

УДК 519.16.556.072

Доктор геогр. наук С.К. Давлетгалиев\*  
М.С. Оспанова\***ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИМАЛЬНОГО МЕСЯЧНОГО СТОКА  
БАСЕЙНА РЕКИ ЕЛЕК***ЛЕТНЕЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД, ЗИМНИЙ ПЕРИОД, ПАРАМЕТРЫ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА, СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ,  
НАБЛЮДЕННЫЕ И ВОССТАНОВЛЕННЫЕ ДАННЫЕ*

*Приведены статистические характеристики минимального  
месячного стока летне-осеннего и зимнего периодов основных рек  
бассейна р. Елек. Произведена оценка точности параметров рас-  
пределения месячного стока.*

Река Елек является левым притоком р. Жайык (Урал). Общая длина реки 623 км, площадь водосбора 41300 км<sup>2</sup>. Основными притоками р. Елек являются рр. Каргала и Большая Хобда, которые, в свою очередь, принимают ряд притоков: Косистек, Актасты, Терисбутак, Карахобда, Сарыхобда, Терисаккан и др. [1].

Характеристики минимального стока бассейна р. Елек, полученные по данным наблюдений по 1962 г., приведены в монографии [2]. Эти данные нуждаются в уточнении с учетом материалов последних лет и влияния климатических и антропогенных факторов.

Сток р. Елек искажен с 1975 г. регулирующим влиянием Актюбинского и Каргалинского водохранилищ многолетнего регулирования. Поэтому в первую очередь производим оценку однородности минимального стока р. Елек у г. Актобе и с. Шелек, а также р. Каргала – с. Каргалинское. Оценка однородности рядов наблюдений произведена с помощью критериев Стьюдента и Фишера [3], а также суммарной интегральной кривой. При этом за условно-естественный сток приняты данные наблюдений до 1974 г., данные за период 1975...2010 гг. – зарегулированный сток. Результаты, рассчитанные по статистическим критериям, представлены в табл. 1.

Критические значения статистик Стьюдента и Фишера определены для уровня значимости  $\alpha = 5\%$  и коэффициента автокорреляции мини-

---

\* КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

мального стока  $\tau = 0,30$ . В табл. 1 знак «минус» означает, что гипотеза однородности ряда отвергается.

Таблица 1

Результаты расчета однородности средних и дисперсии ряда наблюдений

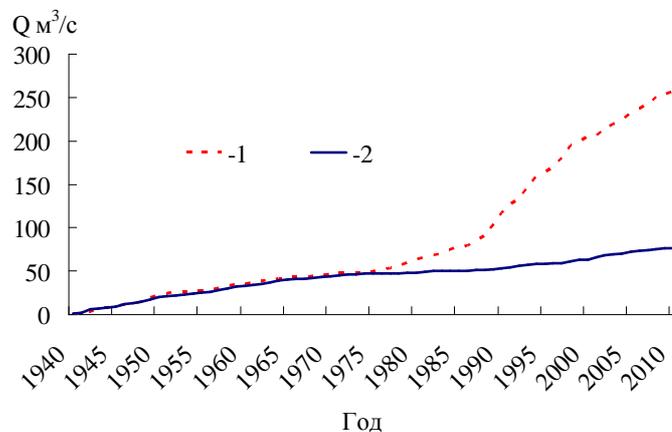
Река – пункт	$t$	$t_\alpha$	Вывод	$F$	$F_\alpha$	Вывод
Летний сток						
Елек – г. Актобе	6,03	3,10	-	31,7	1,83	-
Елек – с. Шелек	4,52	3,10	-	4,33	2,73	-
Каргала – с. Каргалинское	6,22	3,10	-	33,4	2,73	-
Зимний сток						
Елек – г. Актобе	4,40	3,10	-	39,8	2,40	-
Елек – с. Шелек	3,38	3,10	-	23,8	2,73	-
Каргала – с. Каргалинское	4,24	3,10	-	21,8	1,83	-

Как видно из данных табл. 1, во всех случаях гипотеза однородности средних и дисперсии летнего и зимнего минимального месячного стока отвергается. Это подтверждается также видом интегральной кривой минимального месячного стока р. Елек и р. Каргала (рис. 1).

Ряды минимального стока основных рек бассейна р. Елек приведены к многолетнему периоду 1940...2010 гг., по методу аналогии, с составлением уравнения регрессии.

