

УДК 502/504:556.048

Д.М. Тургунов¹, А.А. Сазонов², Ф.Х. Хикматов³, Н.Л. Фролова⁴

МАЛОВОДЬЯ НА ГОРНЫХ РЕКАХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН: ПРИЧИНЫ И ОСОБЕННОСТИ

Колебания речного стока, как и многих других природных процессов, часто имеют циклический характер. Свойство группировки лет повышенной и пониженной водности является характерной чертой стока рек, особенно в маловодный период или период низкой водности. Путем обработки многолетних временных рядов среднемесячных и среднегодовых расходов воды 38 горных рек Республики Узбекистан были рассчитаны параметры экстремальных гидрологических явлений в период низкого стока, определяемых по характеристикам фрагментов гидрографа стока за пределами заданных пороговых значений расходов воды (90% обеспеченности). Выявлены связи параметров маловодий и различных гидрологических характеристик и, в первую очередь, особенностей питания рек. Показано, что в качестве показателя гидрологической засухи для горных рек Узбекистана можно использовать величину запасов воды в снежном покрове в горах на конец февраля и марта или суммарное количество осадков за холодный период. Рассмотрены возможные тенденции изменения данных характеристик.

Ключевые слова: речной сток, источники питания, коэффициент Шульца, маловодье, дефицит водных ресурсов

Введение. В условиях аридного климата, который характерен для Республики Узбекистан, вода имеет первостепенное значение в жизни человека и его хозяйственной деятельности. Сток рек Средней Азии под влиянием многочисленных факторов подвержен существенным межгодовым колебаниям. Изменчивость стока и величина амплитуды этих колебаний зависит, в основном, от источников питания реки, в том числе ледникового [Шульц, 1965; Расулов с соавт., 2003; Хикматов, Тургунов, 2017]. В последние десятилетия наблюдается более быстрая деградация горных ледников: в период с 1957 по 1980 гг. ледники в бассейне Аральского моря сократились примерно на 20% массы; за последние 50 лет масса ледников уменьшилась на 10% [Eurasian Development Bank, 2009]. Суммарное сокращение площади оледенения Республики Узбекистан составило 41,63 км² или 29,5% от первоначальной площади [Чуб, 2015; Коновалов, 2012].

Наблюдающиеся климатические изменения влияют на частоту и интенсивность экстремальных гидрологических явлений, а также режим формирования водных ресурсов, что может привести к дополнительным негативным последствиям в бассейне Аральского моря. Особое значение имеет изменение стока в течение маловодных лет, являясь причиной формирования дефицита водных ресурсов и огромных ущербов различным отраслям экономики, особенно сельскому хозяйству. Расчеты показывают, что в условиях маловодий сток рек может

составлять около 50% потребности в водных ресурсах [White et al., 2014].

Даже при условии относительной стабильности формирования водных ресурсов республики ожидается существенный рост их изменчивости. Сток в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи в засушливые годы может уменьшаться на 25–40% [Агальцева с соавт., 2010].

Вопросы оценки засух, различных показателей и индексов, отражающих степень аномальности гидрометеорологических условий, широко рассматриваются в статьях Европейской комиссии по низкому стоку в рамках проекта FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data). В качестве основных показателей для исследования здесь рекомендуются как определенные климатические и гидрологические комплексные индексы, так и непосредственно характерные показатели стока, что распространено и в классической российской гидрологической школе [Владимиров, 1976]. Чаще всего во внимание берется дефицит водных ресурсов, рассчитываемый как объем стока ниже заданного порогового значения. В отечественной практике анализу динамики маловодных периодов посвящены работы А.И. Шикломанова [Shiklomanov et al., 2008], более детально динамика маловодий рассматривается в исследованиях В.А. Семенова [2009, 2011]. С точки зрения прогнозирования, согласно [Van Loon, Laaha, 2015], необходимо понимать типы возникающих маловодий и степень чувстви-

¹ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, факультет географии и природных ресурсов, кафедра гидрологии суши, ст. преподаватель, канд. геогр. н.; e-mail: d.turgunov1987@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. преподаватель; e-mail: sazonov.lesha@gmail.com

³ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, факультет географии и природных ресурсов, кафедра гидрологии суши, профессор, зав. кафедрой, докт. геогр. н.; e-mail: hikmatov_f@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, зав. кафедрой, докт. геогр. н.; e-mail: frolova_nl@mail.ru

тельности каждого конкретного региона или бассейна к тем или иным аномалиям. Данный аспект тесно связан с вопросами классификаций маловодий, широко освещенных в работах тех же авторов [Van Loon, Van Lanen, 2012; Van Loon et al., 2014].

Строгого определения для маловодья в российской литературе нет. Смысл этого термина сводится к характеристике периода низкого стока, сопровождающегося различными видами ущербов [Проблемы безопасности ..., 2010; Smakhtin, 2001]. С понятием «маловодье» тесно связано понятие «гидрологическая засуха» [Гидрометеорологические риски, 2008], которое отличается от атмосферной, почвенной, сельскохозяйственной и водохозяйственной засухи [Болгов с соавт., 2005]. Обобщая различные определения, под «маловодьем» можно считать сезонный или многолетний период низкой водности, вызывающий социальные, экономические и экологические ущербы [Алексеевский, Фролова, 2011]. Колебания речного стока, как и многих других природных процессов, часто имеют циклический характер. Свойство группировки лет повышенной и пониженной водности является характерной чертой стока рек, особенно в маловодный период года [Владимиров, 1976; Евстигнеев, 1990]. В этих условиях снижается надежность работы предприятий гидроэнергетики, речного транспорта, коммунального хозяйства, а в аридных районах, куда входит территория Узбекистана, огромный ущерб наносится сельскохозяйственному производству и продовольственной безопасности. Сокращение речного стока также приводит к ухудшению качества воды, осложнению эпидемиологической обстановки, сокращению популяции рыб.

На реках Средней Азии первые исследования по оценке количественных характеристик наблюдаемых маловодных лет были выполнены Э.М. Ольдекопом [1918], Л.К. Давыдовым и В.Л. Шульцем [1965]. Последующие исследования в этом направлении проведены К.С. Ковалевым, А.А. Мавлоновым [2008] и Н.А. Агальцевой [Агальцова с соавт., 2010]. Важной, в смысле рассматриваемой в статье проблемы, является работа Ж.Ж. Карамолдоева и А.В. Христофорова [1994].

Наблюдающиеся климатические изменения обуславливают необходимость более глубокого анализа причин и особенностей маловодий на реках Средней Азии, а увеличение количества пунктов гидрологических и метеорологических наблюдений, числа изучаемых рек, дают возможность решать эту задачу.

Основная цель настоящей работы состоит в оценке характеристик и причин маловодий на горных реках Средней Азии в пределах Республики Узбекистан, определении относительного числа и повторяемости маловодных лет в зависимости от источников питания, обуславливающих изменчивость годового и сезонного стока.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач были использованы данные по средним годовым и месячным расходам воды 38 горных рек

Республики Узбекистан и прилегающих к ней территорий с естественным гидрологическим режимом с начала наблюдений и до 2016 г. включительно, относящиеся к бассейнам Сырдарьи и Амударьи, метеорологическая информация по температуре воздуха и осадкам, зарегистрированным на 9 станциях.

Для характеристики водного режима и источников питания рек в Средней Азии наиболее широко используется классификация В.Л. Шульца [Шульц, 1965], основанная на: соотношении объема стока за периоды с июля по сентябрь и с марта по июнь (коэффициент δ). В бассейнах Амударьи и Сырдарьи в соответствии с классификацией Шульца выделяется четыре типа рек: 1) ледниково-снегового ($\delta \geq 1,0$); 2) снего-ледникового ($0,26 \leq \delta \leq 0,99$); 3) снегового ($0,18 \leq \delta \leq 0,25$) и 4) снего-дождевого ($0,001 \leq \delta \leq 0,17$) питания (рис. 1).

