

менения содержания NO_3 , NH_4 , K_2O в почве во времени // Повышение эффективности мелиорируемых и использования водных ресурсов в мелиорации: сб. трудов. – М: МГМИ, 1987. – С. 9.

5. Маркин В. Н., Костюков И. С. Изучение стохастического процесса изменения концентрации нитратов в грунтовых водах // Комплексные мелиорации: сб. трудов. – М: МГМИ, 1986. – С. 8.

6. Шабанов В. В., Маркин В. Н. Прогноз изменения концентрации биогенов в дренажном стоке // Комплексное мелиоративное регулирование: сб. трудов. – М:

МГМИ, 1988. – С. 9.

7. Биленко В. А. Заиление водохранилищ на реке Нарын [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.planet.elcat.kg/?cont=article&article=6> (дата обращения 16.06.2013).

8. Доспехов А. А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

Материал поступил в редакцию 07.04.14.

Маркин Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики

E-mail: MVNarkin@mail.ru

УДК 502/504:556

Н. ДЖАНДАГИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЯДОВ РЕЧНОГО СТОКА РЕК ИРАНА

В статье рассматривается исследование двух речных бассейнов, расположенных на территории Ирана – Гарасу и Хаблируд. Ряды наблюдений на этих водосборах ограничены 30 годами и содержат небольшое количество сочетаний маловодных и многоводных периодов. Уточнены вероятностные характеристики перспективного водопользования на основе моделирования гидрологических рядов. Получены вероятностные характеристики перспективного водопользования из поверхностных источников и возможного регулирования стока на реках Хаблируд и Гарасу. Проведено сравнение искусственных смоделированных и исходных гидрологических рядов годового стока, рассмотрена степень различия их статистических параметров. Различия между ними устанавливались по величине средних квадратических ошибок исходного ряда наблюдений. Показана высокая (94,7 %) обеспеченность плановой годовой водоотдачи в естественных условиях реки Хаблируд является достаточно высокой, что свидетельствует о достаточности сезонного регулирования стока. Для реки Гарасу обеспеченность плановой годовой водоотдачи составляет всего 70,2 %, что обуславливает необходимость проведения мероприятий по многолетнему регулированию.

Стохастическое моделирование, речной сток, водохранилище, реки Ирана.

The article considers investigation of two river basins situated in the territory of Iran – Garasu and Khablirud. The observation series on these water catchments are limited by 30 years and contain a small quantity of combinations of shallow and high water periods. Probability characteristics are defined for a perspective water use on the basis of simulation of hydrological series. There are obtained probability characteristics of the perspective water use from surface sources and possible flow regulation on the rivers Garasu and Khablirud. Comparison of artificial simulated and initial hydrological series of an annual flow was carried out, the degree of their difference of statistical parameters was considered. Differences between them were established according to the value of quadratic mean errors of the initial series of observations. There was shown a high (94,7 %) provision with a planned annual water yield under the natural conditions of the Khablirud river which confirms a sufficiency of the flow seasonal regulation. For the river Garasu provision with a planned annual water yield is only 70,2 % which stipulates the necessity of arranging measures on the long-term regulation.

Stochastic simulation, river flow, reservoir, rivers of Iran.

В последнее время на практике широко используются искусственные длительные гидрологические ряды. Они позволяют более объективно оценивать вероятностные характеристики показателей водопользования и регулирования стока, для которых практически невозможно подобрать какой-либо теоретический закон распределения случайных величин.

Для проведения исследований были выбраны два речных бассейна, расположенных на территории Ирана, Гарасу

и Хаблируд (рис. 1, 2). Ряды наблюдений на этих водосборах ограничены 30 годами, то есть они содержат небольшое количество сочетаний мало- и многоводных периодов. Река Гарасу с площадью бассейна 1638 км² и длиной 100 км впадает в Каспийское море. Река Хаблируд с площадью бассейна 3270 км² и длиной 117 км впадает в озеро Намак. Режим стока анализируемых бассейнов существенно отличается от режима водопользования [1, 2].

