

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

Одесский государственный экологический университет

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОБОБЩЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГОДОВОГО СТОКА РЕК В БАССЕЙНЕ Р.УССУРИ

*Изложены рекомендации по определению характеристик годового стока рек бассейна р.Уссури при недостаточности или отсутствии данных наблюдений. Основой разработанных методик являются результаты географических обобщений характеристик годового стока, выполненные с использованием методов многомерного статистического анализа.*

**Ключевые слова:** *параметры годового стока, географическое обобщение, многомерный статистический анализ.*

**Введение.** Методы географо-гидрологических обобщений используют при недостаточной гидрологической изученности расчетного водосбора или при отсутствии данных наблюдений. При помощи этих методов исследуют обобщенные (на разном пространственно-временном уровне) условия формирования стока. К анализу привлекаются данные прилегающих территорий, на которые распространяется условие сходства особенностей формирования стока и подстилающей поверхности. Для оценки характеристик стока неизученных, с точки зрения измерений стока, водосборов строятся карты изолиний изучаемой характеристики или выделяются районы, в пределах которых характеристика может быть осреднена. Выбор метода пространственного обобщения характеристик стока связан с определением роли основных стокоформирующих факторов. Факторы формирования стока традиционно делятся на зональные, азональные и интразональные (местные). Связанные с климатом зональные (климатические) факторы обуславливают плавное и непрерывное изменение характеристик стока. В тех случаях, когда роль зональных факторов преобладает, в гидрологических обобщениях применяется принцип географической интерполяции и строится карта изолиний изучаемой характеристики. При построении расчетных методик для горных территорий используется закон вертикальной поясности в пространственном распределении гидрометеорологических характеристик [2]. В гидрологических расчетах обычно приводятся зависимости характеристик стока от средней высоты водосборов. Интразональные и азональные факторы определяют дискретность пространственного распределения характеристик стока, которая при пространственном обобщении находит свое выражение в районировании территории, т.е. выделении участков, в пределах которых наблюдается относительная однородность стокоформирующих факторов и зональные различия невелики, что и позволяет принять к расчету единое значение исследуемого параметра. Районирование может опираться на преобладающее влияние какого-либо одного фактора формирования стока, либо использовать принцип комплексности факторов. При использовании комплекса факторов районирование территории может выражаться не в осреднении исследуемой характеристики, а в получении единой районной или так называемой региональной зависимости исследуемой характеристики от комплекса стокоформирующих факторов.

В пределах водосбора р. Уссури гидрологические обобщения представлены в виде карты изолиний норм годового стока и трех порайонных зависимостей вида  $\bar{q} = f(H)$  [8]. Районирование было выполнено только по одному признаку – распределению норм годового стока  $\bar{q}$  по высоте  $H$ . Полученные зависимости

$\bar{q} = f(H)$  не обеспечивают удовлетворительной точности расчета. В издании “Ресурсы поверхностных вод” районирование по характеру зависимостей  $\bar{q} = f(H)$  более подробное и насчитывает семь районов [8]. Для расчетов многолетней изменчивости годового стока  $Cv$  в [9] приведена формула

$$Cv = \frac{A}{F^{0,13} \bar{q}^{0,36}}, \quad (1)$$

где  $A$  - параметр, отражающий влияние природных факторов на коэффициент вариации годового стока. Значения параметра  $A$  картированы.

Согласно нормативным документам СНИП 2.01.14 – 83 для бассейна р.Уссури отношение  $Cs/Cv$  рекомендуется принимать равным 2,5; а коэффициент автокорреляции - 0,14. Однако, в [9] соотношение  $Cs/Cv$  в пределах водосбора р.Уссури приводятся значения равные 1,0 и 2,0. Из сказанного следует, что выполненные пространственные обобщения не являются строго обоснованными теоретически.

Целью данной работы является обоснование географических пространственных обобщений характеристик годового стока в бассейне р. Уссури.

**Материалы и методы исследований.** В работе использованы данные по 50-ти рядам годового стока с водосборов бассейна р.Уссури с продолжительностью наблюдений от их начала и до 1986 гг., включительно. Площади водосборов изменяются от 17,4 км<sup>2</sup> (руч. Гродненский – с.Извилинка) до 24500 км<sup>2</sup> (р.Хор – пос.Хор). Преобладают водосборы с площадью до 1000 км<sup>2</sup>, но доля площадей водосборов, меньших 100 км<sup>2</sup>, составляет только 10%. Число водосборов с площадью, большей 20000 км<sup>2</sup> равно 4. В основе приведенных исследований лежит районирование территории по синхронности колебаний годового стока, выполненное авторами при помощи методов многомерного статистического анализа: факторного и главных компонент [10,4]. В результате исследований было установлено, что по закономерностям колебаний годового стока в бассейне р. Уссури можно выделить три района: Северный, Центральный и Южный [6,7]. Результаты районирования соответствуют данным М.Г. Васьковского [1], полученным на основе анализа разностных интегральных кривых годового стока.

