

Жумабаева Гулнара Усманбаевна

Национальный исследовательский Университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», кафедры гидрологии и гидрогеологии ассистент, Ташкент, Узбекистан

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МНОГОФАКТОРНОЙ СВЯЗИ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Аннотация: в работе рассмотрена методика расчета многофакторной связи с климатическими факторами стока взвешенных наносов (СВН) факторами. Расчеты выполнены на основе применения объективного метода выравнивания и нормализации корреляционных связей, предложенного Г.А.Алексеевым. В качестве основных аргументов были использованы климатические факторы - атмосферные осадки зимних и летних осадков и температура воздуха за летней период. Методика дала возможность оценить вклады каждого аргумента в формирование СВН.

Ключевые слова: река, речные наносы, климатические факторы, зимние осадки, летние осадки, температура воздуха, многофакторная связь, уравнение регрессии, вклады аргументов.

Жумабаева Гулнара Усманбаевна

«Тошкент ирригация ва қишлоқ ҳўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот Университети, Гидрология ва гидрогеология кафедраси ассистенти, Тошкент, Ўзбекистон

ДАРЁЛАР МУАЛЛАҚ ОҚИЗИҚЛАРИ БИЛАН ИҚЛИМИЙ ОМИЛЛАР ОРАСИДАГИ КўПҲАДЛИ БОҒЛАНИШЛАРНИ ҲИСОБЛАШ УСУЛИ

Аннотация: мақолада дарёлар муаллақ оқизиқлари оқими билан иқлимий омиллар орасидаги кўп ҳадли боғланишларни ҳисоблаш усули кўриб чиқилган. Ҳисоблашлар Г.А.Алексеев томонидан таклиф қилинган корреляцион боғланишларни тенглаштириши ва об'ектив нормаллаштириши усулини қўллаш асосида бажарилган. Асосий аргументлар сифатида иқлимий омиллар - қишги ва ёзги атмосфера ёғинлари ҳамда ёзги ҳаво ҳароратлари олинган. Ушбу ҳар бир аргументнинг муаллақ оқизиқлар оқимининг шаклланишига қўшган ҳиссаларини баҳолаш имконини берди.

Калит сўзлар: дарё, дарё оқизиқлари, иқлимий омиллар, қишги ёғинлар, ёзги ёғинлар, ҳаво ҳарорати, кўпҳадли боғланиш, ҳаво ҳарорати, регрессия тенгламаси, аргументлар ҳиссаси.

Jumabayeva Gulnara Usmanbayevna

National research university "Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers", assistant of the department of hydrology and hydrogeology, Tashkent, Uzbekistan

METHOD FOR CALCULATION OF THE MULTI-FACTORY RELATIONSHIP OF RIVERS SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF WITH CLIMATIC FACTORS

Annotation: *the paper considers the method of calculating the SVR by factors. The calculations are based on the use of an objective method of alignment and normalization of correlations proposed by G.A. Alekseev. Climatic factors were used as the main arguments - atmospheric precipitation of winter and summer precipitation and air temperature for the summer period. The technique made it possible to evaluate the contributions of each argument to the formation of the SVR.*

Key words: *river, river load, climatic factors, winter precipitation, multifactor relationship, summer precipitation equation, air temperature, regressions, contributions of arguments.*

Введение. Проблема формирования стока взвешенных наносов (СВН) издавна привлекала внимание Г.И.Шамова, Г.В.Лопатина, В.Л.Шульца, О.П.Щегловой, А.Р. Расулова и других, сложность изучения процесса формирования речных наносов заключается в обилии одновременно действующих факторов, затрудняющих выявление общих закономерностей [3, 7].

Как справедливо отметила О.П.Щеглова, исследование любого процесса в природе, в том числе и гидрологического, должно начинаться с выявления его генезиса. Это связано с тем, что разработка новых методов гидрологических расчетов и прогнозов требует надежного генетического фундамента. Высказанное положение полностью относится также и СВН [7].

Изучение генезиса СВН не является самоцелью, а служит в качестве надежного фундамента при решении ряда научных и практических вопросов. Разделение СВН на генетические составляющие рационально по ряду соображений. Прежде всего, необходимо отметить, что в зависимости от генезиса каждый вид водной эрозии имеет свою определенную высотную область распространения. Если учесть это обстоятельство, генетический анализ СВН является ключом к познанию высотной поясности проявления водной эрозии [6, 7].