Характеристики минимального стока р. Елек и Каргала рассчитаны в 4-х вариантах: за период естественного режима (1940...1974 гг.), за период нарушенного режима (1975...2010 гг.), за период наблюдений и за расчетный период с учетом восстановления естественного стока (1940...2010 гг.) (табл. 2).

а



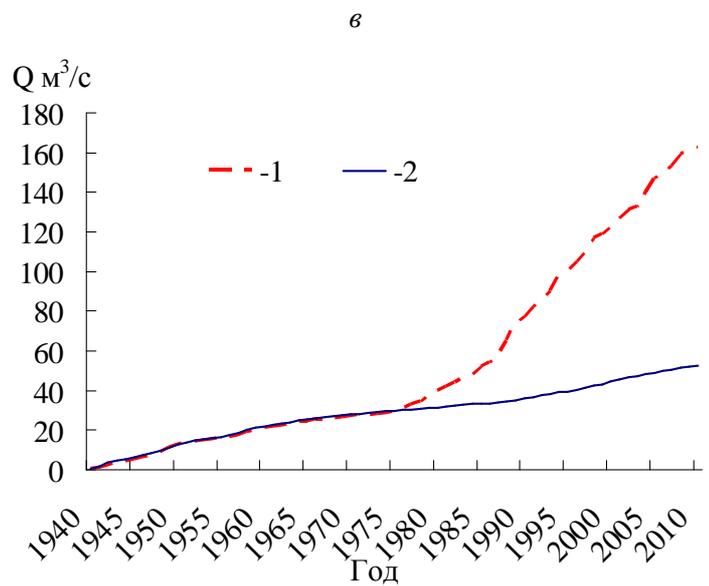
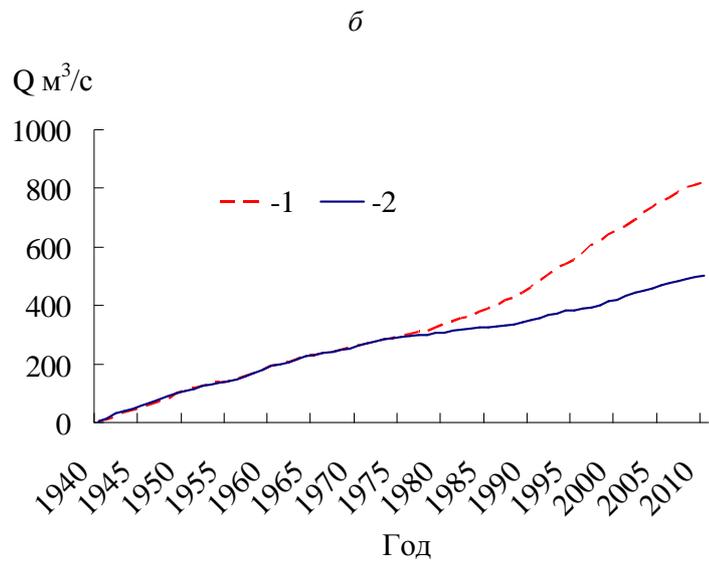


Рис. 1. Интегральные кривые минимального бытового и естественного стока. а – р. Елек – г. Актобе, б – р. Елек – с. Шелек, в – р. Каргала – с. Каргалинское. 1 – бытовой сток; 2 – условно-естественный сток.

Минимальный сток летнего и зимнего периодов за счет регулирующего влияния водохранилищ после 1975 г. увеличился в 2...3 раза относительно стока до 1975 г. Существенно увеличилось значение дисперсии минимального стока, увеличение коэффициента вариации незначительное.

