

Лобода Н.С., проф., Нгуен Ву Ань, асп.

Одесский государственный экологический университет

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ГОДОВОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ Р.УССУРИ И СТОКОФОРМИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Выделены оптимальные предикторы формирования годового стока на базе анализа связей базисных функций первых компонент разложения полей годового стока с количественными показателями стокоформирующих факторов.

Ключевые слова: главные компоненты, базисные функции, масштабы процессов, регрессионный анализ, факторы стока

Вступление. Согласно физико-географическому районированию территории бывшего Советского Союза [1] бассейн р.Уссури расположен на территории физико-географической Северо-Притихоокеанской страны в Сихоте-Алиньской горной области в районе муссонного дальневосточного климата. Средние высоты водосборов изменяются от 150 до 1000 м над уровнем моря, залесенность – от 70 до 100%, уклоны от 1 до 30 промилле. Летние муссоны проникают в бассейн через хребты Сихоте-Алиня, оставляя запасы влаги на склонах окружающих гор. Значительная заболоченность и наличие заболоченных лесов характерны для рек Иман, Бикин. Основной состав почв – горные бурые лесные. Согласно гидрологическому районированию [6] на территории водосбора можно выделить два основных района – Центральная часть Сихоте-Алиня (притоки Иман, Бикин, Хор) и Западный склон Сихоте –Алиня (бассейны рек Даубихе и Улахе). Основное различие водного режима этих рек состоит во вкладе паводков и половодий в формирование годового стока. Для первого района характерен интенсивный паводочный режим, обусловленный воздействием летних муссонов. Для второго более выражена роль весеннего половодья.

Анализ последних достижений и публикаций. Для расчета характеристик годового стока неизученных и малоизученных в гидрологическом отношении рек для рассматриваемой территории выполнены следующие географические обобщения [6]: разработана схематическая карта изолиний среднего годового стока и карта изолиний коэффициента вариации, предложена расчетная зависимость для коэффициента вариации годового стока вида, отражающая тенденцию к снижению многолетней изменчивости годового стока с ростом площади водосбора и среднемноголетних величин годового стока:

$$Cv = \frac{A}{F^{0.13} \bar{q}^{0.36}}, \quad (1)$$

где Cv - коэффициент вариации годового стока;

A - параметр, отражающий влияние природных факторов на изменчивость годового стока, и представленный в виде карты изолиний;

F - площадь водосбора, км²;

\bar{q} - норма годового стока, л/скм², которая рассматривается в качестве интегрального показателя водности реки.

Ввиду сложного взаимодействия климатических факторов и орографии, точность определения характеристик годового стока по картам не удовлетворяет

Целью статьи является установление наиболее значимых предикторов расчетных зависимостей характеристик стока, выполненное на базе анализа статистической структуры полей годового стока с использованием метода ЕОФ (естественных ортогональных функций или метода главных компонент).

Материалы и методы исследования. В соответствии с основными положениями метода главных компонент любой элемент матрицы исходных наблюдаемых значений φ_{ij} (на i -том рассматриваемом объекте в j -тый момент времени) может быть рассчитан, если проблема собственных векторов решена [8,10]

$$\varphi_{ij} = \sum_{k=1}^m U_{ki} z_{kj}, \text{ при } i = 1, m; j = 1, n \quad (2)$$

где φ_{ij} - составляющие j -того случайного вектора (поля) центрированных и нормированных исходных данных, которое подлежит разложению;

U_{ki} - весовые коэффициенты, отражающие вклад i -того объекта в каждую k -тую компоненту, или составляющие собственных векторов матрицы корреляций; z_{kj} - составляющие k -той компоненты разложения;

m - число объектов;

n - длина исходных рядов.

