

УДК 556.532.226.16

**Г. Е. ГЛАЗЫРИН<sup>1</sup>, В. М. ДУБИНСКИЙ<sup>2</sup>, М. Г. ГЛАЗЫРИНА<sup>3</sup>, И. В. БУРЦЕВ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Доктор геогр. наук, профессор (Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан), gleb.glazirin@gmx.net

<sup>2</sup> В.н.с., заведующий межотраслевой лабораторией водных ресурсов

(Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан)

<sup>3</sup> Канд. техн. наук, н.с. ИКАРДА-ЦАК (ICARDA-CAC – International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Regional program in Central Asia and the Caucasus, Ташкент, Узбекистан)

<sup>4</sup> Студент (Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан)

## НОВАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕКИ АХАНГАРАН

*Выполнены расчеты поверхностных водных ресурсов бассейна р. Ахангаран, в котором находится крупный агропромышленный район. Для этого использована зависимость модулей стока частных рек бассейна от высоты местности, рассчитанных по материалам гидрологических наблюдений с 1951 по 2011 г. Полученные результаты, безусловно, будут полезны при планировании водопользования в бассейне.*

**Ключевые слова:** водные ресурсы, оценка, модель стока.

**Введение.** Река Ахангаран является правым притоком р. Сырдарии ниже выхода последней из Ферганской долины. Близость к самому крупному городу Средней Азии – Ташкенту обусловила очень интенсивное развитие в ее бассейне и сельского хозяйства, и промышленности. Здесь расположен Ангрэн-Алмалык-Ахангаранский агропромышленный район, включающий крупнейшие в Узбекистане промышленные комплексы (угледобывающий, энергетический, горно-металлургический) [6]. Очевидно, что все отрасли хозяйства и довольно многочисленное население постоянно нуждаются в воде. Поэтому оценка водных ресурсов, в первую очередь поверхностных, является важной задачей. Такая оценка делалась неоднократно [1, 4, 7, 8 и др.], последний раз – в работе [5]. Однако даже в ней использованы данные о стоке рек лишь до 1990 г. Учитывая важность задачи и то, что в нашем распоряжении имелись данные по 2011 г. включительно, мы решили вновь рассчитать водные ресурсы реки в двух гидрологических створах, расположенных в средней и нижней части бассейна.

**Методика.** Общепринятый способ расчета водных ресурсов предполагает знание модулей стока. Напомним, что модулем стока называется величина, равная отношению среднего за некоторый период (чаще всего – год) стока  $Q$  к площади  $F$ , на которой он формируется, и имеющая размерность в л·с<sup>-1</sup>·км<sup>-2</sup>. Она вычисляется по простой формуле:

$$m = \frac{Q}{F} \cdot 1000, \quad (1)$$

где размерность  $Q$  – в м<sup>3</sup>/с, а  $F$  – в км<sup>2</sup>. Эта величина может быть рассчитана как для целого речного бассейна, так и для отдельных его участков, например высотных зон. Она очень полезна при оценке водных ресурсов рек, поэтому расчет ее изменений по территории является важной задачей гидрологических расчетов. В горах модуль стока, как правило, сильно меняется с высотой местности.

В настоящее время существуют два метода расчета зависимостей модулей стока от высоты местности. Один из них – непосредственное построение связей средних для частных бассейнов модулей стока от средних высот бассейнов  $M(Zm)$ . Он применяется наиболее широко. Второй, позволяющий расширить диапазон зависимостей по высоте, предполагает расчет так называемых

зональных модулей стока  $m(Z)$ . Он был предложен М. Н. Большаковым [1], а его формализация – в работах [2, 3]. В этой последней версии метода необходимо задать аналитический вид зависимости  $m(Z)$  и затем подобрать ее параметры.

Опыт работы показал, что наиболее подходящими для этой цели являются функции следующего вида [2]:

$$m(Z) = a + b \cdot \exp(Z) \quad (2)$$

и

$$m(Z) = a \cdot \exp\left(-\frac{(Z-c)^2}{b}\right). \quad (3)$$

Здесь  $a$ ,  $b$  и  $c$  – параметры.

