

УДК 556.16

**РАСЧЕТ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА РЕК ПРАВОБЕРЕЖЬЯ
БАССЕЙНА ЖАЙЫК В ПРЕДЕЛАХ ГРАНИЦ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Доктор геогр. наук С.К. Давлетгалиев

*Представлены результаты расчета характеристик нормы годового стока, вычисленных с учетом его восстановленных величин.**Произведена оценка точности расчета параметров годового стока.*

Основные реки правобережья бассейна Жайык (Урала) – Чаган, Деркул, Ембулатовка, Рубежка и реки Западной части Общего Сырта, стекающие на юг – Чижа 1-я, Чижа 2-я, Ащиозек, Большой и Малый Узень (последние две в пределах Казахстана получили название соответственно Караозен и Сарыозен), которые заканчиваются в Прикаспийской низменности, образуя разливы, системы озер и островов. Характеристики годового стока этих рек изучены в 70-е годы прошлого века [4]. Эти материалы нуждаются в уточнении с учетом данных наблюдений после 1965 г. и влияния возможных изменений климата, а так же хозяйственной деятельности в бассейне. Даже с учетом данных наблюдений последних 30...35 лет фактический ряд недостаточен для оценки параметров стока с требуемой точностью [3, 6], поэтому характеристики стока необходимо привести к многолетнему периоду.

В данной работе восстановление рядов годового стока произведено методом аналогии с использованием уравнения регрессии. Реки-аналоги выбраны в соответствии с требованиями [3, 6], принимая в отдельных случаях $R_{кр} = 0,60$.

Сток рек Караозен и Сарыозен формируется в Саратовской области. Сток этих рек зарегулирован. Большая часть весеннего стока задерживается различными прудами, образованными глухими плотинами. Восстановить естественный сток этих рек на территории Казахстана не представляется возможным. Данные стока этих рек в «Ресурсах поверхностных вод» [4] использовались для расчета годового стока многих рек Жайык-Жембинского (Урало-Эмбинского) района. В настоящее время возможность использования этих рек в качестве опорных для восстановления годового стока оказалось затруднительным. Включение в расчетную зави-

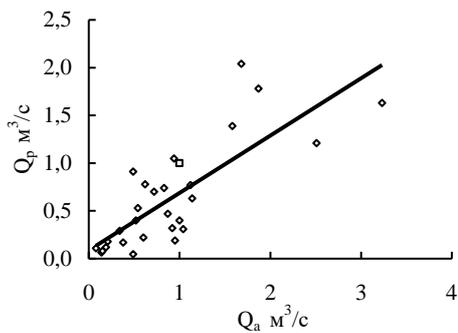
симось данных последних периодов наблюдений часто приводит к существенному снижению тесноты зависимости, не отвечающей требованиям [6]. Зависимость ($R \geq 0,60$) для восстановления годового стока установлен лишь для отдельных периодов.

На р. Караозен в пределах Казахстана действовало два гидропоста у с. Русская Таловка и с. Фурманово. Пост у первого пункта закрыт в 1980 г, второго – в 1994 г. В 2001 г. пост у с. Фурманово, по-видимому, восстановлен под названием с. Жалпактал.

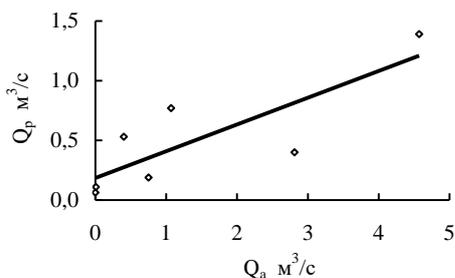
Годовой сток р. Караозен – с. Русская Таловка за 1941, 48, 50, 51...52, 70, 77...79 гг. восстановлен по данным стока выше расположенного поста г. Новоузенск ($R = 0,96$) за 1940, 1942...1944, 1946...1947 – по аналогу р. М. Узень – с. Малый Узень ($R = 0,89$, $n = 19$). За 1945, 1958, 1981...2004 гг. – р. Жайык – с. Кушум ($R = 0,68$, $n = 22$). Сток этой реки у с. Фурманово рассчитан по аналогу р. Жайык – с. Кушум ($R = 0,68$, $n = 8$). Корреляционная зависимость установлена без учета данных 2001...2002, 2004 гг. (с. Жалпактал). Связь неустойчивая, это видно из того, что при исключении из совместного периода наблюдений стока за 1994 г. величина коэффициента корреляции возрастает до 0,76. Надежной связи между годовыми значениями стока у пунктов Фурманово и Новоузенск не выявлено.

