

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 109

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY

Book 2 – GEOGRAPHY

Volume 109

МИНИМАЛЕН ОТТОК ВЪВ ВИСОКОПЛАНИНСКИТЕ РЕЧНИ БАСЕЙНИ НА РИЛА

ИВО ВЕЛИЧКОВ, НЕЛИ ХРИСТОВА

Катедра Климатология, хидрология и геоморфология

e-mail: ivovelichkov@abv.bg; hristovaneli@abv.bg

Иво Величков, Нели Христова. МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК ВЫСОКОГОРНЫХ РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ ГОРНЫЙ МАССИВ РИЛА

Изучение минимального стока высокогорных речных бассейнов представляет собой важную задачу. В качестве объектов исследования рассматриваются бассейны рек с высота над уровнем моря выше 1700 м в горный массив Рила. Для исследований были привлечены рядом суточных расходов воды за многолетний период. Выполнено обобщение результатов исследования годового и месячного минимального стока, выявлены зависимости минимального стока рек от средней высота их водосборов, выполнена типизация внутригодового распределения минимального стока. Проведенные исследования расширяют теоретические и прикладные аспекты региональных гидрологических исследований.

Ключевые слова: минимальный сток, высокогорные речные бассейны, Рила.

Ivo Velichkov, Nelly Hristova. MINIMUM STREAMFLOW IN ALPINE DRAINAGE BASINS IN RILA MOUNTAIN

The study of minimum streamflow is an important task. Object of this paper are drainage basins with altitude above 1700 m in the Rila Mountain. The work is based on time daily discharges series and statistical methods. Paper presents results of statistics of annual minimum stream flow (the 1-day, 7-day, 10-day, 30-day and 90-day minimum), relationships between minimum runoff and drainage area and between minimum runoff and altitude of catchments, yearly variations of minimum monthly runoff and monthly distribution of minimum runoff, long-term trends in annual minimum stream flow. The results indicate different distribution of minimum values during the year between north and southeast drainage basins. The conducted researches expand theoretical and applied aspects of regional hydrological researches in Bulgaria.

Key words: minimum stream flow, alpine drainage basins, Rila Mountain.

УВОД

Минималният речен отток е статистическа характеристика на речните течения, която маркира едно от граничните състояния на водните обеми. Неговите стойности определят гарантираните водни ресурси на речен басейн или територия и са важен компонент на икономическите инструменти за управление на водите. Оценката на най-малките водни обеми в реките е особено важна при проектирането на хидросъоръжения и при анализите на хидроекоекологичното състояние на речните води. Изследванията на пространствено-времевите параметри на минималния отток през последните години са актуални още и заради установеното затопляне на климата. На неоспоримата важност на изучаването на минималния отток противостои голямата погрешност в измерванията на най-малките водни количества, концепцията за стационарност на хидроложките процеси и свързаните с нея методи за изследване (съгласуване на емпиричните и теоретичните разпределения, значителният брой индекси и др.) – обстоятелства, които представляват предизвикателство пред всяко изучаване на посочената хидроложка характеристика. Към мотивите за настоящото изследване се прибавя липсата на целенасочени изследвания за минималния отток във високопланинските речни басейни, в които хидроложките процеси се контролират най-вече от температурата на въздуха (определяща периодите на снегозадържане и снеготопене), отточният режим е с две маловодни фази, а хидравличната връзка с подземните води – сложна.

Целта на настоящото изследване е да анализира минималния отток във високопланинските речни басейни в Рила. Нейното реализиране допълва и разширява сведенията за тази отточна характеристика, анализирана от Маринов (1959) за територията на цялата страна въз основа на 10-годишни вариационни редици и определен чрез осредняване на най-малките водни количества за 10-дневен период, и на Стойчев (1966, 1967, 1971, 1977, 1978) за речния отток в Рила. Определянето на статистическите параметри на годишния минимален отток за различни по продължителност *n*-денонощни периоди, анализирането на неговите многогодишни колебания, както и анализът на вътрешногодишното разпределение на месечните най-малки водни количества, детайлизират теоретичните и регионалните изследвания на тази важна отточна характеристика.

ИЗХОДНА ИНФОРМАЦИЯ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Настоящото изследване се основава на ежедневните данни на оттока за речни басейни в Рила със средна надморска височина над 1700 m. Критерии за избора на наблюдателни пунктове са още: географската позиция на водосборната област, непрекъснатата продължителност на хидрометричните наблюдения и качеството на изходните данни. Съчетанието на посочените показатели определя като представителни за анализ на минималния отток осем речни басейна (табл. 1). Избраните водосбори имат средна надморска височина между 1712 m (р. Места – Якоруда) и 2227 m (р. Марица – кота 1400) и площ от 9,0 km² (р. Черна Места – Софан) до 261,8 km² (р. Места – Якоруда).

Изчислителният период е от откриването на наблюдателните станции до 1983 г. с изключение на на р. Мусаленска Бистрица–Боровец, р. Леевещица–Лееве и р. Рилска–

Хидрометрични станции във високопланинските речни басейни в Рила
Gauging sited in alpine river basins in Rila mountain

Водосборен басейн на река	Река – ХМС	H_{cp} (m)	Площ (km ²)	Дата на откриване	Дата на закриване
Искър	Черни Искър – с. Говедарци	1899	43,9	20.X.1950	1983
	Мус. Бистрица – Боровец	2113	19,4	1.X.1952	продълж.
Марица	Марица – kota 1400	2227	39,9	1.VI.1950	1983
Места	Черна Места – Софан	2240	9,0	5.VII.1951	1983
	Леевещица – Лееве	1952	13,2	1.XI.1949	1983
	Места – Якоруда	1712	261,8	1.VIII.1951	продълж.
Струма	Илийна – местн. „Бричебор“	1961	82,2	1.VI.1950	1983
	Рилска – с. Пастра	1918	222,0	20.IV.1950	продълж.