Функция (2) возрастает неограниченно при  $b > 0$ , а функция (3) имеет максимум при  $Z = c$  ( $a, b, c > 0$ ). Следовательно, она может быть использована и для тех районов, где существует так называемый «гребень осадков», то есть высота, выше которой осадки начинают убывать.

Помимо этих двух функций подходящим может оказаться и «логистическое уравнение» [9], широко применяемое при моделировании динамики популяций. Для наших целей оно представлено в следующем виде:

$$m(Z) = \frac{K \cdot P_0 \cdot \exp(r \cdot (Z - Z_0))}{K + P_0 \cdot (\exp(r \cdot (Z - Z_0)) - 1)}, \quad (4)$$

где  $K$ ,  $P_0$ ,  $r$  и  $Z_0$  – положительные параметры. При  $Z \rightarrow \infty$   $m(Z)$  стремится к нулю, а при  $Z \rightarrow -\infty$  – к величине  $K$ .

Тип используемой формулы определяется видом экспериментальной зависимости  $M(Z_m)$  и некоторыми априорными соображениями, в частности имеется ли в пределах рассматриваемого бассейна гребень осадков, можно ли считать, что при малых  $Z$  кривая  $m(Z)$  быстро стремится к нулю, и др. [2].

Еще одно важное соображение: чем шире диапазон средних высот частных бассейнов, для которых строится единая зависимость  $m(Z)$ , тем меньше эта зависимость будет отличаться от  $M(Z_m)$ . Как будет видно дальше, в нашем случае этот диапазон весьма велик. Поэтому мы будем искать зависимость зональных модулей стока от высоты  $m(Z)$  непосредственно по зависимости средних для бассейнов модулей от средних высот бассейнов, то есть считать, что  $m(Z) = M(Z_m)$ . Зависимость будем искать в виде формулы (2), подбирая такие параметры, при которых сумма квадратов отклонений истинных значений  $M$  от рассчитанных будет наименьшей.

**Исходные материалы.** Бассейн р. Ахангаран в гидрологическом отношении изучен довольно хорошо. В течение нескольких лет там существовала стоковая станция «Кызылча», на которой исследовалось формирование стока среднегорных рек. В разное время в бассейне работало около 40 гидрологических станций [5]. К сожалению, многие из них существовали лишь по несколько лет и их данные не могут быть нами использованы. Кроме того, мы не можем использовать данные станций, расположенных на основной реке в среднем и нижнем ее течении, так как они, во-первых, сильно осредняют значения модулей стока расположенных выше частей бассейна, а во-вторых, сток реки там подвержен сильному антропогенному воздействию (строительство плотин, забор воды на орошение, промышленные и коммунальные нужды).

В таблице 1 приведены сведения о бассейнах и стоке притоков р. Ахангаран, данные которых были использованы в расчетах.

Как видно из этой таблицы, периоды работы станций сильно отличаются, поэтому для получения однородных рядов пришлось восстанавливать средние многолетние расходы воды за некоторый период с помощью обычно используемых корреляционных связей со стоком рек-аналогов. Имеющиеся данные позволили сделать это достаточно надежно для периода 1951–2011 гг. В качестве рек-аналогов были взяты Кызылча (кишлак Иерташ), Карабау (село Самарчук) и Шаугаз (урочище Караташ). В таблице показаны средние многолетние среднегодовые расходы воды как за периоды наблюдений  $Q_r$ , так и восстановленные для расчетного периода  $Q$ .

Диапазон средних высот бассейнов, отобранных для дальнейших расчетов, от 1,45 до 2,93 км, а площадей бассейнов – от 3,3 до 638 км<sup>2</sup>.

