как один из элементов водного баланса территории. Отдавая себе отчет, насколько сложны процессы испарения и как разнообразны его составляющие, мы ограничились рассмотрением только общих закономерностей суммарного испарения и количественной характеристикой этого элемента.

Нами предпринята попытка оценить происходящие изменения режима суммарного испарения Белорусского Полесья, используя материалы многолетних наблюдений под воздействием природных и антропогенных процессов.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Беларуси первые наблюдения за испарением с поверхности почвы и растительного покрова были организованы в 1958 г. на Полесской болотной станции. Затем были организованы наблюдения за испарением с почвы и растений на агрометеостанциях Минск и Василевичи, в 1969 г. начали вести наблюдения на агрометеостанции Шарковщина. Позже открылись пункты наблюдения за суммарным испарением в Нарочи, Горках, Городище, Волковыске. В разное время на станциях Нарочь, Городище, Горки и Минск наблюдения за испарением были прекращены.

В настоящее время для определения испарения с поверхности почвы и растительного покрова в теплый период используются стандартные почвенные испарители ГГИ-500-50 (ГР-25) с площадью испаряющей поверхности 500 см² и высотой почвенного монолита 50 см. Суммарное испарение

измеряется с естественного разнотравья и на посевах сельскохозяйственных культур, в основном с яровых и озимых зерновых методом почвенных испарителей по изменению веса почвенного монолита с произрастающими в нем растениями за период между отдельными взвешиваниями испарителей, которые производятся через 5 суток – 1, 6, 11, 16, 21, и 26 числа каждого месяца.

Наблюдения за испарением начинают весной, после схода снежного покрова и с момента перехода почвы в хорошо увлажненное состояние и продолжают до промерзания почвы на глубину более 5 см осенью или до образования устойчивого снежного покрова.

Испарение E , мм слоя воды рассчитывалось по формуле

$$E = \frac{10}{S} \cdot (P_1 - P_2) + X - G, \quad (1)$$

где S – площадь испарителя, см²; P_1 и P_2 – масса испарителя соответственно в предыдущий и текущий сроки взвешивания испарителей, г; X – атмосферные осадки, поступившие в испаритель, мм; G – просачивание за промежуток времени между взвешиваниями испарителя, мм.

Количество выпавших атмосферных осадков определяется с помощью почвенного дождемера, установленного рядом с испарителями.

Наблюдения за испарением с поверхности почвы и растений проводятся на специализированных агрометеорологических станциях, которые размещены в различных физико-географических и почвенных условиях.

Наблюдения за испарением со снежного покрова, которые проводились по снеговым испарителям ГГИ-500-6 (ГР-66) носят отрывочный характер, что обусловлено методикой наблюдений (испарение не определялось при выпадении снега, после снежных метелей, оттепелей), поэтому систематизированных данных за холодный период, намеренных с помощью этих испарителей нет.

Испарение рассчитывалось по методу П.П. Кузьмина по формуле

$$E = 0,34 \cdot n \cdot d_{200}, \quad (2)$$

где 0,34 – эмпирический коэффициент; n – число суток в расчетном месяце; d_{200} – средний за месяц дефицит влажности воздуха.

В табл. 1 представлены средние многолетние величины испарения за отдельные месяцы, в целом за и холодный период по бассейнам рек Западная Двина, Неман и Днепр, полу-

Волчек Александр Александрович. Доцент, к.т.н. каф. Сельскохозяйственных и гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Зубрицкая Татьяна Евгеньевна. Ассистент каф. Сельскохозяйственных и гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267. E-mail: Volchak@tut.by

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология