

## Лобода Н.С., Нгуен Ву Ань ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ГОДОВОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ МУСОННОГО КЛИМАТА (БАССЕЙН Р.УССУРИ)

**Вступление.** Согласно физико-географическому районированию территории бывшего Советского Союза 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. На формирование стока влияют сложный рельеф и мусонный характер атмосферной циркуляции [1,7]. Горный хребет Сихоте – Алинь, с которого берут начало правые притоки р.Уссури, расположен на пути атмосферных потоков. В зимний период на формирование климата оказывает влияние взаимодействие между Сибирским антициклоном и юго-западной ложбиной Алеутской депрессии, в летний – между Азиатской депрессией и Тихоокеанским антициклоном [2]. Количество выпадающих атмосферных осадков связано с высотой местности и ориентацией горных склонов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В “Ресурсах поверхностных вод” [9] приводится 15 районов, выделенных на основе связей норм годовых осадков с высотой местности. По комплексу гидрологических и ландшафтно-гидрологических характеристик в пределах водосбора р.Уссури выделено три района: Центральная часть хребта Сихоте-Алинь; Западный склон хребта Сихоте-Алинь; Западно-Приморская низменность. Выделенные районы отличаются вкладом паводков и половодий в формирование годового стока и делят водосбор р. Уссури меридионально, в соответствии с распределением высоты. Выделение зон повышенного, умеренного и низкого стока является отображением проявления закона вертикальной поясности в формировании климата и стока горных регионов. В СНИП 2.01-14-83 предложено 3 района для определения норм годового стока по характеру их зависимости от средней высоты водосборов [8]. Таким образом в качестве основного предиктора расчетных зависимостей используется средняя высота водосборов.

Исходя из выше сказанного, основная цель исследования формулируется как необходимость разработки научно обоснованных географических обобщений годового стока рек в бассейне р. Уссури, составной частью которых является установление основных закономерностей в структуре полей годового стока. Статистическая структура полей устанавливается на основе метода главных компонент (разложения по естественным ортогональным функциям). Поиск связей между структурными элементами полей и показателями стокоформирующих факторов осуществляется на основе методов множественной линейной регрессии [4,11].

**Материалы и методы исследования.** В соответствии с основными положениями метода главных компонент любой элемент матрицы исходных наблюдаемых значений  $j_{ij}$  (на  $i$ -том рассматриваемом объекте в  $j$ -тый момент времени) может быть рассчитан, если проблема собственных векторов решена [10,11]

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

где  $j_{ij}$  - 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  $U_{ki}$ , так называемые базисные функции, зависит от координат  $(x_i, y_i)$   $i$ -того объекта

$$U_{ki} = f(x_i, y_i) = U_k(x_i, y_i) \quad (2)$$

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

$$z_{kj} = f(t) = z_k(t) \quad (3)$$

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

$$j(x, y, t) = \sum_{k=1}^m U_k(x, y) z_k(t), \quad (4)$$

При рассмотрении только первых компонент разложения, в которых содержится основная часть информации, заключенная в исходных полях, выражение (1) преобразуется к виду

$$j_{ij} = \sum_{k=1}^p U_{ki} z_{kj}, \text{ при } i=1, m; j=1, n \quad (5)$$

где  $p$  - число первых компонент.

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

$$\Delta x_{ij} = \sum_{k=1}^p w_{ki} z_{kj} \quad (6)$$

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

или

$$\tilde{x}_{ij} = \bar{x}_i + \sum_{k=1}^p w_{ki} z_{kj} + e; \text{ при } i=1, m; j=1, n, \quad (7)$$

где  $\tilde{x}_{ij}$  - сглаженное (восстановленное по первым  $p$  - компонентам) значение исходной характеристики;

$\bar{x}_i$  - среднее арифметическое значение исходного ряда;

$S_i$  - среднее квадратическое отклонение исходного ряда;

$w_{ki}$  - составляющие собственного вектора разложения матрицы ковариаций;

$e$  - случайная ошибка, вызванная сокращением числа компонент.