Таблица 1 – Сведения о бассейнах и стоке притоков р. Ахангаран

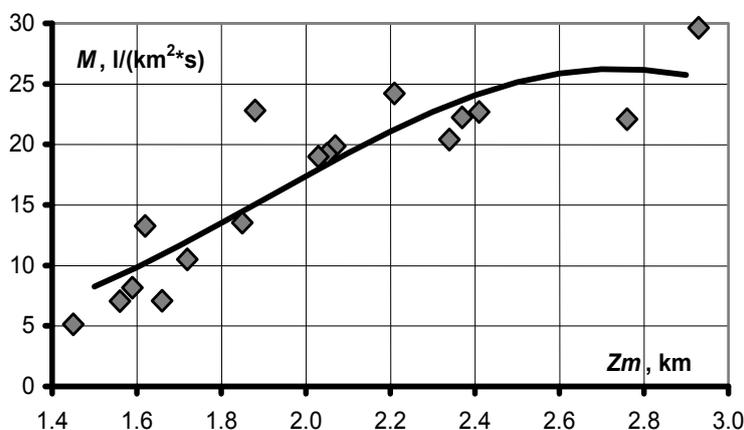
Река	Пост	$F$ , км <sup>2</sup>	$Zm$ , км	Период работы	Расход воды, м <sup>3</sup> /с		$M$ , л·км <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>
					$Qr$	$Q$	
Давансай	Устье	10,6	2,93	1959 – 1970	0,31	0,31	29,6
Ахангаран	У. р. Якаарча	638	2,76	1949 – 1968	13,99	14,08	22,1
Безымянная	Устье	3,3	2,41	1959 – 1970	0,07	0,07	22,7
Головная	Устье	10,3	2,37	1959 – 1970	0,24	0,23	22,2
Кызылча	Кишл. Иерташ	51,6	2,34	1951 – 2011	1,04	1,05	20,4
Дукантсай	Пос. Дукант	201	2,21	1970 – 2011	4,51	4,87	24,2
Кутырбулак	Устье	8,8	2,07	1959 – 1964	0,19	0,17	19,8
Нишбаш	Кишл. Нишбаш	141	2,05	1951 – 2011	2,83	2,71	19,2
Карабау	Сел. Самарчук	166	2,03	1948 – 2011	3,20	3,15	19,0
Четыксай	Устье	8,7	1,88	1959 – 1969	0,09	0,20	22,8
Наугарзан	Сел. Турк	92,8	1,85	1960 – 1970	1,42	1,26	13,5
Гушсай	Кишл. Кочбулак	128	1,72	1979 – 1987	1,17	1,34	10,5
Шаугаз	Ур. Караташ	65,6	1,68	1951 – 2011	0,47	0,47	7,1
Шавазсай	Кишл. Джуваз	161	1,62	1954 – 1965	1,72	2,14	13,3
Абджазсай	Кишл. Абджаз	70,5	1,59	1978 – 2011	0,63	0,57	8,2
Акча	Кишл. Акча	125	1,56	1951 – 1983	0,76	0,88	7,0
Алмалык	Кишл. Карамазар	56,5	1,45	1951 – 1959	0,24	0,29	5,1

*Примечание:*  $F$  – площадь бассейна,  $Zm$  – средняя высота бассейна,  $Qr$  – средний многолетний годовой расход воды за периоды наблюдений,  $Q$  – восстановленный средний многолетний годовой расход воды за период 1951–2011 гг.,  $M$  – модуль стока, рассчитанный по восстановленному ряду.

**Результаты расчетов.** На рисунке показана зависимость средних для частных бассейнов модулей стока  $M$  от средних высот бассейнов  $Zm$ . Прежде всего, оказалось, что связь одинакова для всех бассейнов, т.е. в отличие от работы [5] нам не удалось выделить в бассейне р. Ахангаран отдельные однородные гидрологические районы. Мало того, совмещение на одном графике данных для трех районов, выделенных в [5], показывает, что они образуют практически одно поле точек. Поэтому и зависимость  $M(Zm) = m(Z)$  была найдена нами единой:

$$m(Z) = 26,2 \cdot \exp\left(-\frac{(Z - 2,74)^2}{1,33}\right). \quad (5)$$

Она также показана на рисунке.



Зависимость средних для бассейнов модулей стока  $M$  от средних высот бассейнов  $Zm$  и аппроксимирующая зависимость (5)

Теперь можно перейти к расчету средних многолетних водных ресурсов р. Ахангаран. Мы сделали это для двух створов: пост «Сел. Турк», замыкающий площадь водосбора, равную 1291 км<sup>2</sup>, и пост «Солдатское», расположенный в самых низовьях реки и замыкающий 5084 км<sup>2</sup> площади водосбора. Очевидно, что суммарный годовой расход в некотором створе равен:

$$Q = \sum_i q_i = \sum_i \frac{m_i \cdot f_i}{1000} \quad (6)$$

где  $i$  – номера высотных зон;  $m_i$  – модули стока в соответствующих высотных зонах;  $f_i$  – площади зон;  $q_i$  – частные расходы воды (расходы, формирующиеся в отдельных высотных зонах).