Значения U_{ki} изменяются в пространстве при переходе от объекта к объекту, но не зависят от времени. Система функций U_{ki} часто представляется как функция координат (x_i, y_i) для i -того объекта

$$U_{ki} = f(x_i, y_i) = U_k(x_i, y_i) \quad (3)$$

Составляющие вектора-строки матрицы $Z [z_{k1} \ z_{k2} \ \dots \ z_{kp} \ \dots \ z_{kn}]$ могут быть представлены как функция времени (амплитудная функция) и являются общими для всех объектов [2,7,8,10]

$$z_{kj} = f(t) = z_k(t) \quad (4)$$

В связи с вышеизложенным, формула (1) может быть представлена в виде

$$\varphi(x, y, t) = \sum_{k=1}^m U_k(x, y) z_k(t), \quad (5)$$

При рассмотрении только первых компонент разложения, в которых содержится основная часть информации, заключенная в исходных полях, выражение (5) преобразуется к виду

$$\varphi_{ij} = \sum_{k=1}^p U_{ki} z_{kj}, \text{ при } i = 1, m; j = 1, n \quad (6)$$

где p - число первых компонент.

Если речь идет о разложении по естественным ортогональным функциям матрицы ковариаций, то

$$\Delta x_{ij} = \sum_{k=1}^p w_{ki} z_{kj} \quad (7)$$

Возможен и обратный переход от результатов разложения к исходным рядам, которое осуществляется по выражению

$$\tilde{x}_{ij} = \bar{x}_i + \sigma_i \sum_{k=1}^p U_{ki} z_{kj} + \varepsilon; \text{ при } i = 1, m; j = 1, n \quad (8)$$

или

$$\tilde{x}_{ij} = \bar{x}_i + \sum_{k=1}^p w_{ki} z_{kj} + \varepsilon; \text{ при } i = 1, m; j = 1, n, \quad (9)$$

где \tilde{x}_{ij} - сглаженное (восстановленное по первым p - компонентам) значение исходной характеристики; \bar{x}_i - среднее арифметическое значение исходного ряда; σ_i - среднее квадратическое отклонение исходного ряда; w_{ki} - весовые коэффициенты амплитудной функции (компоненты), являющиеся составляющими собственного вектора разложения матрицы ковариаций; ε - случайная ошибка, вызванная сокращением числа компонент.

Прикладное применение выражения (8) носит название “фильтрации” исходных данных и позволяет представить процесс в виде искусственного хронологического ряда, который отражает свойства только тех p компонент, а, следовательно, и соответствующих им физических процессов различных масштабов, которые были введены в (9). При этом используются амплитудные функции (компоненты) и весовые коэффициенты (значения собственных векторов матрицы ковариаций) первых составляющих разложения, а также среднегодовые величины \bar{x}_i . Полученный хронологический ряд является сглаженным, так как не учитывает влияние на формирование исследуемой величины процессов более мелкого масштаба [8]. Чтобы использовать (9) в гидрологических расчетах, необходимо установить физическое содержание входящих в него величин и функций.

Для разложения полей годового стока по естественным ортогональным функциям стока были использованы данные по 20 рядам годового стока за период совместных наблюдений с 1960 по 1986 гг., т.е. продолжительность наблюдений составила 27 лет.

Результаты исследования и их анализ. Распределение весовых w_{ki} в пространстве является детерминированным. Весовые коэффициенты w_{ki} (нагрузки) k - той компоненты разложения показывают роль этой компоненты в формировании ряда годового стока на каждом из i - том водосборе. Поскольку каждая из компонент является математическим описанием физического процесса заданного масштаба, определяющего вид поля годового стока в пространстве, то логически правильным будет предположение о том, что весовые коэффициенты описывают основные особенности структуры поля исследуемой величины и могут быть связаны с количественными характеристиками условий формирования стока на водосборе [2,3,4,7]. Таким образом, поиск пространственных закономерностей распределения весовых нагрузок w_{ki} на первые компоненты разложения и выявление их связей с

различными стокоформирующими факторами, позволит выделить среди них наиболее значимые.

При использовании для разложения по естественным ортогональным функциям ковариационных матриц вклад первой составляющей разложения полей годового стока по естественным ортогональным функциям составляет 65% суммарной дисперсии, на второй – 21%, третьей – 6%, четвертой – 2%. Первые две компоненты разложения описывают 86% информации, содержащейся в исходных данных, а первые четыре – 94%.

Параметризация полей годового стока в виде весовых коэффициентов w_{ki} позволяет установить связи с различными показателями стокоформирующих факторов, как климатических, так и отражающих особенности подстилающей поверхности. В качестве основных показателей стокоформирующих факторов были рассмотрены: условные координаты центров тяжести водосборов (y - широта, x - долгота); логарифм площади водосбора $\lg F$; \bar{X} - средняя многолетняя величина осадков; средняя высота водосбора H_{CP} ; заболоченность f_B , залесенность f_L , уклон I .