На р. Деркул в разные годы функционировало 4 гидропоста: у пунктов с. Каменка, с. Зеленое, п. Плошкино и п. Ростошский. Кратковременные измерения расходов воды производилась лишь у п. Зеленое ($n = 3$), в остальных пунктах продолжительность рядов наблюдений составляет больше 15...25 лет, причем в рядах наблюдений имели место большие перерывы. Сток р. Деркул – с. Каменка восстановлен поэтапно по трем аналогам – р. М. Узень – с. М. Узень ($R = 0,82$, 1965...1971 гг.), р. Чижа 2-я ($R = 0,77$) и р. Б. Узень – г. Новоузенск ($R = 0,60$, 1965...1979, 1981...1991, 1994, 1996, 1997 гг.), у п. Плошкино по аналогу – р. Жайык (Урал) – с. Кушум ($R = 0,71$), у п. Ростошский – по 4 аналогам – рр. Чижа 2-я ($R = 0,90$), М. Узень ($R = 0,70$), Урал – с. Кизильское ($R = 0,81$), Б. Узень ($R = 0,79$) (рисунок).

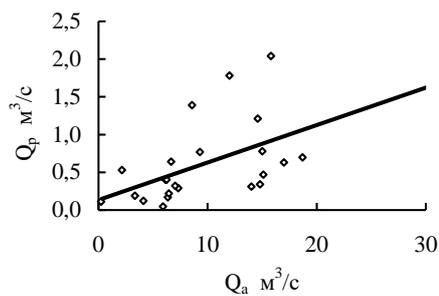
Для расчета годового стока р. Чижа 2-я – с. Чижа 2-я использовано несколько аналогов. Это связано трудностью выбора аналога, имеющего непрерывный ряд наблюдений за расчетный период. За 1940, 1942...1944, 1946...1953, 1956 годы сток восстановлен по данным аналога р. М. Узень ($R = 0,68$), за 1945, 1987, 1991...1992 гг. – р. Деркул – п. Ростошский ($R = 0,90$), за 1941, 1948...1953, 1998...1999 гг. – р. Б. Узень ($R = 0,69$) (рисунок).



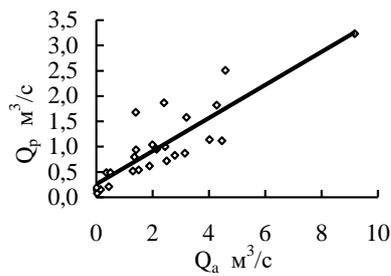
a



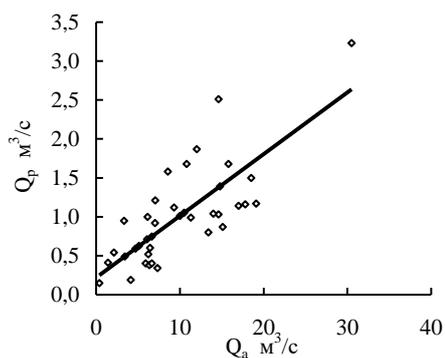
b



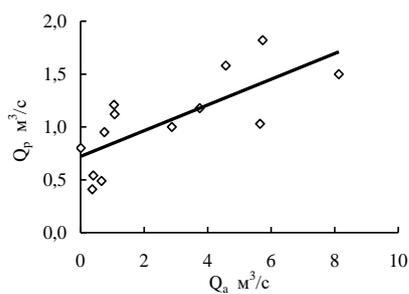
c



d



e



f

Рис. Графики связи между среднегодовыми величинами расходов воды. а – в расчётном пункте р. Деркул – с. Каменка (Q_p) и пункте-аналоге р. Чижа 2-я (Q_a); б – в расчётном пункте р. Деркул – с. Каменка (Q_p) и пункте-аналоге р. М. Узень – с. М. Узень (Q_a); в – в расчётном пункте р. Деркул – с. Каменка (Q_p) и пункте-аналоге р. Б. Узень – г. Новоузенск (Q_a); д – в расчётном пункте р. Чижа 2-я (Q_p) и пункте-аналоге р. Деркул – п. Ростойский (Q_a); е – в расчётном пункте р. Чижа 2-я (Q_p) и пункте-аналоге р. Б. Узень – г. Новоузенск (Q_a); ф – в расчётном пункте р. Чижа 2-я (Q_p) и пункте-аналоге р. М. Узень – с. М. Узень (Q_a).