Наиболее водоносная река Средней Азии – Амударья – образуется слиянием рек Пяндж и Вахш, которые относятся к рекам с *ледниково-снеговым* типом питания. Амударья принимает притоки только первые 180 км, на остальном протяжении река разбирается на орошение, особенно интенсивно в нижнем течении, теряет воду на испарение и фильтрацию, постепенно сток ее уменьшается. Более 80% стока Амударьи формируется в горной части бассейна [Трубецкова, 2012]. Основной объем стока (до 85%) поступает от притоков Вахш и Пяндж, на долю Сурхандарьи, Кафирнигана и Кундуза приходится около 15%. Изменчивость годового стока в многолетнем режиме невысока (коэффициент вариации составляет 0,15), но резко выражена неравномерность внутригодового распределения: на апрель–сентябрь приходится 77–80% годового стока, на декабрь–март только 20–23%, что в целом благоприятно для развития орошаемого земледелия.

Реки Зеравшан и Кашкадарья, относящиеся по гидрографическим признакам к бассейну Амударьи, до нее не доходят и поэтому могут рассматриваться как самостоятельные гидрографические объекты. По классификации В.Л. Шульца река Зеравшан относится к первому типу. Реки бассейна Сурхандарьи относятся ко второму, а Кашкадарья – к 4 типу (см. рис. 1, табл. 1).

Река Сырдарья образуется слиянием рек Нарын и Карадарья в восточной части Ферганской долины. Они относятся ко второму типу по классификации В.Л. Шульца. По своей протяженности (2137 км) Сырдарья является наиболее крупной рекой Средней Азии, по водоносности она уступает только Амударье. Водные ресурсы р. Сырдарья формируются, в основном, в Кыргызстане (р. Нарын и Карадарья) – свыше 74%; около 14% приходится на Узбекистан, около 3% на Таджикистан, на долю Казахстана приходится 9% (реки Арысь и Келес). Наибольшее число притоков сосредоточено в пределах Ферганской долины. Здесь крупнейшими притоками Сырдарьи являются: справа Падшаата, Кассансай, Гавасай, Чадаксай и слева Исфайрам, Шахимардан, Сох, Исфара, Ходжабакирган и Коксу. Таяние ледников оказывает наибольшее

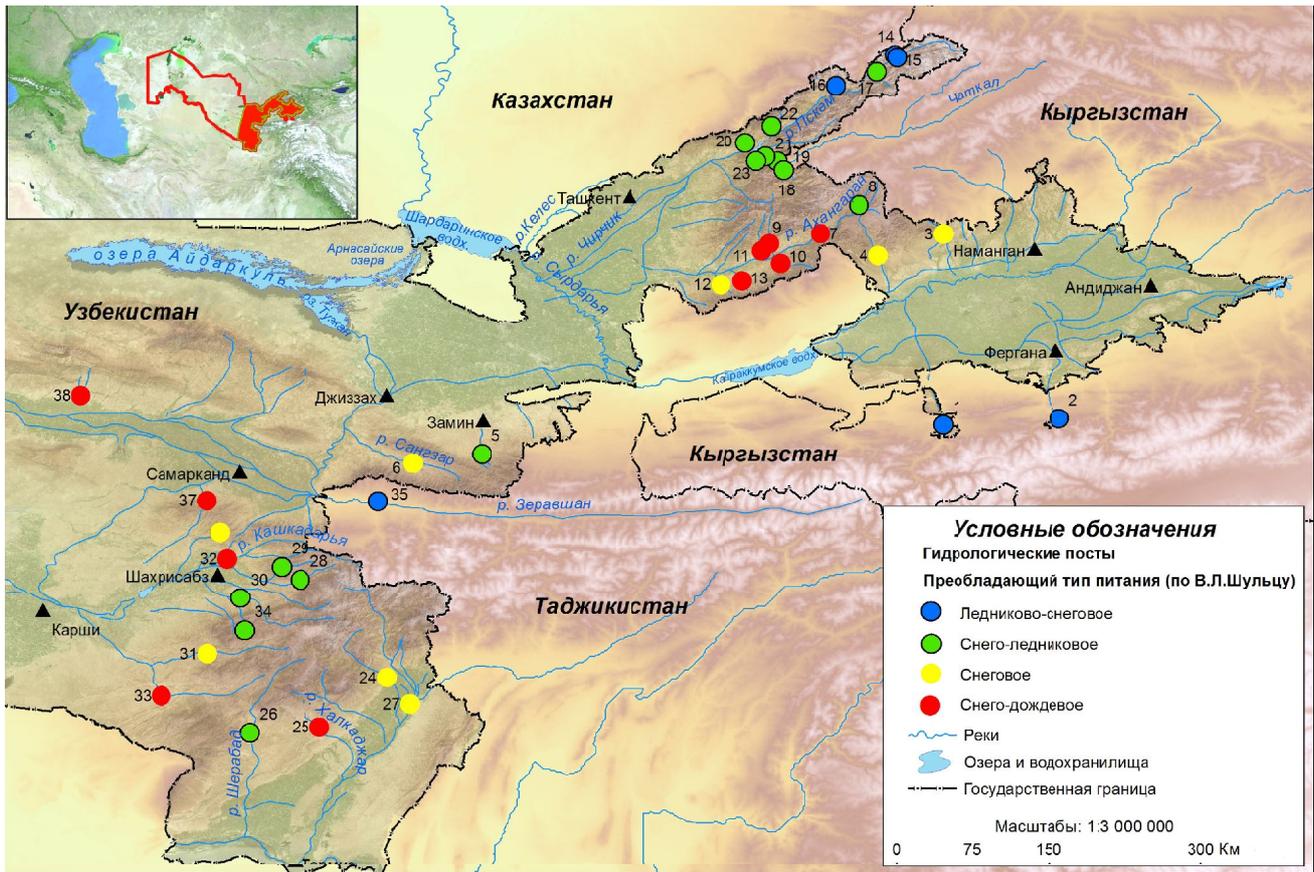


Рис. 1. Расположение гидрологических постов в пределах исследуемой территории и диапазоны коэффициента В.Л. Шульца (δ) для рек с различным типом питания: 1) ледниково-снеговое ($\delta \geq 1,0$); 2) снего-ледникового ($0,26 \leq \delta \leq 0,99$); 3) снегового ($0,18 \leq \delta \leq 0,25$); 4) снего-дождевого ($0,001 \leq \delta \leq 0,17$)

Fig. 1. Location of stream gauges within the study area and the ranges of V.L.Schultz coefficient (δ) for the rivers of different feeding types: 1) glacier-snow ($\delta \geq 1,0$); 2) snow-glacier ($0,26 \leq \delta \leq 0,99$); 3) snow ($0,18 \leq \delta \leq 0,25$); 4) snow-rain ($0,001 \leq \delta \leq 0,17$)

влияние на формирование стока левых притоков Сырдарьи, а правые притоки Сырдарьи принадлежат к рекам со снего-дождевым питанием (4 тип). Почти ни один из них не доносит свою воду до главной реки вследствие разбора на орошение. Ниже выхода из Ферганской котловины р. Сырдарья, за исключением двух сравнительно крупных рек Заминсу и Санзар, до нее не доходящих, слева притоков не имеет. Справа же в нее впадает Ахангаран, далее крупный и водоносный приток – р. Чирчик, а затем Келес и Арыс (см. рис. 1, табл. 2).

В пределах исследуемой территории, как отмечено выше, выбрано 38 постов. За небольшим исключением, наблюдения за стоком были начаты в конце 1940-х – начале 1950-х годов прошлого столетия. Данные о значениях расходов воды исследуемых рек получены из соответствующих выпусков гидрологических ежегодников Государственного водного кадастра СССР, а с 1989 г. – по данным Узгидромета. Все данные относятся к горным рекам с водным режимом, не искаженным хозяйственной деятельностью, с диапазоном площади водосборов от 23,3 до 10 200 км². Средние высоты водосборов колеблются от 1340 до 3480 м.

Статистическая обработка проведена с помощью стандартных пакетов Statistica и Excel, карты построены с помощью пакета ArcGis 10.2.

