

М. Куассу

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЛЕТНЕГО ГОДОВОГО СТОКА ЮГО-ЗАПАДНОЙ АФРИКИ

М. Kuassi

HYDROLOGIC CHARACTERISTICS OF PERENNIAL ANNUAL RUNOFF SOUTH-WEST AFRICA

Рассматривается создание информационной базы для параметризации прогностических (оценочных) моделей вероятностных характеристик многолетнего годового стока Юго-Западной Африки, включающей норму стока, коэффициенты вариации и асимметрии, коэффициент стока и автокорреляции при годовой сдвиге, а также критерий устойчивости необходимый для оценки степени устойчивости существующего многолетнего режима.

Ключевые слова: годовой сток, норма стока, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии, критерий устойчивости, Юго-Западная Африка.

We consider the creation of a database to parameterize predictive (estimated) models the probability characteristics of long-term annual runoff of South-West Africa, including the rate of flow, the coefficients of variation and asymmetry, the runoff coefficient and the autocorrelation in the annual slight shift, as well as the stability criterion required to assess the sustainability of the existing long-term treatment.

Key words: annual flow, flow rate, coefficient of variation, the criterion of asymmetry, the stability criterion, South-West Africa.

Мотивация исследования

В настоящее время считается общепринятым факт потепления климата. Это подтверждается многолетними данными температурных наблюдений на всех континентах, включая Африку. Дискуссионным, на сегодняшний день, остается вопрос о причинах потепления: является ли оно антропогенным или его истоки находятся в естественных природных факторах (усиление солнечной активности и т.п.). Однако при любых причинах остается вопрос о гидрологических последствиях климатических изменений, будь то потепление или похолодание. Известно, что в России ведется широкий спектр исследований, связанных с оценкой гидрологических последствий изменения климата [1], однако для Африки наиболее актуальной является оценка подобных последствий для многолетнего годового стока, который в большей степени, чем остальные виды многолетнего стока (минимальный и максимальный) характеризует водные ресурсы.

Целью предлагаемой статьи является создание информационной базы для параметризации прогностических (оценочных) моделей вероятностных характеристик многолетнего годового стока Юго-Западной Африки. Эта информационная база

включает карты расчетных гидрологических характеристик (норма \bar{h} , коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s , а также – коэффициента стока и автокорреляции при годовой сдвиге). Последние необходимы также для оценки степени устойчивости существующего многолетнего режима, оцениваемого начальными моментами вероятностных распределений.

Прототипом результатов данного исследования является карта Мирового водного баланса [2]. Однако в ней приводится информация только о многолетней норме годового стока и его коэффициенте стока, что явно недостаточно для параметризации прогностических моделей. Кроме этого эта информация получена по устаревшим данным и требует уточнения.

Основное содержание и результаты исследования

Пункты наблюдений за речным стоком в Юго-Западной Африке представлены на рис. 1. Они расположены не совсем равномерно по территории, но их вполне достаточно, чтобы выполнить статистическую обработку рядов и закартировать результаты.