Бассейн реки Чижа 1-я – с. Чижа 1-я расположен недалеко от бассейна р. Чижа 2-я. Однако связь между расходами воды этих рек отсутствует ($R = 0,21$). Выше поста р. Чижа 1-я имеется канал, часть стока весеннего половодья по этому каналу поступает в реку ниже гидропоста, поэтому можно предположить, что у с. Чижа 1-я фиксируется заниженный сток, кроме того, у п. Амангельды, расположенного также выше поста, сток забирается для полива огородов. Видимо, этим объясняется трудность подбора аналога для этой реки. Более подходящим аналогом для восстановления годового стока р. Чижа 1-я оказалась р. Жайык – с. Кушум, имеющая длинный ряд наблюдений. При этом коррелятивная связь ($R = 0,70$), отвечающая требованиям [6], выявлена для периода наблюдений с 1948 по 1971 гг. ($n = 14$). Установление связи с учетом данных всех совместных лет наблюдений приводит к существенному снижению ее тесноты до $R = 0,50$. Аналогичная картина наблюдается при принятии в качестве аналога р. Сакмары – с. Каргала (с. Сакмара).

Способы расчета годового стока рек Караозен – ур. Дунке, Сарьюзен – свх. Бостандык, Рубежка и Деркул – с. Зеленое рассмотрены в [1].

Сток реки Чаган формируется на территории России. Основным гидропостом, действующим на территории Казахстана является п. Каменный. Наблюдения за режимом стока в этом пункте ведутся с 1932 г. с перерывами. Продолжительные пропуски в наблюдениях имели место в 1942...1951 гг., расходы воды не измерены также в 1984, 1993 и 1999 гг. Годовой сток реки у п. Каменный за отсутствующие годы восстановлен по аналогу р. Жайык – с. Кушум ($R = 0,71$). Информация о годовом стоке р. Чаган у нижнего поста п. Новенький имеется лишь за 1936...1940, 1947 гг. ($n = 6$ лет). Сток у этого пункта определен также по аналогу р. Жайык – с. Кушум ($R = 0,99$). Материалы о годовом стоке р. Ембулатовка также имеются за 6 лет 1938...1940, 1956...1958 гг. Сток этой реки вычислен по аналогу р. Жайык – с. Кушум ($R = 0,67$).

При приведении рядов наблюдений к многолетнему периоду в качестве расчетного периода выбран 1940...2004 гг. Характеристики среднего стока определены в трех вариантах: по данным фактических наблюдений, за многолетний период 1940...2004 гг. и за последний тридцатилетний период с 1974 по 2004 гг. (табл. 1).

Сравнение величин среднего стока, приведенных в [4], со средними, вычисленными с учетом наблюдений после 1967 г., показывает наличие существенных различий в трех случаях. Средний сток р. Караозен –

с. Русская Таловка и р. Деркул – п. Ростошский получился в два раза меньше, чем ранее определенные значения, сток р. Деркул у с. Каменка, наоборот в 2 раза больше. В остальных случаях существенные расхождения между величинами стока не обнаружены.

Сопоставление средних расходов воды многолетнего периода 1940...2004 гг., со средними, полученными в [4], показывают отсутствие существенных различий между их суммарными значениями. Однако на отдельных реках и пунктах различие между нормами стока значительное как в сторону занижения, так и в сторону завышения. Так, на реках Караозен – с. Русская Таловка, Деркул – п. Ростошский сток занижен на 30 %, наоборот, на реках Ембулатовка, Чаган – с. Новенькое он завышен примерно на столько же.