Для обоснования выбора способа географических обобщений статистических параметров годового стока с водосборов бассейна р. Уссури был использован метод совместного анализа составляющих пространственной дисперсии этих параметров [3]. Суть метода сводится к определению географической и случайной составляющих пространственной дисперсии какого-либо статистического параметра  $A$ . Пространственная дисперсия устанавливается по уравнению

$$\sigma_n^2 = \sigma_\partial^2 + \sigma_c^2, \quad (2)$$

где  $\sigma_n^2$  - полная составляющая дисперсии исследуемого параметра;

$\sigma_\partial^2$  - географическая составляющая дисперсии параметра;

$\sigma_c^2$  - случайная составляющая дисперсии параметра.

Полная пространственная дисперсия параметра оценивается по формуле

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (A_j - A_{cp})^2}{k-1}, \quad (3)$$

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  $A_j$ .

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

$$\sigma_{''}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_{A_j}^2}{k}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{A_j}$  - среднее квадратическое отклонение индивидуальной оценки параметра  $A$ .

Географическая составляющая находится при помощи обратного расчета из (2)

$$\sigma_c^2 = \sigma_n^2 - \sigma_{''}^2. \quad (5)$$

Если выполняется условие

$$\frac{\sigma_c^2}{\sigma_n^2} > \frac{\sigma_{''}^2}{\sigma_n^2}, \quad (6)$$

то можно сделать вывод, что пространственное распределение исследуемого параметра в большей степени определяется случайными свойствами объединяемых выборок и в меньшей - изменением физико-географических условий. Следовательно, выборочные оценки параметров могут быть осреднены в пределах изучаемой территории. Качество объединения тем выше, чем меньше вклад географической составляющей в пространственную дисперсию параметра. Когда географическая составляющая дисперсии, вычисленная обратным расчетом по (5), принимает отрицательные значения, вклад случайной составляющей в пространственную дисперсию параметра может быть принят равным 100%, а географической – 0,00%.

Среднее квадратическое отклонение осредненной в пределах выделенной группы водосборов оценки рассматриваемого статистического параметра рассчитывается по соотношению

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\frac{\sigma_c^2}{k} + \sigma_{\partial}^2}. \quad (7)$$

Величина  $\sigma_{cp}$  является критерием качества объединения. Осредненная оценка параметра признается статистически достоверной, когда выполняется условие [3]

$$A_{cp} > 2\sigma_{cp} . \quad (8)$$

В гидрологических расчетах также используются допустимые относительные средние квадратические ошибки  $\varepsilon_{дон.}$  определения некоторого параметра  $A$ . Если  $\varepsilon_A \leq \varepsilon_{дон.}$ , то выборочное значение параметра принимается к расчету. Величина  $\varepsilon_A$  определяется по формуле

$$\varepsilon_A = \frac{\sigma_A}{A} \cdot 100\% , \quad (9)$$

где  $\sigma_A$  - среднее квадратическое отклонение оценки параметра  $A$ .

Задача выбора способа географического обобщения может быть решена при рассмотрении условия (6). Если условие выполняется и вклад случайной составляющей в пространственную дисперсию параметра превышает 70%, то в качестве способа географического обобщения выбирается районирование. Если условие (6) не выполняется и вклад географической составляющей превышает 70%, то выбирается картирование исследуемой характеристики, т.е. представление ее в виде карты изолиний.

**Результаты исследования и их анализ.** Анализ пространственной дисперсии средних арифметических значений  $\bar{q}$  годового стока (табл.1) позволил установить, что географическая составляющая во всех выделенных трех районах превышает 70%. Это свидетельствует о неоднородном распределении исследуемого параметра в пространстве. В случае принятия решения о районировании, т.е. осреднении этого параметра в пределах каждого из районов, погрешность расчета превысила бы допустимую в среднем на 30%.

Анализ составляющих полной дисперсии коэффициента вариации  $Cv$  годового стока показал, что его осреднение возможно только в пределах Центрального района (табл.1). Если рассматривать водосбор р.Уссури в целом, то можно сделать вывод, что коэффициент вариации значительно изменяется в пределах рассматриваемой территории (географическая составляющая полной пространственной дисперсии параметра  $Cv$  превышает 70%) .

