

УДК 556.16

ОЦЕНКА НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА РЕК ЖАЙЫК-ЖЕМСКОГО РАЙОНА ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Доктор геогр. наук С.К. Давлетгалиев

Исследована зависимость годового стока рек района от площади водосбора. Построена карта изолиний модуля среднемноголетнего стока. Даны рекомендации для расчета нормы годового стока отдельных бассейнов при отсутствии данных наблюдений. Произведена оценка точности расчетов стока.

Норму годового стока района можно определить по картам изолиний годового стока, приведённых в [7, 8]. Однако материалы 60-ти годов прошлого века устарели, нуждаются в уточнении с учётом данных последних лет. При отсутствии данных наблюдений в расчётном створе гидрометрических наблюдений норма годового стока определяется одним из следующих способов:

1. путём прямой интерполяции с использованием опорных пунктов;
2. по районным зависимостям годового стока от определяющих его факторов;
3. по картам изолиний годового стока;
4. по уравнению водного баланса.

Для оценки нормы стока, исследуемого района рассмотрена возможность расчёта нормы стока по второму и третьему способам. Для этого по всем рекам и пунктам наблюдений величины годового стока были приведены к многолетнему периоду (1940...2004 гг.) и определены модули стока. В качестве основных физико-географических факторов выбрана площадь водосбора и его средняя высота.

Графики связи модуля стока с площадью водосбора фактически отражают зависимость величины питания реки при данной увлажнённости от глубины вреза её русла и глубины залегания (подземных) грунтовых вод, питающих реку. Глубина залегания грунтовых вод подчиняется закону географической зональности: чем меньше увлажнённость, тем глубже уровень подземных вод. В зонах избыточного и достаточного увлажнения в связи с неглубоким залеганием грунтовых вод сток средних и малых рек увеличиваются по мере возрастания площади водосбора. В зонах недостаточного увлажнения, к которым относится рассматриваемый район, в виду глубокого зале-

гания грунтовых вод они не участвуют в питании водотоков. Увеличение площади не вызывает увеличения поступления воды в водоток. На величину стока оказывает влияние наличие бессточных пространств и бессточных озёр, теряющих значительное количество воды на испарение. В этих условиях имеет место обратная связь $M_0 = f(F)$, т.е. уменьшение стока с увеличением водосборной площади. Многочисленными исследованиями установлено, что на территории Равнинного Казахстана редукция прослеживается до площади 3000 км², после чего модули стока с увеличением площади водосбора реки практически не изменяются [1, 2, 5].

Зависимость $M_0 = f(F)$, построена с учётом данных всех рек и пунктов наблюдений, представлена на рис. 1а. Коэффициент корреляции этой зависимости характеризуется величиной $r = -0,62$. Связь $M_0 = f(F)$ недостаточно тесная, разброс точек значителен. Погрешность расчёта нормы стока может быть большой.

Построение зависимости $M_0 = f(F < 3000)$ лишь для малых рек с площадью водосбора $F < 3000$ км² выявило уменьшение модуля годового стока с увеличением размеров водосбора (рис. 1б). Теснота зависимости повысилась до $r = -0,68$, а качество связи составило $s/\sigma = 0,75$. Такие зависимости в прогностических расчётах считаются удовлетворительными, однако ввиду высокой относительной средней погрешности расчёта 89,9 % и максимально возможной ошибкой 600...1000 %, такая зависимость также не может быть рекомендована для оценки нормы годового стока. Связь модуля годового стока с площадью водосбора средних рек ($F > 3000$ км²) района, как и ожидалась, не устанавливается ($r = -0,33$).