Результаты и обсуждение. Для изучения маловодных лет на реках были исследованы особенности пространственно-временной изменчивости их годового и сезонного стока. Для этой цели были построены хронологические графики колебаний годовых расходов воды, разностные интегральные кривые годового стока. Если модульные коэффициенты расходов воды за год изменяются в пределах $0,93 \leq K_i \leq 1,07$, то расходы воды в реках будут близки к норме. Маловодными считаются годы при условии, что $K_i \leq 0,92$ [Turgunov, Khikmatov, 2018]. В результате за каждый год было определено число рек, на которых наблюдалось маловодье (рис. 2). В качестве расчетного выбран период 1950–2016 гг., когда на большинстве исследуемых рек проводились наблюдения. В 1974, 1982, 1986, 1989, 2000, 2008 и 2011 гг. почти на всех реках наблюдалось маловодье, а годовой сток был существенно меньше нормы. Самым маловодным был 1974 г., когда величина годового стока на многих рек составляла 30–50% от нормы.

Таблица 1

Основные гидрологические характеристики горных рек бассейна Амударьи

№ п/п	Река – пункт	Период наблюдений	F_2 , км ²	H , м абс.	Q_0 , м ³ /с	M , л/(с·км ²)	C_v	δ	Среднее многолетнее распределение стока в году, % от годового стока		
									III–VI	VII–IX	X–II
1) реки с ледниково-снеговым питанием											
35	Зеравшан – м. Дупули	1963–1994	10 200	2400	157	15,4	0,15	1,58	33	55	12
2) реки со снего-ледниковым питанием											
28	Аксу – к. Хисорак	1984–2016	755	2210	11,7	15,5	0,27	0,64	52	33	15
34	Яккабагдарья – к. Татар	1930–2016	504	2740	5,98	11,9	0,31	0,43	63	27	10
26	Шерабагдарья – к. Дарбент	1958–2016	949	2070	4,95	5,2	0,41	0,34	61	21	18
29	Джиныдарья – к. Джаус	1941–2016	152	1970	1,47	9,7	0,44	0,31	53	17	30
30	Танхаздарья – к. Каттаган	1952–2016	435	2210	3,97	9,1	0,39	0,29	70	20	10
3) реки со снеговым питанием											
31	Урадарья – к. Базартепа	1965–2016	1250	1750	4,22	3,4	0,48	0,25	63	16	21
27	Каратагдарья – устье	1983–2016	2340	1760	24,83	10,6	0,34	0,24	63	15	22
24	Сангардак – к. Кинггузар	1928–2016	901	2350	15,8	17,5	0,29	0,23	71	17	11
36	Аманкутансай – к. Аманкутан	1970–2016	57,8	1601	0,957	16,6	0,43	0,21	61	13	26
4) реки со снего-дождевым питанием											
32	Кашкадарья – к. Варганза	1927–2016	511	1800	5,25	10,3	0,37	0,15	66	10	24
25	Халкаджар – к. Базаржой	1953–2016	577	2180	6,35	11,0	0,41	0,11	79	9	12
38	Бегларсай – к. Янги Акчоб	1965–2016	180	1340	0,60	3,4	0,71	0,10	72	7	21
33	Кичик Урадарья – к. Гумбулак	1968–2016	1570	1420	1,42	0,9	0,92	0,09	77	7	16
37	Ақдарья – устье	1991–2016	70,9	1384	1,06	15,0	0,52	0,09	59	5	36

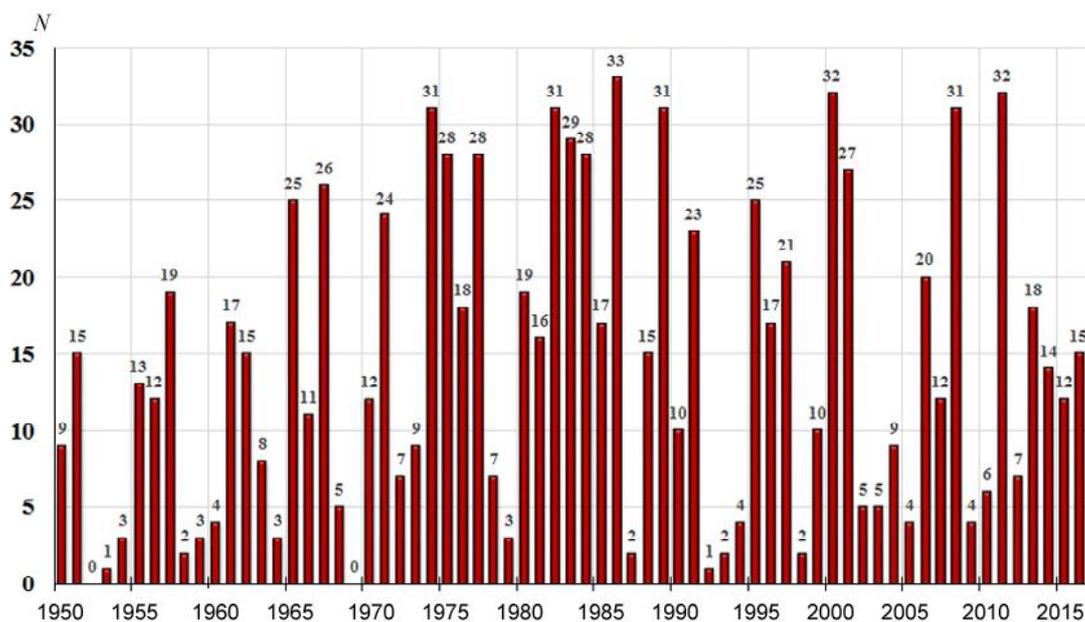
Рис. 2. Межгодовая изменчивость числа рек (N), на которых наблюдалось маловодьеFig. 2. Interannual variability of the number of rivers (N) with low-water events

Таблица 2

Основные гидрологические характеристики горных рек бассейна Сырдарьи

№ п/п	Река – пункт	Период наблюдений	F, км ²	H, м абс	Q ₀ , м ³ /с	M, л/(с·км ²)	C _v	δ	Среднее многолетнее распределение стока в году, % от годового стока		
									III–VI	VII–IX	X–II
<i>1) реки с ледниково-снеговым питанием</i>											
1	Сох – к. Сарыканда	1926–2016	2480	3480	44,4	17,9	0,14	2,51	24	61	15
2	Коксу – устье	1948–2016	174	3030	2,59	14,9	0,27	1,16	31	35	34
15	Ойгаин – устье	1951–2016	1010	3010	28,7	28,4	0,19	1,03	42	43	15
14	Майдантал – устье	1950–2016	471	3130	18,6	39,5	0,19	0,92	45	41	14
16	Пскем – к. Муллала	1965–2016	2540	2740	77,4	30,5	0,2	0,78	47	38	15
<i>2) реки со снего-ледниковым питанием</i>											
5	Заминсу – к. Дуаба	1948–2016	546	2300	1,91	3,5	0,34	0,54	49	27	26
18	Чаткал – у. р. Худайдатсай	1965–2016	6580	2660	111	16,9	0,27	0,50	56	28	16
17	Чиралма – устье	1950–2016	103	2700	3,10	30,1	0,33	0,44	62	27	11
23	Чимгансай – к. Чимган	1967–2016	23,3	1530	0,30	12,9	0,32	0,39	52	20	28
22	Науваисай – к. Сиджак	1964–2016	99,4	1650	3,84	38,6	0,33	0,38	55	21	24
19	Акбулак – устье	1981–2016	886	2400	19,4	21,9	0,31	0,33	65	21	14
20	Угам – к. Хаджикент	1950–2016	869	2030	22,8	26,2	0,26	0,32	63	20	17
8	Кызылча – ур. Иерташ	1951–2016	51,6	2340	1,06	20,5	0,34	0,31	61	19	20
21	Янгикургансай – к. Янгикурган	1965–2016	33,7	2200	0,68	20,2	0,41	0,3	60	18	22
<i>3) реки со снеговым питанием</i>											
3	Гавасай – к. Гава	1925–2016	657	2460	6,04	9,2	0,35	0,25	70	18	12
12	Шаугаз – к. Караташ	1951–2016	65,8	1660	0,47	7,1	0,48	0,22	62	14	24
6	Сангзар – к. Кирк	1949–2016	570	2070	1,98	3,5	0,35	0,21	61	13	26
4	Чадаксай – у. р. Жулайсай	1938–2016	350	2370	3,75	10,7	0,46	0,19	75	14	11
<i>4) реки со снего-дождевым питанием</i>											
10	Ниёзбашсай – к. Нишбаш	1951–2016	141	2050	2,79	19,8	0,47	0,17	72	12	16
13	Абжасай – к. Абжас	1978–2016	70,5	1590	0,6	8,5	0,33	0,17	63	11	26
7	Ахангаран – у. р. Иерташ	1971–2016	1110	2600	19,8	17,8	0,32	0,15	78	12	10
9	Дукантсай – к. Дукант	1971–2016	201	2140	4,88	24,3	0,4	0,14	73	10	17
11	Карабагирсай – к. Самарчук	1949–1206	166	2030	3,19	19,2	0,35	0,13	72	10	18

Примечание: № п/п – номер на карте (см. рис. 1), F – площадь водосбора, H – средняя высота бассейна, Q₀ – средний многолетний годовой расход воды, M – средний многолетний модуль стока, C_v – коэффициент вариации годового стока, δ – коэффициент В.Л. Шульца.

