

УДК 556.16.(282.254.6)«45»

А. Джалалванд, Е.В. Гайдукова

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЛЕТНЕГО ГОДОВОГО СТОКА РЕК СЕФИДРУД И КАРУН (ИРАН)

Российский государственный гидрометеорологический университет,
a.jalalvand@gmail.com

A. Jalalvand, E.V. Gaidukova

CONSIDERING HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF RIVERS SEFIDRUD AND KARUN OF IRAN USING ANNUAL RIVER FLOW

Данная статья посвящена созданию и анализу информационной базы для водосборов рек Сефидруд и Карун, включающей норму стока, коэффициенты вариации, асимметрии, стока и автокорреляции при годовой сдвижке. Кроме того был рассчитан критерий устойчивости начальных моментов модели формирования вероятностного распределения. Выявлено, что модель, описывающая процесс формирования стока, может давать неустойчивые решения по второму и третьему моменту в некоторых районах рассматриваемых речных бассейнов. Выявленное обстоятельство необходимо учитывать при сценарных оценках долгосрочных изменений многолетнего годового стока бассейнов рек Сефидруд и Карун. Созданную информационную базу рекомендуется использовать при статистической оценке современного режима многолетнего годового стока.

Ключевые слова: *годовой сток, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии, критерий устойчивости, Иран.*

This article is dedicated to the creation and analysis of the information base for the watershed of rivers Sefidrud and Karun, including the rate of runoff, coefficients of variation, skewness, runoff and at the annual shift of the autocorrelation. In addition, the criterion stability of the initial moments of the probability distribution model of the formation was calculated. It was revealed that the model describing the formation of runoff may produce unstable solutions of the second and third time in some parts of the river basin considered. Identified circumstances must be taken into account in scenario assessments of long-term changes in long-term annual flow of swimming Sefidrud and Karun rivers. To create an information base recommended for the statistical evaluation of the modern mode of long-term annual flow.

Keywords: *annual flow, coefficient of variation, coefficient asymmetry, criterion of stability, Iran.*

Мотивация исследования

Происходящие климатические изменения в настоящее время уже подтверждаются многолетними данными температурных наблюдений на всех континентах, во всех странах, включая Иран. При любых причинах (антропогенных или естественных) встает вопрос об оценке гидрологических последствий изменения климата. Для решения этого вопроса на начальном этапе необходимо статистически оценить современный режим многолетнего годового стока.

Целью данной статьи является создание информационной базы для последующей оценки текущего гидрологического режима и параметризации прогностических

(сценарных) моделей вероятностных характеристик многолетнего годового стока рек Ирана – Сефидруд и Карун. Информационная база должна содержать карты расчетных гидрологических характеристик: нормы стока h , коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s , а также коэффициентов стока k и автокорреляции $r(1)$ при годовой сдвиге. Последние коэффициенты [k и $r(1)$] необходимы также для оценки степени устойчивости существующего многолетнего режима речного стока.

Основное содержание и результаты исследования

В качестве исследуемых речных бассейнов были взяты водосборы рек Сефидруд и Карун, которые располагаются на севере и юго-западе Ирана (рис. 1). Река Сефидруд впадает в Каспийское море и является крупнейшей (площадь водосбора около 56,2 тыс. км²) и самой многоводной рекой иранского побережья Каспия. Река Карун впадает в Персидский залив и является крупнейшей рекой Ирана (площадь водосбора около 67,3 тыс. км²). Средний годовой расход р. Сефидруд и Карун около 130 и 575 м³/с соответственно.

Расположение гидрологических постов в бассейнах Сефидруд и Карун представлено на рис. 2. Они расположены равномерно по территории, из них были выбраны посты с незарегулированным стоком для надежной статической обработки рядов и картирования ее результатов. Всего получилось 56 постов: по 8 постов в каждом рассматриваемом бассейне.