Такие статистические параметры годового стока, как коэффициенты асимметрии  $Cs$  и автокорреляции  $r(1)$  определяются по наблюдаемым данным с малой степенью достоверности. Среднее квадратическое отклонение выборочных значений параметров зачастую превышает значения этих параметров. Относительное среднее квадратическое отклонение параметра  $Cs$  может достигать 100 и более процентов. В практике гидрологических расчетов при пространственных обобщениях коэффициента асимметрии обычно используется отношение  $Cs / Cv$ . Индивидуальные, т.е. рассчитанные по рядам наблюдений, значения коэффициентов автокорреляции близки к нулю и значительно меньше  $\sigma_{r(1)}$ .

Таблица 1 - Результаты пространственного объединения средних арифметических значений годового стока и коэффициентов вариации на основе метода совместного анализа

Район	Среднее значение параметра	Дисперсия			$\varepsilon_{cp}$ , %
		Полная	Случайная	Географическая	
Среднее арифметическое значение					
Северный	12,3	9,80	0,52 5%	9,28 95%	24,8
Центральный	11,2	4,99	0,36 7,2%	4,63 92,8%	19,2
Южный	8,94	2,55	0,587 23%	1,97 77%	15,8
Водосбор р. Уссури	10,3	6,39	0,48 7,5%	5,91 92,5%	34,0
Коэффициент вариации					
Северный	0,39	0,0352	0,00426 12,02%	0,0309 87,8%	18,9
Центральный	0,33	0,00161	0,00164 100%	-0,00003 0,00%	2,97
Южный	0,44	0,00795	0,00380 47,7%	0,00415 52,2%	6,58
Водосбор р. Уссури	0,39	0,0124	0,00346 27,9%	0,000894 72,1%	24,3

Применение метода анализа пространственной дисперсии статистических параметров позволило установить, что осредненное по районам с синхронными колебаниями годового стока отношение  $C_s / C_v$  изменяется от 1,0 до 3,0 (табл.2). Попытка объединения статистики  $C_s / C_v$  в пределах бассейна р. Уссури показала, что такого рода географическое обобщение не имеет под собой научного обоснования, так

как в этом случае географическая составляющая превышает 70%. Для практического применения рекомендуется использовать три района при определении соотношения  $C_s / C_v$  (Северный, Южный и Центральный).

Таблица 2 - Результаты пространственного объединения отношения  $C_s / C_v$  и коэффициента автокорреляции  $r(1)$  годового стока на основе метода совместного анализа

Район	Среднее значение параметра	Дисперсия			$\sigma_{cp}$
		Полная	Случайная	Географическая	
Отношение $C_s / C_v$					
Северный	3,3	2,60	1,68 64,6%	0,92 35,4%	1,02
Центральный	1,0	0,53	1,59 100%	-1,06 0,00%	0,30
Южный	2,3	0,28	1,24 100%	-0,96 0,00%	0,24
Водосбор р.Уссури	2,0	1,62	0,239 14,8%	1,38 85,2%	1,18
Коэффициент автокорреляции $r(1)$					
Северный	-0,0047	0,0041	0,032 100%	-0,0279 0,00%	0,0596
Центральный	0,0385	0,000222	0,0276 100%	-0,0274 0,00%	0,0403
Южный	-0,0130	0,00810	0,0405 100%	-0,0324 0,00%	0,0439
Водосбор р.Уссури	0,0100	0,00929	0,034 100%	-0,0247 0,00%	0,0261

Коэффициент автокорреляции  $r(1)$ , характеризующий связь между годовым стоком последующих и предыдущих лет, во всех трех районах близок к нулевому значению с долей географической составляющей полной дисперсии параметра  $r(1)$

равной 100% (табл.2). Этот параметр может быть осреднен в пределах всего водосбора р.Уссури и принят равным нулю. Значительный вклад дождевой составляющей в формирование стока и незначительная, по сравнению с поверхностным стоком, роль подземной составляющей не обеспечивают перехода влагозапасов из года в год. Наибольшие значения коэффициента автокорреляции характерны для Центрального района, где существуют карстовые и трещинно-пластовые воды [9].

К порайонным данным и ко всему водосбору р.Уссури был применен метод регрессионного анализа с пошаговым выбором оптимальных предикторов [5,10]. В качестве основных показателей стокоформирующих факторов рассмотрены: условные координаты центров тяжести водосборов ( $y$  - широта,  $x$  - долгота); логарифмы площадей водосборов  $\lg F$ ; средние многолетние величины осадков  $\bar{X}$ , приведенные в [9]; средние высоты водосборов  $H_{CP}$ ; заболоченность  $f_B$  (%), залесенность  $f_L$  (%), уклон  $I$  (‰).