В данных табл. 1 нетрудно заметить уменьшение нормы стока последнего тридцатилетнего периода по сравнению с нормой многолетнего периода 1940...2004 гг. Такое положение наблюдается по всем рекам и пунктам за исключением нормы р. Чижа 2-я. Наибольшее уменьшение стока выявлено на р. Караозен – с. Фурманово, р. Чаган – с. Каменное, р. Деркул – с. Каменка, наименьшее на реках Караозен – с. Русская Таловка, Чаган – с. Новенькое, Деркул – п. Ростошский. Уменьшение стока в среднем для рассматриваемого района составляет около 10 %. Результаты расчетов следует считать, приближенными, в особенности на тех реках и пунктах, где расходы последнего периода 1974...2004 гг. получены не полностью по фактическим данным, а в большинстве случаев на основе восстановленных рядов.

Сказанное выше в определенной мере подтверждается данными табл. 2. В этой таблице сопоставлены нормы и коэффициенты вариации двух периодов 1940...1973 и 1974...2004 гг. Уменьшение нормы стока в среднем составляет около 15 %, а уменьшение коэффициента вариации – 11,7 %. Наибольшее уменьшение среднего стока наблюдается на р. Деркул – п. Ростошский 37,7 %, а коэффициента вариации на р. Караозен – 32,0 %. Такое большое изменение параметров годового стока этих рек по видимому вызвано влиянием хозяйственной деятельности в бассейне.

Произведена оценка точности параметров годового стока наблюдаемых и приведенных к многолетнему периоду рядов (табл. 3).

Таблица 1

Характеристики нормы годового стока

Река – пункт	Площадь водосбора, Г, км ²	Период наблюдений за годовым стоком	Параметры годового стока								
			среднее за период наблюдений			среднее за многолетний период 1940...2004 гг.			среднее за период 1974...2004 гг.		
			Q_i , м ³ /с	M_0 , л/с·км ²	h , мм	Q_i , м ³ /с	M_0 , л/с·км ²	h , мм	Q_i , м ³ /с	M_0 , л/с·км ²	h , мм
Караозен – с. Русская Таловка	10700	1951...1952, 1955...1956, 1967...1969, 1971...1976, 1980	$\frac{5,54}{11,8}$	$\frac{0,52}{1,10}$	$\frac{16}{35}$	$\frac{7,62}{10,8}$	$\frac{0,71}{1,01}$	$\frac{22}{32}$	7,54	0,70	22
Караозен – с. Фурманово	13200	1983...1987, 1990...1991, 1994	6,25	0,47	15	9,02	0,68	21	7,17	0,54	17
Чижа 2-я – с. Чижа 2-я	$\frac{493}{(509)}$	1954...1955, 1957...1986, 1988...1990, 1993...1997, 2000...2004	$\frac{0,97}{0,89}$	$\frac{1,90}{1,75}$	$\frac{60}{55}$	$\frac{0,96}{0,83}$	$\frac{1,89}{1,63}$	$\frac{55}{51}$	1,07	2,10	66
Чижа 1-я – с. Чижа 1-я	$\frac{484}{(456)}$	1958...1988, 1990...1993, 1996...1997, 2002	$\frac{0,82}{0,73}$	$\frac{1,80}{1,60}$	$\frac{57}{50}$	$\frac{0,76}{0,66}$	$\frac{1,67}{1,45}$	$\frac{53}{46}$	0,68	1,49	47
Ембулатовка – с. Красноармейск	846	1939...1941, 1956...1958	$\frac{3,53}{3,53}$	$\frac{4,17}{4,17}$	$\frac{132}{132}$	$\frac{2,80}{1,86}$	$\frac{3,30}{2,20}$	$\frac{104}{69}$	2,42	2,86	90
Чаган – п. Каменный	4000	1932...1935, 1937, 1940...1941, 1952...1983, 1985...1992, 1994...1998, 2000...2004	$\frac{7,09}{7,22}$	$\frac{1,77}{1,80}$	$\frac{56}{57}$	$\frac{7,72}{8,80}$	$\frac{1,93}{2,20}$	$\frac{61}{69}$	6,40	1,60	50
Чаган – п. Новенький	4970	1936...1940, 1947	$\frac{7,73}{7,73}$	$\frac{1,56}{1,56}$	$\frac{49}{49}$	$\frac{12,4}{9,94}$	$\frac{2,49}{2,00}$	$\frac{78}{63}$	11,3	2,27	72
Деркул – с. Каменка	392	1965...1991, 1994, 1996...1997	$\frac{0,67}{0,36}$	$\frac{1,71}{0,92}$	$\frac{54}{29}$	$\frac{0,82}{0,80}$	$\frac{2,09}{2,04}$	$\frac{66}{64}$	0,70	1,78	56
Деркул – с. Плошкино	1160	1936...1942, 1944, 1947...1948, 1952...1957	$\frac{2,07}{2,11}$	$\frac{1,72}{1,82}$	$\frac{54}{57}$	$\frac{1,93}{2,03}$	$\frac{1,66}{1,75}$	$\frac{52}{55}$	1,90	1,63	51
Деркул – п. Ростовский	1820	1964...1978, 1980...1983, 1985...1988, 1990...1992, 1997	$\frac{1,37}{3,06}$	$\frac{0,75}{1,68}$	$\frac{24}{53}$	$\frac{1,81}{2,82}$	$\frac{0,99}{1,55}$	$\frac{31}{49}$	1,67	0,92	29