Обработка рядов проводилась полностью в соответствии с теми рекомендациями, которые используются в России [1]: построение разностно-интегральных кривых, применение критериев Стьюдента и Фишера для оценки степени



Рис. 1. Местоположение речных бассейнов Сефидруд и Карун

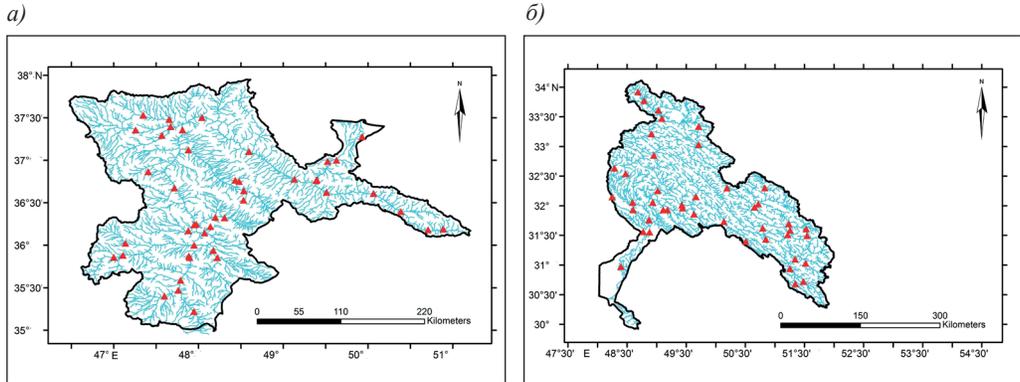


Рис. 2. Расположение гидрологических постов в речных бассейнах р. Сефидруд (а) и р. Карун (б)

однородности. Статистически обрабатывались только ряды наблюдения за расходом воды зональных рек. Для определения критической площади, отделяющей азональные бассейны от зональных, была построена редуцирующая кривая (рис. 3), позволившая найти репрезентативную площадь, равную 1700 км². Условиям зональности отвечают 33 бассейна из 56.

Представление о рядах и рассчитанных статистических характеристиках дает табл. 1. Продолжительность рядов составляет в среднем 40 лет, большинство рядов начинаются с 1968 г., только 6 рядов – с 1967 г., и заканчиваются все ряды 2007 г.

По данным расчетов, представленных в табл. 1, построены карты, которые показаны на рис. 4, где видно, что наибольшая величина слоя стока в бассейне Сефидруд составляет около 500 мм/год и наблюдается на востоке, в бассейне Карун – 600 мм/год на западе. Большие значения слоя стока связаны с большим количеством осадков, выпадающим в этих районах. Средняя погрешность нормы слоя стока составляет 7 %, максимальное значение погрешности – 10 %.