Исследована зависимость $M_0 = f(F)$ в отдельности для рек правобережной и левобережной частей бассейна р. Жайык в пределах РК, а также – рек бассейна р. Елек (рис. 1в) и бассейны рек Ойла, Сагиза и Жем. Качество полученных зависимостей характеризуется соответственно коэффициентами корреляции $r = -0,64$, $r = -0,68$, $r = -0,62$ и $r = -0,64$. На качество зависимости для правобережной части существенное влияние оказывают данные двух рек Барабастау – с. Барбастау и Шаган – с. Новенькое. На рис. 1.е сток этих рек даёт наибольшее отклонение от линии связи. Если исключить эти две точки, то значение коэффициента корреляции увеличилось бы с $r = -0,64$ до $r = -0,82$.

Относительно тесная зависимость ($r = -0,68$) для рек левобережной части получена при исключении стока р. Жаксыбай – с. Аккозинский

(рис. 1д), при его учёте теснота зависимости снижается до $r = -0,49$. Следовательно, все эти зависимости не могут быть использованы для оценки нормы стока. Исключение модуля стока средних рек ($F > 3000 \text{ км}^2$) при установлении зависимости $M_0 = f(F)$ не повысила точность зависимости для правобережной и левобережной частей бассейна р. Жайык. Для рек бассейнов Ойыл, Сагиз и Жем, значение коэффициента корреляции увеличилось до $r = -0,81$, но при исключении стока одной реки (Тушибек) – значение коэффициента корреляции уменьшается до $r = -0,40$. Поэтому такая зависимость не может быть рекомендована для расчёта модуля стока рек бассейнов.

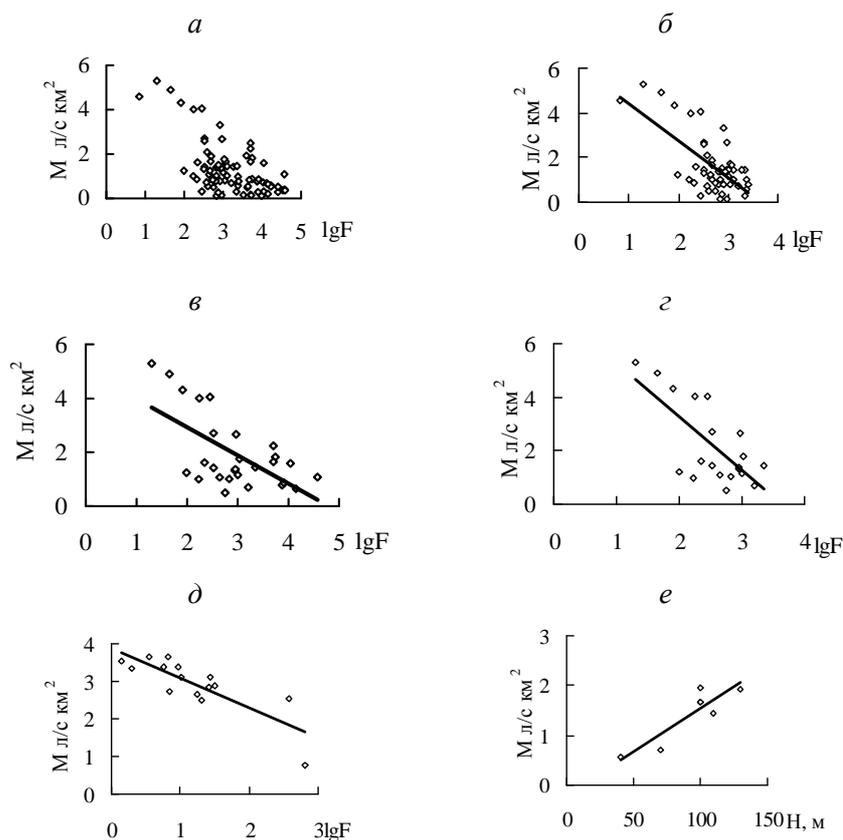


Рис. 1. Зависимости модуля годового стока от площади и средней высоты водосбора. а) общий вид зависимости $M_0 = f(F)$ для всего района; б) зависимость $M_0 = f(F)$ для всего района при $F \leq 3000 \text{ км}^2$; в) зависимость $M_0 = f(F)$ для рек бассейна р. Елек; г) зависимость $M_0 = f(F)$ для рек бассейна р. Елек при $F \leq 3000 \text{ км}^2$; д) зависимость $M_0 = f(F)$ всей левобережной части бассейна р. Жайык в пределах РК; е) зависимость $M_0 = f(F)$ рек правобережной части бассейна р. Жайык в пределах РК.