Примечание: В знаменателе приведены данные, полученные в [4]

Таблица 3

Оценка точности параметров годового стока

Река – пункт	Число наблюдений	За период наблюдений				За многолетний период 1940...2004 гг.			
		\bar{Q} , м ³ /с	C_v	$\frac{\sigma_Q}{\sigma_{Q\%}}$	$\frac{\sigma_{C_v}}{\sigma_{C_v\%}}$	\bar{Q} , м ³ /с	C_v	$\frac{\sigma_Q}{\sigma_{Q\%}}$	$\frac{\sigma_{C_v}}{\sigma_{C_v\%}}$
Караозен – с. Русская Таловка	24	5,54	1,14	$\frac{1,79}{30,0}$	$\frac{0,25}{21,3}$	7,62	0,86	$\frac{1,29}{1,69}$	$\frac{0,21}{24,4}$
Караозен – с. Фурманово (Жалпактал)	8	6,25	0,88	$\frac{2,51}{40,1}$	$\frac{0,24}{27,3}$	4,98	1,19	$\frac{2,39}{23,4}$	$\frac{0,18}{24,0}$
Чижа 1-я – с. Чижа 1-я	38	0,82	0,95	$\frac{0,16}{19,5}$	$\frac{0,16}{16,8}$	0,76	0,76	$\frac{0,15}{19,7}$	$\frac{0,15}{19,7}$
Чижа 2-я – с. Чижа 2-я	45	0,97	0,73	$\frac{0,15}{15,4}$	$\frac{0,10}{14,7}$	0,96	0,72	$\frac{0,12}{12,5}$	$\frac{0,09}{12,5}$
Ембулатовка – с. Красноармейск	6	3,53	1,32	$\frac{2,45}{69,4}$	$\frac{0,35}{26,5}$	2,80	0,90	$\frac{1,89}{67,5}$	$\frac{0,32}{35,6}$
Чаган – п. Каменный	57	7,09	0,63	$\frac{0,76}{10,7}$	$\frac{0,07}{11,1}$	7,72	0,66	$\frac{0,74}{9,58}$	$\frac{0,07}{10,6}$
Чаган – п. Новенький	6	7,74	1,40	$\frac{5,71}{7,37}$	$\frac{0,36}{25,7}$	12,4	0,60	$\frac{1,90}{15,3}$	$\frac{0,13}{21,7}$
Деркул – с. Каменка	30	0,64	0,82	$\frac{0,12}{18,7}$	$\frac{0,14}{17,1}$	0,77	0,82	$\frac{0,10}{13,0}$	$\frac{0,13}{15,8}$
Деркул – п. Плошкино	16	2,07	0,92	$\frac{0,62}{30,0}$	$\frac{0,21}{22,8}$	1,93	0,67	$\frac{0,34}{17,6}$	$\frac{0,12}{17,9}$
Деркул – п. Ростошский	29	2,11	0,96	$\frac{0,49}{23,2}$	$\frac{0,18}{18,8}$	2,60	0,82	$\frac{0,38}{14,6}$	$\frac{0,15}{18,3}$

Примечание. В числителе приведена абсолютная погрешность, в знаменателе – относительная (%).