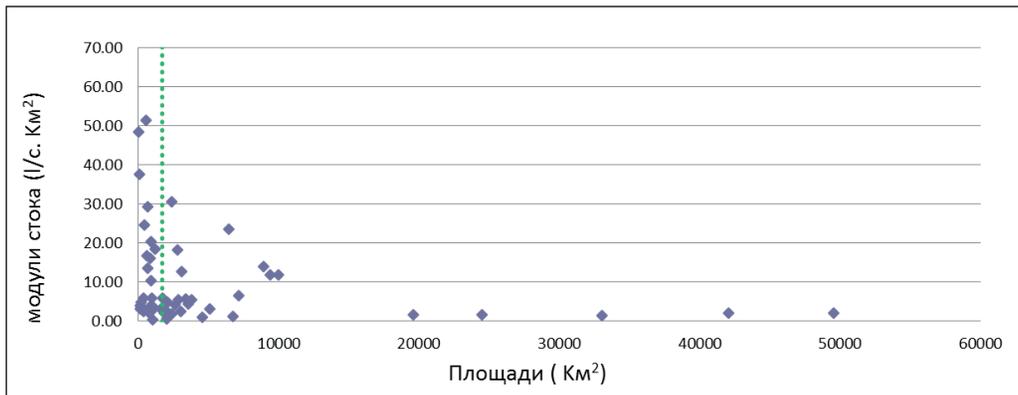


Рис. 3. Редуцирующая зависимость для бассейнов рек Сефидруд и Карун

Рассчитанные гидрологические характеристики рек Ирана

Станция	F , км ²	h , мм	C_v	C_s	$r(1)$	k	β
Бассейн р. Сефидруд							
Binalood	5078	100	0,48	0,75	0,15	0,43	0,37
Telvar– Salamat Abad	6770	38	0,56	1,24	0,37	0,14	1,71
Hashtad Jofit	1825	68	0,61	1,30	0,31	0,30	1,30
Gragoni – Ghezel ozen	19618	53	0,61	0,92	0,27	0,23	1,39
Iyanki Kand – Sajac rood	2370	58	0,47	1,01	0,25	0,23	1,36
Sarcham – Zanjan Rood	4536	31	0,62	0,98	0,05	0,12	–
Pole Dokhtar	33021	49	0,52	0,80	0,32	0,19	1,26
Moter Khane	1802	94	0,58	0,91	0,30	0,35	1,58
Ostor	42081	63	0,51	1,07	0,28	0,20	1,14
Gilave – Ghezel ozen	49578	67	0,53	1,49	0,22	0,37	1,35
Miane	1907	98	0,50	0,66	0,36	0,32	1,48
Chepin – granko	2069	151	0,34	0,55	0,34	0,44	0,88
Telvar – Hassan Abad	1900	78	0,57	1,11	0,32	0,26	0,37
Miane – Granko	3542	137	0,43	0,47	0,32	0,46	1,71
Mahneshan – Ghezelozon	24511	53	0,49	0,81	0,32	0,21	1,00
Nesar oliya	1724	189	0,70	0,70	0,055	0,54	1,36
Shadi Abad – Chashmshor	2013	17	0,61	1,27	0,14	0,07	1,05
Бассейн р. Карун							
Patave	2800	574	0,43	0,53	–0,29	0,76	–
Kta	3059	400	0,34	0,61	0,016	0,74	–
Barez	8953	444	0,38	0,55	–0,054	0,70	–
Kohe Sokhte	3010	77	0,48	1,14	0,21	0,16	1,50
Rahim Abad	1729	108	0,30	0,98	0,24	0,23	1,35
Tire	3400	180	0,40	0,90	0,15	0,26	0,99
Solegan	1992	163	0,39	0,79	0,043	0,25	0,43
Pole krakhbast	2821	177	0,39	0,77	–0,015	0,28	–
Morghak	2967	765	0,34	1,10	–0,002	0,86	–
Armand	9986	378	0,29	0,79	0,065	0,61	–
Behsht Abad	3820	172	0,45	0,85	0,042	0,28	0,24
Sepid dash	7174	210	0,40	1,08	0,045	0,28	0,28
Tange Panj (Sezar)	9410	376	0,54	1,27	–0,019	0,32	–
Tange Panj	6432	746	0,36	1,49	–0,023	0,63	–
Dashte bozorg	2616	132	0,48	0,96	–0,14	0,48	–
Zor Abad	4234	169	0,25	0,70	0,058	0,78	–

Примечания: F – площадь; h – слой стока; C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии; $r(1)$ – коэффициент автокорреляция при годовой сдвиге; k – коэффициент стока; β – критерий устойчивости.

Из рис. 4, б и е видно, что изменение коэффициента вариации C_v незначительное, в бассейне Сефидруд большие величины C_v находятся на востоке, а в бассейне