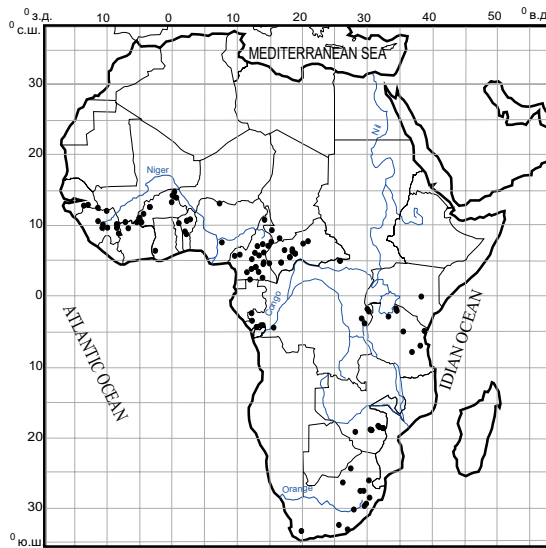


Рис. 1. Пункты наблюдений за речным стоком Юго-Западной Африки

Обработка рядов проводилась полностью в соответствии с теми рекомендациями, которые используются в России [3]: построение разностно-интегральных кривых, удлинение рядов, применение критериев Стьюдента и Фишера для оценки степени однородности, оценка погрешности вычисления гидрологических характеристик. Из 144 существующих рядов непригодными (по принятым в России критериям) оказалось 30. Представление о рядах и рассчитанных характеристиках дает таблица, в которой представлена информация о 114 рядах.

Расчитанные гидрологические характеристики

№ п/п	Река	F , км ²	Длина ряда	h , мм/ δ_h	C_v/δ_{C_v}	C_s	$r(1)$	k	β
1	MILO	1000	39	1176/6	0,37/12	1,72	0,00	0,74	—
2	TINKISSO	1260	44	372/8	0,56/12	1,18	0,35	0,20	1,57
3	NIGER	3180	44	903/4	0,26/11	0,21	0,04	0,46	—
4	MILO	9620	47	614/4	0,28/11	-0,87	0,07	0,46	—
5	NIANDAN	12770	47	532/6	0,15/11	-0,25	0,15	0,28	0,95
6	NIGER	18000	44	446/6	0,42/12	1,07	0,40	0,25	1,54
7	SANKARANI	21900	41	414/7	0,30/12	1,12	-0,04	0,24	—
8	IRANE	1250	43	115/12	0,76/14	1,17	0,55	0,11	1,86
9	ALIBORI	8170	42	149/10	0,63/13	1,24	0,42	0,14	1,75
10	ALIBORI	8170	43	102/8	0,50/72	0,17	0,47	0,10	1,85
11	PENDJARI	22280	41	86/14	0,91/14	2,88	-0,18	0,08	—
12	OUEME	23600	43	148/11	0,69/13	0,58	0,15	0,13	1,53
13	OUEME	46990	43	130/11	0,75/14	1,60	0,04	0,12	1,23
14	BAGOE	2580	39	559/6	0,38/12	1,14	-0,31	0,41	—
15	TANO	15800	38	288/3	0,16/12	0,17	-0,14	0,20	—
16	FALEME	15000	40	263/9	0,57/13	0,49	0,68	0,22	1,83
17	BAFING	15500	39	485/6	0,37/6	0,13	0,35	0,39	1,16
18	SANKARANI	34200	63	335/4	0,34/4	0,07	0,63	0,21	1,81
19	SANKARANI	35300	39	289/10	0,63/10	1,21	0,20	0,18	1,41
20	KOULOUNTOU	5350	44	206/5	0,33/5	-0,27	0,48	0,16	1,77
21	GAMBIA	42000	44	164/7	0,47/7	0,07	0,68	0,13	1,89
22	BLACK VOLTA	2816	39	127/6	0,40/6	-0,01	0,38	0,11	1,79
23	COMOE	2350	39	135/9	0,59/9	0,56	0,48	0,11	1,84
24	LERABA	5930	39	176/9	0,59/9	0,65	0,44	0,14	1,77
25	COMOE	9480	39	82/7	0,41/6	-0,19	0,50	0,07	1,90
26	BLACK VOLTA	14800	40	57/9	0,55/8	0,33	0,75	0,06	1,97
27	BLACK VOLTA	37140	41	176/7	0,47/12	0,04	0,72	0,04	1,98
28	COMOE	2350	39	135/9	0,59/13	0,56	0,48	0,11	1,84
29	BLACK VOLTA	37140	41	29/7	0,47/12	0,04	0,72	0,04	1,98
30	DARGOL	2750	39	31/9	0,58/13	0,14	0,08	0,06	1,79
31	MARADI	5400	39	41/15	0,63/13	1,10	0,33	0,01	1,98
32	DARGOL	6940	39	37/8	0,54/13	0,25	0,18	0,06	1,80
33	GAROUOL	7500	39	31/25	0,53/13	1,21	0,05	0,05	1,69
34	SIRBA	38750	39	20/10	0,63/13	-0,14	0,21	0,03	1,90