Довольно часто маловодные года следуют один за другим. Это относится к 1955–1957, 1965–1967, 1980–1986, 1988–1991, 1995–1997, 1999–2001, 2006–2008 и 2013–2016 гг. Особенно продолжительным был период 1980–1986 гг., включающий 7 маловодных лет подряд. На графиках (рис. 3) видно, насколько продолжительным был в целом период с начала 1970-х до конца 1990-х годов, отличающийся малой водностью. В той или иной степени, продолжительное маловодье затронуло все реки рассматриваемого региона. Маловодными были и последние 4 года (2013–2016 гг.). Расчеты показывают, что средняя продолжительность маловодного периода на горных реках Средней Азии составляет три года.

Для каждой реки было определено относительное число маловодных лет. Эта величина зависит от физико-географических условий речных бассейнов – климата, геологического строения, режима подземных вод, доли ледниковой составляющей в питании рек, распределении атмосферных осадков в течение года, многолетней изменчивости температуры воздуха, а также типов питания рек, которые являются интегральными показателями всех перечисленных ранее факторов. На рис. 4 представлена связь между относительным числом маловодных лет и изменчивостью речного стока C_v. Высокая корреляционная связь позволяет использовать ее для неизученных или слабоизученных в гидрологическом отношении рек.

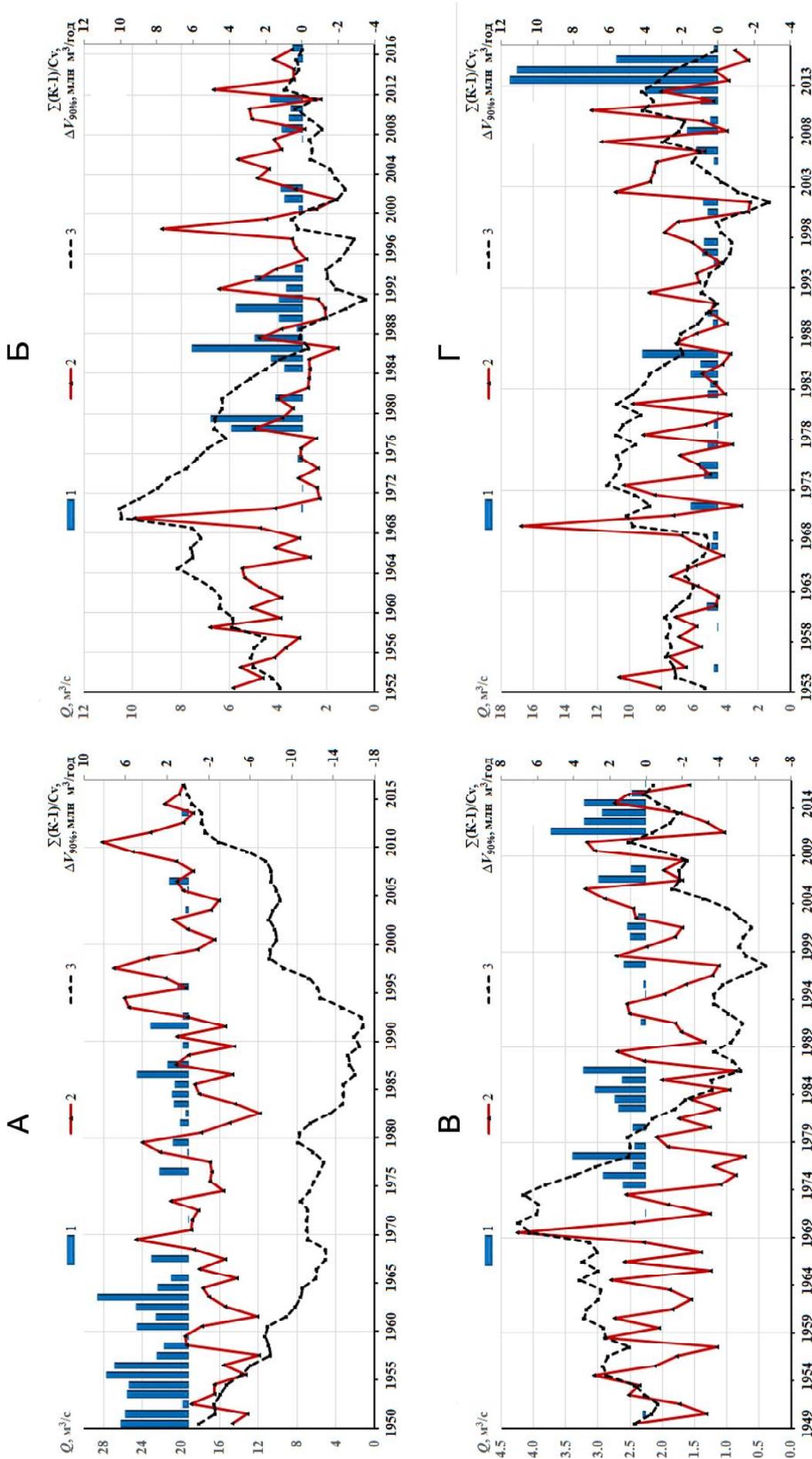


Рис. 3. Годовой объем дефицита воды (млн м^3) при снижении расходов воды ниже порогового значения 90% обеспеченности $Q_{90\%}$ (1), годовые расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$) (2) и разностная интегральная кривая годового стока (3) для р. Ойгаин – устье (тип 1) – А, р. Танхаздырья – к. Каттаган (тип 2) – Б, р. Сангзар – к. Кирк (тип 3) – В, р. Халкаджар – к. Базархой (тип 4) – Г

Fig. 3. Annual amount of water deficit (mln m^3) under the decrease of water discharge below the threshold value of 90% probability $Q_{90\%}$ (1), annual water discharge (m^3/s) (2) and residual mass curve of annual runoff (3) for the Oigain River – mouth (type 1) – А, the Tanhaz Darya River – the Kattagan village (type 2) – Б, the Sangzar River – the Kirk village (type 3) – В, the Halkadzhazh River – the Bazarzhohj village (type 4) – Г

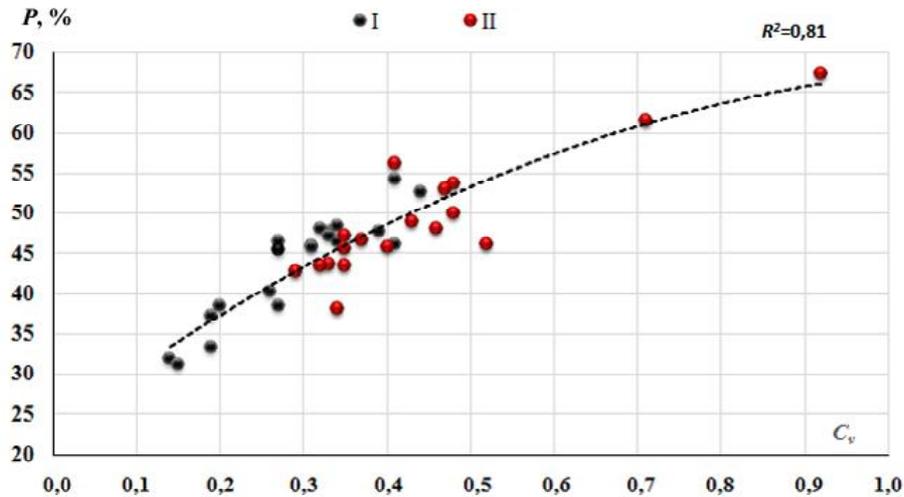


Рис. 4. Связь относительного числа (P , %) маловодных лет и изменчивости годового стока (C_v): I – реки ледниково-снегового и снего-ледникового типа питания; II – реки снегового и снего-дождевого типа питания

Fig. 4. Correlation of the proportion (P , %) of low-water years and the variability of annual runoff (C_v): I – rivers of glacier-snow and snow-glacier types of feeding; II – rivers of snow and snow-rain types of feeding

Повторяемость маловодных лет увеличивается от 30% (реки ледниково-снегового питания, например, для р. Сох – 35,2%) до 70% (реки снего-дождевого питания, например, рр. Кичик, Урадарья и Бегларсай – 67,3%).