Таблица 2

## Характеристики минимального стока зарегулированных рек

Месячный сток	1940...1974 гг.										1975...2010 гг.									
	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_v$	$C_s$	75 %	80 %	90 %	95 %	97 %	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_v$	$C_s$	75 %	80 %	90 %	95 %	97 %				
<b>р. Елек – г. Актобе</b>																				
Летний	1,30	0,54	0,98	0,82	0,74	0,55	0,43	0,35	$\frac{5,91}{5,91}$	$\frac{0,67}{0,69}$	$\frac{0,88}{1,10}$	$\frac{3,01}{2,96}$	$\frac{2,61}{2,54}$	$\frac{1,71}{1,65}$	$\frac{1,21}{1,12}$	$\frac{0,93}{0,83}$				
Зимний	0,56	0,84	1,51	0,25	0,22	0,12	0,076	0,054	$\frac{3,04}{2,93}$	$\frac{0,95}{1,02}$	$\frac{1,44}{1,43}$	$\frac{0,97}{0,88}$	$\frac{0,77}{0,70}$	$\frac{0,39}{0,33}$	$\frac{0,20}{0,16}$	$\frac{0,12}{0,097}$				
<b>р. Елек – с. Шелек</b>																				
Летний	7,61	0,44	0,3	5,33	4,93	3,97	3,33	2,91	$\frac{14,3}{13,5}$	$\frac{0,45}{0,48}$	$\frac{0,32}{0,39}$	$\frac{9,6}{8,10}$	$\frac{8,79}{7,42}$	$\frac{6,92}{5,84}$	$\frac{5,65}{4,83}$	$\frac{4,86}{3,75}$				
Зимний	2,09	0,71	0,07	1,06	0,21	0	0	0	$\frac{6,87}{6,95}$	$\frac{1,06}{1,02}$	$\frac{0,76}{0,71}$	$\frac{0,22}{2,50}$	$\frac{0,01}{1,55}$	$\frac{0}{0,73}$	$\frac{0}{0,35}$	$\frac{0}{0,21}$				
<b>р. Каргала – с. Каргалинское</b>																				
Летний	0,66	0,54	0,71	0,41	0,37	0,28	0,21	0,18	3,70	0,55	0,71	2,17	1,95	1,43	1,07	0,87				
Зимний	0,46	0,46	0,67	0,31	0,28	0,22	0,18	0,15	$\frac{1,53}{1,47}$	$\frac{0,71}{0,67}$	$\frac{0,95}{0,40}$	$\frac{0,69}{0,45}$	$\frac{0,59}{0,40}$	$\frac{0,38}{0,36}$	$\frac{0,25}{0,18}$	$\frac{0,19}{0,17}$				

Примечание: В числителе приведены наблюдаемые данные, в знаменателе – восстановленные данные.

Коэффициент вариации минимального летнего месячного стока изменяется в широких пределах – от 0,30 (р. Терисаккан) до 1,23 (р. Косистек), зимнего стока – от 0,30 (р. Терисбутах) до 1,50 (р. Терисаккан). Коэффициент асимметрии летнего и зимнего месячного стока также изменяется в широких пределах. Точность расчета этого параметра невысокая, поэтому значение  $C_s$  определено методом подбора по степени соответствия эмпирических данных теоретической кривой. Наиболее подходящим значением  $C_s$  в большинство случаев оказалось  $C_s = 2C_v$  (рис. 2, 3)

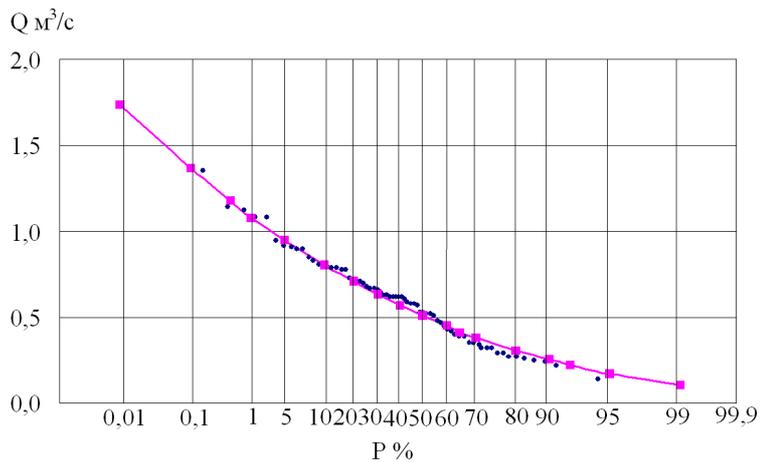


Рис. 2. Кривая обеспеченность минимального летнего месячного стока (р. Карахобда – пос. Альпайсай, 1940...2010 гг.).