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Река	F , км ²	Длина ряда	h , мм/ δ_h	C_v/δ_{C_v}	C_s	$r(1)$	k	β
35	GOROUOL	44900	39	6/11	0,69/14	2,33	0,33	0,01	1,97
36	TSANAGA	1535	30	188/12	0,66/16	2,48	0,43	0,23	1,61
37	BINI	1585	30	513/2	0,13/13	-0,47	0,31	0,33	1,22
38	VINA	1690	30	668/3	0,21/13	-1,21	-0,20	0,44	—
39	NDJEKE	3720	30	353/4	0,24/13	-0,90	0,55	0,21	1,74
40	MAPE	4020	30	752/3	0,16/13	-0,45	0,01	0,47	—
41	NOUN	4700	38	698/3	0,17/12	0,14	0,17	0,33	0,84
42	DJA	5150	30	373/5	0,29/13	-0,82	0,53	0,24	1,70
43	NYONG	5300	30	324/5	0,25/13	-1,11	0,52	0,21	1,73
44	CROSS	6810	30	273/4	0,23/13	-0,51	0,31	1,12	—
45	MBERE	7430	30	467/4	0,22/13	0,70	0,29	0,32	1,23
46	NYONG	8350	30	333/4	0,21/13	-1,12	0,45	0,21	1,66
47	KADEI	8970	30	422/2	0,11/13	0,43	0,36	0,28	1,43
48	LOM	11100	30	506/2	0,13/13	0,74	0,33	0,33	1,27
49	NYONG	19985	30	393/4	0,22/13	-0,90	0,26	0,22	1,40
50	NTEM	18100	30	468/4	0,22/13	0,16	0,46	0,28	1,55
51	NYONG	18510	30	435/6	0,31/14	-0,07	0,61	0,27	1,73
52	KADEI	20370	30	362/7	0,14/13	0,34	0,05	0,24	0,58
53	DJEREM	20390	30	620/3	0,18/13	-0,04	0,23	0,39	0,85
54	MBAM	42300	30	520/4	0,21/13	-1,05	0,30	0,34	1,18
55	LOGONE	33970	59	497/6	0,43/10	0,44	0,63	0,33	1,69
56	KABIA	2072	13	18/23	0,84/26	2,34	-0,20	0,02	—
57	MATLABAS	1054	80	34/9	0,79/10	1,81	0,07	0,06	1,67
58	MOOIRIVIER	1546	49	182/7	0,49/11	1,26	0,32	0,21	1,53
59	MKOMAZI	1744	52	387/6	0,44/11	1,13	0,18	0,51	0,25
60	KEISKAMMA	2530	52	40/9	0,62/12	1,37	-0,08	0,07	—
61	OLIFANTS	3256	80	51/8	0,72/10	2,032	0,21	0,09	1,73
62	KLIP	4152	96	48/10	0,95/10	2,99	0,44	0,07	1,89
63	INCOMATI	5540	80	77/6	0,51/12	0,90	0,14	0,12	1,50
64	DORING	6895	79	39/7	0,61/13	0,90	0,10	0,13	1,38
65	TUGELA	28920	55	105/6	0,48/11	0,49	0,21	0,13	1,60
66	GROOT-VIS	29745	52	10/7	0,50/11	0,62	0,00	0,02	—
67	ORANGE	37070	87	118/6	0,56/9	1,35	0,09	0,16	1,24
68	VAAL	38564	84	36/9	0,80/10	1,95	0,25	0,05	1,86

