

УДК 536.54, 556.16

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ГОДОВОГО СТОКА РЕК УРАЛО-ЭМБИНСКОГО РАЙОНА**

Доктор геогр. наук С.К. Давлетгалиев

Приведены результаты оценки точности расчета нормы и коэффициентов вариации годового стока по данным фактических наблюдений, по рядам, приведенным к многолетнему периоду, а также по данным кратковременных наблюдений ($n < 5$ лет).

Основными параметрами кривой распределения, определяющими расчётные гидрологические характеристики, являются норма и коэффициент вариации годового стока. Результаты расчета по основным рекам Урало-Эмбинского района приведены в табл. 1. При назначении различных водохозяйственных мероприятий в бассейне необходимо знать достоверность этих параметров. Оценка точности определения нормы и коэффициентов вариации годового стока имеет особо важное значение для рек данного района, сток которых характеризуется высокой изменчивостью и антропогенной нарушенностью. Сюда следует добавить ещё слабую изученность района, невысокое качество материалов измерений расходов воды и непродолжительность рядов наблюдений на многих реках и пунктах.

Точность определения параметров кривой распределения оценена в трех вариантах: по данным фактических наблюдений, по рядам, приведенным к многолетнему периоду, а также при наличии данных кратковременных наблюдений до 5 лет.

В первом случае случайные средние квадратические ошибки выборочных средних определены по зависимости:

$$\sigma_{\bar{Q}} = (\sigma_Q / \sqrt{n}) \cdot \sqrt{(1+r)/(1-r)}, \quad (1)$$

которая применяется при значениях коэффициента автокорреляции между смежными членами ряда $r < 0,5$.

Для Урало-Эмбинского района по данным 20-ти рек, имеющих период наблюдений $n > 30$ лет, установлено среднее районное значение коэффициента автокорреляции, равное $r = 0,25$, что и соответствует его значению, приведённому в пособии [3].

Таблица 1

Параметры годового стока рек Урало-Эмбинского района

Река – пункт	F, км ²	За период наблюдений					Многолетний период 1940...2004 гг.			
		число лет	Q, м ³ /с	C _v	σ_Q	σ_{CV}	Q, м ³ /с	C _v	σ_Q	σ_{CV}
Бол. Узень – с. Фурманова (Жалпактал)	13200	8	6,25	0,88	2,51	0,24	9,07	0,75	2,39	0,18
Чижа 1 – с. Чижа 1-я	484/(456)	38	0,82	0,95	0,15	0,15	0,76	0,76	0,15	0,15
Чижа 2 – с. Чижа 2-я	493/(509)	45	0,97	0,73	0,15	0,10	0,96	0,72	0,12	0,10
Урал – с. Кушум	190000	86	309	0,56	24,0	0,05	316	0,54	27,1	0,06
Урал – с. Махамбет (с. Тополи)	229000	68	268	0,51	21,0	0,05	281	0,49	22,0	0,05
Чаган – п. Каменный	4000	57	7,09	0,63	0,76	0,07	7,72	0,66	0,74	0,07
Деркул – п. Ростошский	1820	29	2,11	0,96	0,49	0,18	2,60	0,82	0,38	0,15
Орь – с. Бугетсай	7480/(60)	41	5,17	0,75	0,78	0,11	5,88	0,87	0,69	0,10
Илек – г. Актобе	11000	57	17,8	0,65	1,98	0,07	17,5	0,62	1,86	0,07
Илек – с. Чилик	37300	49	36,6	0,57	3,85	0,07	40,1	0,71	3,48	0,07
Косистек – с. Кос-Истек	281	45	0,92	0,93	0,16	0,14	1,14	1,01	0,15	0,13
Актасты – с. Белогорский	45	48	0,20	0,57	0,02	0,07	0,22	0,59	0,02	0,07
Хобда – с. Новоалексеевка	8110/(20)	39	5,43	0,68	0,76	0,10	6,99	0,77	0,72	0,07
Карахобда – п. Альпайсай	2240	38	2,78	0,58	0,34	0,08	3,24	0,67	0,29	0,07
Утва – с. Григорьевка	4660	39	3,62	0,73	0,54	0,11	3,89	0,74	0,42	0,09
Ембулатовка – с. Красноармейск	846	6	3,53	1,32	2,45	0,35	2,80	0,90	1,89	0,22
Шолаканакты – свх. Анкатинский	537	25	0,38	0,74	0,07	0,13	0,45	0,54	0,06	0,12
Оленты – с. Джамбейты	1290/1040	28	1,05	0,73	0,18	0,12	1,12	0,58	0,17	0,12
Булдурты – свх. Абая	3280	31	0,42	1,07	0,10	0,20	0,50	1,13	0,09	0,18
Уил – с. Уил	171000	19	7,65	0,75	1,70	0,15	8,99	0,76	1,22	0,12
Уил – Тайсоганская РТС	25800	7	5,99	0,84	2,46	0,24	7,21	0,98	1,92	0,21
Калдыгайты – с. Жигерлен	2510	32	1,70	0,86	0,33	0,15	1,93	0,95	0,28	0,13
Ащиуил – ур. Маймак	4900/300	30	1,02	0,88	0,21	0,16	1,24	0,91	0,18	0,14
Сагиз – ст. Сагиз	9930/1330	37	1,13	1,50	0,36	0,31	1,06	1,47	0,33	0,30
Эмба – с. Жанибике	34700/4800	28	12,7	0,50	1,55	0,08	13,1	0,75	1,25	0,07

