

UTILIZAREA SOFTULUI BFI PENTRU DETERMINAREA COMPONENTEI APELE SUBTERANE ÎN HIDROGRAFUL APELOR DE SUPRAFAȚĂ

Natalia DEREVENCO, cercetător științific stagiar
Institutul de Geologie și Seismologie

Abstract. *In the last decades, the classic methodology for evaluating the base flow, was replaced by new specialized algorithms. One of them is base flow index (BFI), which includes 11 separate algorithms. The purpose of this study is to determine the base flow index (BFI) within three hydrometric stations located on rivers characterized by different physical-geographic conditions from Republic of Moldova (Trinca – Draghiște river, Cubolta – Cubolta river, and Ceadâr- Lunga – Lunga river).*

Keywords: *BFI (Base flow index), hydrographer, discharge, groundwater*

INTRODUCERE

Determinarea curgerii apelor subterane din hidrograful apelor de suprafață reprezintă un obiect de cercetare stringent și actual, atât la nivel local și regional, cât și la nivel internațional. În cadrul R. Moldova există o interdependență specifică între acvifere și rețeaua hidrografică. Complexitatea acestei interdependențe este condiționată de condițiile hidrogeologice și hidrologice.

Diferențierea mare de condiții hidrologice, hidrogeologice și altele duc la formarea scurgerii subterane, care servește ca sursă de alimentare pentru râuri, au cauzat elaborarea diferitor metode de evaluare cantitativă a componentei subterane. Metodologic resursele apelor subterane se exprimă prin volumul scurgerii lor în rețeaua hidrografică.

Folosind bazele teoretice ale metodei spectrale BFI (Base flow index)[3], pentru 3 bazine hidrologice al râurilor Draghiște, Cubolta, Lunga au fost obținute 11 variante de defalcare a hidrografelor unitare și multianuale. A fost demonstrată eficacitatea metodei BFI și obținută sistema ei metodologică de aplicație în condițiile Republicii Moldova. Rezultatele finale sunt folosite pentru calculele resurselor apelor subterane în partea de sud-vest a bazinului artezian al Pre-Mării Negre.

MATERIALE ȘI METODE

Metodologia de studiu a scurgerilor apelor subterane include estimarea diferențiată a impactului pe care îl are scurgerea de suprafață asupra scurgerii subterane. Ca parte a fluxului dintr-un bazin, scurgerea subterană a fost adesea asociată ca urmare a interacțiunii dintre condițiile climatice și geologice locale. În ultimele decenii, metodologia clasică de decompoziție a hidrografelor multianuale, a fost înlocuită cu noi algoritmi specializați, cum ar fi metoda BFI.

Programul BFI a fost elaborat pentru a face procesul de separare a debitului apei subterane din hidrograful apei de suprafață mai puțin obositor și mai mult obiectiv. Programul implementează o procedură deterministă propusă în 1980 de Institutul Britanic de Hidrologie. Softul estimează volumul zilnic sau anual al fluxului subteran al râurilor și calculează un indice zilnic (anual) al debitului de bază (BFI, raportul dintre debitul de bază și volumul total al debitului pentru o zi sau un an dat) pentru mai mulți ani. Deși metoda poate să nu ofere debitul corect, comparativ cu aplicarea unei analize mai sofisticate, s-a constatat că indicele este consecvent și indică fluxul subteran, astfel, poate fi utilizat pentru analiza tendințelor pe termen lung.

Pentru defalcarea hidrografelor unitare și multianuale au fost utilizate datele de la stațiile hidrologice, colectate și sistematizate în lucrările anual publicate: „Гидрологический ежегодник”[2] și „Государственный водный кадастр”[3]. Datele analizate au fost culese în format Microsoft Office 2013, Excel. Indicele debitului de bază (BFI) a fost determinat în cadrul a trei stații hidrologice situate pe câteva râuri, ce se diferențiază prin variate condiții fizico-geografice de pe teritoriul R. Moldova (r. Draghiște – Trinca, r. Cubolta – Cubolta, r. Lunga – Ceadâr-Lunga).

Pentru defalcarea hidrografelor multianuale s-au utilizat datele zilnice ale parametrului Q (m^3/s). Calculele au fost efectuate prin utilizarea metodologiei internaționale, raportate la condițiile R. Moldova. Algoritmii metodelor BFI, cu valorile parametrilor utilizați pentru fiecare r. sunt expuse în tab. 1. Inițial s-au ales ani de referință, pentru calibrarea algoritmilor, ținându-se cont de

debitele de apă din fiecare râu, astfel, pentru r. Draghiște – a. 1962, Cubolta – a. 1978 și respectiv a. 1985 – Lunga. Pentru fiecare r. s-a obținut 11 variante de estimare a resurselor apelor subterane.

