

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Географічний факультет
Кафедра гідрології та гідроекології

Українське географічне товариство

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

**Періодичний науковий збірник
ТОМ 6**

Кафедрі гідрології та гідроекології – 55 років

Київ
ВГЛ “Обрі”
2004

УДК 556.165 : 519.2

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВЯЗИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ПОЛЕЙ ОСАДКОВ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ УКРАИНЫ

Лобода Н.С., Хохлов В.Н.

Одесский государственный экологический университет

Введение. Территория юго-западной Украины находится в пределах зоны недостаточного увлажнения. Величины годовых норм осадков \bar{X} изменяются от 650 мм до 450 мм, уменьшаясь в направлении от северо-запада к юго-востоку [1, 4]. Величины норм максимально возможного испарения \bar{E}_m варьируют в пределах от 800 до 1000 мм, увеличиваясь к юго-востоку. Соотношение между нормами осадков и максимально возможного испарения $\beta_x = \bar{X}/\bar{E}_m$ изменяется от 0,8 до 0,5. Коэффициент стока $\eta = \bar{Y}/\bar{X}$

близок к значению 0,5 [3].

Целью работы является установление вклада осадков теплого и холодного периодов в формирование годового стока рек аридной зоны на основе исследования структуры полей годового стока, годовых осадков и осадков за внутригодовые интервалы времени при помощи метода главных компонент.

Рассмотрены материалы по 27 метеорологическим станциям и 26 гидрологическим постам за период с 1951 по 1980 гг., который образует один цикл. Для сравнения характеристик гидрологических и метеорологических полей использовались узлы координатной сетки. Продолжительность холодного периода, в течение которого происходит накопление твердых осадков, равна 3 месяцам (декабрь-февраль), продолжительность теплого периода, в течение которого выпадают жидкие осадки, равна 9 месяцам (март – ноябрь).

Обоснование возможности пространственного осреднения статистических параметров осадков за внутригодовые интервалы выполнено на основе анализа составляющих пространственной дисперсии этих параметров.

Теоретическое обоснование результатов обобщения статистических параметров осадков за внутригодовые интервалы времени. Пространственная дисперсия σ_n^2 статистического параметра A может быть определена по уравнению [1]

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (A_j - A_{CP})^2}{k-1}, \quad (1)$$

где k – число водосборов, объединенных в одну группу, j – порядковый номер рассматриваемого водосбора, A_j – индивидуальная оценка параметра, A_{CP} – осредненная в пределах выделенной группы оценка параметра.

Полная дисперсия рассматривается как сумма двух составляющих случайной и географической

$$\sigma_n^2 = \sigma_G^2 + \sigma_C^2, \quad (2)$$

где σ_n^2 – полная составляющая дисперсии параметра, σ_G^2 – географическая составляющая дисперсии параметра, σ_C^2 – случайная составляющая дисперсии параметра.

Случайная составляющая пространственной дисперсии параметра определяется как средняя для группы объектов дисперсия выборочного параметра

$$\sigma_C^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_{A_j}^2}{k}, \quad (3)$$

где σ_{A_j} – среднее среднее квадратическое отклонение индивидуальной оценки параметра A .

Географическая составляющая находится при помощи обратного расчета из (2)

$$\sigma_G^2 = \sigma_{II}^2 - \sigma_C^2. \quad (4)$$

Если выполняется условие

$$\frac{\sigma_C^2}{\sigma_{II}^2} > \frac{\sigma_G^2}{\sigma_{II}^2}, \quad (5)$$

то можно сделать вывод, что пространственное распределение исследуемого параметра в большей степени определяется случайными свойствами объединяемых выборок и в меньшей - изменением физико-географических условий по территории. Следовательно, выборочные оценки параметров могут быть осреднены в пределах изучаемой территории.

Установлено, что суммы осадков холодного периода (декабрь-февраль) изменяются в пределах исследуемой территории незначительно. Географическая составляющая пространственной дисперсии среднего арифметического значения этого параметра близка к нулю. Пространственная дисперсия средних арифметических значений определяется в основном (>90%) ошибкой их расчета по относительно коротким рядам наблюдений. Таким образом, средняя многолетняя величина осадков холодного периода может быть принята постоянной в пределах рассматриваемого пространства и составляет 110 мм.

Временная изменчивость, которая характеризуется коэффициентом вариации C_v , возрастает в направлении с севера на юг и изменяется от 0,37 на севере до 0,48 – на юге и не может быть осреднена в пределах исследуемой территории. Среднее отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v равно 2, коэффициент автокорреляции равен 0,1.

Основную часть годовых осадков составляют осадки теплого периода (март-ноябрь), поэтому между пространственным распределением этих характеристик существует тесная связь. Среднемноголетние величины (нормы) осадков теплого периода изменяются от 350 до 550 мм. Географическая составляющая дисперсии норм достаточно велика и не подлежит осреднению, в то время как коэффициент вариации может быть осреднен и принят равным 0,29. Среднее в пределах рассматриваемой территории отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v равно 2, автокорреляция (т.е. связь между осадками теплого периода предыдущих и последующих лет) отсутствует.