При использовании рекомендаций СНИП 2.01.14-83, предусматривающих использование региональных зависимостей вида  $\bar{q} = f(H)$  среднее относительное отклонение исходных и расчетных величин стока  $\delta$  составляет: для Северного района  $\pm 16,4\%$ , для Центрального -  $\pm 37,8\%$ , для Южного -  $\pm 12,4\%$ .

Установлено, что оптимальным предиктором для расчета средней многолетней величины годового стока в Северном и Южном районах является норма годовых осадков:

- Северный район

$$\bar{q} = 7,92 + 0,0294(\bar{X} - 800), r = 0,95, \delta = \pm 5,29\%; \quad (10)$$

- Южный район

$$\bar{q} = 8,10 + 0,0183(\bar{X} - 800), r = 0,74; \delta = \pm 13,0\%, \quad (11)$$

где  $\delta$  - среднее относительное отклонение расчетных и фактических величин, выраженное в %;

$r$  - коэффициент парной корреляции.

В Центральном районе на точность расчета по норме годовых осадков или средней высоте водосборов влияет различное участие подземных вод в формировании суммарного годового стока. Например, расчетная зависимость для среднемноголетних величин стока от норм годовых осадков может быть представлена уравнением линейной парной регрессии, но с малым значением коэффициента корреляции  $r$

$$\bar{q} = 10,1 + 0,00803(\bar{X} - 800); r = 0,42; \delta = \pm 11,3\%. \quad (12)$$

При анализе изменений норм стока с ростом площадей водосборов ( $F = 83,3 - 23000 \text{ км}^2$ ) получено, что интенсивность этих изменений на отдельных водосборах с высокими значениями коэффициента стока отличается от остальных. Приведенные особенности могут быть описаны следующими уравнениями

$$\bar{q} = 2,30 \lg(F + 1) + 2,24; r = 0,91; \delta = \pm 5,50\% \quad (13)$$

и

$$\bar{q} = 3,09 \lg(F + 1) + 5,18; r = 0,80; \delta = \pm 7,80\% . \quad (14)$$

Указанное различие обусловлено наличием районов артезианских, карстовых и трещинно-пластовых вод, расположенных “пятнисто”, где, “благодаря наличию глубоких разломов, зона водообмена развита на значительно большую глубину, чем эрозионный врез”[9]. “Распознавание” водосборов с наличием карстовых вод может быть осуществлено по значениям коэффициентов стока, превышающих значение 0,45. Для водосбора р.Уссури в целом разработано уравнение множественной линейной регрессии (пошаговая регрессионная модель, опирающаяся на использование частного коэффициента корреляции [10]), в котором вторым по значимости предиктором является долгота положения центра тяжести водосбора

$$\bar{q} = 0,0109(\bar{X} - 700) + 25,9\lambda + 6,72; R = 0,82; \delta = \pm 11,8\% , \quad (15)$$

где  $\lambda$  - условная долгота центра тяжести водосборов, м;  
 $R$  - коэффициент множественной корреляции.

Авторами также получены уравнения линейной множественной регрессии, позволяющие выполнять расчеты при отсутствии данных о норме годовых осадков:

- Северный район

$$\bar{q} = 2,63 \lg(F + 1) - 0,254 f_B + 5,26; R = 0,93; \delta = \pm 4,40\% , \quad (16)$$

- Южный район

$$\bar{q} = 0,0055 H_{CP} + 0,424 \lg(F + 1) + 4,56; R = 0,83; \delta = \pm 10,8\% \quad (17)$$

и

$$\bar{q} = 0,0043 H_{CP} + 0,647 \lg(F + 1) - 44,3\varphi + 5,75; R = 0,89; \delta = \pm 8,80\% , \quad (18)$$

где  $f_B$  - заболоченность, %;

$\varphi$  - условная координата, характеризующая положение центра тяжести водосбора по широте, м.

Для расчета коэффициента вариации неизученных рек, входящих в пределы водосбора р.Уссури, получены регрессионные уравнения вида

$$Cv = 1,17 - 0,789 \lg \bar{q} , r = -0,87 , \delta = \pm 9,3\% \quad (19)$$

и

$$Cv = 1,14 - 0,672 \lg \bar{q} - 0,0288 \lg(F + 1); R = 0,92; \delta = \pm 6,2\% . \quad (20)$$

Структура уравнения (20) соответствует уравнению (1), но при этом в (20) значение параметра  $A$  является заданным, а точность расчета повышается от  $\delta = \pm 20\%$  до  $\pm 6,0\%$ .