Tabelul 1: Parametrii filtrelor utilizate în cadrul programul BFI +3.0

Denumirea filtrului	Ecuția filtrului	Remarcă	r. Draghiște	r. Cubolta	r. Lunga
Metoda minimului local	$N=[0,5(2N-1)]$	N - numărul de zile	N=2	N=3	N=2
Metoda intervalului fix	$N=2N$	N - numărul de zile	N=4	N=6	N=4
Metoda intervalului glisat	$N=2N$	N - numărul de zile	N=4	N=6	N=4
Algoritmul cu un parametru	$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)}$	$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ Se folosește ca un singur pas pentru tot masivul de date.	k = 0,969	k = 0,969	k = 0,969
Algoritmul cu doi parametri	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)}$	$q_{b(i)} \leq q_{(i)}$ Se folosește ca un singur pas prin tot masivul de date. Permite calibrarea de la alt curent subteran folosind datele traser pentru parametru C.	k = 0,975 c = 0,019	k = 0,975 c = 0,019	k = 0,975 c = 0,019
Algoritmul IHACRES	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} (q_{(i)} + \alpha q_{(i-1)})$	O dezvoltare mai largă a algoritmului Boughton	$\alpha = 0,933$ c = 0,012 k = 0,965	$\alpha = 0,933$ c = 0,014 k = 0,971	$\alpha = 0,933$ c = 0,014 k = 0,971
Algoritmul Lynie și Hollick	$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2}$	$q_{f(i)} \geq 0$ $\alpha = 0,925$ Recomandat să fie aplicat în 3 pași de calcul Curentul subteran $q_b = q - q_f$	$\alpha = 0,989$	$\alpha = 0,973$	$\alpha = 0,973$
Algoritmul Chapman	$q_{f(i)} = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3 - \alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)})$	Curentul subteran $q_b = q - q_f$	$\alpha = 0,999$	$\alpha = 0,999$	$\alpha = 0,999$
Filtru Furey și Gupta	$q_{f(i)} = (1 - \gamma) q_{b(i-1)} + \gamma \frac{c_3}{c_1} (q_{(i-d-1)} - q_{b(i-d-1)})$	Filtru cu baze fizice ale ecuației balanței	$c_1 = 0,494$ $c_3 = 0,344$ d = 2 $\gamma = 0,005$	$c_1 = 0,958$ $c_3 = 0,479$ d = 2 $\gamma = 0,02$	$c_1 = 0,210$ $c_3 = 0,142$ d = 2 $\gamma = 0,02$

Denumirea filtrului	Ecuția filtrului	Remarcă	r. Draghiște	r. Cubolta	r. Lunga
Filtru Eckhardt	$q_{b(i)} = \frac{(1 - \alpha)BFI_{max}}{1 - BFI_{max}}$	BFI _{max} - indicele maxim a curentului subteran	$\alpha = 0,99$ BFI _{max} = 0,813	$\alpha = 0,99$ BFI _{max} = 0,679	$\alpha = 0,99$ BFI _{max} = 0,836
Filtru EWMA	$q_{b(i)} = \alpha q_{(i)} + (1 - \alpha)q_{b(i-1)}$	Aproximare experimentală a divizării curentului subteran	a = 0,007	a = 0,015	a = 0,015

Remarcă: $q_{(i)}$ – curgerea originală a râului pentru i^{th} probă momentală; $q_{b(i)}$ – curgerea subterană filtrată pentru i^{th} probă momentală; $q_{f(i)}$ – curgerea rapidă a râului pentru i^{th} probă momentală; $q_{(i-1)}$ – curgerea originală a râului pentru proba precedentă (i); $q_{b(i-1)}$ – curgerea subterană pentru proba precedentă i; $q_{f(i-1)}$ – curgerea rapidă a râului pentru proba precedentă (i); k – parametru a filtrului determinat de constanta recesiunii; α, α_q – parametrii filtrului; C – parametru,

care reglează forma curbei; γ, C_1, C_3 – parametrii fizici.

DISCUȚII ȘI REZULTATE

Teritoriul de studiu este reprezentat de trei bazine hidrologice. Astfel, r. Draghiște este un afluent de dreapta a râului Racovăț. În râu se varsă 32 afluenți cu o lungime sub 10 km și o lungime totală de 108 km. Lungimea r. – 71 km, bazinul de recepție însumând 279 km². Scurgerea medie multianuală a apei în s. Trinca (punctul de observație) – 0,46 m³/s sau 14,5 mln. m³ [1].

R. Cubolta – afluent de stânga al Răutului ce izvorăște din s. Lipnic și deșează în Răut de pe malul stîng. Lungimea râului constituie 101,3 km, suprafața bazinului de recepție – 943 km²[1]. Observații asupra regimului hidrologic al râului se efectuează din anul 1965, la punctul de observație Cubolta (Sângerei).