Прикладное применение выражений (7) носит название “фильтрации” исходных данных и позволяет представить процесс в виде искусственного хронологического ряда, который отражает свойства только первых  $p$  компонент, а, следовательно, и соответствующих им физических процессов различных масштабов. Полученный хронологический ряд является сглаженным, так как не учитывает влияние на формирование исследуемой величины процессов более мелкого масштаба. Чтобы использовать (8) 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 определенного физического процесса заданного масштаба, определяющего вид поля годового стока в пространстве, то логически правильным будет предположение о том, что весовые коэффициенты первых компонент описывают основные особенности структуры поля исследуемой величины и могут быть связаны с количественными показателями условий формирования стока на водосборе [3]. 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 полей годового стока по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) вклад первой составляющей разложения полей годового стока по естественным ортогональным функциям составляет 65% суммарной дисперсии исходных данных, вклад 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  $w_{ki}$  позволила установить связи с различными показателями стокоформирующих факторов, как климатических, так и отражающих особенности подстилающей поверхности [4,5,6]. В качестве основных показателей стокоформирующих факторов были рассмотрены: условные координаты центров тяжести водосборов ( $j$  - широта,  $l$  - долгота); ло-

гарифмы площадей водосбора  $Ig F$ ;  $\bar{X}$  - средние многолетние величины осадков; средние высоты водосборов  $H_{CP}$ ; значения заболоченности  $f_B$ , залесенности  $f_L$ , уклона  $I$ .

Установлено [6], что пространственное распределение весовых коэффициентов первой компоненты разложения полей годового стока по естественным ортогональным функциям связано с долготой положения центров тяжести водосборов ( $r = -0,62$ ), второй с широтой ( $r = -0,97$ ), третьей с нормой годовых осадков ( $r = 0,48$ ), четвертой – со средней высотой водосборов ( $r = 0,53$ ), где  $r$  - коэффициент корреляции.

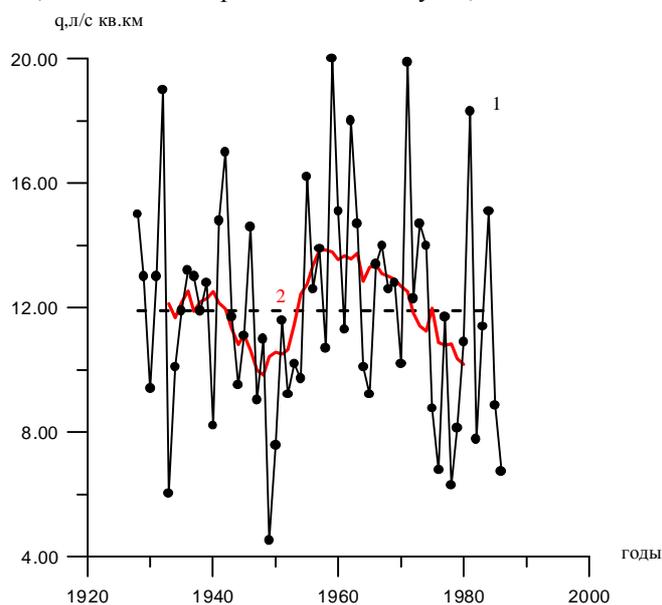
Под крупномасштабными процессами следует понимать, прежде всего, атмосферные процессы. Бассейн р.Уссури находится в зоне действия воздушных течений восточно-азиатской муссонной системы, на пути движения которых находится горная система Сихоте-Алинь, что и объясняет зависимость весовых коэффициентов первой компоненты от долготы. Особенности пространственного распределения второй базисной функции интерпретируются как результат существующих различий в характере муссонов. В северной части водосбора р.Уссури преобладает воздействие муссона умеренных широт, а в южной – муссона субтропических широт. Нулевая изолиния весовых коэффициентов второй компоненты делит территорию

пополам [5]. Зона муссонов умеренных широт располагается между  $45^{\circ}$  с.ш. и  $65^{\circ}$  с.ш.; зона субтропических муссонов - ниже  $45^{\circ}$  с.ш.

