

УДК 551.524.34(574)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК И  
ВРЕМЕННЫХ ВОДОТОКОВ ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА**

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов

*Рассматривается способ расчета нормы годового стока малых рек и временных водотоков степных и полупустынных районов республики. В основу способа расчета положена зависимость показателя степени редукции нормы годового стока по площади от зональной нормы годового стока рек с площадью водосбора  $F \geq 3000 \text{ км}^2$ . Предложенный способ позволяет рассчитывать норму стока малых рек и временных водотоков Северного, Центрального и Западного Казахстана, а также Северного Прибалхашья.*

Редукция – изменение нормы годового стока рек и временных водотоков в зависимости от размеров их водосборов в зонах с разным уровнем увлажнения имеет разный характер. Разнообразие проявления редукции нормы годового стока по площади можно проследить в пределах территории России и Казахстана.

В районах избыточного увлажнения (преимущественно лесная зона России) редукция нормы годового стока по площади отсутствует. Это обусловлено высоким положением уровня грунтовых вод. В этих условиях реки с различными размерами площади водосбора и, следовательно, различными глубинами вреза их русел получают достаточное питание за счет грунтовых вод. В этих районах зональная норма годового стока превышает 4 л/с с 1 км<sup>2</sup>.

В районах достаточного увлажнения (преимущественно лесостепная зона России) норма годового стока рек уменьшается с уменьшением площади их водосборов. Это обусловлено более глубоким по сравнению с районами избыточного увлажнения залеганием уровня грунтовых вод, когда только реки, имеющие большие площади водосбора и, следовательно, глубокий врез русел, получают достаточное грунтовое питание. Норма зонального годового стока в этих районах находится примерно в пределах 2...4 л/с с 1 км<sup>2</sup>.

В районах недостаточного увлажнения (это в основном степная и полупустынная зоны Казахстана) норма среднего годового стока рек и временных водотоков увеличивается с уменьшением их площади. Это обусловлено увеличением потерь стока на водосборах больших размеров

по сравнению с водосборами меньшей площади. Грунтовые воды в этих районах залегают очень глубоко и практически не принимают участие в формировании стока, даже рек с площадью водосбора  $F \geq 3000 \text{ км}^2$ . Зональная норма стока рек в этих районах не превышает  $1 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$ .

Следует отметить, что между двумя последними районами существует промежуточная зона (в основном это южная часть лесостепи на северо-западе Казахстана), где не проявляется зависимость нормы годового стока рек от площади их водосбора. В этой зоне потери стока, увеличивающиеся с увеличением площади водосбора, компенсируются увеличением подземного питания рек [7, 8]. Зональная норма стока рек в этой промежуточной зоне составляет  $1 \dots 2 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$ .

Рассмотрим более детально изменение редукиции нормы годового стока рек и временных водотоков по площади их водосборов для степных и полупустынных районов Казахстана.

При разработке методик гидрологических расчетов для этих районов основное внимание уделяется определению коэффициентов перехода от нормы годового стока рек с площадью водосбора  $F \geq 3000 \text{ км}^2$  (зональной нормы годового стока) к норме стока малых рек и временных водотоков. Эти переходные коэффициенты определяются с помощью следующего выражения:

$$K = \left( \frac{3000}{F + 1} \right)^n, \quad (1)$$

где  $K$  – переходный коэффициент от стока средних рек с площадью водосбора более  $3000 \text{ км}^2$  к стоку малых рек и временных водотоков;  $F$  – площадь водосбора водотока, с  $F < 3000 \text{ км}^2$ ;  $n$  – показатель степени редукиции.

В результате проведения экспедиционных исследований и обобщения полученных материалов ГГИ (ныне ГУ-ГГИ) в 50-х – 60-х годах прошлого века были определены переходные коэффициенты от нормы годового стока рек с площадью водосбора  $F \geq 3000 \text{ км}^2$  к норме годового стока малых рек и временных водотоков для отдельных регионов Северного Казахстана и Алтайского края. По исследованиям ГГИ величина переходных коэффициентов от стока средних рек с площадью водосбора более  $3000 \text{ км}^2$  к стоку малых рек и временных водотоков зависит от величины стока средних рек. В дальнейшем значения полученных переходных коэффициентов были систематизированы в соответствии с выявленной закономерностью их изменения – увеличением, по мере уменьшения нормы годового стока рек с площадью водосбора  $F \geq 3000 \text{ км}^2$  [1]. В резуль-

тате этой систематизации для степных и полупустынных районов Северного Казахстана была разработана обобщенная таблица рассматриваемых переходных коэффициентов для значений модуля зонального годового стока равных 0,1 л/с с 1 км<sup>2</sup> и менее, а также 0,2, 0,3, 0,4, и 0,5 л/с с 1 км<sup>2</sup> и более. Данные этой таблицы были предназначены для определения нормы годового стока малых водотоков при использовании карт зонального годового стока, построенных по данным наблюдений на реках с площадью водосбора  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup>.