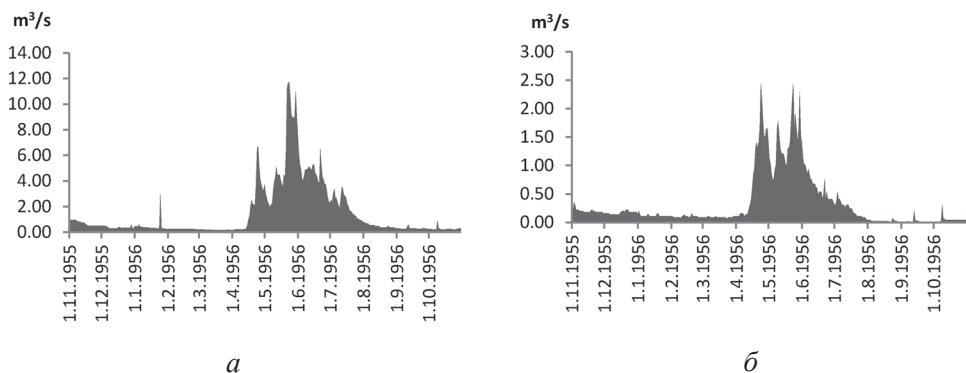
с. Пастра, за които е включена информация за ежедневните водни количества от 2000 до 2005 г.

Годишният минимален отток е изчислен за 1-, 5-, 7-, 10-, 30- и 90-денонощни интервали (означавани съответно $1Q_{min}$, $5Q_{min}$, $7Q_{min}$, $10Q_{min}$, $30Q_{min}$, и $90Q_{min}$), получени чрез използване на софтуерните продукти ИНА и HydroOffice. Вариационните редове от годишния и месечния минимален отток са обработени чрез вероятностно-статистически методи. Определена е честотата на проява на минималния отток по хидроложки сезони. За анализ на моделите „годишен минимален отток – средна надморска височина“ и „годишен минимален отток – площ на речния басейн“ се прилагат регресионния и корелационния анализ. Колебанията на годишния минимален отток за целия изследван период се анализират на основата на филтрирани вариационни редици.

РЕЗУЛТАТИ

Най-малките водни количества във високопланинските речни басейни на Рила се регистрират през лятно-есенния и зимния хидроложки сезон (фиг. 1). Анализът на голям брой хидрографи дава основание за обособяването във високопланинските водосбори на два сезона с различна продължителност – пролетно-летен (от април/май до юли/август) и есенно-зимен (от август/септември до март).

В границите на хидроложката година се обособяват две маловодни отточни фази – от ноември до март и през август–октомври. Маловодието във високопланинските водосбори през воднобалансова година е от август до март (Христова, 2008, 2012). При втория подход фазата на нисък речен отток се установява през периода от август/септември до февруари/март. За съпоставимост на резултатите с други речни басейни, времевата проява на минималния отток в настоящото изследване се анализира през възприетите в страната хидроложки сезони.



Фиг. 1. Хидрографи за 1955/56 г.
a – р. Марица–кота 1400; *б* – р. Леевещица–Лееве

Fig. 1. Hydrographs for 1965
a – Maritsa River–bench mark 1400; *б* – Leevestitsa River–Leeve

Разпределението на годишния минимален отток по сезон показва случване на $5Q_{min}$ и $10Q_{min}$ почти изцяло в зимния и лятно-есенния хидроложки сезон за речните басейни от северните склонове на Рила, във високопланинската част на р. Марица и водосбора на р. Рилска–с. Пастра – над 70% от всички случаи (табл. 2). За югоизточните склонове на Рила с по-голяма честота е лятно-есенният минимален отток.

С увеличаване на периода на осредняване на минималните водни количества се наблюдава следното сезонно разпределение на Q_{min} : $30Q_{min}$ е преобладаващо през зимния, в края на зимния и началото на пролетния хидроложки сезон и през лятно-есенните месеци; $90Q_{min}$ се случва преобладаващо на границата между зимния и пролетния хидроложки сезон. При $30Q_{min}$ и $90Q_{min}$ се отчитат не малко случаи на проява на минималния отток в края на лятно-есенния и началото на зимния хидроложки сезон. Минималният отток е с рядка проява през пролетния хидроложки сезон (табл. 2).

Годишен минимален отток. Получените резултати при статистическия анализ на редовете от годишен минимален отток (Q_{min}) не откриват значими различия в средните стойности (Q_{min}^{cp}) за използваните *n*-денонощни периоди на осредняване при ниво на значимост 0,05 и затова се публикуват само резултатите от $1Q_{min}$, $10Q_{min}$, $30Q_{min}$ и $90Q_{min}$ (табл. 3).

Сходствата в стойностите на годишния минимален отток са вследствие на генезиса на маловодната отточна фаза – постъпване в речното легло изключително на подземни води. По-големите стойности на $30Q_{min}$ и $90Q_{min}$ в сравнение с денонощния, $5Q_{min}$, $7Q_{min}$ и $10Q_{min}$ се обясняват с включването в изчислителния период на единични повишения на оттока през маловодните периоди. С увеличаване на периода на изчисляване нараства размаха в колебанията на годишните редици от стойности на Q_{min} . Установената закономерност е по-ясно изразена във водосборите на р. Рилска–с. Пастра и р. Места–

Таблица 2
Table 2

Разпределение (%) на годишния минимален отток по хидроложки сезони*
Distribution of annual low flow by hydrological seasons*

Река – ХМС	5Q _{min}			10Q _{min}					30Q _{min}					90Q _{min}			
	З	П	Л-Е	З	З-П	П	Л-Е	Л-Е/3	З	З-П	П	Л-Е	Л-Е/3	З	З-П	Л-Е	Л-Е/3
Ч. Искър– Говедарци	70	12	18	55	3	15	27	–	45	21	–	15	18	3	64	6	27
Мус. Бистрица– Боровец	76	8	16	65	14	8	14	–	51	41	5	3	–	3	97	–	–
Марица– кота 1400	70	12	8	52	3	15	30	–	42	21	3	15	18	3	67	6	24
Ч. Места– Софан	55	6	39	55	3	–	36	6	58	9	–	30	3	–	64	9	27
Леевещи- ца–Лееве	33	–	67	45	–	–	55	–	45	3	–	42	9	12	36	24	27
Места– Якоруда	24	–	76	29	–	–	71	–	24	5	–	55	13	8	24	24	45
Илийна– „Бриче- бор“ ^с	64	3	33	61	3	3	30	3	45	15	–	30	9	3	55	9	33
Рилска– с. Пастра	71	3	26	64	13	–	18	5	59	10	–	15	15	13	56	10	21

* З – зимен (ноември–февруари); П – пролетен (март–юни); Л-Е – лятно-есенен (юли–октомври).