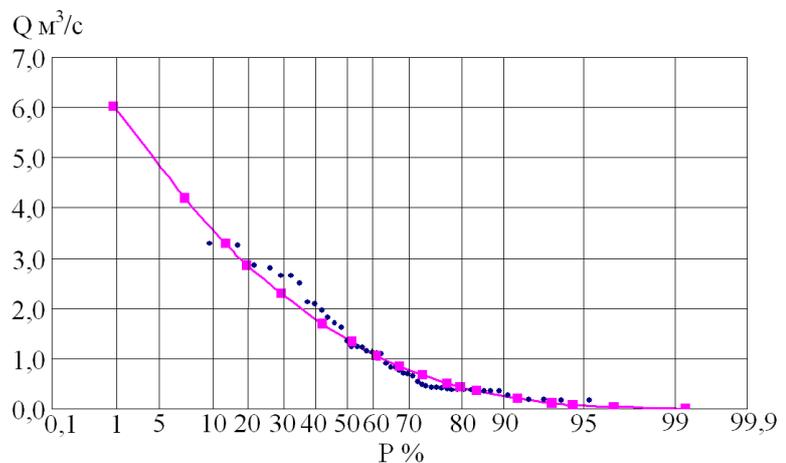


Рис. 3. Кривая обеспеченность минимального зимнего месячного стока (р. Каргала – с. Каргалинское, 1940...2010 гг.).

При наличии в составе наблюдаемых и восстановленных данных нулевых расходов (рр. Карахобда, Сарыхобда, Терисаккан и др.), т.е. неоднородности рядов, расходы воды, различной обеспеченности вычисляются по формуле, приведенной в [4]

$$P = \frac{n_1 P_1}{n_1 + n_2}, \quad (1)$$

где  $n_1$  – число лет наблюдений с расходами воды больше нуля;  $n_2$  – число лет наблюдений с нулевыми значениями расходов воды;  $P_1$  – обеспеченности расхода воды по кривой, построенной по данным со стокам больше нуля.

Статистические характеристики зарегулированных рек, рассчитанные по данным наблюдений до 1974 г. и период 1975...2010 гг., приведены в табл. 2. Характеристики минимального месячного стока за период наблюдений и за расчетный период представлены в табл. 3 и 4. В этих же таблицах даны обеспеченности расходы воды 75, 80, 90, 95, и 97 %.

Случайные средние квадратические ошибки выборочных средних определены по формулам:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \sum \frac{\sigma \sum Q}{\sqrt{n}} \sqrt{(1+r)(1-r)}. \quad (2)$$

Для основных рек бассейна р. Елек, имеющих период наблюдения  $n > 30$  лет, установлено среднее районное значение коэффициента автокорреляции месячного стока, равное  $r = 0,30$ .

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

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

Погрешность расчёта нормы стока р. Сарыхобда – пос. Бессарабский и р. Терисбутак – с. Белогорский с продолжительностью ряда наблюдений соответственно  $n = 38$ ,  $n = 41$  равны 15,7 %, 13,9 %.

Оценка точности параметров распределения ряда, приведенного к многолетнему периоду, выполнена с учетом объема информации, эквивалентной наблюдаемым данным.

Таблица 3  
 Характеристики минимального летнего месячного стока бассейна р. Елек (Илек) за 1940...2010 гг.

Река – пункт	F, км <sup>2</sup>	Период наблюдения	Наименьший за период, м <sup>3</sup> /с	$\bar{Q}$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$C_s$	Сток (м <sup>3</sup> /с)				
							Различной обеспеченности, %				
							75	80	90	95	97
Елек – ж.д. рзд. №47	1090	1958...1980	0,0	0,024	0,76	1,01	0,010	0,009	0,003	0	0
Елек – г. Актобе, ГМБ (в 200 м ниже устья р. Карагалы)	11000	1940...2000 2005...2010	0,37	3,64 1,15	0,99 0,77	1,75 1,97	2,97 0,51	2,55 0,42	1,66 0,26	1,13 0,16	0,84 0,12
Елек – пос. Целинный	14575	2003...2010	3,52	7,50	0,58	0,70	4,28	3,82	2,78	2,02	1,65
Елек – с. Чилик	37300	1950...1997, 1999, 2001, 2003...2005, 2009...2010	3,42	11,2 7,04	0,50 0,49	0,88 0,57	7,10 4,22	6,42 3,80	4,84 2,74	3,83 2,11	3,22 2,11
Каргала – с. Каргалинское	5000	1957...2010	0,25	2,34 0,73	0,92 0,56	1,42 0,73	0,77 0,46	0,61 0,41	0,33 0,30	0,17 0,22	0,10 0,19
Карабутак – с. Карабутак	177	1980...1995	0,026	0,045	0,95	1,72	0,017	0,009	0,007	0,001	0
Косистек – с. Косистек	281	1957...1997, 1999...2010	0	0,040	1,23	1,97	0,004	0,001	0	0	0
Актасты – пос. Белогорский	45,0	1947...1998, 2009...2010	0,006	0,018	0,51	1,40	0,011	0,010	0,008	0,006	0,005