Результаты расчетов показаны в таблице 2. Как видим, средний многолетний расчетный среднегодовой расход воды в створе «Сел. Турк» равен 24,9 м<sup>3</sup>/с. Средний же измеренный сток равен 23,8 м<sup>3</sup>/с. Мы получили близкие значения, что и следовало ожидать, так как выше этого поста водозабора из реки практически нет. Соответствующие величины для поста «Солдатское» – 52,3 и 27,0 м<sup>3</sup>/с. Это означает, что в среднем с 1951 по 2011 г. из р. Ахангаран и ее притоков забиралась примерно половина воды.

Таблица 2 – Средние многолетние водные ресурсы р. Ахангаран

Сел. Турк				Сел. Солдатское			
Z, км	Zm, км	f, км <sup>2</sup>	q, м <sup>3</sup> /с	Z, км	Zm, км	f, км <sup>2</sup>	q, м <sup>3</sup> /с
				0,28 – 0,3	0,29	32	0.01
				0,3 – 0,8	0,55	1350	0.95
1,04 – 1,3	1,21	46	0,21	0,8 – 1,3	1,05	919	2.80
1,3 – 1,8	1,55	237	2,14	1,3 – 1,8	1,55	936	8.45
1,8 – 2,3	2,05	298	5,46	1,8 – 2,3	2,05	828	15.18
2,3 – 2,8	2,55	343	8,76	2,3 – 2,8	2,55	594	15.17
2,8 -3,3	3,05	303	7,39	2,8 – 3,3	3,05	361	8.81
3,3-3,8	3,55	55	0,88	3,3 – 3,8	3,55	55	0.88
3,8 – 4,0	3,87	9	0,09	3,8 – 4,0	3,87	9	0.09
Σ		1291	24.9			5084	52.3

*Примечания:* Z – пределы высот зон, Zm – средние отметки высот зон.

**Выводы и обсуждение.** Итак, мы рассчитали поверхностные водные ресурсы бассейна р. Ахангаран для двух створов. Удалось также показать, что примерно половина стока реки между постами «Турк» и «Солдатское» разбирается.

Однако зависимость на рисунке охватывает диапазон высот лишь от 1,4 до 3,0 км, тогда как значительная часть бассейна, ограниченного нижним створом, располагается гораздо ниже. Но следует учесть, что модули стока, как это хорошо видно на рисунке, быстро убывают при уменьшении высоты и ошибки экстраполяции зависимости (5) в область малых высот не должны существенно влиять на точность расчета суммарного стока с бассейна.

Полученные оценки, безусловно, не следует рассматривать как окончательные. Развитие методики расчетов, а также расширение базы данных о стоке и гипсометрии бассейнов позволят их уточнить. Кроме того, в нижней части бассейна должен иметь значение обмен поверхностных и подземных вод. Его расчет в условиях интенсивного водозабора довольно сложен. Тем не менее полученные нами результаты являются наиболее верными.

Мы считаем своим долгом выразить благодарность Ю. Н. Иванову за очень полезные советы и пожелания, которые мы от него получали.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков М.Н. Водные ресурсы рек Советского Тянь-Шаня и методы их расчета. – Фрунзе: Илим, 1974. – 308 с.
2. Глазырин Г.Е., Юнусова О.Ш. Объективизация методики расчета зональных модулей для горных районов // Гляциально-нивальные области Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1990. – С. 106–113.
3. Глазырин Г.Е., Страхова Н.Ю. Зональные модули стока и водные ресурсы бассейна р. Кашкадарьи // Гидрометеорология и экология. – 2011. – № 2. – С. 69–76.
4. Дубинский В.М., Лебедева М.А. К вопросу изучения водных ресурсов в бассейне р. Ахангаран // Сб. научн. трудов ТашГУ. – 1977. – Вып. 545. – С. 100–106.
5. Иванов Ю.Н., Чулпанова И.А. Водные ресурсы бассейна р. Ахангаран // Тр. САНИГМИ. – 2000. – Вып. 153(234). – С. 57–88.
6. Краткая географическая энциклопедия. – М.: Сов. Энциклопедия, 1960. – Т. 1. – 563 с.
7. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 692 с.
8. Шульц В.Л., Тимофеев Е.М., Надежин А.М. Основные черты гидрологии Средней Азии (жидкий сток). – Ташкент: Изд. Комитета наук Узбекистана, 1936. – 106 с.
9. Verhulst, P.F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement // Correspondance mathématique et physique. – 1838. – Vol. 10. – P. 113–121.