* З – winter (November–February); П – spring (March–June); Л-Е – summer-autumn (July–October).

Якоруда, които имат най-голяма площ, и в които годишният минимален отток е с най-високи стойности.

Годишният минимален отток е с различна изменчивост през годините в отделните речни басейни. Коефициентът на вариация (C_v) е между 0,21 и 0,68 и варира в следните граници: за 1Q_{min} – от 0,21 до 0,68, за 10Q_{min} – от 0,24 до 0,66, за 30Q_{min} – от 0,23 до 0,53 и за 90Q_{min} – от 0,21 до 0,52. Неговите стойности показват най-малка изменчивост на Q_{min} на р. Илийна (C_v е 0,21–0,57), а най-голяма – във водосбора на р. Леевещица–Лееве (C_v варира от 0,52 до 0,68). Най-устойчив е годишният минимален отток в басейна на р. Черна Места–Софан, за която вариабилността на редовете от годишни стойности на 1Q_{min}, 5Q_{min}, 7Q_{min}, 10Q_{min}, 30Q_{min} и 90Q_{min} не се различава съществено (табл. 3). Най-изменчиви са стойностите на Q_{min} във водосбора на р. Леевещица. Не се откриват закономерности във вариабилността на годишния минимален отток с увеличаване на средната надморска височина на речните басейни и на тяхната площ.

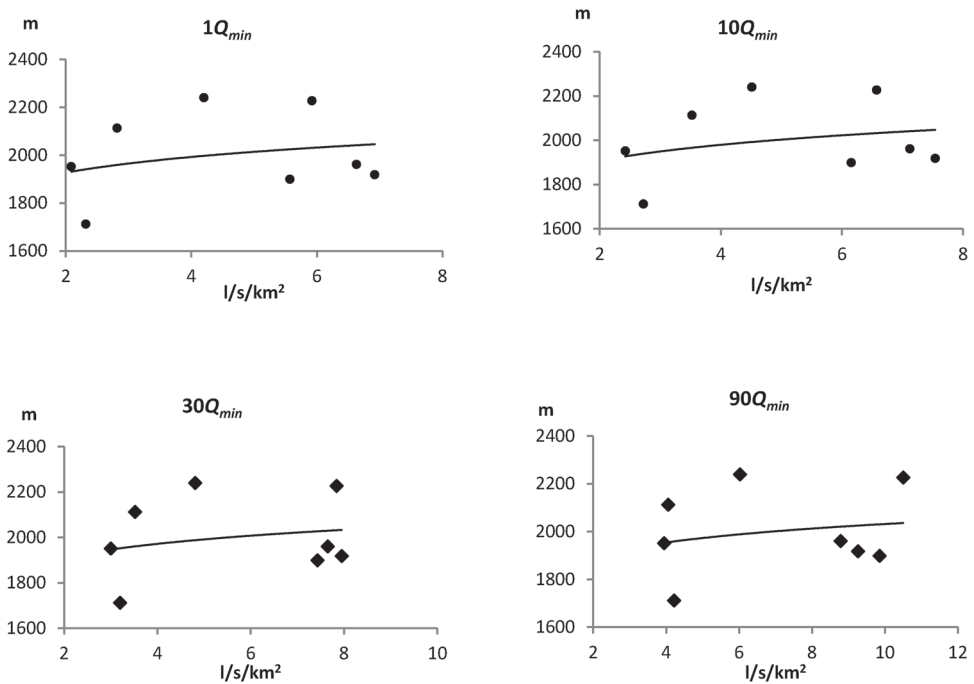
Таблица 3
Table 3

Статистически показатели на годишния минимален отток
Descriptive statistic of annual low flow

Река – ХМС	Статистически показатели						
	Q (m ³ /s)	M (l/s/km ²)	M_e	M_o	C_v	A_s	E_s
$1Q_{min}$							
Черни Искър–Говедарци	0,24	5,57	0,27	0,30	0,45	-0,50	-0,40
Мус. Бистрица–Боровец	0,05	2,82	0,05	0,05	0,56	0,09	0,99
Марица–кота 1400	0,25	5,92	0,26	0,30	0,50	-0,53	-0,37
Черна Места–Софан	0,14	4,20	0,14	0,14	0,32	2,04	6,53
Леевещица–Лееве	0,03	2,09	0,03	0,02	0,68	3,83	18,5
Места–Якоруда	0,61	2,32	0,61	0,73	0,41	0,39	0,67
Илийна–местн. „Бричебор“	0,54	6,63	0,54	0,70	0,27	-0,06	-0,59
Рилска–с. Пастра	1,53	6,92	1,59	1,00	0,34	-0,78	0,78
$10Q_{min}$							
Черни Искър–Говедарци	0,27	6,15	0,27	0,24	0,40	-0,61	0,83
Мус. Бистрица–Боровец	0,07	3,52	0,06	0,05	0,48	1,89	8,38
Марица–кота 1400	0,27	6,57	0,28	0,24	0,43	-0,27	0,39
Черна Места–Софан	0,15	4,51	0,14	0,16	0,32	1,8	5,00
Леевещица–Лееве	0,03	2,42	0,03	0,02	0,66	3,17	13,3
Места–Якоруда	0,71	2,72	0,69	0,62	0,34	0,45	0,78
Илийна–местн. „Бричебор“	0,59	7,12	0,58	0,53	0,24	-0,02	-0,77
Рилска–с. Пастра	1,67	7,54	1,66	1,50	0,28	0,27	-0,09
$30Q_{min}$							
Черни Искър–Говедарци	0,33	7,43	0,35	0,35	0,37	-0,15	1,21
Мус. Бистрица–Боровец	0,07	3,52	0,06	0,06	0,46	1,88	7,65
Марица–кота 1400	0,34	7,84	0,35	0,35	0,43	0,45	0,57
Черна Места–Софан	0,16	4,81	0,15	0,12	0,35	1,99	6,58
Леевещица–Лееве	0,04	3,00	0,03	0,03	0,53	1,99	5,16
Места–Якоруда	0,84	3,20	0,81	0,67	0,32	0,76	1,30
Илийна–местн. „Бричебор“	0,63	7,65	0,61	0,61	0,23	0,28	-0,60
Рилска–с. Пастра	1,76	7,95	1,71	1,66	0,28	0,27	-0,09
$90Q_{min}$							
Черни Искър–Говедарци	0,43	9,85	0,40	0,37	0,35	0,45	0,53
Мус. Бистрица–Боровец	0,08	4,05	0,06	0,02	0,29	0,60	-0,54
Марица–кота 1400	0,43	10,5	0,39	0,37	0,40	0,44	0,53
Черна Места–Софан	0,20	6,02	0,19	0,13	0,35	1,26	1,44
Леевещица–Лееве	0,05	3,94	0,04	0,04	0,52	1,68	2,63
Места–Якоруда	1,10	4,21	0,99	1,00	0,36	1,03	1,59
Илийна–местн. „Бричебор“	0,72	8,78	0,85	0,69	0,21	0,40	-0,62
Рилска–с. Пастра	2,06	9,26	2,01	2,01	0,24	-0,23	0,24