№ п/п	Река	F , км ²	Длина ряда	h , мм/ δ_h	C_v/δ_{C_v}	C_s	$r(1)$	k	β
69	ODZI	2498	39	132/7	0,46/13	0,29	0,24	0,13	1,63
70	MUNYATI	2662	41	80/13	0,87/15	0,95	0,38	0,09	1,83
71	ODZI	2498	39	132/7	0,46/13	0,29	0,24	0,13	1,63
72	MUNYATI	2662	41	80/14	0,87/15	0,95	0,38	0,09	1,83
73	ODZI	2498	39	132/7	0,46/13	0,29	0,24	0,13	1,63
74	MUNYATI	2662	41	80/13	0,87/15	0,95	0,38	0,09	1,83
75	MACHEKE	3383	39	132/10	0,64/14	0,49	0,06	0,15	1,14
76	UMNIATI	5890	41	58/13	0,85/15	1,37	0,19	0,07	1,78
77	SAVE	11174	39	116/11	0,72/14	0,75	-0,07	0,14	–
78	GWAAI	38600	80	17/9	0,80/10	3,10	0,18	0,03	1,91
79	GURUMETI	13233	10	27/24	0,77/28	1,10	0,23	0,04	1,90
80	KILOMBERO	33400	42	340/7	0,46/12	0,52	0,44	0,38	1,37
81	BUBU	11400	25	14/12	0,64/17	1,57	0,00	0,03	1,65
82	PANGANI	25110	19	33/5	0,25/17	0,56	0,31	0,05	1,89
83	RUVU	15916	25	122/9	0,45/16	1,39	0,25	0,09	1,74
84	NYABARONGO	8900	20	307/3	0,14/16	-0,35	0,04	0,33	–
85	NYABARONGO	14600	20	131/10	0,12/16	0,42	0,01	0,24	–
86	KAGERA	30200	20	233/3	0,15/16	1,05	0,31	0,25	1,43
87	GURUMETI	13233	10	27/24	0,77/28	1,10	0,23	0,04	1,90
88	NIARI	17190	15	578/3	0,13/18	-0,61	-0,25	0,44	–
89	KILOMBERO	33400	42	340/7	0,46/12	0,52	0,44	0,38	1,37
90	BUBU	11400	25	14/13	0,64/17	1,57	0,00	0,03	1,65
91	PANGANI	25110	19	33/6	0,25/17	0,56	0,31	0,05	1,89
92	RUVU	15916	25	122/9	0,45/16	1,39	0,25	0,09	1,74
93	NYANGA	5800	11	1077/6	0,19/22	-0,48	0,01	0,61	–
94	NIARI	17190	15	578/3	0,13/18	-0,61	-0,25	0,44	–
95	KOUILOU	55010	15	487/4	0,17/19	-0,11	-0,37	0,32	–
96	NIARI	23385	15	511/3	0,13/18	-0,53	-0,28	0,39	–
97	LOUDIMA	3990	11	225/5	0,17/22	-1,06	-0,56	0,17	–
98	OUHAM	22800	23	399/11	0,51/17	1,10	0,65	0,29	1,75
99	FOULAKARY	2980	11	524/6	0,21/22	-0,18	-0,11	0,34	–
100	OUHAM	44700	23	235/6	0,29/15	-0,63	-0,04	0,17	–
101	LOBAYE	31000	26	353/2	0,12/14	0,45	-0,05	0,23	–
102	MPOKO	10800	24	315/7	0,35/15	0,71	0,26	0,21	1,42