Для бассейна р. Елек получена более тесная зависимость $M_0 = f(F \leq 3000)$ (рис. 1г). Значение коэффициента корреляции увеличивается от -0,62 до -0,71. Средняя относительная погрешность расчёта в этом случае составляет 58,9 %, максимальная – 250 %. Наибольшие отклонения между наблюдаемыми и вычисленными значениями модуля стока имеют место для рек Тамды, Песчанка и Таниберген. При их исключении относительная средняя погрешность уменьшается до 34,4 %.

Зависимость нормы годового стока от высоты водосбора выявлена лишь для рек правобережной части бассейна р. Жайык (Урал) ($r = -0,89$) (рис. 1е), средняя относительная погрешность расчёта – 13,2 %, максимальная – 22,0 %.

Для определения нормы среднего годового стока по второму способу составлена карта в л/сек с км² (рис. 2). При построении карты использованы материалы 80-ти пунктов наблюдений, с учётом данных за последние 30...40 лет. Материалы кратковременных наблюдений (1...5 лет) приведены к многолетнему периоду в соответствии с методикой, изложенной в [6]. Карта изолиний стока построена по данным о стоке с зональным режимом. Исследованиями ряда авторов [1, 5] было установлено, что для рек равнинного Казахстана в качестве зонального стока может быть принят сток рек с площадью водосбора $F > 3000$ км².

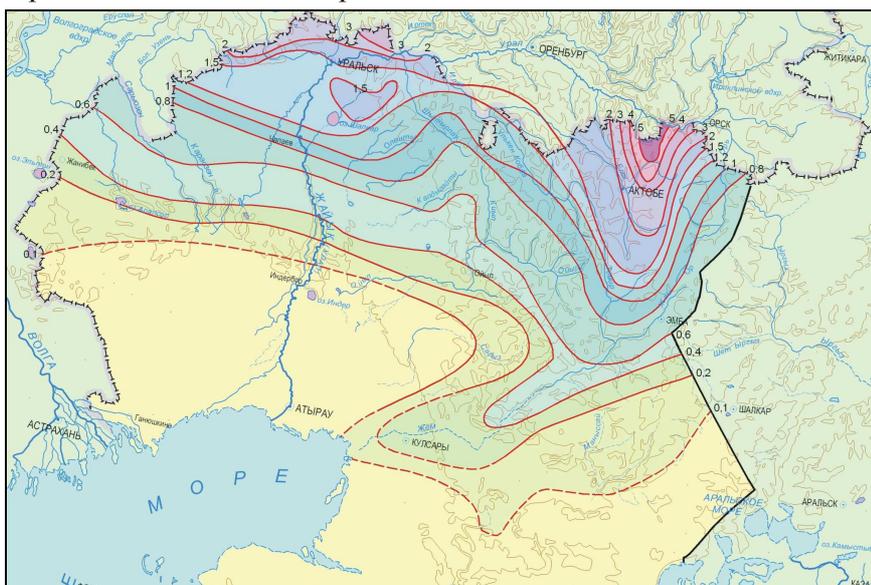


Рис. 2. Карта нормы модуля годового стока рек Жайык-Жемского района.
 — — — — — изолинии среднемноголетнего стока в л/с·км²; - - - - - изолинии слабо обеспеченные данными и гипотетические.