Анализ согласия эмпирических и аналитических функций распределения показал, что распределение годового стока почти всех рек района соответствует кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля при $C_s = 2C_v$, поэтому средние квадратические ошибки коэффициентов вариации определены по зависимости:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} \left(1 + \frac{3C_v^2}{1 + r} \right). \quad (2)$$

Средняя квадратическая погрешность определения нормы стока лишь в 3-х пунктах оказалась меньше 10 %. Сюда относятся пункты наблюдений на р. Урал, имеющие достаточно длинные ряды (с. Кушум $n = 86$; с. Махамбет $n = 68$), а также данные по р. Актасты ($n = 48$). Следует отметить, что на точность расчёта нормы стока более существенное влияние оказывает изменчивость стока, чем продолжительность периода наблюдений. Например, погрешность расчёта нормы стока рек Чижа 1-я и Чижа 2-я, Косистек с продолжительностью ряда наблюдений соответственно $n = 38$ и $n = 45$, $n = 45$ равны 18,2 % и 15,4 %, 17,4 %. По двадцати пунктам наблюдений района точность расчёта нормы стока находится в пределах 10...15 %, по остальным пунктам она превышает 15 %.

Точность расчёта коэффициентов вариации годового стока меньше 10 % только на р. Урал у с. Кушум и с. Махамбет, близко к 10 % точность расчёта C_v и на р. Илек – г. Актобе. В 43 пунктах наблюдений относительная погрешность расчёта коэффициента вариации годового стока составляет 10...20 %, в остальных пунктах погрешность расчёта C_v больше 20 %. Наибольшие погрешности, более 30...40 % имеют место в пунктах с короткими рядами наблюдений $n = 6...10$ лет. Большой интерес представляет точность оценки нормы и коэффициента вариации годового стока, приведённого к многолетнему периоду.

Для оценки стандартной погрешности среднего значения, приведённого к многолетнему периоду, применена формула С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [1].

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \sqrt{\frac{1 + r'_{QN}}{1 - r'_{QN}}} \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N - (N - n)R^2}{N}}, \quad (3)$$

где r'_{QN} – коэффициент автокорреляции ряда Q , приведённого к многолетнему периоду N , R – коэффициент межрядной корреляции между членами приводимого ряда наблюдений и аналогом за совместный период наблюдений (n).

При определении погрешности нормы стока по формуле (3), в целях упрощения расчёта, вместо коэффициента r'_{QN} использовано постоянное районное значение коэффициента автокорреляции, равное $r = 0,25$.

Оценка стандартной погрешности коэффициента вариации производилась по формуле [4]:

$$\sigma_{CvN} = \frac{Cv}{\sqrt{2n}} \sqrt{2C_v^2 \left(\frac{1+r}{1-r} \right) - 2C_s C_v + \left(1 + \frac{3}{4} C_s^2 \right) \left(\frac{1+r^2}{1-r^2} \right)} \cdot \sqrt{\frac{N - (N-n)R^4}{N}}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) применены для оценки точности среднего значения и коэффициента вариации, приведённого к многолетнему периоду ряда с использованием одного уравнения регрессии. Формулы (3) и (4) получены с учётом числа эквивалентных периодов $N_{\mathcal{Q}}$, т.е. объёма информации, эквивалентной наблюденным данным.

При поэтапном восстановлении значений ряда гидрологических характеристик, т.е. при использовании нескольких уравнений регрессии за разные периоды, объём эквивалентно – независимой информации необходимо определить за каждый восстановленный период, а общий объём информации вычислить как сумму этих информаций.