В результате применения метода множественной линейной регрессии с пошаговым выбором оптимальных предикторов [5,6] были получены следующие выражения:

- для первого, наиболее крупномасштабного стокоформирующего процесса

$$w_{1i} = -0.0041x + 0.243; r = -0.62, \quad (9)$$

$$w_{1i} = 0.0043x + 0.002f_L + 0.0672; R = 0.89; \quad (10)$$

- для второго по масштабности стокоформирующего процесса

$$w_{2i} = -0.0451y + 0.333; r = -0.97, \quad (11)$$

$$w_{2i} = -0.0445y - 0.000270\bar{X} + 0.566; R = 0.98; \quad (12)$$

- для третьего по своему вкладу в суммарную дисперсию процесса связей с перечисленными предикторами не установлены;
- для четвертого, наименее значимого, процесса

$$w_{4i} = -0.000523H_{CP} - 0.248; r = 0.53, \quad (13)$$

где r - коэффициент парной корреляции;

R - коэффициент множественной корреляции.

Дальнейшие исследования показали, что для весовых коэффициентов третьей компоненты разложения можно выделить зависимости от широты y , разделив предварительно исследуемый водосбор на две части – северную и южную (рис.1). В этом случае установленные связи принимают вид :

- для южной части водосбора

$$w_{3i} = -0.1396y + 0.482; r = 0.85; \quad (14)$$

- для северной части водосбора

$$w_{3i} = 0.0640y - 0.743; r = 0.97, \quad (15)$$

Выводы. Анализ пространственного распределения весовых нагрузок на первые компоненты разложения полей годового стока по естественным ортогональным функциям показал, что крупномасштабные физические процессы (первый и второй), описывающие 85% суммарной дисперсии исходных данных, определяют зависимость пространственного распределения годового стока от координат (x,y) центров тяжести водосборов. Под крупномасштабными стокоформирующими физическими процессами понимают атмосферные процессы, проходящие над исследуемой территорией [2,3,7]. Зависимость первой базисной функции от долготы (x) отражает влияние поступления влажных морских масс воздуха в условиях муссонного климата. Определенным образом здесь проявляется влияние залесенности. Как отмечено в [6], в высокогорных районах, где низкая облачность может быть источником конденсации влаги на листьях и стволах деревьев, дополнительно образовавшееся количество осадков может достигать 25% и больше.