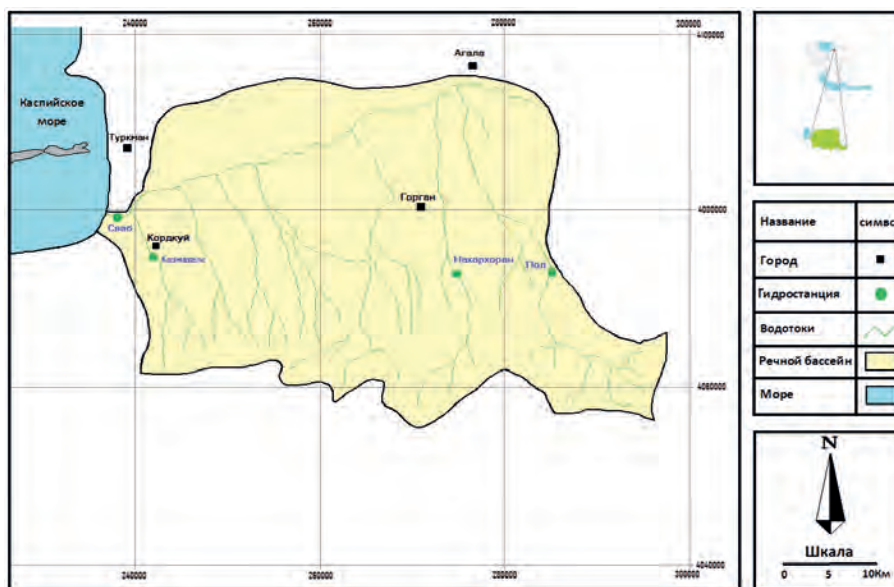


Рис. 1. Гидрографическая карта и географическое расположение речного бассейна Гарасу

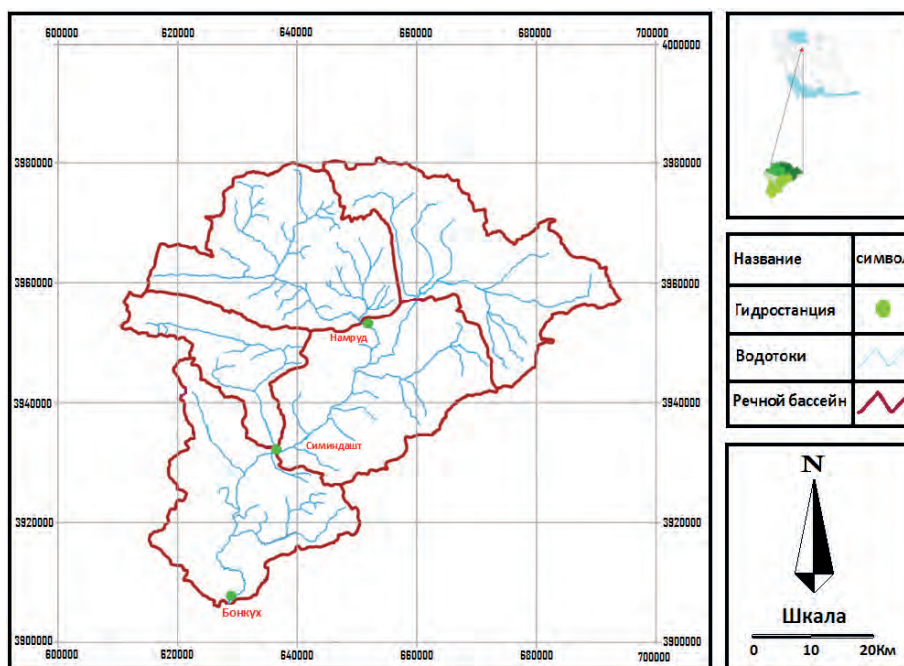


Рис. 2. Гидрографическая карта и географическое расположение речного бассейна Хаблируд

Целью данной работы является уточнение вероятностных характеристик перспективного водопользования на основе моделирования гидрологических рядов. В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

проверка существующей методики моделирования искусственных рядов относительно их адекватности исходным данным наблюдений для условий основных рек Ирана;

оценка вероятностных характеристик перспективного водопользования из поверхностных источников и возможного регулирования стока на реках Хаблируд и Гарасу.

Искусственные гидрологические ряды моделировались методом Монте-Карло [3, 4] продолжительностью 1000 лет на основе следующих характеристик исходных гидрологических рядов: среднее значение Q , коэффициент вариации C_v , коэффициент асимметрии C_s , коэффициент автокорреляции r .

По найденным для исходного ряда

параметрам строились аналитические кривые обеспеченности модульных коэффициентов годового стока при использовании таблиц трехпараметрического гамма-распределения. Затем случайным образом моделировались значения обеспеченности p_i , подчиняющихся равномерному закону распределения с помощью специальной программы, имеющейся в математическом обеспечении ПЭВМ. По полученным значениям p_i и определенным значениям Q, C_v и C_s с учетом r моделировались значения Q_{ic} помощью выбранных аналитических кривых обеспеченности модульных коэффициентов [3, 4].

Для оценки адекватности искусственных смоделированных гидрологических рядов годового стока относительно исходных рядов наблюдений анализировалась степень различия их статистических параметров. Различия между ними сравнивались с их средними квадратическими ошибками исходного ряда наблюдений (табл. 1, 2).

