

## **ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ**

Рассмотрен подход к поиску оптимальных предикторов, отражающих характер и масштаб рассматриваемого гидрологического процесса, на основе результатов разложения полей гидрологических величин по естественным ортогональным функциям.

Поля характеристик жидкого и твердого стока формируются в результате взаимодействия климатических факторов и факторов подстилающей поверхности. В сложных орографических и гидрогеологических условиях формирования зачастую действует целый комплекс факторов, которые накладываются друг на друга. В многообразии условий формирования характеристик стока сложно выделить основные, что приводит к созданию либо несколько упрощенных методик расчета (например, в виде зависимостей только от одного фактора), либо, наоборот, слишком усложненных, перегруженных набором предикторов в расчетных или прогностических методиках.

Нами предложен новый подход к анализу и выявлению основных предикторов, используемых при построении расчетных или прогнозных зависимостей с использованием результатов параметризации полей гидрологических величин в виде пространственных функций весовых коэффициентов (нагрузок) на первые составляющие их разложения по естественным ортогональным функциям. Каждая из таких весовых нагрузок отражает вклад рассматриваемой компоненты и связанного с ней физического процесса определенного масштаба в формирование стока. Преимущество предложенного подхода состоит в учете масштабов реальных физических процессов, обуславливающих то или иное гидрологическое явление, а также его вклада в структуру исследуемых полей.

Суть метода главных компонент (естественных ортогональных функций) состоит в линейном преобразовании и сжатии исходной

информации [5]. На основе матриц корреляции определяется система ортогональных, линейно независимых функций, которые принято называть собственными векторами, соответствующими системе независимых случайных величин, именуемых собственными значениями или собственными числами матрицы корреляций ( $\lambda_i$ ). Несколько первых собственных чисел ( $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots \lambda_m$ ) корреляционной матрицы исчерпывают основную часть суммарной дисперсии поля, поэтому при анализе результатов разложения особое внимание уделяется первым собственным числам и соответствующим им компонентам. А так как крупномасштабные процессы характеризуются большой дисперсией, то справедливо допущение, что именно они отражены в первых компонентах. Анализ пространственного распределения весовых нагрузок  $w_{ki}$ , отражающих вклад каждой из рассматриваемых компонент в колебания рассматриваемой гидрологической характеристики на водосборе, позволяет выявлять причинно-следственные связи, формирующие структуру полей. Чем больше значение весового коэффициента  $w_{ki}$  для  $i$ -того водосбора, тем более значим для него рассматриваемый физический процесс  $k$ -того порядка. Для поиска связей между весовыми коэффициентами  $w_{ki}$  и показателями факторов формирования подземного стока использован метод множественной линейной регрессии с пошаговым выбором оптимальных предикторов.

Установлено, что для изучения структуры полей суммарного годового стока, подземного стока и стока наносов достаточно ограничиться рассмотрением первых двух или трех компонент разложения, так как на них приходится более 70% суммарной дисперсии исходных данных. Анализ результатов разложения полей годового стока, годовых осадков и максимально возможного испарения позволил сделать выводы о сходстве их структуры [1]. Показано, что структура полей годового стока обусловлена структурой полей максимально возможного испарения и годовых осадков на уровне первых трех компонент разложения. Получены корреляционные зависимости между весовыми нагрузками на первые составляющие разложения полей годового стока и климатическими факторами [2]. На основе полученных данных был сделан вывод об обусловленности первых трех компонент разложения полей рассматриваемых гидрометеорологических величин одними и теми же физическими процессами, которые интерпретировались как наиболее крупномасштабные атмосферные процессы. Для второй составляющей