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Река	F , км ²	Длина ряда	h , мм/ δ_h	C_v/δ_{C_v}	C_s	$r(1)$	k	β
103	DJA	38600	25	343/5	0,25/15	-0,01	-0,07	0,22	—
104	SEMLIKI	8000	23	580/7	0,35/16	2,05	0,60	0,58	1,41
105	RUSIZI	14300	16	430/7	0,30/19	0,79	0,71	0,35	1,76
106	MUREMBWE	949,6	17	582/6	0,26/18	-0,05	0,47	0,46	1,30
107	OУНАМ	22800	23	399/11	0,51/17	1,10	0,65	0,29	1,75
108	FAFA	6750	23	204/7	0,34/16	-0,20	0,77	0,15	1,92
109	OУНАМ	44700	23	235/6	0,29/15	-0,63	-0,04	0,17	—
110	LOBAYE	31000	26	353/2	0,12/14	0,45	-0,05	0,23	—
111	МРОКО	10800	24	315/7	0,35/15	0,71	0,26	0,21	1,42
112	ТОМИ	2380	24	222/8	0,41/16	0,02	0,24	0,16	1,55
113	МВОМОУ	29300	28	226/6	0,33/14	0,05	0,11	0,14	1,37
114	TANA	42220	42	116/7	0,48/12	1,20	0,28	0,18	1,54

Примечание. В таблице использованы обозначения: F – площадь водосбора; δ – погрешность, %; $r(1)$ – коэффициент автокорреляции при годовой сдвиге; k – коэффициент стока; β – критерий устойчивости.

По данным расчетов получены карты всех, представленных в табл. 1, характеристик (на рис. 2 в качестве примера представлены карты для \bar{h} и C_v).

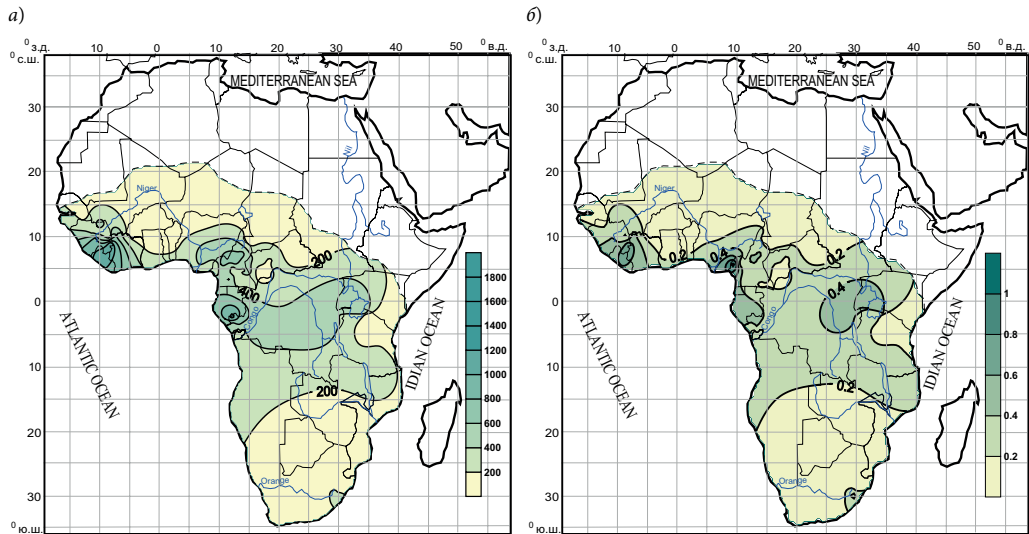


Рис. 2. Карты распределения нормы стока (а) и коэффициента вариации (б)

Полученные карты нормы и коэффициента стока в целом похожи на таковые, представленные в Атласе Мирового водного баланса, хотя имеются и заметные отклонения: для нормы стока на юге (ЮАР), а для коэффициента стока на востоке. Остальные карты получены впервые, и сравнивать их не с чем.

На рис. 2а, наибольшие значения слоя стока в Африке (1000–1500 мм/год) наблюдается в ее самых дождливых районах на побережье Гвинейского залива, там же велико значение коэффициента стока $>0,6–0,7$. К северу и востоку слой стока уменьшается, в бассейне р. Конго он составляет около 1000 мм/год, а к границам бассейна снижается до 200–250 мм/год. В субэкваториальных зонах слой стока уменьшается до 6–25 мм/год, в стране Нигер на границе с полупустынными областями и пустынями стремиться к нулю. В Сахаре и пустыне Намибии средний многолетний слой стока составляет менее 1 мм/год.