Объём информации, эквивалентной наблюденным данным, определяют соответственно для нормы $N_{\mathcal{Q}\bar{Q}}$ и среднего квадратического отклонения $N_{\mathcal{Q}\sigma}$ по формулам [2, 3]:

$$N_{\mathcal{Q}\bar{Q}} = \frac{N}{\left[1 + \frac{N-n}{n+2} (1-R^2) \right]}, \quad (5)$$

$$N_{\mathcal{Q}\sigma} = \frac{Nn}{n + (N-n)(1-R^4)}, \quad (6)$$

где n – число совместных лет наблюдений в приводимом ряду и рядах аналогах; $(N-n)$ – число восстановленных членов ряда по уравнению регрессии; R – коэффициент парной или множественной корреляции.

Объём эквивалентно-независимой информации всегда больше n и меньше N и только при $R=1$, $N_{\mathcal{Q}} = N$. Объём эквивалентно-независимой информации характеризует эффективность удлинения в результате использования метода аналогии.

Годовой сток р. Деркул у п. Ростошский восстановлен по 4 уравнениям регрессии. В целом восстановлены 36 членов ряда, что соответствует объёму эквивалентно независимой информации за 18,8 лет – для среднего значения и за 13,4 лет для среднеквадратического отклонения. В табл. 2 и 3 даны примеры расчёта объёма эквивалентной информации.

Таблица 2

Объём эквивалентной информации $N_{\mathcal{Q}}$

R	n	N	$N - n$	$N_{\mathcal{Q}}$	$N_{\mathcal{Q}} - n$
0,90	27	46	19	40,4	13,4
0,81	12	14	2	13,1	1,1
0,79	26	28	2	27,2	1,2
0,70	12	25	13	15,1	3,1
					$N_{\mathcal{Q}} = 18,8$

Таблица 3

Объём эквивалентной информации $N_{\mathcal{Q}\sigma}$

R	R^4	n	N	$N - n$	$N_{\mathcal{Q}}$	$N_{\mathcal{Q}} - n$
0,90	0,66	27	46	19	37,1	10,1
0,81	0,43	12	14	2	12,8	0,8
0,79	0,39	26	28	2	26,8	0,8
0,70	0,24	12	25	13	13,7	1,7
					$N_{\mathcal{Q}\sigma} = 13,4$	

Эквивалентные периоды, определённые с помощью формул (5) и (6), позволяют рассчитывать средние квадратические отклонения этих параметров непосредственно по формулам (1) и (2), если вместо n подставляется соответствующий $N_{\mathcal{Q}}$ с учётом числа фактических лет наблюдений. Например, число лет наблюдений р. Деркул у п. Ростошский $n = 29$ лет, вычисленное значение $N_{\mathcal{Q}} = 18,8$, тогда значение n , подставляемое в формулу (1), будет 48 лет. Это значит, что несмотря на то, что 29-летний период приведен к 65-летнему, надёжность оценки среднего значения будет такой же, как для ряда наблюдений в 48 лет.

После приведения ряда наблюдений к многолетнему периоду число пунктов с ошибкой расчёта нормы годового стока $\sigma_{\bar{Q}} < 10\%$ увеличилось на 15. Таким образом, после удлинения рядов наблюдений в 18 пунктах из рассмотренных 73, погрешность расчета нормы стока составила меньше 10 %, в 45 пунктах – меньше 15 %, в 62 пунктах – < 20 %, на остальных 11 пунктах – больше 20 %. Наибольшая погрешность нормы стока получилась по р. Ембулатовка, имеющей короткий ряд наблюдений и большую изменчивость стока.

Погрешность расчета коэффициента вариации годового стока после приведения рядов наблюдений к многолетнему периоду также уменьшилась. Число пунктов с погрешностью $\sigma_{C_v} < 10\%$ увеличилось до 9, с погрешностью $\sigma_{C_v} < 15\%$ – до 37 пунктов, с погрешностью $\sigma_{C_v} < 20\%$ до 60.

Ошибки расчета коэффициентов вариации более 30 % оказались на рр. Барбастау, Ембулатовка, Рубежка и на р. Сагиз у п. Сарытогай, т.е. на реках, имеющих короткий период наблюдений.

Для оценки точности нормы стока, определённой по методу отношений, выбрано два пункта с гидрометрическими наблюдениями в данной области, один из которых р. Сарыхобда – п. Бессарабский (аул – Сарыхобда) условно принят в качестве исследуемого пункта, а другой – в качестве пункта-аналога, это – р. Хобда – с. Новоалексеевка. Связь между среднегодовыми расходами этих рек характеризуется коэффициентом корреляции, равным $r = 0,76$, при совместном периоде наблюдений $n = 32$ года.

Норма стока р. Сарыхобда вычислена последовательно, используя данные наблюдений этой реки в створе п. Бессарабский каждый раз лишь за один год. Таким образом был рассчитан ряд норм стока в этом пункте.