Для объективной оценки степени влияния того или иного гидрологического события на экономику и хозяйство в мировой практике часто используются интегральные критерии [Dracup et al., 1980; Fleig et al., 2006; Hannaford et al., 2011; Wong et al., 2013; Van Loon et al., 2012, 2014, 2015]. Чаще всего они основаны на выборе определенных «пороговых» значений характеристики, с которыми сравниваются наблюдаемые величины. По разнице этих значений определяется мера влияния события на жизнь людей, оценивается частота возникновения подобных ситуаций, масштаб явления. При этом чаще всего учитывается не только превышение наблюдаемых

значений над пороговыми, но и длительность этого превышения. По результату расчетов определяется общий дефицит воды – объем стока под пороговым значением, а в случае с экстремально высокими значениями, наоборот, – объем превышения над пороговым значением. Далее этот объем соотносится с продолжительностью явления, характеризуя некий интегральный показатель «суровости» события. В качестве пороговых значений нами выбран расход 90% обеспеченности. Кроме того, был рассчитан так называемый показатель «суровости» (SEV)

$$SEV = \frac{\Delta V}{T},$$

где ΔV – объем дефицита, млн м³, T – продолжительность аномально низких значений водности, месяцы. В зависимости от типов питания рек дефицит проявляется в разное время года и с разной продолжительностью (рис. 5). У высокогорных рек

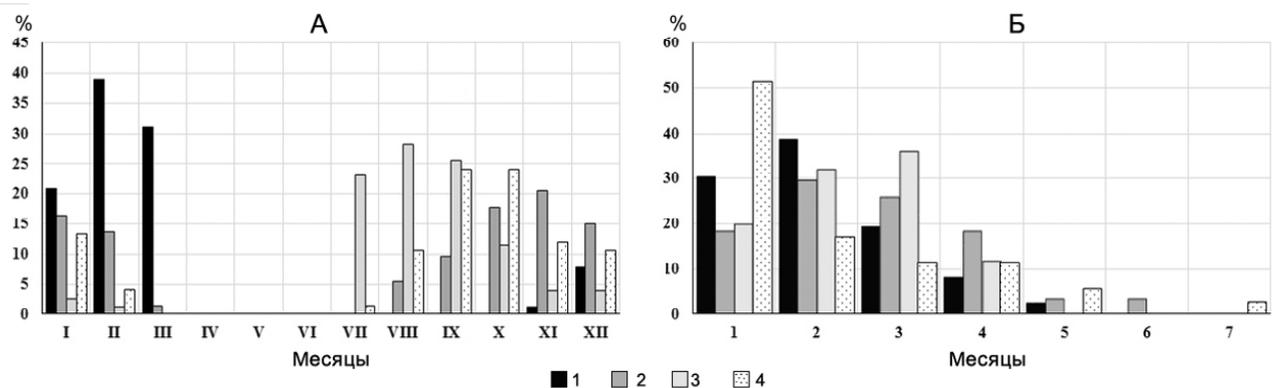


Рис. 5. Распределение объема дефицита воды при снижении расходов ниже порогового значения $Q_{90\%}$ по месяцам (%) (А) и число дефицитных месяцев (%) (Б) для р. Ойгаин – устье (тип 1), р. Танхаздарья – к. Каттаган (тип 2), р. Сангзар – к. Кирк (тип 3), р. Халкаджар – к. Базаржой (тип 4)

Fig. 5. Distribution of water deficit volume under the decrease of water discharge below the threshold value $Q_{90\%}$ by months (%) (A) and the number of deficit months (%) (B) for the Ojgain River – mouth (type 1), the Tanhaz Darya River – the Kattagan village (type 2), the Sangzar River – the Kirk village (type 3), the Halkadzhazhar River – the Bazarzhoy village (type 4)

с ледниково-снеговым питанием наиболее маловодные месяцы с наибольшим дефицитом воды – январь–март, у рек 3 и 4 типа – август–октябрь. В большинстве случаев дефицит наблюдается 2–3 месяца в году, но в некоторые годы, например, в 1986 г. на р. Халкаджар (4 тип) он продолжался 4 месяца, на р. Танхаздаря (2 тип) – 6 месяцев и на р. Ойгаин (1 тип) – 3 месяца.

С увеличением площади водосбора «суровость» довольно быстро растет. При экстремально низких значениях расходов воды SEV возрастает примерно до 9 в бассейне Сырдарьи и до 6 в бассейне Амударьи. Зависимость носит прямой характер – чем

больше площадь водосбора, тем больше суровость маловодий, наблюдающихся на реке (рис. 6). В целом проявление экстремальности маловодий в бассейне Амударьи при одной и той же площади водосбора несколько меньше.

Еще одна попытка оценить «суровость» маловодий была сделана при построении связи

$$SEV = f(\delta),$$

где δ – коэффициент Шульца. Все реки, вне зависимости от принадлежности к бассейну Сырдарьи или Амударьи, разделились на три группы в зависимости от характера питания (рис. 7, табл. 3). Наиболее экстремальные ситуации с наибольшим объемом

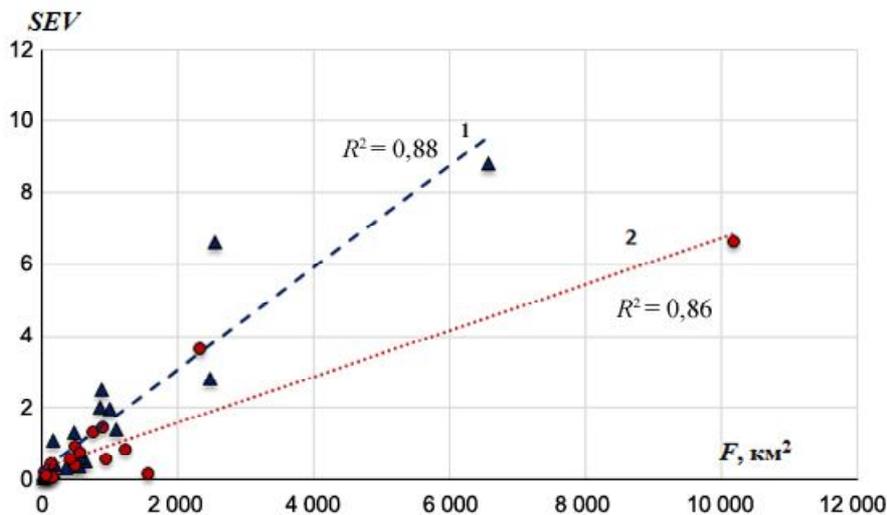


Рис. 6. Зависимость «суровости» явления SEV при снижении расходов ниже порогового значения $Q_{90\%}$ от площади водосбора F : 1 – бассейн р. Сырдарьи; 2 – бассейн р. Амударьи

Fig. 6. Dependence of the SEV phenomenon intensity under the decrease of water discharge below the threshold value $Q_{90\%}$ on the catchment basin area F : 1 – the Syr Darya River basin; 2 – the Amu Darya River basin