разложения полей годового стока характерна связь весовых нагрузок с долготой центров тяжести водосборов, что отражает преобладание западного переноса воздушных масс над Украиной [2]. В горной части бассейна Днестра вклад наиболее крупномасштабного атмосферного процесса в формирование полей годового стока представлен коэффициентами  $w_{i1}$ , значения которых возрастают по мере увеличения средней высоты водосборов. Если для юго-западной части Украины влияние факторов подстилающей поверхности проявляется на уровне четвертой компоненты разложения, на которую приходится около 3% суммарной дисперсии исходных данных по годовому стоку, то для регионов с существенной долей подземного питания (например, для верхней части водосбора Днестра) ее влияние проявляется уже в третьей компоненте, весовые коэффициенты которой связаны не только с широтным положением водосборов, но и с их площадью. Заметим, что площадь водосбора может рассматриваться как косвенный показатель факторов подстилающей поверхности.

При аналогичном исследовании роли различных факторов в формировании полей грунтового стока [3] в качестве основного выделен такой показатель, как норма инфильтрации  $U_o$  осадков в водоносные горизонты, который связан тесной корреляционной связью ( $r > 0,8$ ) с весовыми нагрузками на первую компоненту разложения, описывающую более 70% дисперсии исходных данных. Величина  $U_o$  отражает как общее увлажнение территории, так и ее гидрогеологические особенности, таким образом, можно сделать вывод, что первая составляющая разложения полей годового грунтового стока определяется не только атмосферными процессами, но и влиянием подстилающей поверхности.

На формирование полей годового стока наносов (верхняя часть бассейна р.Днестр) оказывает влияние максимальный сток (на уровне первой компоненты разложения) и распаханность  $f_{расп.}$  водосборов (на уровне второй компоненты разложения) [4]:

$$U_{2S} = 0,078 f_{расп.} - 5,39; \quad r = 0,75; \quad (1)$$

где  $U_{2S}$  – весовые нагрузки на вторую компоненту разложения полей мутности.

В данном случае распаханность водосбора является косвенной характеристикой влияния смыва почв на формирование полей мутности.

Практическое применение результатов разложения полей гидрологических характеристик состоит в возможности моделирования

рядов и полей на основе решения задачи фильтрации исходных данных [5]. Любая составляющая отфильтрованного поля  $x_{ij}$  (отфильтрованное значение исследуемой величины на  $i$ -том гидрометрическом посту в  $j$ -тый момент времени) определяется по формуле:

$$\tilde{x}_{ij} = \bar{x}_i + \sum_{k=1}^p w_{ki} z_{kj} + \varepsilon; \quad i = 1, m; ; j = 1, n, \quad (2)$$

где  $\bar{x}_i$  – среднее арифметическое значение исходного ряда;  $w_{ki}$  – весовые коэффициенты  $k$ -ой амплитудной функции (компоненты разложения), являющиеся составляющими собственного вектора разложения матрицы ковариаций;  $z_{kj}$  – составляющие  $k$ -ой амплитудной функции (компоненты разложения);  $\varepsilon$  – случайная ошибка, вызванная сокращением числа компонент при решении задачи фильтрации исходной информации. При этом амплитудная функция  $z_{kj}$  рассматривается как функция времени, которая постоянна для всех объектов.

Таким образом, для неизученных рек задача сводится к установлению весовых нагрузок первых компонент разложения по полученным регрессионным связям. Так, например, для расчетов хронологических рядов грунтового стока неизученных рек междуречья Дунай-Днестр нами использовалась зависимость  $w_{ki}$  первой составляющей разложения от нормы инфильтрации  $U_0$  [3]:

$$w_{li} = 0,0071U_0; \quad r = 0,860, \quad (3)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

При этом норма грунтового стока определялась на основе генетического подхода, предложенного А.Н. Бефани и реализованного для юго-западной Украины В.Г.Сорокиным [5]:

$$\bar{Y}_{II} = U_0 th \left( \alpha_{\Gamma} n_3 \sqrt{\frac{F}{F_{1KP}} - 1} \right), \quad (4)$$

где  $U_0$  – норма просачивания (инфильтрации) осадков в подземные воды;  $th$  – гиперболический тангенс;  $\alpha_{\Gamma}$  – гидрогеологический параметр, равный отношению мощности всех потоков грунтовых вод зоны дренирования по вертикали к максимальной глубине дренирования;  $n_3$  – показатель интенсивности нарастания подземного притока;  $F$  – площадь водосбора,  $км^2$ ;  $F_{1KP}$  – первая критическая площадь,  $км^2$ . Точность расчета составляет в среднем 10-15% (рис.1).