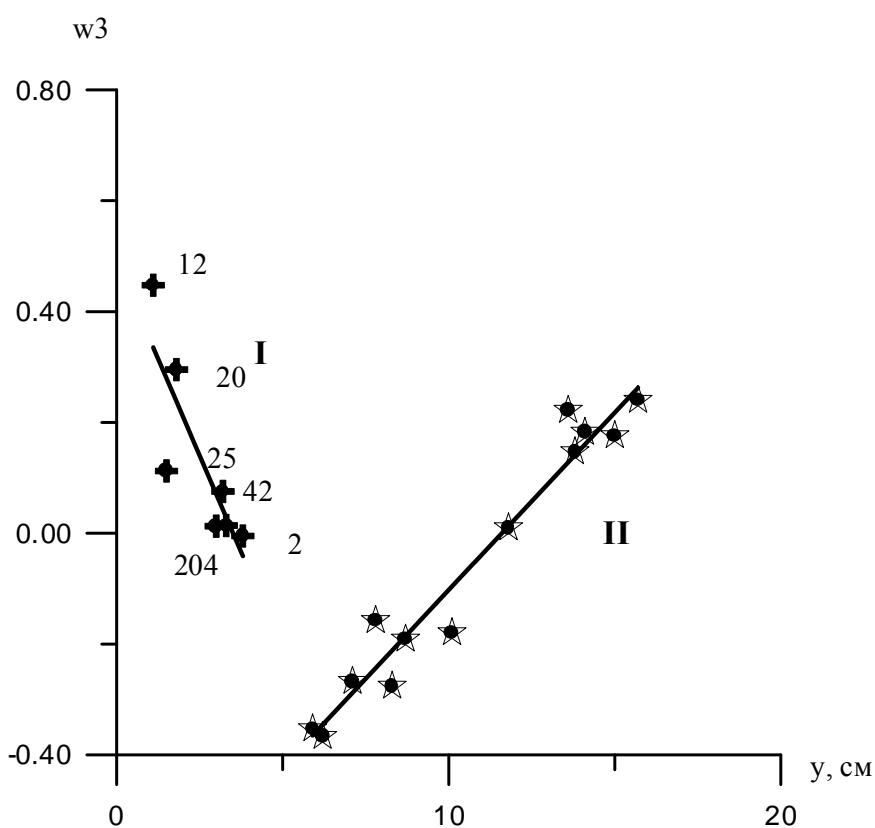


Рисунок 1 – Связи весовых нагрузок на третью компоненту разложения с широтой местности

I – водосборы рек Даубихе и Улахе; II – водосборы рек Иман, Бикин, Хор

Второй по значимости физический процесс обуславливает закономерности распределения годового стока по широте, и связан с пространственным распределением норм годовых осадков \bar{X} . Выделение двух группировок точек при анализе зависимостей w_{3i} от y показало, что существует различие между условиями формирования стока на севере и юге водосбора, проявляющееся только на уровне процессов мезомасштаба. Воздействие на формирование стока такого фактора, как

высота местности, нашло свое отражение только в четвертой компоненте разложения, которая описывает только 2% исходной информации.

Таким образом, к числу основных предикторов используемых при составлении методик расчета характеристик стока неизученных водосборов бассейна реки Уссури могут быть отнесены: координаты центров тяжести водосборов, средние многолетние величины годовых осадков, залесенность.

Список литературы

1. *Атлас СССР*. - М.: Главное управление геодезии и картографии. – 1985. – 260 с.
2. *Карасев И.Ф., Савельева Л.Н.* Разложение гидрологических полей на естественные ортогональные составляющие и расчет слоев стока весеннего половодья неизученных рек // Моделирование и прогнозы гидрологических процессов. – Л.: РГГМИ, 1992. – Вып.113. – С.76-84.
3. *Лобода Н.С.* Применение метода главных компонент к исследованию закономерностей многолетних колебаний годового стока и его климатических факторов // Межвед. научн. сб. Украины. - Метеорология, климатология и гидрология. - Одесса. - 1999. – Вып. 38. - С. 104- 112.
4. *Лобода Н.С.* Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
5. *Мостеллер Ф., Тьюки Дж.* Анализ данных и регрессия. - М.: Финансы и статистика. - 1982. - 120 с.
6. *Ресурсы поверхностных вод СССР*. - Л.: Гидрометеиздат, 1972.- т.18, вып.3: Приморье. – 628 с.
7. *Смирнов Н.П., Склярченко В.Л.* Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях. - Л.: Ленингр. ун-т, 1986. - 192 с.
8. *Школьный С.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д.* Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. - К.: Міносвіти України, 1999. - 600 с.
9. *Loboda N., Glushkov A., Khohlov V.* Using meteorological data for reconstruction of annual runoff series over an ungauged area: Empirical orthogonal function approach to Moldova-Southwest Ukraine region // Atmospheric Research. – 2005. - Vol 77/1-4. – P. 100-113.
10. *Sauquet, E., Krasovskaia, I., Leblois, E.* Mapping mean monthly runoff pattern using EOF analysis. Hydrol. Earth System Sci. - 4. - 2000.- P. 79–93.

Статистична структура полів річного стоку в басейні р.Уссури та стокоформуєчі фактори. Лобода Н.С., Нгуєн Ву Ань

Виділені оптимальні предиктори формування річного стоку на базі аналізу зв'язків базисних функцій перших компонент розкладання полів річного стока з кількісними показниками стокоформуєчих факторів.

Ключові слова: головні компоненти, базисні функції, масштаби процесів, регресійний аналіз, фактори стоку

Statistical structure of annual flow fields of river Ussuri and main factors.

Loboda N.S., Nguyen Vu Anh

Optimal predictors of annual runoff forming were received by regression analysis of first components (method NOF) and quantitative indexes of flow factors.

Key words: main components, basic functions, process scales, regression analysis, flow factors