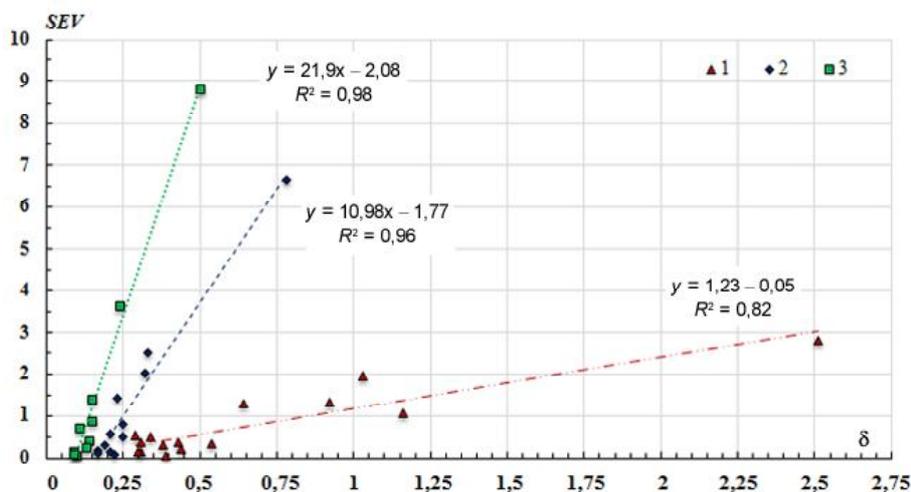


Рис. 7. Зависимость «суровости» явления SEV при снижении расходов ниже порогового значения $Q_{90\%}$ от коэффициента Шульца δ . 1 – реки с ледниково-снеговым и снего-ледниковым питанием; 2 – реки со снеговым питанием; 3 – реки со снего-дождевым питанием

Fig. 7. Dependence of the SEV phenomenon intensity under the decrease of water discharge below the threshold value $Q_{90\%}$ on the Schultz coefficient δ . 1 – rivers of glacier-snow and snow-glacier types of feeding; 2 – rivers of the snow type of feeding; 3 – rivers of the snow-rain types of feeding

Таблица 3

Категория водного дефицита

№	Тип питания рек	Коэффициент Шульца	Категория возможного водного дефицита	Максимальная величина <i>SEV</i>	Среднее значение <i>SEV</i>
1	Реки ледниково-снегового питания	$\delta \geq 0,67$	Не глубокий	3	0,77
2	Реки снегового питания	$0,28 \leq \delta \leq 0,66$	Глубокий	7	1,30
3	Реки снего-дождевого питания	$\delta \leq 0,27$	Очень глубокий	9	1,64

Таблица 4

Уравнения связи стока рек и атмосферных осадков

Река – пункт	Сумма атмосферных осадков за	Уравнение	Коэффициент корреляции и его погрешность, $r \pm \sigma_r$
р. Чаткал – у. р. Худайдогсай (1 тип)	1	$Q_{cp} = 0,101 \cdot \Sigma X_{kr} + 23,2$	$0,72 \pm 0,046$
	2	$Q_{cp} = 0,124 \cdot \Sigma X_{gr} + 4,22$	$0,85 \pm 0,025$
	3	$Q_{cp} = 0,168 \cdot \Sigma X_{xn} + 11,5$	$0,84 \pm 0,028$
р. Пскем – к. Муллала (2 тип)	1	$Q_{cp} = 0,049 \cdot \Sigma X_{kr} + 35,2$	$0,66 \pm 0,053$
	2	$Q_{cp} = 0,063 \cdot \Sigma X_{gr} + 23,4$	$0,83 \pm 0,030$
	3	$Q_{cp} = 0,082 \cdot \Sigma X_{xn} + 28,9$	$0,78 \pm 0,037$
р. Угам – к. Ходжикент (3 тип)	1	$Q_{cp} = 0,022 \cdot \Sigma X_{kr} + 3,72$	$0,79 \pm 0,035$
	2	$Q_{cp} = 0,026 \cdot \Sigma X_{gr} + 0,542$	$0,90 \pm 0,018$
	3	$Q_{cp} = 0,032 \cdot \Sigma X_{xn} + 4,59$	$0,78 \pm 0,037$
р. Ахангаран – у. р. Иерташ (4 тип)	1	$Q_{cp} = 0,020 \cdot \Sigma X_{kr} + 2,34$	$0,59 \pm 0,066$
	2	$Q_{cp} = 0,028 \cdot \Sigma X_{gr} - 4,45$	$0,83 \pm 0,031$
	3	$Q_{cp} = 0,033 \cdot \Sigma X_{xn} + 0,14$	$0,71 \pm 0,049$

Примечание: 1 – календарный год (I–XII), 2 – гидрологический год (X–IX), 3 – холодный период (X–III).

дефицита воды складываются для рек со смешанным питанием, с участием талой и дождевой воды.

Для оценки факторов, определяющих характер водности года, были проанализированы связи годового и сезонного стока с различными метеорологическими характеристиками. В значительной степени годовой сток формируется за счет осадков, выпадающих в течение «гидрологического» года, в данном случае за период с октября предшествующего по сентябрь текущего года. Среди всех осадков наиболее значительную роль играют осадки в течение холодного периода (с октября по март). Их накопление в виде сезонного снежного покрова приводит к формированию весенне-летнего половодья. В свою очередь синоптические процессы, обуславливающие выпадение осадков в холодный период года, связаны с западными вторжениями воздушных масс (25,6%). Они же обуславливают 35,6% осадков и в теплый период года. Южные циклоны в холодный период года приносят 28,3% осадков, летом большую роль играют северо-западные вторжения воздушных масс [Инагамова с соавт., 2002; Календарь ..., 2013].

Половодье на реках начинается в середине–конце марта, имеет наибольшую продолжительность на реках с ледово-снеговым питанием (до 180 дней) и составляет около четырех месяцев для рек со сне-

го-дождевым питанием. Объем половодья во всех случаях составляет 70–85%, определяя в значительной степени сток в маловодные годы, коэффициент корреляции объема стока за половодье с осадками за холодный период равен 0,92–0,94. Столь хорошие связи дают возможность спрогнозировать водность всего года по данным об осадках за холодный период. В табл. 4 показаны уравнения регрессии годового стока с осадками за холодный период для всех типов рек. Уточнение стока за летние и осенние месяцы возможно по данным об осадках после марта месяца и температуре воздуха в летний период.

В настоящее время в бассейнах многих рек наблюдается тенденция к сокращению снеготазов, что соответствует тенденциям роста температуры воздуха, наблюдаемым по метеостанциям региона. С повышением температуры воздуха ухудшаются условия для формирования снеготазов в горах, происходит их сокращение и в некоторых бассейнах это находит свое отражение в уменьшении стока [Чуб, 2007]. Скорее всего, стоит ожидать в ближайшие десятилетия увеличения повторяемости экстремальных гидрологических явлений, в том числе маловодий. Также вероятны изменения внутригодового распределения стока, как, например, сдвиг гидрографа стока в более раннюю по прохож-

дению максимальных расходов сторону, менее благоприятную для орошаемого земледелия, что характерно для маловодных лет. Причиной является наблюдаемое изменение климата и режима выпадения атмосферных осадков для территории Узбекистана и прилегающих горных территорий. По данным специалистов НИГМИ Узгидромета для ряда климатических сценариев на изучаемой территории ожидается уменьшение атмосферных осадков на 5–10% относительно нормы [Чуб, 2007, 2015].

Выводы:

– в колебаниях стока горных рек Узбекистана наблюдаются и отдельные маловодные годы и их группы (серии). Особенно продолжительным был маловодный период 1980–1986 гг., включающий 7 маловодных лет подряд;

– характеристики маловодий, включая их повторяемость, показатели дефицита воды и суровости зависят от типа питания исследуемых горных рек Узбекистана. Повторяемость маловодных лет увеличивается от 30 % (реки ледниково-снегового питания, например, для р. Сох – 35,2%) до 70% (реки снего-дождевого питания, например, Кичик Урадарья и Бегларсай – 67,3%). Относительное число маловодных лет для рек ледникового и снегово-ледникового типа питания в среднем составило 43,8%, для рек снегового и снего-дождевого типа питания этот показатель в среднем равен 49,0%. Средняя продолжительность «маловодного периода» на горных реках Средней Азии составляет 3 года;

– учитывая высокую корреляционную связь параметров маловодий (повторяемость, суровость) с различными гидрологическими характеристиками (коэффициент вариации, площадь водосбора, коэффициент Шульца) представляется возможным их использование для неизученных и слабоизученных в гидрологическом отношении рек;

– в качестве показателя гидрологической засухи для горных рек Узбекистана можно использовать величину запасов воды в снежном покрове в горах на конец февраля и марта или суммарное количество осадков за холодный период. Последний показатель используется при прогнозировании стока вегетационного периода, составляющего основную часть стока за год, и водности за гидрологический год.