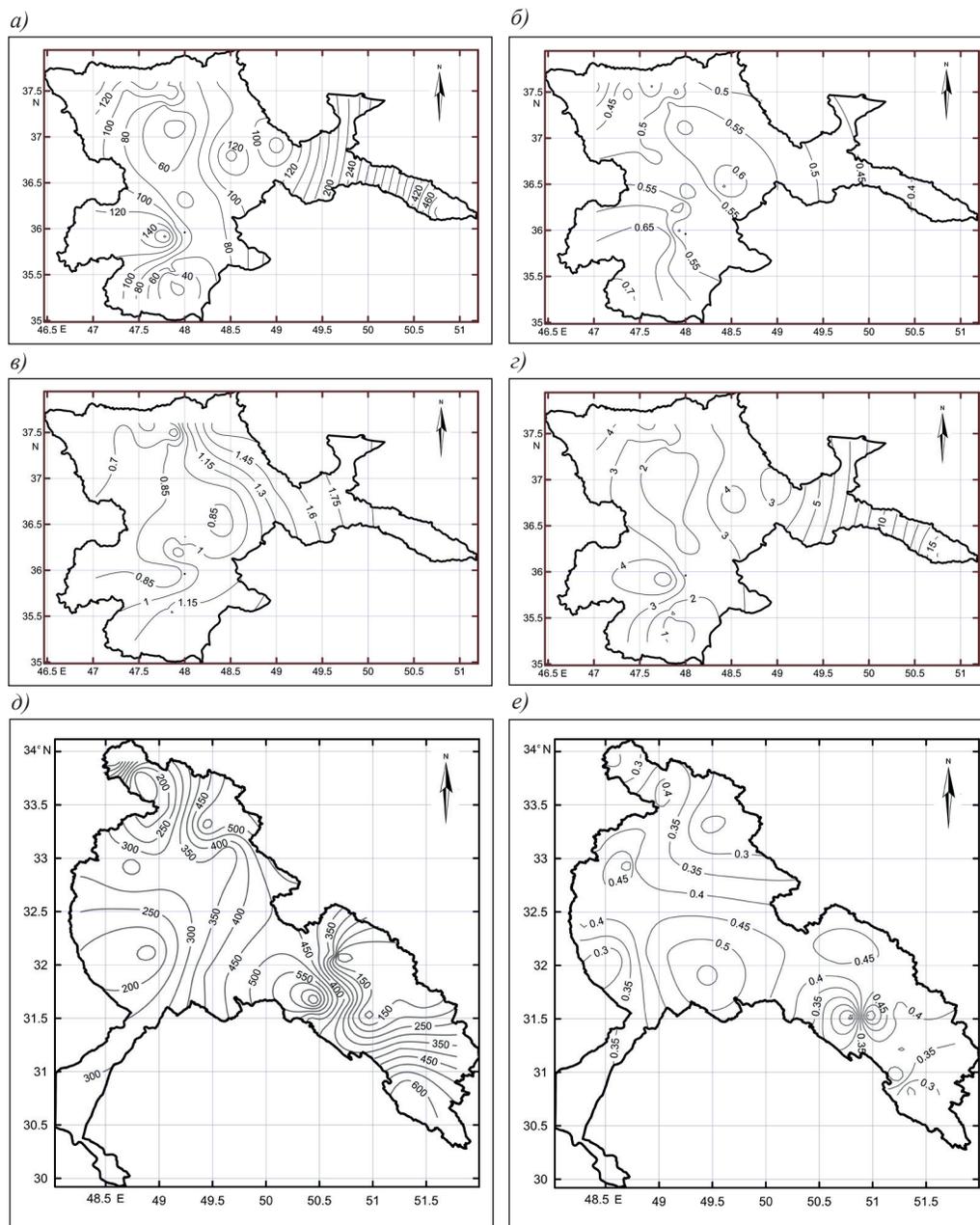


Рис. 4 (начало). Карты распределения слоя стока, C_v , C_s и модуля стока для бассейнов Сефидруд (а, б, в, г) и Карун (д, е, ж, з)