По нашему мнению, для решения этой задачи более предпочтительной является реализация отмеченной выше закономерности путем построения зависимости показателя степени редукции  $n$  от модуля зонального стока рек с помощью водосбора  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup>. Для конкретизации этой зависимости автором использованы карты нормы стока средних рек и районные показатели редукции, приведенные в работе ГГИ [5] и Казахского НИГМИ [3]. Определение средней величины нормы стока рек (с  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup>) для районных показателей степени редукции производилось планиметрированием карт стока [3]. В районах, где не наблюдается существенных изменений стока по территории, определение средней величины нормы стока производилось с помощью редукционных зависимостей [5]. Показатели степени редукции в отдельных случаях вычислялись с помощью переходных коэффициентов или редукционных зависимостей [2].

Средние значения нормы годового стока рек  $M_{F \geq 3000}$  и соответствующие им районные показатели степени редукции  $n$  приведены в табл. 1 [2, 6].

Приведенные в этой таблице данные были использованы для построения зависимости  $n = f(M_{F \geq 3000})$ .

Эта зависимость (рис. 1) имеет следующее аналитическое выражение:

$$n = -0,1249 \ln M_{F \geq 3000} \quad (2)$$

или

$$M_{F \geq 3000} = \frac{1}{3000^n} \quad (3)$$

или

$$M_{F \geq 3000} = \exp(-8,006n), \quad (4)$$

где  $M_{F \geq 3000}$  – модуль среднего годового стока рек с площадью водосбора  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup> в л/с, с 1 км<sup>2</sup>;  $n$  – районный показатель степени редукции.

Таблица 1

Средняя величина нормы годового стока и районные показатели степени редукиции

Область, край	Район показателя степени редукиции	Норма годового стока $M_{F \geq 3000}$ , л/с с 1 км <sup>2</sup>	Показатель степени редукиции $n$
Целиноградская	I	0,53	0,07
Целиноградская	II	0,36	0,12
Целиноградская	III	0,18	0,19
Кокчетавская	I	0,61	0,07
Кокчетавская	II	0,44	0,12
Кокчетавская	III	0,2	0,19
Кустанайская	-	0,24	0,2
Северо-Казахстанская	-	0,11	0,3
Павлодарская	-	0,07	0,27
Алтайский край	I	0,11	0,28
Алтайский край	Б	0,1	0,35
Карагандинская	зап. часть	0,3	0,16
Карагандинская	вост. часть	0,3	0,14

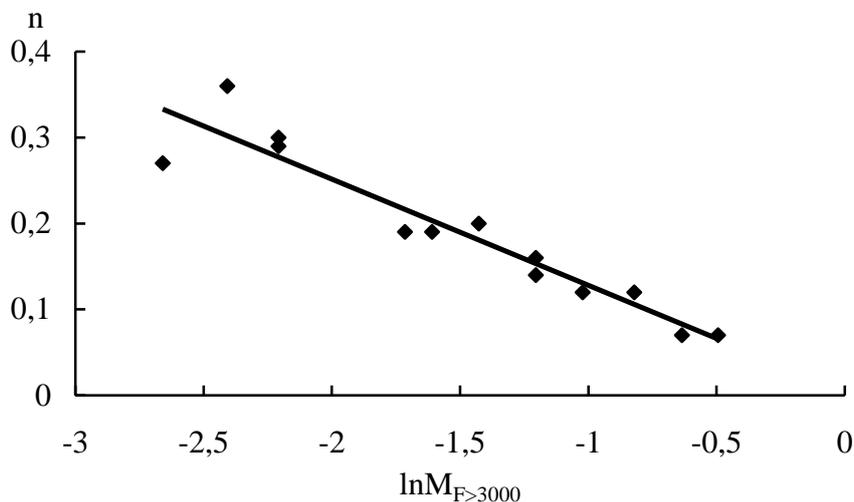


Рис. 1. Зависимость показателя степени редукиции от натурального логарифма модуля среднего годового стока рек с  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup>.