Анализ полей гидрометеорологических величин на основе метода главных компонент. Метеорологические поля формируются под воздействием атмосферных процессов различного масштаба: макромасштаба, синоптического масштаба, мезомасштаба и т.д. Связь между годовым стоком и климатом не вызывает сомнений, что отмечалось в работах многих выдающихся гидрологов, поэтому логично предположить влияние этих же физических процессов и на формирование полей годового стока [2].

Основная идея метода главных компонент состоит в сопоставлении полей годового стока и климатических факторов на уровне их

статистической структуры, оперируя несколькими статистическими функциями, которые в «сжатом» виде содержат основную информацию о свойствах исходных полей. Несколько первых собственных чисел ($\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda$) корреляционной матрицы исчерпывают основную часть суммарной дисперсии поля, поэтому при анализе результатов разложения особое внимание уделяется первым собственным числам и соответствующих им компонентам. А так как крупномасштабные процессы характеризуются большой дисперсией, то справедливо допущение, что именно они отражены в первых компонентах. Основными характеристиками разложения являются весовые функции U_{ki} – весовые коэффициенты главных компонент, которые являются элементами собственных векторов матрицы корреляции и зависят от координат, не изменяясь во времени, а также временные (амплитудные) функции z_{ki} – составляющие k -ой амплитудной функции (компонент разложения), которые изменяются во времени и не зависят от координат.

Первая составляющая разложения по естественным ортогональным функциям (первая компонента) отражает воздействие наиболее крупномасштабного (глобального) атмосферного процесса на формирование гидрометеорологических явлений, включая поля осадков и стока. Так, первая компонента описывает 56% дисперсии исходных данных по годовым осадкам и 64% по годовому стоку. При исследовании внутригодовых осадков установлено, что наиболее значим вклад первой компоненты в распределение осадков холодного периода (77%), и менее – для осадков теплого периода (48%). Таким образом, составляющие первой компоненты должны содержать в себе основную информацию о структуре полей гидрометеорологических величин. Так, первая амплитудная функция должна отражать основные закономерности колебаний гидрометеорологических величин во времени. А весовые коэффициенты первой компоненты – ее вклад в формирование исследуемого процесса во всех точках исследуемого пространства.

При исследовании полей осадков и полей годового стока в их статистической структуре выявлены следующие закономерности. Временные составляющие первой компоненты разложения полей годового стока по естественным ортогональным функциям (так называемые амплитудные функции) и годовых осадков связаны линейной связью с коэффициентом корреляции $r = 0,65$, что позволяет сделать вывод об обусловленности характера многолетних колебаний годового стока флуктуацией годовых осадков во времени. Сравнение амплитудных функций полей годового стока и осадков за рассматриваемые внутригодовые интервалы, показало, что в этом процессе основная роль принадлежит осадкам холодного периода, которые формируют лет весеннего половодья: коэффициент корреляции равен 0,57. Однако для сток с большим количеством осадков в теплый период возможно их преобладающее воздействие на формирование стока. Это иллюстрирует рис. 1, на котором мы видим отклонение многоводного за счет осадков теплого периода 1980 года от общей закономерности.

Установлено, что пространственное распределение весовых коэффициентов первой компоненты разложения полей годового стока

определяется, главным образом, структурой полей годовых осадков и описывается выражением

$$U_{1y} = 0,8773 U_{1x} + 0,0355; \quad r = 0,72, \quad (6)$$

где U_{1y} , U_{1x} – весовые коэффициенты первой составляющей разложения полей годового стока и осадков, r – коэффициент корреляции.

Анализ пространственного распределения весовых коэффициентов первой компоненты разложения полей осадков за год U_{1x} , теплый $U_{1x,H}$ и холодный $U_{1x,C}$ периоды позволил установить, что вклад первой компоненты в формирование полей годовых осадков зависит от структуры полей осадков теплого периода, так между весовыми коэффициентами U_{1x} и $U_{1x,H}$ существует линейная связь с коэффициентом корреляции $r = 0,71$.

В среднем за счет высоких температур воздуха осадки теплого периода в значительной степени расходуется на испарение с поверхности суши и могут не принимать участия в формировании стока. Чтобы учесть потери осадков на испарение в выражение (6) был введен количественный показатель, отражающий влияние температурного режима [5].

$$U_{1y} = 0,9450U_{1x} - 1,95739U_{1Em} + 0,3918; \quad R = 0,81, \quad (7)$$

где U_{1Em} – весовые коэффициенты первой компоненты разложения полей максимально возможного испарения, R – коэффициент множественной линейной регрессии.