Таблица 1

Сравнение значений статистических параметров годового стока между исходными и смоделированными данными реки Хаблируд

$Q_{\text{исходные}} = 7,30$	$Q_{\text{модель}} = 7,42$	Ошибка Q 7,37 %	$(\Delta Q / Q_{\text{модель}}) \cdot 100 = 1,63$
$C_{v, \text{исходные}} = 0,4$	$C_{v, \text{модель}} = 0,4$	Ошибка C_v 13,63 %	$(\Delta C_v / C_{v, \text{модель}}) \cdot 100 = 0,39$
$r_{\text{исходные}} = 0,41$	$r_{\text{модель}} = 0,43$	Ошибка r 15,48 %	$(\Delta r / r_{\text{модель}}) \cdot 100 = 4,67$
$C_{s, \text{исходные}} = 0,8$	$C_{s, \text{модель}} = 0,58$	Ошибка C_s 29,07 %	$(\Delta C_s / C_{s, \text{модель}}) \cdot 100 = 38,65$

Таблица 2

Сравнение значений статистических параметров годового стока между исходными и смоделированными данными реки Гарасу

$Q_{\text{исходные}} = 1,93$	$Q_{\text{модель}} = 1,97$	Ошибка Q 9,86 %	$(\Delta Q / Q_{\text{модель}}) \cdot 100 = 2,03$
$C_{v, \text{исходные}} = 0,54$	$C_{v, \text{модель}} = 0,53$	Ошибка C_v 14,12 %	$(\Delta C_v / C_{v, \text{модель}}) \cdot 100 = 1,69$
$r_{\text{исходные}} = 0,42$	$r_{\text{модель}} = 0,44$	Ошибка r 15,29 %	$(\Delta r / r_{\text{модель}}) \cdot 100 = 4,55$
$C_{s, \text{исходные}} = 1,08$	$C_{s, \text{модель}} = 0,78$	Ошибка C_s 47,06 %	$(\Delta C_s / C_{s, \text{модель}}) \cdot 100 = 38,46$

Из представленных данных видно, что различия основных статистических параметров значительно меньше их относительных средних квадратических ошибок, вычисленных по формулам для 30-летнего ряда. Следовательно, наблюдаемый и смоделированный

ряды можно считать рядами из одной генеральной совокупности случайных величин.

На основе практики водопользования из поверхностных источников бассейнов рек Гарасу и Хаблируд, а также оценки перспективного водопользования были

определены годовые значения объемов водопотребления Π из речных систем этих бассейнов: для Гарасу $\Pi_{\text{Гар}} = 40$ млн м^3 , для Хаблируд $\Pi_{\text{Хабл}} = 103,8$ млн м^3 .

По искусственным длительным гидрологическим рядам была оценена частота появления дефицитных лет, кото-

рая принимались за вероятность p_d этого события. Обеспеченность планового водопользования рассчитывалась так:

$$p_a = (1 - p_d) \cdot 100 \%$$

Также оценивался максимальный годовой объем V_d дефицитов воды. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

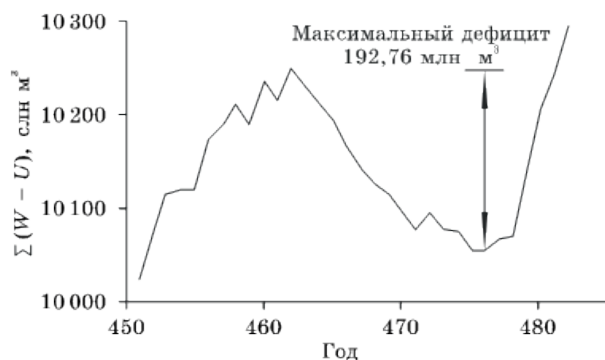
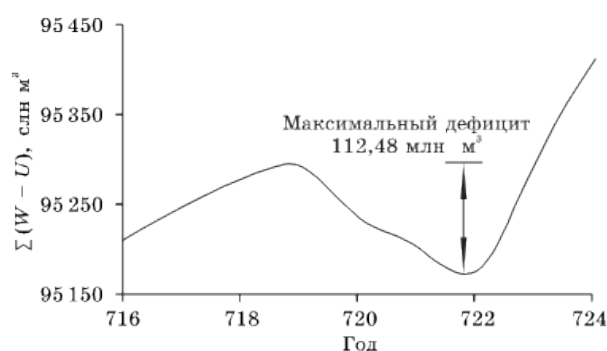
Таблица 3

Оценка характеристик водопользования при естественном стоке

Река	Параметр		
	$p_d, \%$	$p_a, \%$	$V_d, \text{млн м}^3$
Гарасу	0,298	70,2	29,1
Хаблируд	0,053	94,7	79,5

Данные таблицы 3 свидетельствуют, что обеспеченность планового водопользования водами реки Хаблируд достаточно высокая и составляет 94,7 %. У реки Гарасу этот показатель значительно ниже и достигает только 70,2 %. Следовательно для повышения степени водопользования в бассейне реки Гарасу необходимо предусмотреть создание водохранилища.