Результаты и их обсуждение. При установлении многофакторной связи годового СВН с климатическими показателями, в качестве основных аргументов смыва с водосборов горных рек Узбекистана и сопредельных территорий, были использованы суммы атмосферных осадков разных сезонов (зимы $-X_z$ и лета $-X_l$) и средние значения температуры воздуха за теплое полугодие $-t_d$. Их значения будут получены по данным, выбранных репрезентативных метеорологических пунктов, действующих в пределах изучаемых бассейнов или в непосредственной близости от них. Способ совместной обработки основных климатических аргументов со СВН для целей их генетического анализа осуществляется на базе применения объективного

метода нормализации корреляционных связей, предложенного Г.А. Алексеевым [1].

Подробное описание объективного метода выравнивания и нормализации корреляционных связей и его применение в разных областях гидрометеорологии с конкретными примерами вполне достаточно изложены в работах Г.А.Алексеева [1], В.И.Бабкина, Н.Н.Бобровицкой и других. Поэтому мы рассмотрим этот вопрос очень коротко, в свете его применения для установления многофакторной связи СВН горных рек Узбекистана и сопредельных территорий с климатическими факторами.

Согласно Г.А.Алексееву, нормализация начинается с ранжирования наблюдаемых значений исходных переменных в возрастающем порядке [1]. В соответствии с ранговыми номерами членов ряда, рассчитывается вероятность неперевышения по следующей формуле:

$$P_m = \frac{m - 0,25}{N + 0,25}, \quad (1)$$

где: m - ранговые (порядковые) номера исходных переменных в возрастающем порядке; N - число членов ряда.

Эмпирические значения нормализованных переменных, в нашем случае СВН - $U_0(R)$, атмосферных осадков зимы - $U_1(X_3)$ и лета - $U_2(X_{\text{л}})$, а также температуры воздуха - $U_3(t_{\text{л}})$ определяются по известной нормированной интегральной функции распределения:

$$P_j(X_{ji}) = P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{U_m} e^{-\frac{U^2}{2}} dU = \Phi(U_m), \quad (2)$$

как обратные функции или квантили

$$U_m = F[P_m] = F[P_j(X_{ji})] = U_j(X_{ji}), \quad (3)$$

где j - номер исходных переменных, в данном случае $j = 0, 1, 2, 3$; $i = 1, 2, \dots, N$.

Теснота связей между попарно взятыми исходными переменными, при исключении влияния всех прочих рассматриваемых переменных, характеризуются парными коэффициентами корреляции. Для расчета их значения сначала необходимо определить суммы попарных произведений соответствующих значений нормализованных переменных:

$$U_0(R) \cdot U_1(X_3); \quad U_0(R) \cdot U_2(X_{\text{л}}); \quad U_0(R) \cdot U_3(t_{\text{л}}); \\ U_1(X_3) \cdot U_2(X_{\text{л}}); \quad U_1(X_3) \cdot U_3(t_{\text{л}}); \quad U_2(X_{\text{л}}) \cdot U_3(t_{\text{л}}).$$

По суммам попарных произведений вычисляются значения соответствующих эмпирических коэффициентов ковариации (μ_{01} , μ_{02} , μ_{03} , μ_{12} , μ_{13} , μ_{23}):

$$\mu_{jj}(N) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N U_{ji}(R) \cdot U_{ji}(X_3). \quad (4)$$

Зная значения коэффициентов ковариации можно рассчитать парные коэффициенты корреляции:

$$r_{jj} = \frac{\mu_{jj}(N)}{\sigma_u^2(N)}. \quad (5)$$

где $\sigma_u^2(N)$ - эмпирическая дисперсия, которая определяется по следующей формуле:

$$\sigma_u^2(N) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N U_{ji}(R). \quad (6)$$

Анализ рассчитанных, по вышеприведенной формуле, значений парных коэффициентов корреляции между годовыми значениями СВН изучаемых рек и тремя климатическими показателями - осадками зимы, лета и средней летней температурой воздуха можно произвести для групп рек сходных по условиям питания согласно классификации В.Л.Шульца (табл. 1).

Таблица 1

Пределы изменения значений парных коэффициентов корреляции годового СВН с зимними (r_{01}), летними (r_{02}) осадками и средней летней температурой (r_{03})

Т и п п и т а н и я	Число пунктов	П р е д е л ы и з м е н е н и я		
		r ₀₁	r ₀₂	r ₀₃
Бассейн реки Амударьи				
Снегово-дождевое	17	0,55 ÷ 0,57	0,50 ÷ 0,70	-0,36 ÷ -0,10
Снеговое	11	0,60 ÷ 0,81	0,42 ÷ 0,71	-0,32 ÷ 0,20
Снегово-ледниковое	7	0,18÷ 0,60	-0,12 ÷ 0,35	0,48÷0,58
Ледниковое	13	-0,32 ÷ 0,31	-0,39 ÷ 0,29	0,56 ÷ 0,88
Бассейн реки Сырдарьи				
Снегово-дождевое	19	0,61 ÷ 0,78	0,50 ÷ 0,59	-0,31 ÷ -0,08
Снеговое	17	0,63 ÷ 0,78	0,45 ÷ 0,59	-0,29 ÷ -0,20
Снегово-ледниковое	12	0,22 ÷ 0,51	-0,08 ÷ 0,37	0,47 ÷ 0,64
Ледниковое	2	-0,23 ÷ 0,24	-0,28 ÷ -0,26	0,59 ÷ 0,67