В ближайшие десятилетия стоит ожидать увеличения повторяемости экстремальных гидрологических явлений, в том числе маловодий. Также вероятны изменения внутригодового распределения стока, как, например, сдвиг гидрографа стока в сторону, менее благоприятную для орошаемого земледелия, что характерно для наблюдаемых маловодных лет. Причиной является изменение климата и режима выпадения атмосферных осадков для территории Узбекистана и прилегающих горных территорий. По данным специалистов НИГМИ Узгидромета, для ряда климатических сценариев на изучаемой территории ожидается уменьшение атмосферных осадков на 5–10% относительно нормы [Чуб, 2007, 2015].

Благодарности. Работа выполнена в рамках научного сотрудничества кафедр гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова и НУУз имени Мирзо Улугбека. Авторы статьи приносят искреннюю благодарность своим коллегам за советы, предложения и поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агальцева Н.А., Пак А.В., Новикова В.А.* Гидрологическая засуха в Узбекистане, анализ причин и возможности прогнозирования // Труды научно-исследовательского гидрометеорологического института, 2010. Ташкент. Вып. 12(257). С. 55–63.
- Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л.* Безопасность водопользования в условиях маловодий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 6. С. 6–17.
- Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И.* Современные проблемы водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005. 318 с.
- Владимиров А.М.* Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 295 с.
- Гидрометеорологические риски / Под ред. Л.Н. Карлина. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 282 с.
- Евстигнеев В. М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
- Инагамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т.* Особенности синоптических процессов Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ, 2002. 486 с.
- Календарь типов синоптических процессов Средней Азии. Вып. 4 / Под ред. С.И. Иногамовой. Ташкент: НИГМИ, 2013. 82 с.
- Карамолдоев Ж.Ж., Христофоров А.В.* Сток горных рек в маловодный период, его расчеты и прогнозы. Бишкек: Илим, 1994. 147 с.
- Ковалёв Ю.С., Мавлонов А.А.* О проблеме маловодья в бассейнах рек Сырдарья и Амударья // Материалы Республиканской научно-практической конференции. Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2008. С. 15–20.
- Коновалов В.Г.* Динамика оледенения Центральной Азии по материалам дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 281–288.
- Ольдеков Э.М.* Зависимость режима р. Чирчик от метеорологических факторов // Тр. Метеорол. отдела гидром. части в Туркестанском крае. 1918. Вып. 83 с.
- Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России. Краснодар, 2010. 479 с.
- Расулов А.Р., Хикматов Ф.Х., Айтбоев Д.П.* Основы гидрологии. Ташкент: Университет, 2003. 327 с.
- Семенов В. А.* Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России // Метеорология и гидрология, 2011. № 2. С. 74–82.
- Семенов В. А.* Климатически обусловленные изменения опасных наводнений, паводков и маловодий в крупных речных бассейнах России // Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения. Барнаул, 2009. С. 194–203.
- Трубецкова М.Д.* Особенности зонального стока рек бассейна Верхней Амударьи в маловодные и многоводные годы //

Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 93–102.

Хикматов Ф.Х., Тургунов Д.М. Маловодные годы на горных реках, вопросы расчета их нормы и параметров углубления // Вестник НУУз. № 3/1. Естественные науки. Ташкент, 2017. С. 330–335.

Чуб В.Е. Деградация оледенения и последствия // Изменение климата – трагедия или реальность? Ташкент, 2015. С. 11–16.

Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: «VORIS NASHRIYOT», 2007. 133 с.

Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 691 с.

Dracup J.A., Lee K.S., Paulson E.G. On the statistical characteristics of drought events // Water Resour. Res. 1980. № 16 (2). P. 289–296.

Fleig A.K., Tallaksen L.M., Hisdal H., Demuth S. A global evaluation of streamflow drought characteristics // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2006. № 10(4). P. 535–552. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-10-535-2006>.

Hannaford J., Lloyd-Hughes B., Keef C., Parry S., Prudhomme C. Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit // Hydrol. Process. 2011. № 25(7). P. 1146–1162. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7725>.

Smakhtin V.U. Low flow hydrology: a review // Journal of Hydrology. 2001. № 240. P. 147–186.

Shiklomanov A.I., Agaltseva N., Lammers R. Observed and projected hydrological changes in the Aral Sea basin. The AGU Meeting San Francisco, USA, December 15–19, 2008.

Turgunov D.M., Khikmatov F.H. Estimation of the low-water norm in the mountain rivers of Central Asia // European Sciences review. Austria: Vienna, 2018. № 3–4. P. 101–105.

Van Loon A.F., Laaha G. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics // Journal of Hydrology. 2015. № 526. P. 3–14.

Van Loon A.F., Van Lanen H.A.J. A process-based typology of hydrological drought // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2012. № 16(7). P. 1915–1946. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-16-1915-2012>.

Van Loon A.F., Tisdeman E., Wanders N., Van Lanen H., Teuling A., Uijlenhoet R. How climate seasonality modifies drought duration and deficit // J. Geophys. Res.: Atmos. 2014. № 119(8). P. 4640–4656. <http://dx.doi.org/10.1002/2013JD020383>.

White C.J., Tanton T.W., Rycroft D.W. The impact of climate change on the water resources of the Amu Darya Basin in Central Asia // Water Resour. Manag. 2014. № 28. P. 5267–5281.

Wong G., Van Lanen H.A.J., Torfs P.J.J.F. Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought // Hydrol. Sci. J. 2013. № 58(2). P. 253–270.

Электронный ресурс:

EDB (Eurasian Development Bank): Impact of Climate Change to water resources in Central Asia, Almaty, Kazakhstan, 44 p. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vinokurov.info/assets/files/EDB%20Report%206%20climate%20eng.pdf>, 2009 (дата обращения 20.01.2019)

Поступила в редакцию 04.03.2019

После доработки 15.05.2019

Принята к публикации 12.09.2019

**D.M. Turgunov¹, A.A. Sazonov²,
F.K. Khikmatov³, N.L. Frolova⁴**

LOW-WATER SITUATIONS ON THE MOUNTAIN RIVERS IN THE UZBEKISTAN REPUBLIC: CAUSES AND SPECIFIC FEATURES

River flow fluctuations are often cyclic, like many other natural processes. The pattern of the high-water and low-water years grouping is a characteristic feature of river runoff, especially in low-water period or low-flow periods. By processing multi-year time series of average monthly and average annual water consumption data for 38 mountain rivers of the Republic of Uzbekistan, the parameters of extreme hydrological events during the period of low runoff were calculated. These events were identified by the characteristics of runoff hydrograph sections beyond the specified threshold values of water consumption (90% probability). Parameters of low-water periods are related to various hydrological characteristics, first of all, specific features of river feeding. It was demonstrated that the amount of water reserves in snow cover at the end of February and March or the total amount of precipitation during the cold period could be indicators of hydrological drought for mountain rivers of Uzbekistan. Possible trends of changes of these parameters are considered.

Key words: river runoff, feeding sources, Schultz coefficient, deficit of water resources

Acknowledgements. The study was accomplished under the scientific cooperation of land hydrology departments of the Lomonosov Moscow State University and the Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan. The authors are sincerely thankful to their colleagues for their advices, suggestions and support.