## REFERENCES

1. Bol'shakov M.N. Vodnye resursy rek Sovetskogo Tjan'-Shanja i metody ih rascheta. – Frunze: Ilim, 1974. – 308 s. (in Russ.).
2. Glazyrin G.E., Junusova O.Sh. Ob'ektivizacija metodiki rascheta zonal'nyh modulej dlja gornyh rajonov. Gljacial'no-nival'nye oblasti Tjan'-Shanja. Frunze: Ilim, 1990. S. 106–113. (in Russ.).
3. Glazyrin G.E., Strahova N.Ju. Zonal'nye moduli stoka i vodnye resursy bassejna r. Kaskadar'i. – Gidrometeorologija i jeko-logija. – 2011. – № 2. – S. 69–76. (in Russ.).
4. Dubinskij V.M., Lebedeva M.A. K voprosu izuchenija vodnyh resursov v bassejne r. Ahangaran. Sb. nauchn. trudov TashGU. – 1977. – Vyp. 545. – S. 100–106. (in Russ.).
5. Ivanov Ju.N., Chulpanova I.A. Vodnye resursy bassejna r. Ahangaran. Tr. SANIGMI. – 2000. – Vyp. 153(234). – S. 57–88. (in Russ.).
6. Kratkaja geograficheskaja jenciklopedija. – M.: Sov. Jenciklopedija, 1960. – T. 1. – 563 s. (in Russ.).
7. Shul'c V.L. Reki Srednej Azii. – L.: Gidrometeoizdat, 1965. – 692 s. (in Russ.).
8. Shul'c V.L., Timofeev E.M., Nadezhin A.M. Osnovnye cherty gidrologii Srednej Azii (zhidkij stok). – Tashkent: Izd. Komiteta nauk Uzbekistana, 1936. – 106 s. (in Russ.).
9. Verhulst, P.F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique. – 1838. – Vol. 10. – S. 113–121.

## Резюме

*Г. Е. Глазырин<sup>1</sup>, В. М. Дубинский<sup>2</sup>, М. Г. Глазырина<sup>3</sup>, И. В. Бурцев<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> География ғылымдарының докторы, профессор

(М. Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті, Ташкент, Өзбекстан), gleb.glazirin@gmx.net

<sup>2</sup> Су ресурстары салааралық зертханасының меңгерушісі, б.ғ.к.

(М. Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті, Ташкент, Өзбекстан)

<sup>3</sup> ИКАРДА-ЦАК ғ. к., т. ғ. к. (ICARDA-CAC – International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Regional program in Central Asia and the Caucasus, Ташкент, Өзбекстан)

<sup>4</sup> Студент (М. Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті, Ташкент, Өзбекстан)

АХАНГАРАН ӨЗЕНІНІҢ СУ АЛАБЫ БЕТТІК СУ РЕСУРСТАРЫНА  
ЖАҢА БАҒА

Ірі агроөнеркәсіптік ауданда орналасқан Ахангаран өзенінің су алабы беттік су ресурстарына есептелген. Жер биіктігінен жеке өзен алаптары ағын модульне тәуелділігі үшін қолданылды, 1951–2011 жылдар аралығындағы гидрологиялық бақылау материалдары бойынша есептелді. Алынған нәтижелер, сөзсіз, су алабында су қолдану жоспарына тиімді болады.

**Тірек сөздер:** су ресурстары, баға, ағын модулі.