Коэффициент корреляции зависимости (2) равен  $0,95 \pm 0,017$ . Единица в числителе формулы (3) является предельным значением модуля среднего годового стока рек с  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup>, выше которого не наблюдается увеличения среднего годового стока с уменьшением площади водосбора. Величина 3000 в знаменателе – площадь водосбора, км<sup>2</sup>. Последняя является

пределом, от которого начинается увеличение модуля стока с уменьшением площади водосбора. Указанная величина, полученная ГГИ для рек Северного Казахстана, подтверждается исследованиями КазНИГМИ в западной части Карагандинской области [6].

Следует отметить, что выражение (2), записанное в другой форме, было ранее получено автором [2] в виде аналитического представления графической зависимости  $M_{F \geq 3000} = f(n)$ , построенной по данным таблицы 1. В дальнейшем оно использовалось при определении нормы среднегодового стока малых рек и временных водотоков Карагандинской области [6].

Необходимо отметить, что для равнинных районов Западного Казахстана значение показателя степени редукции, соответствующее определенной величине модуля зонального годового стока рек  $M_{F \geq 3000}$ , опубликованной в монографии [7], значительно отличается от данных, приведенных в табл. 1. Для определения влияния площади водосбора на модуль среднего годового стока рек авторами этой монографии были использованы гидрологические наблюдения Западно-Казахстанской стоковой станции в бассейне реки Ащиуил. В результате для этого бассейна был получен показатель степени редукции равный 0,045 [7]. Положив в основу это значение, авторы методики, рассчитав переходные коэффициенты для водосборов различных размеров, построили интерполяционные графики, приняв в качестве начального значения показатель степени редукции равный нулю при значении модуля среднего годового стока 0,4 л/с 1 км<sup>2</sup>, и в качестве конечного значения – 0,21 при значении модуля стока равного 0,1 л/сек с 1 км<sup>2</sup>. Отличие приведенных в монографии [7] показателей степени редукции модуля среднего годового стока по площади водосборов от аналогичных параметров для регионов Северного Казахстана заставило автора статьи подвергнуть использованные данные по годовому стоку в бассейне реки Ащиуил дополнительному анализу. В результате этого анализа, при установлении зависимости модуля годового стока от площади водосборов, были исключены из рассмотрения значения стока с водосборов размером менее 20 км<sup>2</sup>, в связи с влиянием на их величину ветрового снеготранспорта, приводящего в условиях равнинного рельефа местности к уменьшению запасов влаги в снеге перед началом весеннего снеготаяния. Кроме того, были исключены из рассмотрения данные по стоку лога Лимансай, в связи с занижением годового стока, по-видимому, за счет влияния азонального фактора – аномальной инфильтрационной способности почвогрунтов, и выражающимся в относительно учащенном отсутствии

весеннего и годового стока в отдельные годы по сравнению с данными по другим соседним водотокам.

В результате использования остальных данных по стоку водотоков в бассейне р. Ащиуил и учета того, что увеличение нормы стока наблюдается для рек и временных водотоков с площадью водосбора менее 3000 км<sup>2</sup>, показатель степени редукиции был получен равным 0,12. Такая оценка показателя степени редукиции для бассейна р. Ащиуил, расположенного между изолиниями зональной нормы годового стока 0,3 л/с с 1 км<sup>2</sup> и 0,4 л/сек с 1 км<sup>2</sup>, хорошо согласуется с аналогичными значениями этого параметра для Акмолинской и Кокшетауской областей республики.

Таким образом, следует полагать, что зависимость показателя степени редукиции модуля среднего годового стока рек и временных водотоков по площади, полученная в основном для районов Северного и Центрального Казахстана, может быть использована и для территории Западного Казахстана. Эта зависимость, по-видимому, также может быть использована и для территории Северного Прибалхашья, характеризующейся аналогичными значениями зональной нормы годового стока рек.

С помощью зависимости (2), можно определить показатель степени редукиции нормы среднего годового стока рек и временных водотоков по площади водосбора, в зависимости от модуля зонального среднего годового стока рек до значений 1 л/с с 1 км<sup>2</sup>.