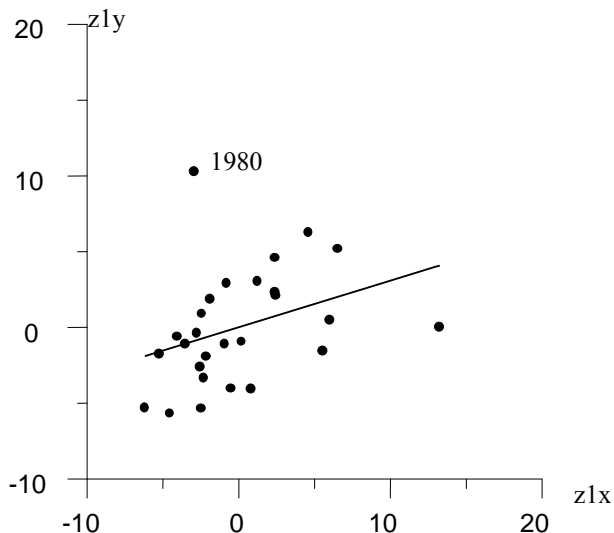


Рис. 1. Связь между первой амплитудной функцией для полей годового стока и осадков холодного периода

Однако в годы с катастрофическими ливневыми осадками даже на

реках зоны недостаточно увлажнения образуются дождевые паводки, в некоторых случаях превышающие сток весеннего половодья, что и нашло свое отражение на рис. 1.

Таким образом, выражение (7) заменяется следующим

$$U_{1y} = 0,573U_{1xH} + 0,0644U_{1xC} + 0,0734; \quad R = 0,83. \quad (8)$$

Полученные результаты нашли свое применение при построении моделей стока неизученных рек и рек с нарушенной хозяйственной деятельностью режимом [3, 5], где U_{1xH} и U_{1xC} использованы в качестве параметров модели, описывающих формирование стока в естественных (ненарушенных хозяйственной деятельностью условиях).

Выводы. 1. Осадки холодного периода, как правило, накапливаются в виде снега на водосборе. При переходе температуры воздуха через 0° С происходит таяние снега и формируется весеннее половодье, которое определяет основную часть годового стока рек зоны недостаточного увлажнения.

2. Суммы осадков холодного периода (твердые осадки) характеризуются незначительной пространственной и высокой временной изменчивостью. Они связаны с атмосферными процессами глобального масштаба, являются базисом годового стока, определяя его многолетнюю изменчивость во времени.

3. Пространственная изменчивость осадков холодного периода невелика и, как следствие величина U_{1xC} незначительно меняется по территории. Но существенное изменение твердых осадков от года к году определяет основные закономерности изменений годового стока во времени, что нашло свое отражение в наличии связей между амплитудными функциями осадков холодного периода и стока.

4. Суммы осадков теплого периода обладают значительной пространственной изменчивостью и определяют характер пространственного распределения годовых осадков а, следовательно, и годового стока. Осадки теплого периода влияют на характер колебаний годового стока сток только в годы катастрофических паводков. Установлено, что если в среднем сумма осадков теплого периода больше суммы осадков холодного периода в 2-2,5 раза, то в годы катастрофических паводков жидкие осадки должны превышать твердые более чем в 4 раза.

Список литературы.

1. *Лобода Н.С.* Применение методов многомерного статистического анализа при оценке водных ресурсов Дунай - Днестровского междуречья по материалам наблюдений // Межвед. научн. сб. Украины. - Метеорология, климатология и гидрология. - Одесса. - 1998. – Вып. 35. - С. 293 - 307.
2. *Лобода Н.С.* Применение метода главных компонент к исследованию закономерностей многолетних колебаний годового стока и его климатических факторов // Метеорология, климатология и гидрология. – 1999. – Вып. 38. – С. 112-122.
3. *Лобода Н.С., Гопченко Е.Д.* Оценка возможных изменений режима орошения в условиях изменения климата на территории северо-западного Причерноморья // Метеорология, климатология и гидрология. – 2002. – Вып. 45. – С. 100-106.
4. *Хохлов В.Н.* Пространственно-временное распределение осадков и испарения над Украиной //

Метеорология, климатология и гидрология. – 2001. – Вып. 43. – С. 44-50. 5. Loboda N.S. Stochastic model of long-term annual flow fluctuations under anthropogenic influences (in Ukraine): Stochastic models of hydrological processes and their applications to problems of environmental preservation // NATO Advanced Research Workshop (ARW), Moscow (Russia), 1998. – P. 110-113.

Статистичний аналіз зв'язку кліматичних факторів, полів опадів і гідрологічних параметрів для південно-західної частини України

Лобода Н.С., Хохлов В.Н.

Викладаються результати статистичного аналізу взаємозв'язку кліматичних факторів, полів опадів та структури полів стоку для південно-західної частини України. Проведено оцінку внеску опадів теплої та холодної періодів у формування річного стоку річок на базі дослідження структури полів річного стоку, річних опадів та опадів за внутрішньорічні інтервали часу з допомогою методу головних компонентів.

Statistical analysis for relationship between climatic factors, precipitation, and hydrological parameters in South-Western Ukraine

Loboda N.S., Khokhlov V.N.

The results of statistical analysis for relationship between climatic factors, precipitation field, and runoff's spatial structure in South-Western Ukraine are posed. By using the method of main components the spatial structures of annual runoff, annual precipitation, and intra-annual precipitation are investigated and the estimation for contributions of warm and cold seasons to the forming of annual runoff is carried out.

Надійшла до редколегії 17.11.2002 р.