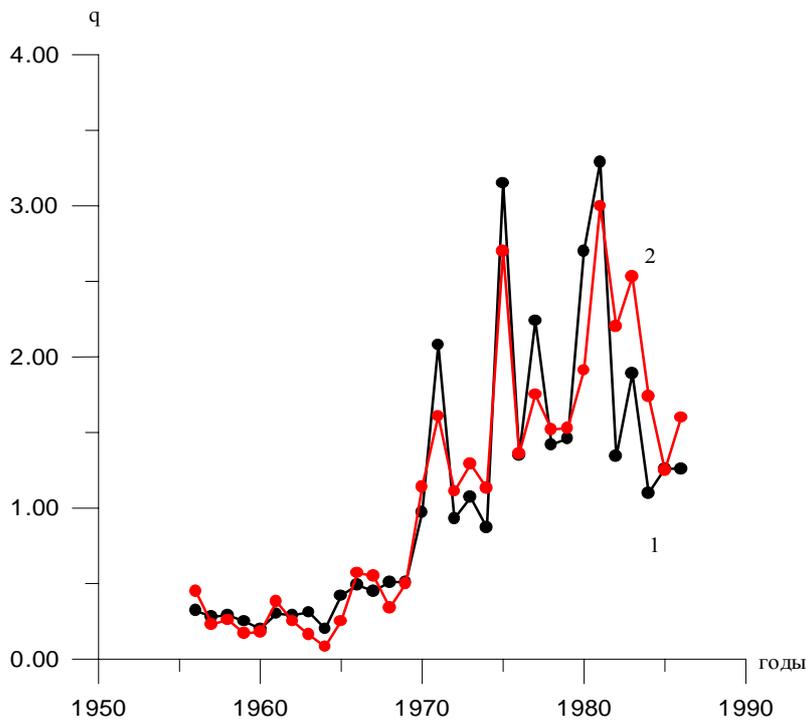


Рис. 1. Сравнение фактических и восстановленных по данным о первой компоненте величин грунтового стока р.Ягорлык – с.Дойбаны

\* \*

Розглянуто новий підхід до пошуку оптимальних предикторів, які відображають характер та масштаб гідрологічних процесів на основі результатів розкладання полів гідрологічних величин за природними ортогональними функціями.

\* \*

1. 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.
2. Лобода Н.С. Восстановление рядов естественного годового стока на основе разложения его полей по естественным ортогональным функциям (на примере юго-западной части Украины и Молдовы) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Науковий збірник. – Т.2. - Київ: Ніка-Центр, 2001. – С. 246 - 253.
3. Лобода Н.С., Шаменкова О.И. Обоснование методики расчета подземного стока рек Молдовы и юго-западной Украины на базе метода главных компонент // Міжвід. наук. зб. України. - Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - Одеса. - 2001. – Вып. 44. - С. 187 - 191.
4. Лобода Н.С., Ехнич М.П. Исследование полей суммарного годового стока и стока взвешенных наносов на основе метода главных компонент //

- Матеріали міжнародної конференції “Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища”. – Ч.2. – Одеса. – 2003. – С.111-115.
5. *Сорокин В.Г.* Средний многолетний сток орошаемых районов юга Европейской территории Советского Союза // Межвед. научн. сб. Метеорология, климатология и гидрология. - Одесса.-1974. - С.121-129.
  6. *Школьний Є.П., Лосєва І.Д., Гончарова Л.Д.* Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: навчальний підручник. - К.: Міносвіти України, 1999. - 600 с.