Формула (2) характеризует изменение редукиции в зависимости от величины стока средних рек. Уменьшение или увеличение редукиции наблюдается как при изменении стока по территории, так и в пределах одного водосбора в различные по водности годы. Меньшая редукиция годового стока по площади имеет место в более увлажненных районах с небольшим количеством бессточных площадей в бассейнах средних рек. В малоувлажненных районах редукиция увеличивается в результате значительного удельного веса недействующих площадей в бассейнах средних рек и сильно проявляющейся зависимости потерь стока на фильтрацию от длины пути, проходящего талыми водами [1, 2]. Очевидно, чем больше водоносность рек территории или чем больше водность года в пределах одного района, тем разница между стоком средних рек и малых водотоков будет меньше.

Полученная зависимость может быть использована для расчета стока малых рек и временных водотоков по карте стока средних рек в районах, где его величина не превышает 1 л/с с 1 км<sup>2</sup>. Порядок определения стока малых водотоков следующий. По карте или зависимостям нормы стока от средней

высоты водосбора определяется для малого водотока величина стока  $M_{F \geq 3000}$ . Зная  $M_{F \geq 3000}$ , по формуле (2) вычисляется показатель степени редукции  $n$ . Переходный коэффициент  $K$  от стока средних рек с  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup> к его величине для малого водотока вычисляется по формуле (1). Средний годовой сток малого водотока  $M_F$  определяется как произведение модуля стока средних рек  $M_{F \geq 3000}$  и переходного коэффициента  $K$ .

$$M_F = kM_{F \geq 3000}. \quad (5)$$

При выполнении этих расчетов необходимо уделять внимание и оценке влияния на сток азональных факторов [4, 6].

Подставим в соотношение (5) вместо  $K$  его значение (1). Затем, заменив величину  $3000^n$  из выражения (3), получим:

$$M_F = \frac{1}{(F + 1)^n}. \quad (6)$$

Далее, заменив  $n$  его значением (2), получим следующую формулу

$$M_F = (F + 1)^{0,1249 \ln M_{F \geq 3000}}. \quad (7)$$

Эта формула отражает зависимость модуля среднего годового стока малых рек и временных водотоков  $M_F$  с  $F < 3000$  км<sup>2</sup> и модуля зонального годового стока  $M_{F \geq 3000}$ . Она может быть использована для определения  $M_F$  в районах с  $M_{F \geq 3000}$  меньше 1 л/с с 1 км<sup>2</sup> [4].

В табл. 2 для степных и полупустынных районов Казахстана приведены коэффициенты перехода от зональной нормы годового стока рек ( $F \geq 3000$  км<sup>2</sup>) к значениям среднего годового стока малых водотоков.

Представленные в этой таблице переходные коэффициенты рассчитаны с помощью зависимостей (2) и (1) для значений зонального модуля среднего годового стока 0,05, 0,10, 0,20, 0,30, 0,40 и 0,50 л/с с 1 км<sup>2</sup>. Они дают наглядное представление об их изменении в зависимости от модуля зонального среднего годового стока и площади водосборов рек и временных водотоков. Например, для площади водосбора 50 км<sup>2</sup> эти переходные коэффициенты изменяются от 1,42 при  $M_{F \geq 3000} = 0,5$  л/с с 1 км<sup>2</sup> до 4,59 при  $M_{F \geq 3000} = 0,05$  л/с с 1 км<sup>2</sup>.

Таблица 2

Переходные коэффициенты  $K$  от зональной нормы годового стока с  $F \geq 3000$  км<sup>2</sup> к стоку малых водотоков

$M_{F \geq 3000}$	Площадь, км <sup>2</sup>							
	10	20	50	100	200	500	1000	3000
0,05	8,15	6,40	4,59	3,56	2,75	1,95	1,51	1,00
0,10	5,02	4,17	3,23	2,65	2,18	1,67	1,37	1,00
0,20	3,09	2,71	2,27	1,98	1,72	1,43	1,25	1,00
0,30	2,32	2,11	1,85	1,67	1,50	1,31	1,18	1,00
0,40	1,90	1,76	1,59	1,47	1,36	1,23	1,13	1,00
0,50	1,63	1,54	1,42	1,34	1,26	1,17	1,10	1,00

Положительные ( $K > 1$ ) поправочные коэффициенты к значениям зонального стока для малых рек и временных водотоков с  $F \leq 3000$  км<sup>2</sup> указывают на значительные потенциальные возможности использования местных ресурсов поверхностных вод засушливых регионов Казахстана, имеющим в средние по водности годы модуль зонального годового стока  $M_{F \geq 3000} \leq 0,5 \dots 1,0$  л/с с 1 км<sup>2</sup>.