За изследване на географските закономерности на Q_{min} във високопланинската част на Рила е изчислен модулът на годишния минимален отток ($M_{o min}$) и е анализиран моделът „годишен минимален отток – средна надморска височина“, или $M_{o min} = f(H_{cp})$. Стойностите на $M_{o min}$ за всички n -денонощни периоди и във всички речни басейни са под $10,0 \text{ l/s/km}^2$ и не показват ясна тенденция за увеличаване с нарастване на средната надморска височина на водосборите (фиг. 2).

Коефициентът на корелация (R) на всички изследвани зависимости е под $0,20$ и означава, че анализираната връзка е незначима (слаба корелация при различните тълкувания на корелационните скали). Неговите стойности не се променят при включването в анализираната зависимост на повече речни басейни или при диференциране на минималния отток на зимен и лятно-есенен. Моделът „годишен минимален отток – средна надморска височина“ е тестван и чрез коефициента на детерминация (R^2), стойностите на който – под $0,10$, потвърждават слабата връзка между независимата (средната надморска височина на речните басейни) и зависимата (резултатиращата) величина (годишният минимален отток). Причини за липсата на връзка между модула на годишния минимален отток и надморската височина във високопланинската част



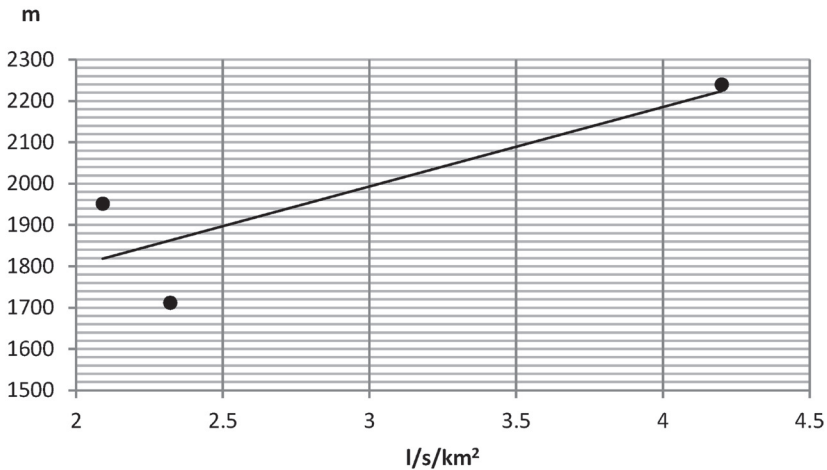
Фиг. 2. Зависимост между средната надморска височина на речните басейни и модула на годишния минимален отток

Fig. 2. Relation between altitude of river basin and annual minimum stream flow (l/s/km²)

на Рила са вероятно малката разлика в хипсометричното разположение на водосборите и степента на овлажнение в тях. Възможно е полученият резултат да е и вследствие на голямата погрешност на изходните данни за минималните водни количества и на малкия брой променливи, включени в анализираната зависимост. Изходната хидрометрична информация позволява тестването на изследвания модел по речни басейни само за р. Места–Якоруда. Зависимостта на $M_{o\ min}$ от H_{cp} в този водосбор е ясно изразена: $R = 0,84$, а $R^2 = 0,70$ (фиг. 3).