Река – пункт	F, км <sup>2</sup>	Период наблюдения	Наименьший за период, м <sup>3</sup> /с	$\bar{Q}$ , м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Сток (м <sup>3</sup> /с)				
							Различной обеспеченности, %				
							75	80	90	95	97
руч. Терисбутаг – пос. Белогорский	19,8	1948...1989	0,005	0,027	1,06	1,66	0,018	0,017	0,014	0,012	0,011
Хобда (Бол. Хобда) – с. Новоалексеевка	8110	1961...2010	0,33	1,04	0,42	0,65	0,72	0,66	0,53	0,45	0,38
Бол. Хобда – с. Кугала	14200	1983...1991, 2004...2010	1,32	2,92	0,43	0,40	2,01	1,84	1,46	1,23	1,05
Карахобда – пос. Альпайсай	2240	1963...2010	0,0	0,59	0,45	0,33	0,41	0,38	0,30	0,25	0,22
Сарыхобда – пос. Бессарабский	675	1957...1987	0,028	0,098	0,36	0,38	0,073	0,067	0,055	0,049	0,026
Терсаккан – пос. Астраханский	446	1958...1996	0,056	0,114	0,30	0,029	0,089	0,084	0,073	0,064	0,059

*Примечание:* В числителе приведены наблюдаемые данные, в знаменателе – восстановленные данные.

Таблица 4  
 Характеристики минимального зимнего месячного стока бассейна р. Елек (Илек) за 1940...2010 гг.

Река – пункт	F, км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Наименьший за период, м <sup>3</sup> /с	$\bar{Q}$ , м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Сток (м <sup>3</sup> /с)				Различной обеспеченности, %	
							75	80	90	95		
Елек – ж.д. рзд №47	1090	1958...1980	0,0	0,060	0,57	0,69	0,036	0,034	0,024	0,012	0	0
Елек – г. Актобе, ГМБ (в 200 м ниже устья р. Карагалы)	11000	1940...2000 2005...2010	0,12	1,72 0,79	1,31 0,84	2,48 1,28	0,22 0,31	0,14 0,25	0,030 0,15	0,010 0,079	0,003 0,055	0,003 0,055
Елек – пос. Целинный	14575	2003...2010	1,41	3,37	0,51	0,72	2,12	1,92	1,45	1,11	0,91	0,91
Елек – с. Чилик	37300	1950...1997, 1999, 2001, 2003...2005, 2009...2010	0,0	5,04 3,62	1,17 0,80	1,50 1,15	1,02 1,50	0,50 1,25	0,0 1,0	0,0 0,20	0,0 0,0	0,0 0,0
Каргала – с. Каргалинское	5000	1957...2010	0,17	1,02	0,92	1,38	0,34	0,26	0,14	0,074	0,042	0,042
Карабутак – с. Карабутак	177	1980...1995	0,0	0,67	0,70	1,39	0,32	0,28	0,18	0,12	0,090	0,090
Косистек – с. Косистек	281	1957...1997, 1999...2010	0,0	0,034	0,98	1,59	0,009	0,007	0,002	0	0	0
Актасты – пос. Белогорский	45,0	1947...1998, 2009...2010	0,0	0,024	0,37	0,51	0,018	0,017	0,014	0,012	0,011	0,011

Река – пункт	F, км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Наименьший за период, м <sup>3</sup> /с	$\bar{Q}$ , м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Сток (м <sup>3</sup> /с)				
							Различной обеспеченности, %				
							75	80	90	95	97
руч. Терисбутақ – пос. Белогорский	19,8	1948...1989	0,012	0,022	0,23	1,07	0,019	0,018	0,016	0,015	0,014
Хобда (Бол. Хобда) – с. Нововалексеевка	8110	1961...2010	0,0	0,58	0,96	1,26	0,17	0,13	0,030	0	0
Бол. Хобда – с. Кугала	14200	1983...1991, 2004...2010	0,76	2,53	0,35	0,16	1,90	1,77	1,49	1,29	1,14
Карахобда – пос. Альпайсай	2240	1963...2010	0,0	0,23	0,99	1,29	0,020	0	0	0	0
Сарыхобда – пос. Бессарабский	675	1957...1987	0,0	0,12	0,96	1,28	0,036	0,028	0,013	0,003	0
Терсаккан – пос. Астраханский	446	1958...1996	0,0	0,073	1,50	5,11	0	0	0	0	0

*Примечание:* В числителе приведены наблюдаемые данные, в знаменателе – восстановленные данные.