Связь между весовыми коэффициентами третьей компоненты разложения и нормами годовых осадков устанавливается только при условии исключения водосборов, на формирование годового стока которых оказывают влияние подземные карстовые и трещинные воды. Водосборы, в границах которых происходит разгрузка подземных вод, характеризуются повышенными, в сравнении с другими водосборами, коэффициентами стока. Муссоны благоприятствуют выпадению осадков, но не являются их основной причиной. Для образования осадков необходимо не только большое влагосодержание воздуха, но и условия для конденсации водяного пара, которые создаются за счет восходящих орографических потоков на склонах хребта Сихоте –Алинь. Таким образом, можно сделать вывод, что влияние орографии проявляется только на уровне четвертой компоненты разложения.

Принимая во внимание, что амплитудные функции (компоненты) являются общими для всех рассмотренных водосборов, были исследованы их связи с индексами ТДО (Тихоокеанская декадная осцилляция). Индексы ТДО представляют собой первую амплитудную функцию разложения полей аномалий температур поверхности Северной части Тихого океана по естественным ортогональным функциям (главным компонентам) и широко используются для анализа влияния изменений климата на гидро- и биосистемы [12,13,14]. Значения второй амплитудной функции разложения полей годового стока связаны с индексами ТДО зимних месяцев (январь, февраль). Коэффициенты корреляции  $r$ , описывающих тесноту этих связей, имеют значения превышающие 0,4. Более слабая связь прослеживается между третьей компонентой и индексами ТДО за сентябрь месяц  $r = 0,35$ .

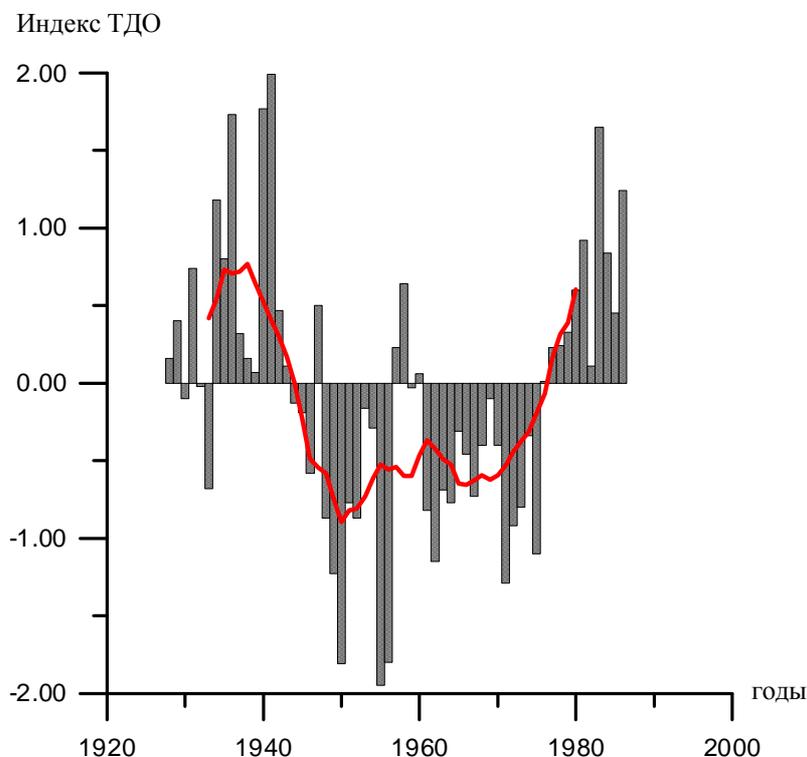
Важно отметить наличие общих закономерностей в многолетних колебаниях стока (рис.1) и индексов ТДО (рис.2), рассмотренных за период, соответствующий наиболее длинным наблюдениям за годовым стоком (наблюдения на р.Иман – пос.Вагутон).