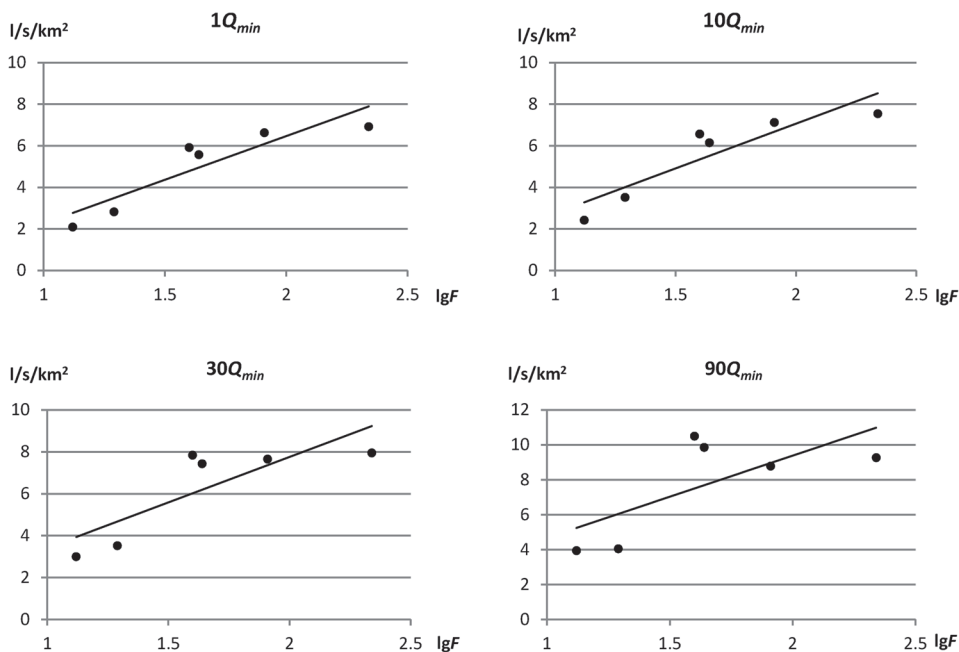
При изследване на модела „годишен минимален отток – площ на речния басейн“ (или $M_{o\ min} = f(F)$) във високопланинската част на Рила не се открива връзка между $M_{o\ min}$ и големината на водосборите. Зависимостта $M_{o\ min} = f(F)$ се увеличава незначимо и когато F е представена в десетични логаритми. Най-големи отклонения дават стойностите на $M_{o\ min}$ за речните басейни на р. Места–Якоруда и р. Черна Места–Софан. При изключване обаче на данните за $M_{o\ min}$ на посочените водосбори, се установява добре изразено увеличаване на $M_{o\ min}$ с нарастване на водосборната площ, като степента на зависимост намалява от $1Q_{min}$ към $30Q_{min}$ (R е $0,90$ за модула на $1Q_{min}$ и на $10Q_{min}$ и F и $0,82$ между $M_{o\ min}$ за $30Q_{min}$ и F) е незначима при отточен модул на 90-денонощния минимален отток ($R = 0,70$) (фиг. 4). Получените резултати – отклоненията от изследваната зависимост на два речни басейна и намаляване на стойността на R с увеличаване на периода на осредняване, трудно могат да бъдат обяснени.

Емпиричното разпределение на вариационните редове е твърде различно по речни басейни и за всеки n -денонощен годишен минимален отток. Коэффициентът на асиметрия (A_s) е с положителни стойности (или асиметрия вляво) в речните басейни на



Фиг. 3. Зависимост между средната надморска височина и модула на годишния минимален отток в речния басейн на р. Места–Якоруда

Fig. 3. Relation between altitude of river basin and annual minimum stream flow ($l/s/km^2$) in river basin of Mesta River–Yakoruda

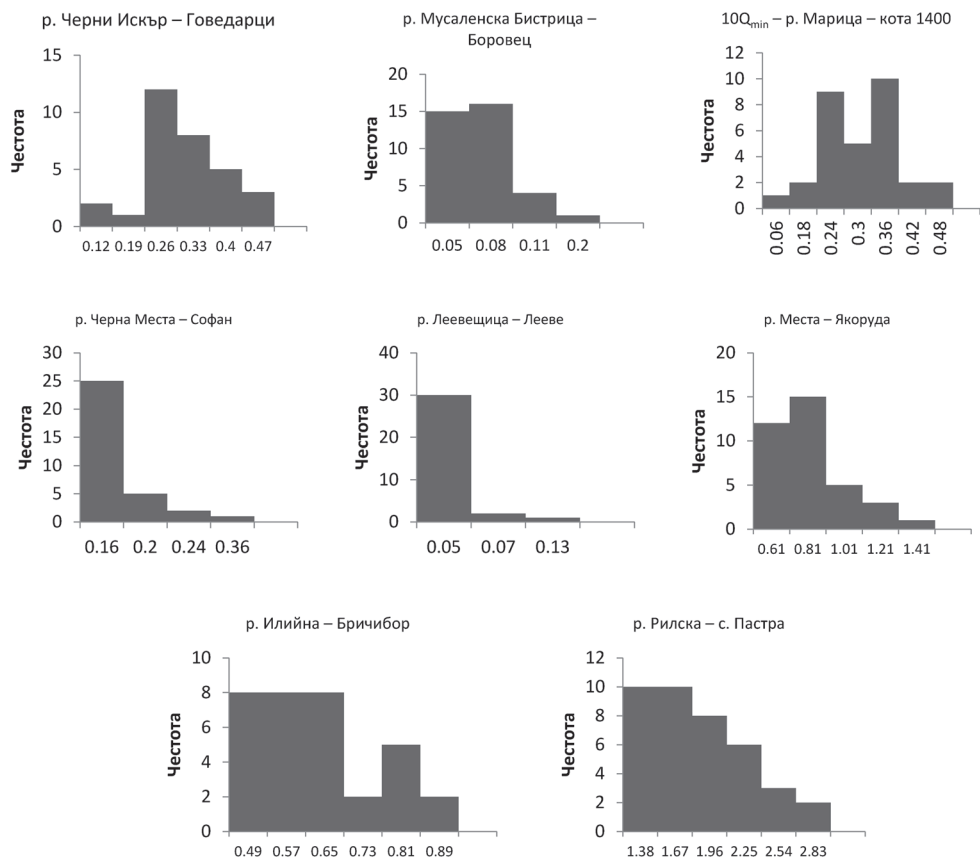


Фиг. 4. Зависимост между модула на годишния минимален отток и площта на речния басейн

Fig. 4. Relation between annual minimum stream flow ($I/s/km^2$) and area of river basin

Мусаленска Бистрица–Боровец, Черна Места–Софан, Леевещица–Лееве и Места–Якоруда (табл. 3). В останалите водосбори емпиричното разпределение е дясно асиметрично при $1Q_{min}$ и $7Q_{min}$ и с положителна асиметрия при $30Q_{min}$ и $30Q_{min}$. Начертаните хистограми за всеки n -дневен годишен минимален отток при ширина на интервали, избрани на аритметичен принцип и определена по формулата на Стърджис (*Sturges*) и метода на Скот (*Scott's binning algorithm*), доказват асиметричността на разпределението. Представените хистограми илюстрират различните разпределения по речни басейни на примера на $10Q_{min}$ (фиг. 5). Резултатът е сходен и за честотното разпределение на годишния минимален отток при останалите периоди на осредняване. Сходства в честотното разпределение на $10Q_{min}$ се открива само за речните басейни на р. Черна Места–Софан и р. Леевещица–Лееве, което се обяснява с еднаквите условия за формиране на минималния отток в двата водосбора. Годишният минимален отток и за останалите n -денонощни периоди е с асиметрични разпределения, със запазване на двумодалността при р. Черни Искър–Говедарци, р. Марица–кота 1400 и р. Илийна–мест. Бричебор.