При построении карты для перехода от стока малых рек с модулем стока до значений 1 л/с с 1 км² к зональному стоку использована формула, полученная из зависимости, рекомендуемой В.В. Голубцовым [3]

$$\ln M_{F \geq 3000} = 8 \ln M_F / \ln(F + 1),$$

где M_F – модуль стока малых и временных водотоков с $F < 3000$ км², $M_{F \geq 3000}$ – модуль зонального стока.

Все расчёты выполнены по наблюдаемым данным, приведённым к многолетнему периоду (1940...2004 гг.), без восстановления естественного стока, т.е. по бытовому стоку.

При составлении карты изолиний допущены отклонения от стандартной методики построения. Величины модуля стока с учётом плоского рельефа местности отнесены не к центру тяжести водосбора, как это делается обычно, а к пункту наблюдений. Поэтому величину модуля стока рекомендуется определять по карте методом линейной интерполяции. Вследствие того, что Мангышлакская область, как и раньше, недостаточно освещена материалами наблюдений, изолинии стока этой части района не проведены.

Расчёт нормы малых рек с модулем стока, не превышающим 1 л/с км², рекомендуется производить одним из двух равноценных способов. В первом случае сначала по карте определяется величина зонального стока $M_{F \geq 3000}$.

Средний сток малого водотока M_F вычисляется по формуле [3]:

$$M_F = k M_{F \geq 3000}.$$

Переходной коэффициент k от стока рек с $F \geq 3000$ км² к величине стока малых рек вычисляется по формуле

$$k = (3000 / F + 1)^n,$$

где F – площадь водосбора, с $F < 3000$ км².

Зная $M_{F \geq 3000}$ по формуле, рекомендованной В.В. Голубцовым, вычисляются показатели степени редукции n [3]

$$n = -0,125 \cdot \ln M_{F \geq 3000}.$$

Во втором варианте расчёта модуль стока малых рек вычисляется по формуле [3]:

$$M_F = (F + 1)^{0,125 \ln M_{F \geq 3000}}.$$

Приведённые выше формулы могут использоваться для определения M_F в районах с $M_{F < 3000}$ меньше 1 л/с с 1 км². В бассейне рек, где мо-

дуль годового стока превышает $1 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$, норму стока можно непосредственно определить по карте изолиний без введения поправок.

Распределение нормы стока соответствует в основном изменению климатических факторов и характеризуется общим убыванием её с севера на юг. Наибольшие значения стока наблюдаются в верховьях бассейна р. Елек. Так, например, норма годового стока р. Карабутак – с. Карабутак и р. Косистек – с. Кок-Истек достигают до $4 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$, на малых реках этого бассейна Актасты и Терсбутак модуль стока увеличивается до $5,01 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$. Наиболее низкий сток порядка $0,10 \dots 0,15 \text{ л/с км}^2$ наблюдается в Прикаспийской низменности, на полуострове Мангышлак.

Оценка точности расчёта нормы годового стока произведена путём сопоставления величин стока, полученных по карте с фактическими данными наблюдений (табл.). Среднее расхождение между этими величинами составляет 31,8 %, максимальное – 353 %. Наибольшее расхождение наблюдается для 5-ти пунктов наблюдений: р. Печанка – п. Подгорный – 150 %, р. Тамды – г. Актобе – 100 %, р. Таниберген – с. Жана Елек – 233 %, р. Булдурты – свх. Булдуртинский – 128 %, р. Булдурты – свх. Абая – 353 %. Одна из возможных причин такой большой относительной погрешности расчёта нормы стока – приближённость оценки нормы по этим рекам по данным кратковременных наблюдений в течение 1...2 лет и восстановление годового стока по стоку весеннего периода, а также искажённость его заборам воды на хозяйственную деятельность. При исключении данных указанных рек среднее значение погрешности уменьшается до 16,9 %, а максимальное до – 41,9 %. Полученное значение погрешности больше, чем погрешности расчёта нормы стока, по карте изолиний стока 60-ти годов [7, 8]. Тем не менее, она соответствует погрешности расчёта нормы стока при отсутствии данных наблюдений, указанной в [10].