Из рис. 2б, видно, что в засушливых областях коэффициент вариации годового стока очень большой и составляет 0,7 и более, а в районах с большим увлажнением он уменьшается. Например, в бассейне Конго межгодовые колебания стока малы и C_v уменьшается до 0,1. В Западной Африке он составляет около 0,2. Колебания годового стока рек водосборов Атлантического и Индийского океанов в целом асинхронны.

Во многих публикациях определены разные значения коэффициентов стока в Африке, например, в работе [4] средний коэффициент стока для Западной Африки равен 0,16. В работе [5] показано, что среднему модулю стока 4,8 л/с км² соответствует коэффициент стока 0,35. В работе [6] показано, что для Африки в целом характерен низкий коэффициент стока, составляющий 0,2, тогда как его среднее глобальное значение равняется 0,35. Это связано, прежде всего, с очень высокими величинами суммарного испарения на континенте. Сток многих рек нерегулярен с большими межгодовыми и сезонными колебаниями.

На рис. 3 представлена карта распределения критерия устойчивости начальных моментов $\beta = 2k \ln r + 2$ (здесь k – коэффициент стока, r – коэффициент автокорреляции). Из нее видно, что почти вся рассматриваемая территория неустойчива по третьему и второму моментам, что может создать определенные проблемы при дальнейшем прогнозировании [7, 8].

Выводы

В результате выполнения расчетов, представленных в данной статье, создана информационная база для проведения долгосрочных оценок изменения вероятностных характеристик многолетнего годового стока Юго-Западной Африки. При выборе прогностического варианта модели следует учитывать то обстоятельство, что фактическое распределение второго и третьего моментов (а значит коэффициентов вариации и асимметрии) в некоторых регионах оказалось неустойчивым.

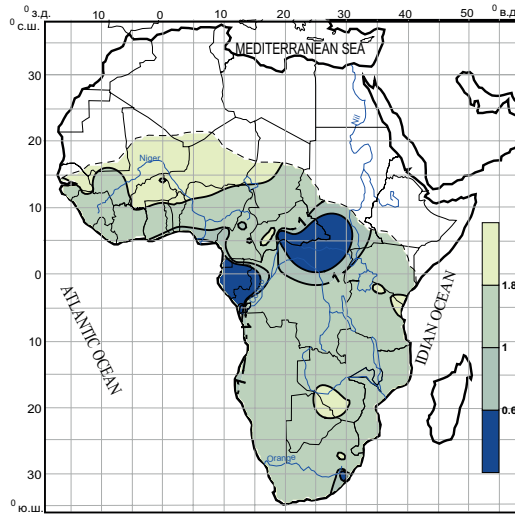


Рис. 3. Распределение критерия устойчивости формирования моментов β

Литература

1. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В. Моделирование гидрологических процессов. Изд. 2-е, испр. и доп. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 559 с.
2. Мировой водный баланс и водные ресурсы земли. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 638 с.
3. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. Учебник для студентов вузов. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 304 с.
4. Состояние мира 1999. – М.: Изд-во «Весь Мир», 2000. – 364 с.
5. Григорьев А.А. Кондратьев К.Я. Глобальные природные ресурсы. // Бюллетень использование и охрана природных ресурсов России, 1999, №5–6, с. 33–41.
6. Куасси Б.Г.А. Фрактальная диагностика годового стока Западной Африки. // Электронный журнал «Исследовано в России» [<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/079.pdf>].
7. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Чистяков Д.В., Хамлили А. Прогностические модели развития процессов катастрофического формирования многолетнего годового речного стока. // Метеорология и гидрология, 2010, № 10, с. 64–70.
8. Коваленко В.В. Выбросы размерности фазовых пространств прогностических и диагностических моделей развития процессов катастрофического формирования многолетнего речного стока. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 15, с. 5–18.