**Выводы.** Выполнено обоснование способов географического обобщения статистических параметров годового стока на основе анализа составляющих пространственной дисперсии этих параметров (метод совместного анализа данных). Получено, что средние арифметические значения годового стока и коэффициент вариации должны быть картированы или обобщены в виде региональных зависимостей от стокоформирующих факторов, а статистические параметры, определяемые по наблюдаемым данным с малой степенью достоверности (коэффициент автокорреляции  $r(1)$  и отношение  $C_s / C_v$ ) подлежат районированию. Значение коэффициента автокорреляции может быть осреднено в пределах изучаемой территории и принято равным нулю. Для отношения  $C_s / C_v$  выделено три района: Северный, Центральный, Южный со значениями  $C_s / C_v$  равными 3.0; 1.0 и 2.0, соответственно.

На базе метода парной и множественной регрессии с пошаговым выбором оптимальных предикторов, разработаны расчетные зависимости, описывающие закономерности пространственного распределения среднееголетних величин годового стока и коэффициентов вариации в зависимости от комплекса количественных показателей основных факторов формирования стока. Показано преимущество расчетных моделей перед имеющимися географическими обобщениями статистических параметров годового стока в пределах водосбора р.Уссури: точность расчета параметров стока по регрессионным моделям увеличивается по сравнению с рекомендациями СНИП 2.01.14-83, опирающимися на связь среднееголетних величин стока с высотой.

Установлено, что оптимальным предиктором для расчета средней многолетней величины годового стока в Северном и Южном районах является норма годовых осадков. В Центральном районе на точность расчета по норме годовых осадков или средней высоте водосборов влияет различное участие подземных вод в формировании суммарного стока. В связи с этим в качестве оптимального предиктора для Центрального района рекомендуется использовать площадь водосбора как интегральный показатель условий формирования стока, учитывающий влияние подстилающей поверхности. К водосборам с наличием влияния карстовых и трещинно-пластовых вод отнесены водосборы с коэффициентом стока, превышающим 0,45.

Точность расчетных методик, опирающихся на данные о средних высотах водосборов, повышается за счет использования дополнительных предикторов, к числу которых, прежде всего, относится площадь водосбора, а также показатели географического положения водосборов – широта и долгота.

Для расчета коэффициентов вариации годового стока неизученных рек, входящих в пределы водосбора р.Уссури разработано уравнение множественной регрессии, отражающее зависимость многолетней изменчивости от нормы годового стока и площади водосбора.

Выполненные пространственные обобщения характеристик годового стока в пределах водосбора р.Уссури могут быть использованы в практике гидрологических расчетов учреждениями Гидрометслужбы и предприятиями водного хозяйства Российской Федерации.

### Список литературы

1. Васьковский М.Г. Многолетние колебания годового стока рек Приморья // Труды Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института. – Л.: Гидрометеиздат. – 1968. – Вып.27. – С. 64 – 75.
2. Гарцман И.Н. и др. Соотношения между составляющими водного баланса речных водосборов Приморья // Труды Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института. – Л.: Гидрометеиздат. – 1969. – Вып.28.
3. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами.- М. Наука,1982. – 271 с.
4. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. - Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
5. 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.
6. 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.
7. Лобода Н.С., Нгуен Ву Ань Статистическая структура полей годового стока в бассейне р. Уссури и стокоформирующие факторы // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса. – 2006. – № 1. – С. 6-10.
8. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат,- 1984. - 447с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1972.- т.18, вып.3: Приморье. – 628 с.
10. Школьный Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник. - К.: Міносвіти України, 1999. - 600 с.

#### Географічні узагальнення характеристик річного стоку річок басейна р.Уссури.

Лобода Н.С., Нгуен Ву Ань.

*Викладені рекомендації щодо визначення характеристик річного стоку річок басейна р.Уссури при недостатності або відсутності даних спостережень. Основою розроблених методик є результати географічних узагальнень, виконаних за методами багатовимірного статистичного аналізу.*

**Ключові слова:** параметри річного стоку, географічні узагальнення, багатовимірний статистичний аналіз

#### **Geographical generalization of annual runoff characteristics in Ussuri's basin by methods of multimeasured statistical analysis. Loboda N.S, Nguyen Vu Anh.**

*The recommendations are written to determinate annual runoff characteristics in Ussury's basin under insufficiency and lack of observation's data. The base of produced technics are geographical regionalizations of annual runoff characteristics, made by using methods of multivariate statistical analysis.*

**Keywords:** statistical annual runoff parameters, geographical generalization, multimeasured statistical analysis