R. Lunga începe la 3,5 km nord-est de s. Cioc-Maidan. Deșează în r. Ialpug la 23 km de la gura acestuia, la 3 km spre sud-vest de or. Taraclia. Lungimea râului – 78 km, suprafața bazinului de recepție – 1060 km²[1]. Regimul râului a fost studiat între anii 1976-1990 la posturile hidrometrice din or. Ceadâr-Lunga. Debitul mediu de apă pe perioada de observații a fost de 0,18 m³/s, debitul maxim anual - 0,34 m³/s (în 1980), minim - 0,102 m³/s (în 1976 și 1990).

Conform datelor evidențiate în hidrograf, aplicând metodologia BFI (Base flow index) se conturează fluxul subteran, ce este echivalentă cu debitul apei, programul calculând debitul scurgerii apelor subterane.

Principalele rezultate obținute sunt sumarizate în tabelul 2. Conform datelor prezentate, pentru r. Draghiște în perioada anilor 1957 – 1990 scurgerii subterane a constituit 38,95 mm/an sau 0,278 m³/sec. Valori la fel de ridicate se remarcă și în cadrul bazinului r. Cubolta (1954 –1956, 1965 – 1990), și anume – 35,86 mm/an sau 0,988 m³/sec. Valoarea scurgerii subterane pentru bazinului r. Lunga (1976 – 1990) însumează 10,24 mm/an sau 0,120 m³/sec.

Tabelul 2: Rezultatele obținute în urma decompoziției hidrografelor (multianuale)

Metoda	r. Draghiște (mm/an)	r. Cubolta(mm/an)	r. Lunga (mm/an)
1. Q – debitul apei	69.255	66.911	17.934
2. Metoda minimului local	48.247	30.972	12.075
3. Metoda intervalului fix	52.541	43.495	14.083
4. Met. intervalului glisat	56.795	50.818	14.878
5. Algoritmul cu un parametru	31.356	31.276	8.539

Metoda	r. Draghiște (mm/an)	r. Cubolta(mm/an)	r. Lunga (mm/an)
6. Algoritmul cu doi parametri	27.107	27.273	8.848
7. Algoritmul IHACRES	30.272	37.239	5.995
8. Algoritmul Lynie și Hollick	43.972	48.488	13.344
9. Algoritmul Chapman	26.528	28.891	7.936
10. Filtru Furey și Gupta	23.969	12.576	1.971
11. Filtru Eckhardt	44.443	41.206	11.985
12. Filtru EWMA	43.112	47.421	13.002

Tot odată în baza datelor din tab. 2 se observă o tendință clară de scădere a scurgerii subterane de la nord la sud pentru teritoriul Republicii Moldova, fapt datorat condițiilor climatice dar și a alimentării râurilor din diferite surse. Fluxul apelor subterane reflectă influența afluxului de infiltrație ale precipitațiilor atmosferice și a apelor de suprafață. Astfel, în anii cu precipitații abundente aportul scurgerii subterane crește, tendință ce se menține și în sens invers – în anii secetoși. Pentru o vizualizare mai reușită este propusă fig. 1.

Conform fig. 1 se observă o corelare clară între nivelul apelor de suprafață și nivelul apelor subterane pentru bazinul r. Lunga. Aceeași legitate se constată și în cadrul r. Draghiște și r. Cubolta, unde componenta subterană se alimentează proporțional din scurgerea de suprafață.