Исследование редукции годового стока показывает, что в этих регионах путем увеличения количества прудов и прудокопаней на малых реках и временных водотоках, например, с площадью водосборов около 50 км<sup>2</sup> можно существенно увеличить объем используемых местных ресурсов поверхностных вод по сравнению с возможностями их использования путем строительства водохранилищ на реках с площадью водосборов более 3000 км<sup>2</sup>. Такую возможность более эффективного использования ресурсов поверхностных вод подтверждают реальные условия формирования стока временных водотоков, расположенных на территории бывшей Северо-Казахстанской области. В ее пределах временные водотоки имеют площадь водосборов в среднем около 50 км<sup>2</sup>. Значения площадей водосборов этих временных водотоков в условиях равнинной местности ограничиваются указанными размерами в связи с их впадением в расположенные на этой территории многочисленные бессточные озера.

Проведенная ГГИ количественная оценка реальных ресурсов местного стока этих водотоков в средний по водности год оказалась равной 529 млн. м<sup>3</sup> [9]. В то же время ресурсы поверхностных вод местного зонального стока ( $F \geq 3000$  м<sup>2</sup>) в пределах этой территории составляют всего около 150 млн. м<sup>3</sup>, т.е. более чем в три раза меньше. Таким образом природные условия этого региона позволяют наглядно оценить и подтвердить реальную

возможность эффективного использования малых рек и временных водотоков по сравнению с использованием средних рек с  $F \geq 3000 \text{ км}^2$ .

Следует отметить, что эффект использования ресурсов поверхностных вод путем водозабора из естественных (озера) или искусственных (пруды, прудокопани) водоемов существенно снижается за счет испарения с их поверхности. Поэтому в перспективе при использовании ресурсов поверхностных вод необходимо предусматривать меры по сокращению потерь воды на испарение. Одним из наиболее эффективных способов сокращения этих потерь является уменьшение испаряющей поверхности водоемов и создание подземных хранилищ пресной воды. Такие хранилища воды создавали и успешно использовали еще аборигены Южной Америки. Предлагаемые меры позволят существенно повысить эффективность использования ресурсов поверхностных вод засушливых регионов республики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 546 с.
2. Голубцов В.В. К вопросу методики расчета нормы стока малых водотоков засушливой зоны // Труды КазНИГМИ. – 1963. – Вып. 18. – С. 29-34.
3. Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В. Ресурсы поверхностных вод Джезказганского промышленного района. Большой Джезказган. Водообеспечение, энергетика, строительство, транспорт, сельское хозяйство // Труды Объединенной научной сессии по проблемам развития производительных сил Джезказганского промышленного района. – Алматы: Изд-во «АН КазССР», 1963. – С. 45-49.
4. Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В. Методика расчета нормы годового стока рек и временных водотоков Центрального Казахстана // Труды КазНИГМИ. – 1967. – Вып. 26. – С. 128-144.
5. Методические рекомендации к составлению справочника по водным ресурсам СССР. – Валдай: ГГИ, 1961. – 108 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. Г.Л. Шимкевич. – Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. – Вып. I. Карагандинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 482 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан / Под общей ред. М.С. Протасьева. – Т. 12. – Вып. III. Актюбинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 515 с.

8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан / Под ред. И.Б. Вольфцуна, К.И. Смирнова. – Т. 12. – Вып. II. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 512 с.
9. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под общей ред. В.А. Урываева – Вып.V. Северо-Казахстанская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 419 с.

РГП «Казгидромет»

## **ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚҰРҒАҚ ЗОНАСЫНДАҒЫ УАҚЫТША АҒЫН СУЛАРДЫ ЖӘНЕ КІШІ ӨЗЕНДЕРДЕГІ ЖЫЛДЫҚ АҒЫННЫҢ МӨЛШЕРІН АҢЫҚТАУ**

Геоғр. ғылымд. канд В.В. Голубцов

*Республиканың дала және шөлейт аудандарындағы уақытша ағын суларды және кіші өзендердегі жылдық ағынның мөлшерін есептеу тәсілі қарастырылып жатыр. Есептеу тәсілінің негізіне ауданы бойынша жылдық ағын мөлшерігің редуциялану дәрежесі көрсеткішінің су жинау алабы  $F \geq 3000 \text{ км}^2$  болатын өзеннің ендіктік жылдық ағынына тәуелділігі жатады. Бұл тәсіл Солтүстік, Орта және Батыс Қазақстан, сондай-ақ Солтүстік Балхаш маңының ағын суларын және кіші өзендердегі жылдық ағынның мөлшерін есептеуге мүмкіндік береді.*