Объём информации, эквивалентной наблюдаемым данным, определяют соответственно для нормы  $N_{\bar{\sigma}}$  и среднего квадратического отклонения по формулам:

$$N_{\bar{\sigma}} = \frac{N}{\left[1 + \frac{N-n}{n+2}(1-R^2)\right]}, \quad (4)$$

$$N_{\sigma} = \frac{Nn}{n + (N-n)(1-R^4)}. \quad (5)$$

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

Эквивалентные периоды, определённые с помощью формул (4) и (5), позволяют рассчитывать средние квадратические отклонения этих параметров непосредственно по формулам (2) и (3), если вместо  $n$  подставляется соответствующий  $N_{\bar{\sigma}}$  с учётом числа фактических лет наблюдений [5]. Например, число лет наблюдений на р. Терисаккан у п. Астраханский равно 38, вычисленное значение  $N_{\bar{\sigma}} = 10,9$ , тогда значение  $n$ , подставляемое в формулу (2), будет 49 лет. Результаты расчета по основным рекам бассейна р. Елек приведены в табл. 5.

После приведения рядов наблюдений к многолетнему периоду в 8 пунктах, из рассмотренных 14, погрешность расчёта нормы стока составила меньше 10 %, в 3 пунктах – меньше 15 %, в 2 пунктах меньше 20 %.

Погрешность коэффициента вариации минимального стока после приведения рядов наблюдений к многолетнему периоду также уменьшилось. Число пунктов с погрешностью  $\sigma_{C_v} < 10\%$  увеличилось до 7, с погрешностью  $\sigma_{C_v} < 20\%$  – до 10.

Таким образом, по основным пунктам наблюдений бассейна р. Елек определены статистические характеристики минимального месячного стока, летне-осеннего и зимнего периодов. Характеристики стока вычислены для наблюдаемого ряда и ряда приведенного к многолетнему периоду. Произведена оценка точности параметров кривой распределения месячного стока

Таблица 5

Параметры минимального месячного стока бассейна р. Елек

Река – пункт	F, км <sup>2</sup>	Число лет	За период наблюдений			Многолетний период 1940...2010 гг.				
			Q, м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	σ <sub>Q</sub>	Q, м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	σ <sub>Q</sub>	σ <sub>C<sub>v</sub></sub>	σ <sub>σ<sub>Q</sub></sub>
Елек – Актобе	11000	69	3,60	0,33	0,66	3,62	0,99	0,55	0,04	0,04
Елек – Чилик	37300	56	11,3	0,54	1,15	11,6	0,50	0,95	0,08	0,07
Каргала – Каргалинское	5000	49	2,64	0,84	0,29	2,34	0,90	0,24	0,09	0,06
Карахобда – Альпайсай	2240	48	0,50	0,46	0,05	0,58	0,38	0,03	0,10	0,06
Актасты – Белогорский	45	53	0,01	0,53	0,004	0,02	0,57	0,001	0,11	0,09
Сарыхобда – Бессарабский	675	28	0,08	0,51	0,01	0,14	0,37	0,01	0,11	0,06
Терисбутақ – Белогорский	19,8	41	0,02	0,34	0,002	0,03	0,46	0,002	0,08	0,07
Терсаккан – Астраханский	446	38	0,11	0,33	0,01	0,13	0,27	0,005	0,07	0,03

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 3. Актюбинская область. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – 514 с.
2. Давлетгалиев С.К., Садвакасова С.Р., Оспанова М.С. Минимальный сток реки Жайык // Вопросы географии и геоэкологии. – 2013. – №2. – С. 16-22.
3. Давлетгалиев С.К. Оценка точности параметров кривых распределения годового стока рек Урало-Эмбинского района // Гидрометеорология и экология. – 2007. – №3. – С.85-93.
4. СП 33-101. Определение основных расчетных характеристик. – М.: Стройиздат, 2003. – 72 с.
5. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 276 с.

Поступила 22.01.2015

Геогр. ғылымд. докторы С.К. Давлетгалиев  
М.С. Оспанова

#### **ЕЛЕК АЛАБЫНЫҢ БАСТЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ АЙЛЫҚ МИНИМАЛ АҒЫНДЫЛАРЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ**

*Елек алабының басты өзендерінің жаз-күздік және қыстық кезеңдерінің минимал ағындыларының статистикалық параметрлері келтірілген. Айлық минимал ағындылар үлестірімдері параметрлерінің дәлдігі бағаланған.*