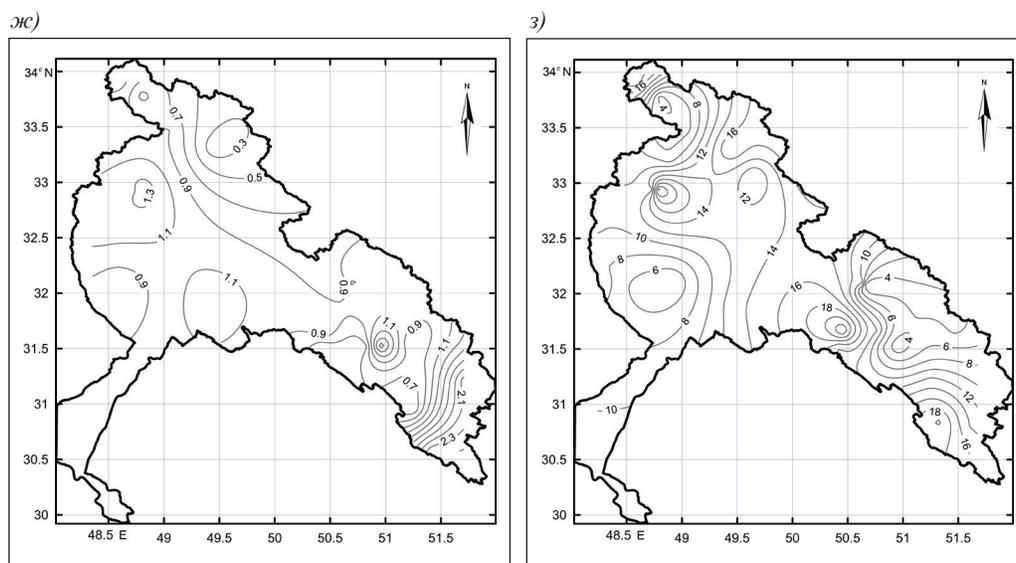


Рис. 4 (окончание). Карты распределения слоя стока, C_v , C_s и модуля стока для бассейнов Сефидруд (а, б, в, з) и Карун (д, е, ж, з)

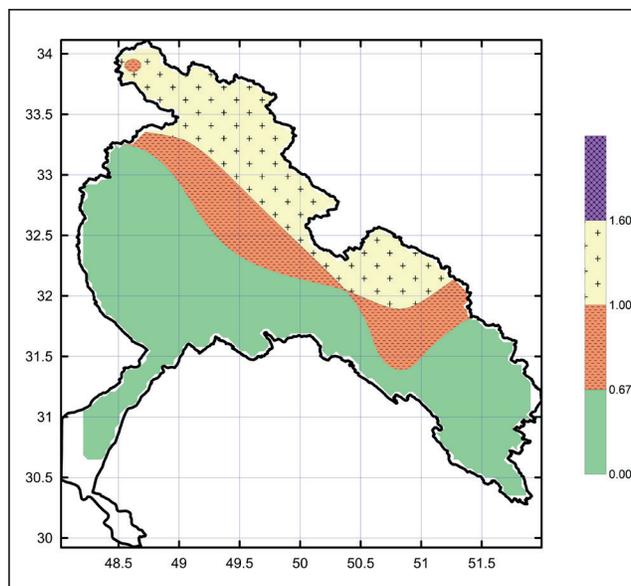
Карун различие в величинах C_v незначительны. Распределение значений коэффициентов вариации связано с распределением слоя стока: относительно большие значения C_v соответствуют малым значениям стока и наоборот. Сток, например, небольшой реки более изменчив от года к году и, соответственно, при расчете коэффициента вариации как частного от деления среднеквадратического отклонения на норму стока получается большее значение. Средняя погрешность коэффициента вариации для рассматриваемых водосборов составляет 13 % (с учетом продолжительности рядов равной 40 годам и малоизменяющихся значений коэффициентов вариации).

Коэффициент асимметрии C_s в рассматриваемых бассейнах увеличивается с запада на восток. Следует отметить, что при сорокалетней продолжительности рядов, значения коэффициентов асимметрии могут содержать значительные погрешности, достигающие 36 %.

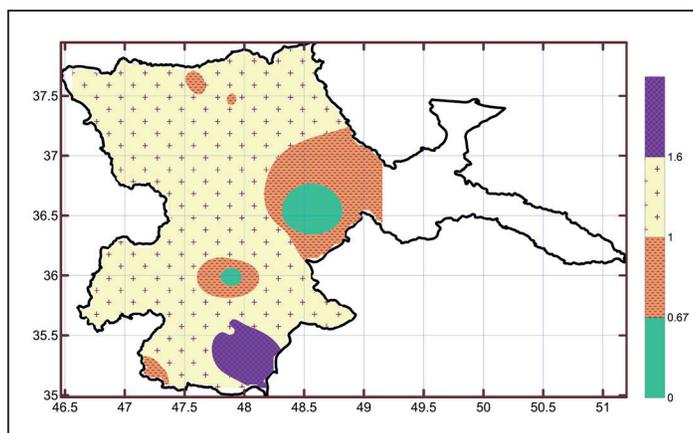
Модуль стока – количество воды, стекающее в единицу времени с единицы площади бассейна. Чаще всего модуль стока выражается в литрах в секунду с километра квадратного [3]. Большие значения модуля стока в бассейне Сефидруд находятся на востоке, а в Каруне – на западе, что соответствует распределению осадков.