Честотното разпределение на вариационните редове от годишен n -денонощен минимален отток е типично за екстремни хидроложки величини и не показва ясно тео-



Фиг. 5. Хистограми на $10Q_{min}$ минимален отток

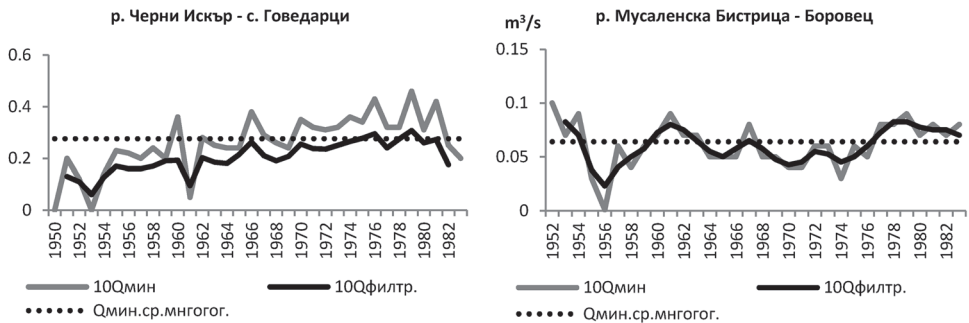
Fig. 5. Histograms of $10Q_{min}$ minimum stream flow

ретичния модел, чрез който да се апроксимира. Решаването на тази задача изисква допълнително изследване, което не е предмет на настоящата работа.

Сравнително късият изчислителен период на редиците от годишен минимален отток не позволява анализ на многогодишните колебания като отражения на установените повишения на температурата след 80-те години на XX в. Наличието на хидрометрична информация за 2000–2005 г. не подобрява условията на задачата за търсене на дългосрочни изменения, защото не се получава непрекъсната редица от данни. Независимо от посочените обстоятелства настоящото изследване анализира колебанията на годишния n -денонощен минимален отток с цел търсенето на цикличност при тази отточна характеристика. Резултатите се анализират на основата на линейната филтрация на динамичните редове. Посоченият метод е предпочетен пред интегралната крива

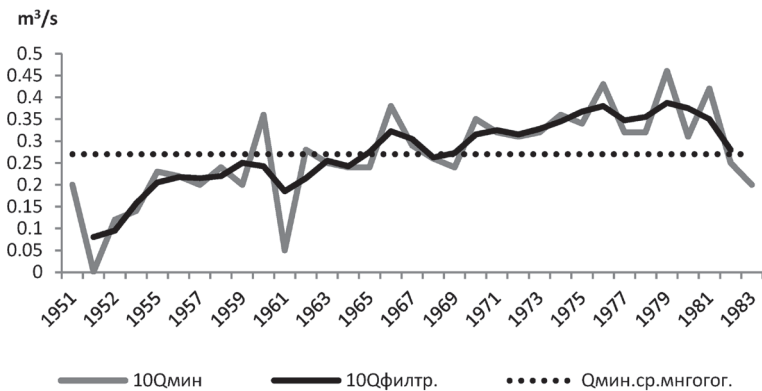
на разликите на модулните коефициенти заради възможността да бъдат сравнявани получените резултати с хронологичния ход на минималния отток. Многогодишните колебания на годишния минимален отток във високопланинските речни басейни на Рила не показват строга периодичност, а цикли от многоводни и маловодни години с различна продължителност в отделните водосбори. В северните склонове на Рила, годишният минимален отток на р. Черни Искър – с. Говедарци е под нормата от 1950 до 1975 г., а на р. Мусаленска Бистрица – Боровец – от 1963 до 1976 г. (фиг. 6).

Многогодишните колебания на минималния речния отток във високопланинските басейни от източните склонове показват стойности на $10Q_{min}$ под нормата от 1951 до 1965 г. и повишена водност от 1966 до 1981 г., периоди с продължителност съответно 14 и 15 години (фиг. 7).



Фиг. 6. Многогодишни колебания на $10Q_{min}$ в северните склонове на Рила

Fig. 6. Long-term trends of $10Q_{min}$ in the north slopes of Rila Mountain



Фиг. 7. Многогодишни колебания на $10Q_{min}$ в речния басейн на р. Марица–кота 1400

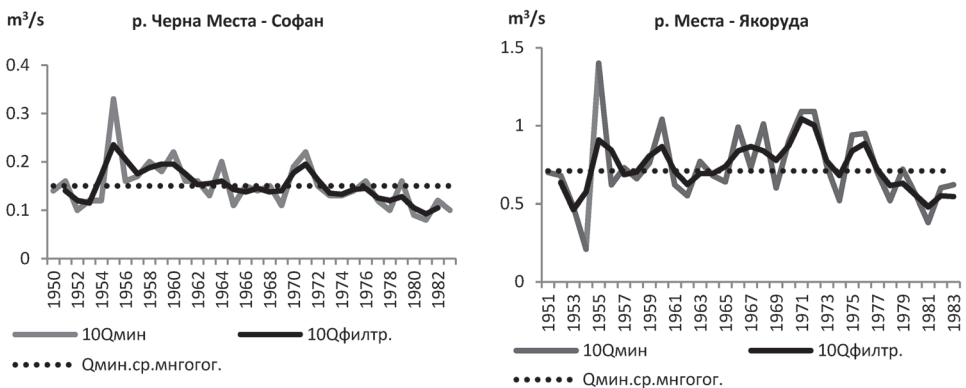
Fig. 7. Long-term trends of $10Q_{min}$ of Maritsa River–bench mark 1400

В многогодишните колебания на годишния минимален отток на реките от югоизточната част на Рила се откриват големи различия по речни басейни на периодите с повишена и понижена водност спрямо нормата на $10Q_{min}$ (фиг. 8). Годишните стойности на десетдневния денонощен минимален отток за р. Черна Места–Софан са високи от нормата за периодите 1954–1962 и 1969–1972, а за р. Места–Якоруда през 1955–1960 и 1965–1977.