Для рек снегово-дождевого и снегового типов питания парные коэффициенты корреляции СВН как с зимними, так и летними осадками имеют положительный знак и колеблются, соответственно, в интервале 0,337÷0,811 и 0,419÷0,712. Необходимо отметить, что для рек снегово-дождевого питания годовой СВН более тесно связан с летними осадками, чем с зимними. Для рек снегового питания, в большинстве случаев, коэффициенты корреляции с летними осадками уступают коэффициентам корреляции с зимними осадками. Для рек обоих типов питания влияние температурного режима лета на СВН проявляется слабо, причем в большинстве случаев носит обратный характер. Значения парных коэффициентов корреляции СВН с температурой воздуха составляют от - 0,355 до 0,304.

Наоборот, для рек снегово-ледникового и ледникового типов питания значения парных коэффициентов корреляции с осадками зимы и лета низки,

и изменяясь соответственно в пределах $-0,322 \div 0,596$ и $-0,385 \div 0,368$, они всегда уступают по абсолютной величине значениям парных коэффициентов корреляции с температурой воздуха, меняющимся от 0,384 до 0,878. Наиболее высокие значения парных коэффициентов корреляции соответствуют рекам ледникового питания.

Определение коэффициентов регрессии, является одним из основных этапов расчета. Коэффициенты регрессии ($\alpha_{01}, \alpha_{02}, \alpha_{03}$) вычисляются путем решения системы из трех линейных (нормальных) уравнений:

$$\begin{cases} \alpha_{01} + r_{12} \cdot \alpha_{02} + r_{13} \cdot \alpha_{03} = r_{01} \\ r_{12} \cdot \alpha_{01} + \alpha_{02} + r_{23} \cdot \alpha_{03} = r_{02} \\ r_{13} \cdot \alpha_{01} + r_{23} \cdot \alpha_{02} + \alpha_{03} = r_{03} \end{cases} \quad (7)$$

Решение системы уравнений, с целью определения коэффициентов регрессии выполняется на основе применения способа Крамера по следующей последовательности. Сначала определяется главный минор:

$$\Delta_{00} = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & 1 & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & 1 \end{vmatrix}, \quad (8)$$

Определители системы линейных уравнений рассчитываются по выражениям:

$$\Delta_{01} = \begin{vmatrix} r_{01} & r_{12} & r_{13} \\ r_{02} & 1 & r_{23} \\ r_{03} & r_{32} & 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta_{02} = \begin{vmatrix} 1 & r_{01} & r_{13} \\ r_{21} & r_{02} & r_{23} \\ r_{31} & r_{03} & 1 \end{vmatrix}, \quad \Delta_{03} = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{01} \\ r_{21} & 1 & r_{02} \\ r_{31} & r_{32} & r_{03} \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Зная значения главного минора и определителей, можно рассчитать соответствующие, попарно взятым исходным переменным, коэффициенты регрессии:

$$\alpha_{0j} = \frac{\Delta_{0j}}{\Delta_{00}}. \quad (10)$$

Ошибки коэффициентов регрессии определяются по формуле:

$$\sigma_{0j} = \sqrt{\frac{1 - r_0^2}{N - \ell} \cdot \frac{\Delta_{0j}}{\Delta_{00}}}, \quad (11)$$

где: $j=1, 2, 3$; ℓ - число аргументов; Δ_{00} - минор определителя Δ_{0j} , соответствующий его элементу $r_{jj}=1$.

Пределы изменения вычисленных значений коэффициентов регрессии для разных типов питания рек, представлены в таблице 2. Они входят в искомое уравнение нормализованной регрессии, имеющий общий вид (12).

Описанным выше методом для всех изучаемых рек были получены уравнения нормализованной регрессии, имеющие общий вид:

$$U_0(R) = \alpha_{01} \cdot U_1(X_3) + \alpha_{02} \cdot U_2(X_{\text{л}}) + \alpha_{03} U_3(t_{\text{л}}). \quad (12)$$

Как видно из этого выражения, полученные уравнения отличаются для различных рек только значениями коэффициентов регрессии.