**Рис. 1.** Хронологический ход годового стока с водосбора р. Иман – с. Вагутон

1 – наблюдаемый ряд;  
2 – сглаженный методом скользящего осреднения по 11-леткам ряд

С начала 20-х и до начала 50-х годов прошедшего столетия наблюдалась теплая (положительная фаза) ТДО, которая сопровождалась пониженной водностью р. Уссури. Многоводная фаза начинается с 1955 года и длится до 1974 года, что соответствует холодной (отрицательной) фазе ТДО. Начавшаяся в середине 70-х прошедшего столетия положительная фаза ТДО вновь сопровождается переходом в маловодную фазу стока.



**Рис. 2.** Хронологический ход индексов ТДО  
(кривая соответствует сглаженному методом скользящего осреднения по 11-леткам ряду)

**Выводы.** На основе полученных результатов можно сделать вывод об обусловленности временных и пространственных закономерностей распределения годового стока р. Уссури атмосферными процессами, протекающими на границе материк – океан. В холодный период года действует зимний муссон, направленный с континента на океан [1]. Влияние на формирование годового стока зимнего муссона нашло свое проявление в связях между второй амплитудной функцией и индексами ТДО. В летний период воздушные потоки направлены с океана на континент, т.е. становится выраженным взаимодействие Азиатской депрессии и Тихоокеанского антициклона. Влияние Тихоокеанского антициклона усиливается во второй половине лета, именно поэтому и была получена связь между третьей амплитудной функцией и индексами ТДО за сентябрь. Поиск региональных связей норм годового стока с показателями стокоформирующих факторов на основе регрессионных моделей позволил установить, что наиболее оптимальным предиктором является норма годовых осадков, которая в интегральном виде учитывает как влияние атмосферных процессов, так и орографические факторы.

#### Источники и литература

1. Гарцман И.Н. и др. Соотношения между составляющими водного баланса речных водосборов Приморья // Труды ДВНИГМИ. – Л.: Гидрометеиздат. – 1969. – Вып.28. – С. 3–14.
2. Гончарова Л.Д., Серга Е.М., Школьный С.П. Клімат і загальна циркуляція атмосфери. – К.:КНТ, 2005. – 252 с.
3. 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.
4. Лобода Н.С., Нгуен Ву Ань Установление факторов формирования годового стока в бассейне р.Уссури – с. Княжеское на основе метода множественной регрессии // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.1. - К:КНТ, 2005. – С. 168–174.
5. Лобода Н.С., Нгуен Ву Ань Районирование бассейна р.Уссури с использованием методов многомерного статистического анализа // Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.2. – К:КНТ, 2006. – С. 168–174.

6. Лобода Н.С., Нгуен Ву Ань Статистическая структура полей годового стока в бассейне р. Уссури и стокоформирующие факторы // Украинський гідрометеорологічний журнал. – Одеса. – 2006. – № 1. – С. 6-10.
7. Нгуен Ву Ань Основные характеристики рек Приморья // Матеріали V наукової конференції молодих вчених. – Одеса. – 2005. – С.32–33.
8. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат,- 1984. - 447с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – Т.18. Вып.3: Приморье. – 628 с.
10. Смирнов Н.П., Скляренко В.Л. Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях. – Л.: Ленингр. ун-т, 1986. – 192 с.
11. Школьный Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. - К.: Міністерство освіти України, 1999. - 600 с.
12. Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C. A Pacific interdecadal oscillation with impact on salmon production // Bulletin of the American Meteorological Society, 78,1997. – P. 1069-1079.
13. Miller A.J., Cayan D.R., Barnett T.P., Graham N.E., Oberhuber J.M. The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean. Oceanography 7, 1994, P. 21-26.
14. Polonsky A., Voskresenskaya E., Basharin D. Coupled Ocean – atmosphere system and its impacts on European climate // In book “Climat in Transition” // Edited by prof. L.C. Nkemderin. – Minuteman Press. – 2003. – P.15–28.