Для нахождения критерия неустойчивости β необходимо определение численного значения интенсивности бассейнового шума $G_{\bar{c}}$ [4], но это может вызвать ряд затруднений. Однако практическую формулу для вычисления β можно найти, опираясь на тот факт, что автокорреляционная функция (r) для марковских случайных процессов (частное решение уравнения ФПК [4]) представляет собой экспоненту $r = \exp[-(\bar{c} - 0,5G_{\bar{c}})\Delta t]$ (здесь $\bar{c} = 1/k\tau$, где τ – время релаксации речного

а)



б)

Рис. 5. Распределение критерия устойчивости β по Каруну (а) и Сефидруду (б)

бассейна, равное 1 году при рассмотрении многолетнего годового стока). При годовой сдвигке ($\Delta t = 1$) эта формула сводится к выражению для вычисления критерия устойчивости: $\beta = 2k \ln r(\tau + 2)$, где $r(\tau)$ – коэффициент автокорреляции.

При увеличении значения β выбрасываются из рассмотрения ряд сложных понятий (эксцесс, асимметрия и т. д.), а при уменьшении, наоборот, вводят их в рассмотрение.

При $\beta > 0,67$ происходит потеря устойчивости третьим моментом, при $\beta > 1$ – вторым. Отсутствие устойчивости по начальным моментам говорит о том, что ряды расходов не представляют собой устойчивой статистической совокупности в классе распределений К. Пирсона [5].

Из рис. 5 видно, что на значительной территории бассейна р. Сефидруд годовой сток формируется неустойчиво по третьему и второму начальным моментам (а значит, по коэффициентам асимметрии и вариации), но в бассейне р. Карун видно, что больше половины территории устойчиво по второму начальному моменту.

В выявленных зонах неустойчивости решений модели для моментов вероятностных распределений процесс формирования речного стока необходимо описывать совместно с процессом формирования испарения с поверхности суши, которое является важным элементом в сведении водного баланса речных бассейнов Ирана. При использовании только статистических характеристик стока могут возникнуть проблемы и с правильной аппроксимацией эмпирических распределений стока кривыми из класса семейств распределений Пирсона; ситуация может ухудшиться при прогнозной оценке гидрологического режима по определенным климатическим сценариям.

Выводы

По созданной информационной базе рассчитаны и оценены статистические характеристики стока рек Сефидруд и Карун с целью дальнейшего выполнения сценарных прогнозов при изменяющемся климате. Однако при долгосрочном прогнозировании следует учитывать то обстоятельство, что описание процесса формирования стока оказалось неустойчивым по второму и третьему моментам в некоторых районах рассматриваемых речных бассейнов. В таких речных бассейнах следует применять методологию частично инфинитного моделирования [4], которая начинается с фрактальной диагностики рядов речного стока, т. е. с определения числа переменных в прогностической модели (см., например, [2]).

Литература

1. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты; учеб. для вузов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 304 с.
2. *Гайдукова Е.В., Громова М.Н.* Фрактальная диагностика летне-осеннего минимального стока России // Учен. зап. РГГМУ, 2011. № 21. – С. 20–24.
3. *Догановский А.М.* Гидрология суши (общий курс). – СПб.: РГГМУ, 2012. – 524 с.
4. *Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В.* Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2006. – 559 с.
5. *Коваленко В.В.* Новые явления и закономерность формирования речного стока. – СПб.: РГГМУ, 2013. – 172 с.