Средняя квадратическая погрешность определения нормы стока по данным одного года наблюдений вычислена по формуле, приведенной в [4].

$$\sigma_{\bar{y}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2 / (n-1)}, \quad (7)$$

где \bar{y}_i – норма стока, полученная по данным i -того года наблюдений; \bar{y} – норма стока за все годы наблюдений.

Для данной реки средняя квадратическая погрешность расчёта нормы стока по данным наблюдений одного года получилась равной $\sigma_{\bar{y}} = 0,34 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует 65 % по отношению к фактическому

значению средней квадратической погрешности по р. Сарыхобда, вычисленной по многолетним данным.

Аналогичные расчёты выполнены при наличии данных наблюдений последовательно за 2, 3, 4 и 5 лет. При увеличении продолжительности наблюдений от одного года до 5 лет стандартная случайная погрешность нормы годового стока р. Чаган уменьшилась до 0,22 м³/с (рис. а), а относительная – до 33,9 %, т.е. почти в два раза.

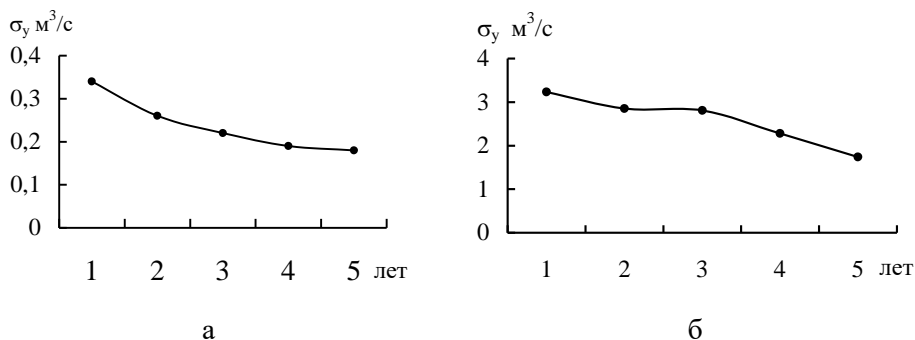


Рис. Зависимость стандартной погрешности нормы годового стока р. Чаган (а) и р. Сарыхобда (б) от продолжительности наблюдений.

Полученные значения погрешности нормы стока по данным указанных пунктов могут быть приняты для приближённой характеристики точности расчёта нормы стока других рек области при наличии данных наблюдений от одного до 5 лет.

Для оценки точности определения нормы стока рек Западно-Казахстанской области по данным кратковременных наблюдений от одного до 5 лет выбраны также два пункта с систематическими данными наблюдений – р. Урал – с. Кушум и р. Чаган – с. Каменный. Совместный период наблюдений на этих пунктах равен $n = 53$ годам, коэффициент межрядной связи $r = 0,70$.

Как и для Актыбинской области все расчёты выполнены при наличии данных наблюдений последовательно за 1, 2, 3, 4 и 5 лет. Средняя квадратичная погрешность нормы стока определена для р. Чаган по данным наблюдений на р. Урал – с. Кушум.

Абсолютная погрешность расчёта нормы стока по данным наблюдений одного года получилась равной $\sigma_{\bar{Q}} = 3,27$ м³/с, относительная – 45,6 %. При числе лет наблюдений $n = 5$ лет эти погрешности соответственно уменьшились до 1,74 м³/с и 24,5 %, т.е. почти в два раза (рис.).

Таким образом, результаты расчёта параметров годового стока рек Урало-Эмбинского района показывают, что за исключением отдельных рядов, точность оценки нормы и коэффициента вариации стока не во всех случаях отвечает требованиям, указанным в [2]. Невысокая точность оценки параметров объясняется большой изменчивостью стока, трудностью учёта влияния хозяйственной деятельности и недостаточной продолжительностью рядов наблюдений. Поэтому полученные результаты по отдельным рекам следует считать ориентировочными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981. – 249 с.
2. Определение основных расчётных гидрологических характеристик СП 33 – 101 – 2003. – М.: Госстрой России. – 71 с.
3. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
4. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчётов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 276 с.

КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

ОРАЛ-ЕМБІ АЛАБЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫНДЫСЫНЫҢ ҮЛЕСТІРІМ ҚИСЫҒЫ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ДӘЛДІГІН БАҒАЛАУ

Геогр. ғылымд. докторы С.К. Дәулетқалиев

Ағындының жылдық бақылау мәліметтерінің қалыпты ағындысы мен вариация коэффициентінің, көпжылдық кезеңге қайта қалпына келтірілген ағынды қатарының, сондай-ақ қысқа мерзімдік бақылау мәліметтерінің ($n < 5$ жыл) дәлдігін есептеу нәтижелері келтірілген.