Предварительный анализ разностной интегральной кривой стока и плановой водоотдачи показал, что в сложившихся условиях вероятно появление подряд нескольких дефицитных лет (рис. 3, 4). Максимальные возможные дефициты водопользования в бассейне Гарасу составили 192,76 млн м^3 , в бассейне Хаблируд – 112,48 млн м^3 . Максимальные временные периоды дефицита водопользования для бассейнов рек Гарасу и Хаблируд составили 15 лет и 4 года соответственно.

Рис. 3. Разностная интегральная кривая стока W и водоотдачи U в бассейне реки ГарасуРис. 4. Разностная интегральная кривая стока W и водоотдачи U в бассейне реки Хаблируд

Была проведена вероятностная оценка появления дефицитных n лет и соответствующих суммарных максимальных дефицитов. С помощью смоделированных данных сформированы ряды стока 2, 3, 4, 5 лет. Были рассчитаны суммарные дефициты и определена вероятность появления дефицитов за эти интервалы, а также фиксировалась величина максимального суммарного дефицита V_d (табл. 4).

Анализ данных таблицы 4 показал, что суммарный дефицит постоянно повышается с увеличением продолжительности непрерывного периода дефицитов для условий реки Гарасу в отличие от Хаблируд. Можно сделать вывод, что на реке Гарасу необходимо проводить многолетнее регулирование стока, а на реке Хаблируд – достаточно сезонное. Вероятность превышения суммарных дефицитов воды показана на рисунке 5.

Вероятностные характеристики водопользования при естественном стоке

Бассейн	n , лет	p_d , %	p_a , %	V_d , млн м ³
Гарасу	2	0,236	76,4	56,4
	3	0,207	79,3	75,5
	4	0,188	81,2	78,0
	5	0,160	84,0	93,3
Хаблируд	2	0,028	97,2	56,1
	3	0,030	97,0	65,0
	4	0,004	99,6	26,9
	5	0,005	99,5	7,4

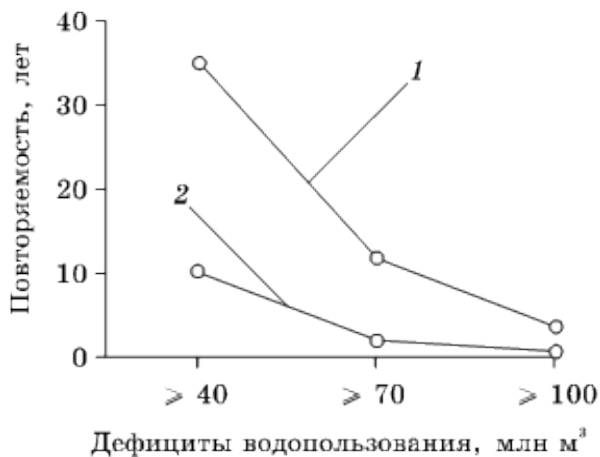


Рис. 5. Повторяемость превышения суммарных дефицитов воды, вычисленная по искусственным 1000-летним гидрологическим рядам речного стока: 1 – река Гарасу; 2 – Хаблируд

Выводы

Использованная в данной работе методика моделирования искусственных гидрологических рядов является вполне адекватной относительно исходных рядов наблюдений для условий функционирования основных рек Ирана. Обеспеченность плановой годовой водоотдачи в естественных условиях реки Хаблируд является достаточно высокой и составляет 94,7 %, поэтому не требуется проводить регулирование стока или достаточно только сезонное регулирование. Для реки

Гарасу этот показатель составляет всего 70,2 %, что обуславливает необходимость проведения мероприятий по многолетнему регулированию стока.

1. Джандаги Н., Белолобцев А. И. Рациональное управление водопользованием в изменяющихся антропогенных и климатических условиях Ирана // Международный научный журнал. – 2014. – № 2. – С. 81–87.

2. Джандаги Н. Анализ изменений речного стока бассейнов Ирана в условиях потепления климата // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2014»: материалы конференции. – М.: МГУ, 2014. – С.

3. Сванидае Г. Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 296 с.

4. Ilinitch V. V., Gmorshuk N. Simulation of hydrological time series of river flows to Kama cascade of water reservoirs // Agriculture and Natural Resources: Proc. the second international Iran and Russia conference. – М., 2001. – P. 286–290.

Материал поступил в редакцию 03.09.14.

Надер Джандаги, аспирант
 Тел. 8 (499) 977-73-55
 E-mail: nader.jandaghi@yahoo.com