Многогодишните колебания на годишния минимален отток на реките във високопланинската югозападна част на Рила не показват синхронност, независимо от сходството на отточните условия в речните басейни на р. Рилска и нейният приток р. Пастра (фиг. 9). Във водосбора на р. Илийна–местн. Бричебор има слабо изразен цикъл на водност от 1958 до 1969 г., който съвпада по проява и времетраене с този, установен от Стойчев (1991, 1995, 1997). Значително по-дълъг позитивен цикъл в многогодишния ход на $10Q_{min}$ се проявява при р. Рилска–с. Пастра. Неговото начало е през 1956 г., подобно на много реки в страната, а краят – през 1978 г. Установената липса на синхронност е вероятно отражение на антропогенен натиск върху двете реки: водите на р. Илийна (на кота 2000) се отклоняват за каскада „Белмекен–Сестримо“; на р. Рилска има изградени две ВЕЦ – ВЕЦ „Пастра“ и ВЕЦ „Рила“, които основно обработват водите от каскада „Рила“.

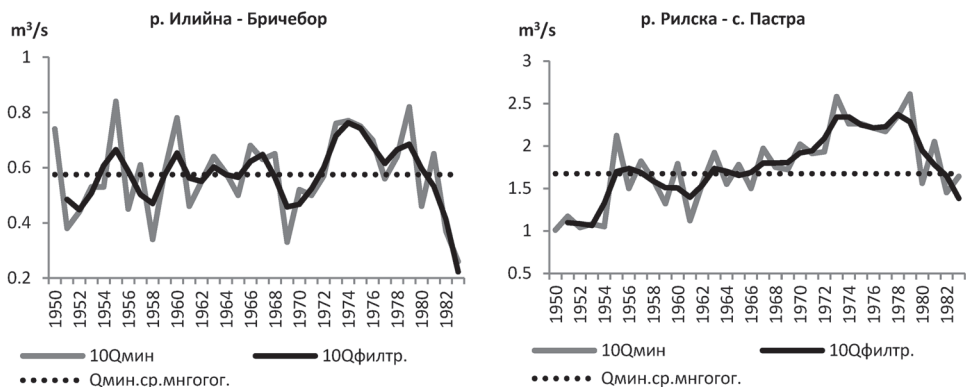
Сравняването на многогодишната изменчивост на годишния минимален отток в Рила с този на годишния отток, както и прилагането на други методи, е задача на следващите изследвания.

Месечен минимален отток. Средномесечният минимален отток ($Q_{мин.мес.}$) на високопланинските речни басейни на Рила се анализира чрез географското разпределение на неговите средномногогодишни средни, максимални и минимални стойности през годината и сходствата/различията с вътрешногодишното разпределение на средномесечния минимален отток.



Фиг. 8. Многогодишни колебания на $10Q_{min}$ в югоизточните склонове на Рила

Fig. 8. Long-term trends of $10Q_{min}$ in the southeast slopes of Rila Mountain



Фиг. 9. Многогодишни колебания на $10Q_{min}$ в югозападните склонове на Рила

Fig. 9. Long-term trends of $10Q_{min}$ in the southwest slopes of Rila Mountain

сечните водни обеми. Получените данни разкриват различия във вътрешногодишния ход на $Q_{мин.мес}$ в отделните речни басейни (табл. 4).

Максимумът в режима на минималния отток е през м. юни и с устойчива проява през годините за всички речни басейни, с изключение на р. Черна Места–Софан, в който се проявява през м. април. Минимумът във вътрешногодишното разпределение на средномесечния минимален отток е през януари за р. Мусаленска Бистрица–Боровец и р. Черна Места–Софан, през февруари за р. Черни Искър–с. Говедарци, с почти изравнена вероятност за случване и през двата съседни месеца и през септември за останалите речни басейни. Времевата проява на най-малкия средномесечен минимален отток оформя два типа вътрешногодишен ход на изследваната характеристика: първи тип – с пролетен (юнски) максимум и зимен (януарски/февруарски) минимум, типичен за северните и югоизточните склонове на Рила (с изключение на р. Места–Якоруда); втори тип – с пролетен (юнски) максимум и лятно-есенен (септемврийски) минимум, добре проявен във водосборите от югозападната част на планината.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистическите показатели на годишния минимален отток във високопланинските речни басейни на Рила разкриват малки различия на средномногогодишната стойности при n -денонощните периоди на осредняване за всеки речен басейн, неголяма изменчивост през годините, преобладаващо дясна асиметрия и остри пикове в емпиричното разпределение.

Не се открива зависимост на годишния минимален отток от надморската височина и площта на речния басейн за цялата изследвана територия. Географски закономерности се проявяват само във водосбора на р. Места–Якоруда, което обособява в известна

Таблица 4
Table 4

Средномесечен минимален отток (m³/s)
Mean monthly low flow (m³/s)