Таблица 2

Сопоставление нормы стока и его изменчивости за два периода

Река-пункт	Период 1940...1973 гг.		Период 1974...2004 гг.		Изменение, %	
	\bar{Q}	C_v	\bar{Q}	C_v	\bar{Q}	C_v
Чижа 1-я – с. Чижа 1-я	0,83	0,76	0,68	0,75	9,63	1,31
Чаган – п. Каменный	7,98	0,72	6,40	0,65	19,8	9,72
Деркул – с. Каменка	0,83	0,85	0,70	0,77	7,22	9,41
Деркул – п. Ростошский	2,68	0,85	1,67	0,80	37,7	5,88
Караозен – с. Русская Таловка	7,69	1,00	7,54	0,68	1,95	32,0

Точность наблюдаемых данных вычислена по известным формулам для нормы

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

для коэффициентов вариации при $C_s = 2C_v$

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

где r – коэффициент автокорреляции, для данного района принятое значение $r = 0,25$.

Стандартная погрешность среднего значения, приведенного к многолетнему периоду, определена по формуле С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [2, 5]

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

Оценка стандартной погрешности коэффициента вариации, приведенной к многолетнему периоду, произведена по формуле [5]

$$\sigma_{C_{v,N}} = \sigma_{C_{v,n}} \sqrt{\frac{N-(N-n)R^4}{N}}. \quad (4)$$

При поэтапном восстановлении значений ряда гидрологических характеристик, т.е. при использовании нескольких уравнений регрессии за разные периоды случайные погрешности параметров необходимо рассчитывать с учетом объема информации, эквивалентной наблюдаемым дан-

ным, которые определяют соответственно для нормы $N_{\bar{\Delta Q}}$ и среднего квадратического отклонения $N_{\Delta\sigma}$ по формулам [5, 6]

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

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

где n – число совместных лет наблюдений в приводимом ряду и рядах-аналогах, $N-n$ – число восстановленных членов ряда по уравнению, R – коэффициент парной корреляции.

Погрешность параметров годового стока рек района вычислена с учетом $N_{\bar{\Delta Q}}$ и $N_{\Delta\sigma}$. Пример расчета объема эквивалентной информации $N_{\bar{\Delta Q}}$ р. Чижа 2-я – с. Чижа 2-я дан в табл. 4.

Таблица 4

Объем эквивалентной информации

R	n	N	$N-n$	$N_{\bar{\Delta Q}}$	$N_{\bar{\Delta Q}}-n$
0,90	27	31	4	30	3
0,69	41	52	11	45,3	4,3
0,68	17	24	7	19,2	2,2
					$\Sigma 9,5$

По уравнению регрессии для Чижа 2-я у с. Чижа 2-я восстановлены средние годовые расходы воды за 22 года, что соответствует объему эквивалентной информации за 9,5 лет. При расчете случайной погрешности среднего нужно учитывать это количество информации, т.е. расчеты необходимо выполнить по формуле (1), увеличив продолжительность наблюдений на 9 лет. Аналогичные расчеты выполняются при оценке погрешности коэффициента вариации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давлетгалиев С.К., Акимбаева С.М. Расчет нормы стока слабо изученных рек Урало-Эмбинского района // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2007. – №2 (25). – С. 65-69.
2. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981 – 249 с.

3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1984 – 448 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 12, Вып. 2. Урало-Эмбинский район – Л.: Гидрометеоздат, 1970 – 511 с.
5. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. – Л.: Гидрометеоздат, 1990 – 276 с.
6. СП-33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик – М.: Госстрой России, 2004 – 71 с.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

**ҚР ТЕРРИТОРИЯСЫНДАҒЫ ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІНІҢ ОҢЛЖАҒАЛАУ
БӨЛІГІ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ЖЫЛДЫҚ АҒЫНДЫСЫНЫҢ
НОРМАСЫН БАҒАЛАУ**

Доктор геогр. наук С.Қ. Дәулетқалиев

Қалпына қайта келтірілген шамаларды ескеріп есептелген жылдық ағындының сипаттамалары қарастырылған. Жылдық ағынды параметрлерінің дәлділігі есептелген.