¹ Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Faculty of Geography and Natural Resources, Department of Land Hydrology, Senior Lecturer, PhD; *e-mail:* d.turgunov1987@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Senior Lecturer; *e-mail:* sazonov.lexa@mail.ru

³ Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Faculty of Geography and Natural Resources, Department of Land Hydrology, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* hikmatov_f@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* frolova_nl@mail.ru

REFERENCES

- Agal'tseva N.A., Pak A.V., Novikova V.A.* Hidrologicheskaya zasukha v Uzbekistane, analiz prichin i vozmozhnosti prognozirovaniya [Hydrological drought in Uzbekistan, analysis of the causes and the prospects of forecasting] // Trudy nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta, 2010. Tashkent: Vol. 12(257). P. 55–63. (In Russian)
- Alekseyevskiy N.I., Frolova N.L.* Bezopasnost' vodopol'zovaniya v usloviyakh malovodiy [Reliability of water use under low-water conditions] // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye». 2011. № 6. P. 6–17. (In Russian)
- Bolgov M.V., Mishon V.M., Sentsova N.I.* Sovremennyye problemy vodnykh resursov i vodoobespecheniya [Actual problems of water resources and water supply] M.: Nauka, 2005. 318 p. (In Russian)
- Chub V.Y.* Degradatsiya oledeneniya i posledstviya [Degradation of glaciation and the consequences] // V kn. *Izmeneniye klimata – tragediya ili real'nost'?* Tashkent, 2015. P. 11–16. (In Russian)
- Chub V.Y.* *Izmeneniye klimata i yego vliyaniye na gidrometeorologicheskiye protsessy, agroklimaticheskiye i vodnyye resursy Respubliki Uzbekistan* [Climate change and its impact on hydrometeorological processes, agroclimatic and water resources of the Republic of Uzbekistan] Tashkent: «VORIS NASHRIYOT», 2007. 133 p. (In Russian)
- Dracup J.A., Lee K.S., Paulson E.G.* On the statistical characteristics of drought events // *Water Resour. Res.* 1980. № 16 (2). P. 289–296.
- Evtstigneyev V.M.* *Rechnoy stok i gidrologicheskiye raschety* [River runoff and hydrological calculations] M.: Izd-vo MGU, 1990. 304 p. (In Russian)
- Fleig A.K., Tallaksen L.M., Hisdal H., Demuth S.* A global evaluation of streamflow drought characteristics // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2006. № 10(4). P. 535–552. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-10-535-2006>.
- Gidrometeorologicheskiye riski [Hydrometeorological risks] / Pod red. L.N. Karlina. SPb.: Izd-vo RGGMU, 2008. 282 p. (In Russian)
- Hannaford J., Lloyd-Hughes B., Keef C., Parry S., Prudhomme C.* Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit // *Hydrol. Process.* 2011. № 25(7). P. 1146–1162. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7725>. *Inagamova S.I., Mukhtarov T.M., Mukhtarov S.T.* Osobennosti sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [Specific features of synoptic processes in Central Asia] Tashkent: SANIGMI, 2002. 486 p. (In Russian)
- Kalendar' tipov sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [Calendar of the types of synoptic processes in Central Asia] Vol. 4 / Pod red. S.I. Inogamovoy. Tashkent: NIGMI, 2013. 82 p. (In Russian)
- Karamoldoyev Z.H., Khristoforov A.V.* Stok gornyx rek v malovodnyy period, yego raschety i prognozy [The runoff of mountain rivers during low-water period, its calculations and forecasts] Bishkek: Ilim, 1994. 147 p. (In Russian)
- Khikmatov F.K., Turgunov D.M.* Malovodnyye gody na gornyx rekakh, voprosy rascheta ikh normy i parametrov uglublenniya [Low-water years on mountain rivers, problems of calculating their standard characteristics and extension parameters] // *Vestnik NUUZ.* № 3/1. Yestestvennyye nauki. Tashkent, 2017. P. 330–335. (In Russian)
- Konovalov V.G.* Dinamika oledeneniya Tsentral'noy Azii po materialam distantsionnogo zondirovaniya [The dynamics of glaciation in Central Asia according to remote sensing materials] // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2012. T. 9. № 1. P. 281–288. (In Russian)
- Kovalov Y.S., Mavlonov A.A.* O probleme malovod'ya v basseynakh rek Syrdar'i i Amudar'i [Problem of water scarcity in the Syr Darya and Amu Darya river basins] // *Materialy Respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* Tashkent: GIDROINGEO, 2008. P. 15–20. (In Russian)
- Ol'dekop E.M.* Zavisimost' rezhima r. Chirchik ot meteorologicheskikh faktorov [The dependence of the Chirchik River regime on meteorological factors] // *Tr. Meterol. otдела gidrom. chasti v Turkestanskom kraye.* 1918. Vol. 83 (In Russian)
- Problemy bezopasnosti v vodokhozyaystvennom komplekse Rossii. [Reliability problems in the water sector of Russia]. Krasnodar, 2010. 479 p. (In Russian)
- Rasulov A.R., Khikmatov F.K., Aytboyev D.P.* *Osnovy gidrologii* [The basics of hydrology]. Tashkent: Universitet, 2003. 327 p. (In Russian)
- Semenov V.A.* Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya opasnykh i neblagopriyatnykh gidrologicheskikh yavleniy na rekakh Rossii [Climatically caused changes in hazardous and severe hydrological phenomena on the rivers of Russia] // *Meteorologiya i gidrologiya.* 2011. № 2. P. 74–82. (In Russian)
- Semenov V.A.* Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya opasnykh navodneniy, pavodkov i malovodiy v krupnykh rechnykh basseynakh Rossii [Climatically caused changes in hazardous inundations, floods and low-water situations in large river basins of Russia] // *Vodnyye problemy krupnykh rechnykh basseynov i puti ikh resheniya.* Barnaul, 2009. P. 194–203. (In Russian)
- Shul'ts V.L.* *Reki Sredney Azii* [The rivers of Central Asia] L.: Gidrometeoizdat, 1965. 691 p. (In Russian)
- Smakhtin V.U.* Low flow hydrology: a review // *Journal of Hydrology,* 2001. № 240. P. 147–186.
- Shiklomanov A.I., Agaltseva N., Lammers R.* Observed and projected hydrological changes in the Aral Sea basin. The AGU Meeting San Francisco, USA, December 15–19, 2008.
- Trubetskova M.D.* Osobennosti zonal'nogo stoka rek basseyna Verkhney Amudar'i v malovodnyye i mnogovodnyye gody [Specific features of the zonal runoff of rivers in the Upper Amu Darya River basin during low-water and high-water years] // *Vodnoye khozyaystvo Rossii. Problemy, tekhnologii, upravleniye.* 2012. № 4. P. 93–102. (In Russian)
- Turgunov D.M., Khikmatov F.H.* Estimation of the low-water norm in the mountain rivers of Central Asia // *European Sciences review.* Austria: Vienna, 2018. № 3–4. P. 101–105.
- Van Loon A.F., Laaha G.* Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics // *Journal of Hydrology,* 2015. № 526. P. 3–14.
- Van Loon A.F., Van Lanen H.A.J.* A process-based typology of hydrological drought // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2012. № 16(7). P. 1915–1946. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-16-1915-2012>.
- Van Loon A.F., Tiedeman E., Wanders N., Van Lanen H., Teuling A., Uijlenhoet R.* How climate seasonality modifies drought duration and deficit // *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2014. № 119(8). P. 4640–4656. <http://dx.doi.org/10.1002/2013JD020383>.
- Vladimirov A.M.* Stok rek v malovodnyy period goda [River runoff during the low-flow period of the year] L.: Gidrometeoizdat. 1976. 295 p. (In Russian)
- White C.J., Tanton T.W., Rycroft D.W.* The impact of climate change on the water resources of the Amu Darya Basin in Central Asia // *Water Resour. Manag.* 2014. № 28. P. 5267–5281.
- Wong G., Van Lanen H.A.J., Torfs P.J.J.F.* Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought // *Hydrol. Sci. J.* 2013. № 58(2). P. 253–270.
- Web resources:*
EDB (Eurasian Development Bank): Impact of Climate Change to water resources in Central Asia, Almaty, Kazakhstan, 44 p. [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.vinokurov.info/assets/files/EDB%20Report%206%20climate%20eng.pdf>, 2009 (access data 20.01.2019)

Received 04.03.2019

Revised 15.05.2019

Accepted 12.09.2019