Река–ХМС		Месец											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Черни	$Q_{мес}$	0,36	0,35	0,37	0,86	2,27	2,47	0,96	0,49	0,40	0,40	0,50	0,45
Искър– с. Говедарци	$Q_{мес.min}$	0,05	0,05	0,16	0,40	1,02	0,88	0,30	0,12	0,00	0,00	0,22	0,04
	$Q_{мес.max}$	1,08	1,14	0,79	1,67	5,33	5,26	1,60	1,11	0,72	0,93	1,26	0,90
Мус.	$Q_{мес}$	0,08	0,07	0,07	0,14	0,66	0,96	0,42	0,25	0,17	0,17	0,15	0,11
Бистрица– Боровец	$Q_{мес.min}$	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,40	0,23	0,08	0,06	0,06	0,06	0,04
	$Q_{мес.max}$	0,13	0,10	0,12	0,41	1,38	1,49	0,93	0,68	0,41	0,64	0,34	0,19
Черна Места– Софан	$Q_{мес}$	0,09	0,19	0,19	0,72	0,66	0,40	0,20	0,17	0,14	0,15	0,27	0,23
	$Q_{мес.min}$	0,00	0,09	0,09	0,15	0,28	0,22	0,14	0,11	0,09	0,09	0,09	0,11
	$Q_{мес.max}$	0,41	0,43	0,42	1,17	4,36	2,55	0,89	0,42	0,42	0,60	0,54	0,55
Леевещица– Лееве	$Q_{мес}$	0,07	0,06	0,07	0,22	0,47	0,22	0,07	0,04	0,04	0,06	0,09	0,07
	$Q_{мес.min}$	0,01	0,01	0,02	0,05	0,09	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01
	$Q_{мес.max}$	0,16	0,15	0,16	0,38	1,30	0,63	0,21	0,14	0,12	0,38	0,65	0,19
Места – Якоруда	$Q_{мес}$	1,01	0,99	1,23	4,16	6,83	3,26	1,35	0,79	0,75	0,96	1,02	0,99
	$Q_{мес.min}$	0,10	0,19	0,28	1,94	1,35	0,65	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$Q_{мес.max}$	2,42	2,42	2,62	7,20	19,2	8,20	4,90	2,60	1,58	5,00	2,50	2,43
Илийна– местн. „Бричебор“	$Q_{мес}$	0,74	0,71	0,77	1,59	4,19	2,78	1,20	0,83	0,69	0,78	0,85	0,75
	$Q_{мес.min}$	0,38	0,39	0,45	0,68	1,60	0,98	0,09	0,40	0,31	0,39	0,15	0,35
	$Q_{мес.max}$	2,00	1,27	1,30	3,32	8,56	4,52	2,21	1,60	1,05	3,50	2,06	1,34
		0,74	0,71	0,77	1,59	4,19	2,78	1,20	0,83	0,69	0,78	0,85	0,75
Рилска– с. Пастра	$Q_{мес}$	2,09	2,04	2,26	4,59	10,9	9,55	3,81	2,55	2,16	2,37	2,58	2,40
	$Q_{мес.min}$	1,00	0,94	0,94	2,52	4,75	4,32	1,90	1,18	1,02	0,97	1,02	0,90
	$Q_{мес.max}$	4,72	3,70	4,20	8,80	22,8	23,2	5,96	4,67	3,60	9,56	5,55	5,36

степен тази площ в самостоятелен район. Многогодишните колебания на минималния отток не са синхронни във високопланинската част на Рила и показват различни тенденции в изменението на минималните водни обеми.

Времевата проява на n -денонощния годишен отток и вътрешногодишното разпределение на месечния минимален отток дават основание за обособяване на три групи речни басейни. В първата група се включват водосборите от северните склонове на Рила, които имат максимална честота на годишния минимален отток и с минимум на месечния отток през зимния хидроложки сезон, най-малка вероятна проява на $Q_{мин}$ през лятно-есенните месеци и най-големи средномесечни минимални водни количества през януари и февруари. Втора група водосбори се обособява в югоизточните

склонове – с годишен минимален отток преобладаващо през лятно-есенния хидроложки сезон, с максимум на $Q_{\text{мин.мес}}$ през юни, а минимум през януари или септември. Трета група речни басейни по особености на минималния отток се обособява в югозападните склонове на Рила – с голяма вероятност за поява на годишния минимален отток през зимния хидроложки сезон, с юнски максимум на $Q_{\text{мин.мес}}$ и минимум през януари и септември.

ЛИТЕРАТУРА

- Маринов, Ив. 1959. Минимален отток на реките в България. – Тр. ИХМ, IV, 101–166.
- Маринов, Ив. 1959. Минимален отток на реките в България. – Тр. ИХМ, IV, 101–166.
- Николов, Ж. 1973. Върху минималния отток в поречието на Марица до Белово. – Изв. на центр. научноизслед. лаборатория по хидравл. изследвания, XI, 107–118.
- Стойчев, К. 1965/1966. Върху генезиса и режима на оттока на р. Бела Места. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 60, 105–132.
- Стойчев, К. 1967. Формиране и вътрешногодишно разпределение на р. Черна Места. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 60, 165–192.
- Стойчев, К. 1973 (б). Съвременните колебания на пролетния отток в Рила планина и тяхното отражение върху колебанията на годишния отток. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 65, 68–73.
- Стойчев, К. 1975. Влиянието на някои климатични елементи върху средния многогодишен отток в Рила планина. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 67, 25–41.
- Стойчев, К. 1977. Генезис и сезонно разпределение на речния отток в Рила планина. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 70, 89–135.
- Стойчев, К. 1977. Генезис и сезонно разпределение на речния отток в Рила планина. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 70, 89–135.
- Стойчев, К. 1978. Височинна зоналност на някои климатични и хидроложки елементи в Рила планина с оглед на ландшафтното и райониране. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 72, 92–107.
- Стойчев, К. 1978. Водните ресурси на Рила планина. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 64.
- Стойчев, К. 1991. Оценка на синхронността в колебанията на годишния речен отток в България. – *Проблеми на географията*, 3, 14–19.
- Стойчев, К. 1995. Анализ на редуването на различни по водност години при колебанията на речния отток в България. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 87, 159–169.
- Стойчев, К. 1997. Колебания на оттока. – В: *География на България, Физическа география, социално-икономическа география*. С., М. Дринов, с. 185–188.
- Христова, Н. 2008. Вътрешногодишно разпределение на оттока в границите на воднобалансовата година. – *Год. СУ, ГГФ*, 2, 100, 27–41.
- Христова, Н. 2012. Речни води на България. С., Тип-топ-прес, 432–437.

Постъпила май 2016 г.