Среднеквадратическая погрешность расчёта нормы стока по карте изолиний по всем рекам и пунктам наблюдений составляет $0,50 \text{ л/с км}^2$, при исключении данных 5-ти пунктов, указанных выше – $0,41 \text{ л/с км}^2$.

Наибольшая погрешность расчёта получается для рек бассейна р. Елек – $0,85 \text{ л/с км}^2$. Поэтому рассмотрена возможность одновременного расчёта нормы годового стока с учётом двух независимых методов; т.е. использованием зависимости стока от физико-географических факторов и карты изолиний стока. При этом расчётное значение стока представляется как средневзвешенное по сумме значений, полученных по разным методикам [4, 9].

$$\overline{M}_{0j} = \sum_{j=1}^m a_j M_{0j}$$

где a_j – весовой коэффициент величины M_{0j} , определённой по j -ой методике; m – количество методик.

Весовые коэффициенты a_j принимаются обратно пропорциональными дисперсии погрешностей методик

$$a_j = \frac{1}{\sigma_j^2} / \sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_j^2},$$

где σ_j^2 – дисперсии погрешности методик.

Таблица

Сопоставление величин нормы стока определённые по карте и вычисленных по многолетним данным (1940...2000 гг.)

Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Число лет наблюдений	Норма стока в л/с км ²		Отклонение в %
			по карте	за многолетний период	
Ащиозек – с. Ащиозек	2400	17	0,41	0,56	-26,8
Караозен – с. Русская Таловка	10700	24	0,72	0,71	+1,4
Караозен – с. Жалпактал (Фурманова)	13200	8	0,53	0,68	-28,3
Сарыозен – свх. Бостандык	11000	16	0,42	0,30	+40
Деркул – с. Каменка	392	30	1,93	1,96	-1,5
Деркул – п. Плошкино	1160	16	1,45	1,66	-12,6
Чижа 1-я – с. Чижа 1-я	456	45	1,70	1,67	1,8
Чижа 2-я – с. Чижа 2-я	509	38	2,36	1,89	+24,8
Шаган – п. Новенький	4970	6	2,48	2,49	-0,4
Елек – ж. д. рзд. № 47	1090	29	1,70	1,76	-3,4
Елек – г. Актобе	11000	57	1,90	1,59	+19,4
Кобда – с. Новоалексеевка	8090	39	0,95	0,86	+9,5
Сарыкобда – п. Бессарабский	675	31	1,05	1,01	+4,0
Каракобда – с. Альпайсай	2240	38	1,16	1,45	-20,0
Каргала (Жақсы Каргала) – г. Актобе (Питомник)	5000	45	2,67	2,24	+16,1
Караганда – п. Кандагач	222	26	1,5	1,62	-7,4
Тамды – г. Актобе (Гормолзавод)	169	2	2,0	1,0	+100
Песчанка – п. Подгорный	97	1	3,0	1,24	+142
Карабутак – с. Карабутак	117	114	4,5	4,01	+12,2
Коксистек – с. Кок-Истек	281	45	4,0	4,06	-1,2
Караоба – с. Аигаты	330	23	1,50	2,58	-41,9
Актасты – п. Белогорский	45	48	4,0	4,89	-18,2

Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Число лет наблюдений	Норма стока в л/с км ²		Отклонение в %
			по карте	за многолетний период	
Терсбутақ – п. Белогорский	19,8	35	4,0	5,30	-24,5
Терсбутақ – с. Терсбутақ	81,2	1	3,0	4,31	-30,4
Терсаккан – п. Астарханский	446	38	1,15	1,07	+7,4
Шынгырлау (Утва) – п. Белогорский	2410	29	0,99	0,98	+1,0
Шынгырлау – п. Григорьевска	4460	39	1,23	0,83	+48,0
Калдыгайты – с. Жигерлен	2510	32	0,66	0,77	-14,3
Шидерты – свх. Жамбейты	750	24	0,96	1,49	-36,0
Куперанакты – свх. Алгабас	373	34	1,5	1,41	+6,0
Оленты – с. Жамбейты	1290	28	0,85	1,01	-18,8
Булдурты – п. Караагач	457	21	0,99	1,24	-20,2
Ор – с. Енбекши	1620	22	0,74	0,69	+7,2
Ор – с. Бугетсай	7480	41	0,80	0,78	+2,5
Ойыл – аул. Алты-Карасу	7030	44	0,62	0,77	-19,5
Ойыл – г. Ойыл	17100	19	0,50	0,53	-5,7
Ойыл – Тайсоганская РТС	25800	7	0,25	0,28	-10,7
Киыл – с. Новонадеждинский	720	34	0,75	1,40	-46,4
Ащыойыл – ур. Маймақ	4900	30	0,23	0,25	-8,0
Сағыз – свх. Алтай	4960	17	0,19	0,15	+27
Сағыз – аул. Сарытоғай	5250	11	0,15	0,13	+15,4
Сағыз – ст. Сағыз	9930	37	0,11	0,11	0,0
Жем – с. Жаркамыс	26000	33	0,55	0,52	+5,7
Жем – с. Жанибек	34700	28	0,28	0,36	-22,2
Жем – аул Аралтобе	34100	13	0,30	0,39	-23,1
Кызыладсай – с. Шийлиаша	373	34	0,79	0,72	+ 6,3
Шығырқумды – аул № 10 (с. Энбекши)	1110	30	0,96	0,80	+16,6
Шийли – аул Акший	318	33	0,86	1,32	-34,8
Темир – с. Покровский	1160	16	1,45	1,42	+2,1
Темир – с. Ленинский	5410	47	0,90	0,87	+3,4
Жаман – Каргала – свх. Жамбыл	925	1	3,80	2,67	+42,4
Женишке – г. Актобе	332	2	1,9	2,71	-29,9
Таниберген – Жана – Елек	709	2	1,70	0,51	+238
Иткараган – свх. Джеренькопинский	882	1	1,15	1,33	-13,5
Каркобда – с. Каракобда	896	4	1,50	1,37	+9,5
Шолаканакты – с. Алгабас	537	25	1,50	0,84	+78,6
Калдыгайы – с. Каратобе	4440	3	0,61	0,54	+13,0
Булдурты – свх. Бултуртинский	2200	11*	0,66	0,29	+128
Булдурты – свх. Абая	3280	31	0,68	0,15	+353

Примечание: * – Сток этих лет восстановлен по стоку вегетационного периода.

Объединение методик считается эффективным, если погрешность расчёта по совокупности методик будет меньше погрешности полученной методики.

Рассмотрим возможность использования этой методики для расчёта нормы стока рек бассейна р. Елек. Средняя относительная погрешность расчёта стока по зависимости $M_0 = f(F < 3000)$ и по карте изолиний в районе соответственно равна 58,9 % и 39,5 %, а при исключении данных стока рек Песчанки и Таниберген – 44,7 % и 21,8 %. Среднеквадратическая погрешность расчёта по первой методике – 1,09 л/с·км² по второй – 0,85 л/с·км². Наилучшей является вторая методика. В результате объединения двух методик, указанная выше относительная погрешность составит 44,0 % и 26 %, средняя квадратическая ошибка 0,83 л/с·км². Как видно из этих данных, расчёт стока по совокупности двух методик приводит к некоторому увеличению относительной погрешности и некоторому уменьшению средней квадратической погрешности. Различие в ошибках, вероятно, лежит в пределах точности расчёта. Следовательно, использование объединённой методики расчёта стока недостаточно эффективно.