Теснота связи между СВН и определяющими его переменными характеризуются значениями полных (или сводных) коэффициентов множественной корреляции (r_0). Их значения рассчитываются по следующей формуле:

$$r_0 = \sqrt{|r_{01} \cdot \alpha_{01}| + |r_{02} \cdot \alpha_{02}| + |r_{03} \cdot \alpha_{03}|} \quad (13)$$

Средние квадратические ошибки полных коэффициентов множественной корреляции вычисляются по выражению:

$$\sigma_{r_0} = \frac{1 - r_0^2}{\sqrt{N - \ell}}, \quad (14)$$

где ℓ - число аргументов, в нашем случае $\ell = 3$.

Таблица 2

Параметры уравнений нормализованной регрессии

Тип питания*	Пределы изменения			
	коэффициентов регрессии			полных коэффициентов корреляции, r_0
	α_{01}	α_{02}	α_{03}	
Бассейн реки Амударья				
С – Д**	0,52 ÷ 0,67	0,28 ÷ 0,70	-0,22 ÷ -0,06	0,78 ÷ 0,89
С	0,40 ÷ 0,64	0,25 ÷ 0,51	-0,15 ÷ 0,25	0,71 ÷ 0,84
С – Л	0,30 ÷ 0,64	-0,24 ÷ 0,43	0,37 ÷ 0,71	0,69 ÷ 0,77
Л	-0,37 ÷ 0,44	-0,30 ÷ 0,38	0,63 ÷ 0,95	0,71 ÷ 0,94
Бассейн реки Сырдарья				
С – Д	0,52 ÷ 0,68	0,30 ÷ 0,46	-0,34 ÷ -0,03	0,72 ÷ 0,85
С	0,52 ÷ 0,68	0,24 ÷ 0,34	-0,10 ÷ -0,03	0,74 ÷ 0,82
С – Л	0,22 ÷ 0,45	-0,20 ÷ 0,28	0,56 ÷ 0,72	0,54 ÷ 0,69
Л	0,22 ÷ 0,24	-0,23 ÷ -0,16	0,59 ÷ 0,62	0,68 ÷ 0,72

Примечание: * - число пунктов обработки согласно типам питания указаны в таблице 3.1; ** С - Д - снегово-дождевое, С - снеговое, С - Л - снегово-ледниковое, Л - ледниковое.

Полученные для различных рек уравнения нормализованной регрессии характеризуются довольно высокими значениями полных коэффициентов корреляции, которые колеблются в пределах от $0,56 \pm 0,12$ до $0,94 \pm 0,03$.

Выводы:

1. Для рек снегово-дождевого и снегового типов питания парные коэффициенты корреляции СВН как с зимними, так и летними осадками имеют положительный знак и колеблются, соответственно, в интервале 0,337-0,811 и 0,419-0,712. Необходимо отметить, что для рек снегово-

дождевого питания годовой СВН более тесно связан с летними осадками, чем с зимними;

2. Осуществлена первичная обработка, систематизация и обобщения как научных, так и исходных материалов по атмосферным осадкам, стоку воды, речным наносам рек изучаемой территории за многолетний период. Создан специализированный банк данных по стоку воды, речным наносам, атмосферным осадкам и температуре воздуха;

3. Разработана методика расчета многофакторной связи между показателем водной эрозии - СВН исследуемых рек и климатическими факторами – атмосферными осадками разных сезонов (зимы и лета) и температурой воздуха. Здесь речные наносы рассматриваются как интегральный показатель интенсивности водной эрозии, протекающей в речных бассейнах в результате влияния поверхностных вод, формирующихся за счет жидких атмосферных осадков, талых снеговых и ледниковых вод;

Список использованной литературы

1. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. - Л.: Гидрометеиздат, 1971.-363с.

2. Расулов А.Р., Хикматов Ф. Долгосрочный прогноз стока взвешенных наносов рек Средней Азии за вегетационный период // Эрозионные и русловые процессы. Материалы координационных совещаний ВУЗов 1986-1990 гг. - Луцк, 1991. - С. 159-166.

3. Хикматов Ф.Х. Водная эрозия и сток взвешенных наносов горных рек Средней Азии. – Ташкент: Издательство «Fan va texnologiya», 2011. – 248 с.

4. Шамов Г.И. Речные наносы. -Л.: Гидрометеиздат, 1959. -378 с.

5. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ч. 1,2. - Л.:Гидрометеиздат, 1965. - 691 с.

6. Щеглова О.П. Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии // Тр. САНИГМИ. - Вып. 60 (75). – Ташкент, 1972. - 228 с.

7. Щеглова О.П. Генетический анализ и картографирование стока взвешенных наносов рек Средней Азии. - Л.:Гидрометеиздат, 1984. - 127 с.