Рассмотрим реки левобережной части бассейна р. Жайык в пределах РК. Среднеквадратическая погрешность расчёта нормы по зависимости $M_0 = f(F < 3000)$ в данном районе – 0,45 л/с·км² (включая сток р. Булдурты), по карте изолиний – 0,46 л/с·км². Поскольку погрешность расчёта по двум способам почти одинакова, расчётное значение нормы стока можно принять как среднеарифметическое. В этом случае погрешность расчёта составляет – 0,46 л/с·км². Средняя относительная погрешность расчёта по зависимости $M_0 = f(F < 3000)$ и по карте изолиний соответственно равна 53,8 % и 53,1 %, при исключении данных р. Булдурты, погрешности уменьшаются до 28,1 % и 24,2 % соответственно.

Таким образом, норму годового стока рек бассейнов Елек, Ойыл, Сагиз и Жем рекомендуется определять по карте изолинии модуля годового стока. Норму стока рек правобережной части бассейна р. Жайык в пределах РК – по зависимости модуля стока от средней высоты водосбора $M_0 = f(H)$. Расчёт можно производить по уравнению регрессии $M_0 = 0,017H - 0,176$. Оценку нормы стока рек левобережной части бассейна р. Жайык – по объединённой методике, т.е. по среднеарифметическому значению стока, определённого по карте изолиний и зависимости $M_0 = f(F)$ (рис. д) или по уравнению регрессии $M_0 = -1,0 \cdot \lg F + 4,12$.

Чтобы учесть изменение величины стока за последние годы (1974...2004 гг.), норму стока, определённую по карте или по эмпирическим зависимостям, необходимо уменьшить: на 11 % для рек бассейнов Ойыл, Сагиз и Жем, на 14 % для рек бассейна Елек, на 15 % и 7 % соответственно для рек правобережной и левобережной частей бассейна Жайык в пределах РК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1962 – 546 с.
2. Голубцов В.В. К вопросу методики расчёта нормы годового стока малых водотоков засушливой зоны // Труды КазНИГМИ – 1963 – вып. 18. – С. 29-34.
3. Голубцов В.В. Определение нормы годового стока малых рек и временных водотоков засушливой зоны Казахстана // Гидрометеорология и экология – 2007, № 1 – С. 65-73.
4. Давлетгалиев С.К. Совокупная оценка нормы месячного стока рек Северной и Западной Джунгарии // Вестник КазГУ. Сер. географическая – 1996 - №3 С. 99-109.
5. Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В. Методика расчёта нормы годового стока рек и временных водотоков Центрального Казахстана // Труды КазНИГМИ – 1967 – вып. 26. – С. 128-144.
6. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик СП-33-101-2003. – М.: Госстрой России. – 71 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР, Нижнее Поволжье и Западный Казахстан т.12 – Вып.III. Актюбинская область – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 515 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. т.12 – Вып.II. Урало-Эмбинский район – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 512 с.
9. Рождественский А.В., Ежов А.В., Бусалаева Л.И. Гидрологические расчёты с одновременным использованием фактических наблюдений и региональных зависимостей // Метеорология и гидрология 1992 № 1 С. 70-79.
10. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчётов – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 276 с.

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

**ЖАЙЫҚ-ЖЕМ АЙМАҚ ӨЗЕНДЕРІНІҢ БАҚЫЛАУ МӘЛІМЕТТЕРІ
ЖОҚ БОЛҒАН ЖАҒДАЙДА ЖЫЛДЫҚ ҚАЛЫПТЫ
АҒЫНДЫНЫ БАҒАЛАУ**

Геогр. ғылымд. докторы С.Қ. Дәулетқалиев

Аймақтың өзендер ағындысының сужинау алабынан тәуелділігі зерттелген. Ағындының орташа көпжылдық модуль изосызықтарының картасы жасалған. Бақылау мәліметтері жоқ болған жағдайда кейбір алабтардағы қалыпты ағындыны есептеу ұсыныстары берілген. Ағындыны есептеудің дәлдігін бағалауы жүргізілген.