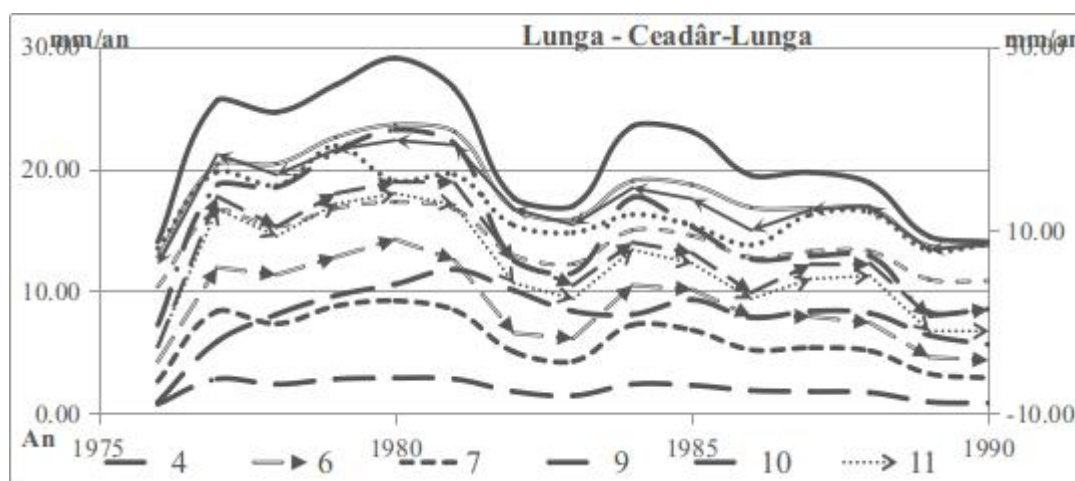


Fig. 1. Variațiile multianuale a hidrografului conform metodologiei BFI (r. Lunga – Ceadâr-Lunga) Remarcă: Cifrele din figură – corespund numerotației din tab. 2.

Analizând figurile 2 și 3 subliniem încă odată faptul că, fiecare metoda, filtru sau algoritm din cadrul programului BFI, are un specific aparte de defalcare a hidrografelor anuale sau multianuale în componenta apelor de suprafață și apă subterană.

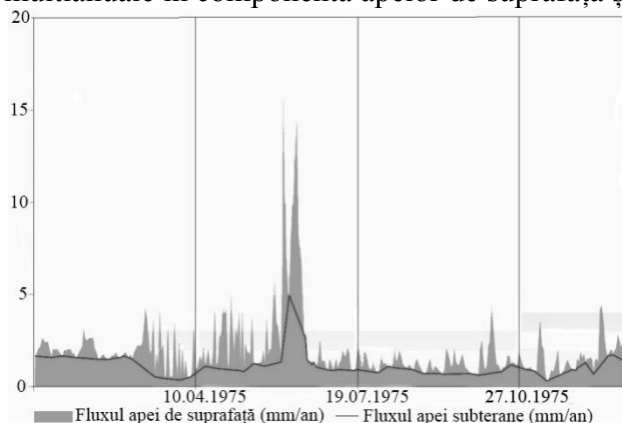


Fig. 2 Hidrograful fluxului apei de suprafață cu separarea componentei subterane, utilizând metoda minimului local, a. 1975 (r. Cubolta - Cubolta)

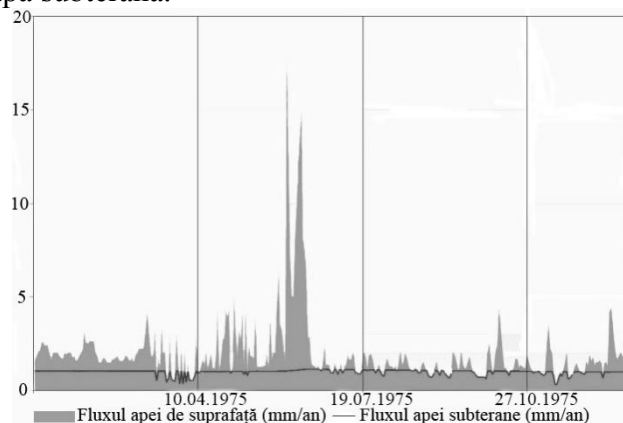


Fig. 3 Hidrograful fluxului apei de suprafață cu separarea componentei subterane, utilizând algoritmul Chapman, a. 1975 (r. Cubolta - Cubolta)

Valorile scurgerii subterane în baza softului BFI cele mai ridicate sunt conform metodei intervalului glisat 56,795 mm/an (r. Draghiște), 50,818 mm/an (r. Cubolta), și 14,878 mm/an (r. Lunga). La polul opus sunt datele conform filtrului Furey și Gupta: 23,696 mm/an (r. Draghiște), 12,578 mm/an (r. Cubolta), iar pentru r. Lunga conform algoritmului lui IHACRES – 5,995 mm/an.

Matricea de corelare prezintă legătura funcțională liniară între cele 11 metode independente, cât și a parametrului Q, utilizate în modelarea scurgerii apelor subterane, rezultatele indicelui de corelație (r) sunt prezentate în tabelul 3. Sunt evidențiate coeficienții de corelare, care sunt mai mari ca 0,87 și se consideră o corelație veridică. Conform datelor expuse în acest tabel, coeficientul de corelație liniară se modifică de la 0,87 până la 1,00. O corelație înaltă: r – 1,00 se observă între algoritmul IHACRES și algoritmul cu doi parametri.

Tabelul 3: Matricea de corelație (r. Draghiște – Trinca)

Parametru	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.000											
2	0.904	1.000										
3	0.989	0.945	1.000									
4	0.994	0.940	0.999	1.000								
5	0.986	0.940	0.993	0.993	1.000							
6	0.989	0.941	0.995	0.996	0.997	1.000						
7	0.986	0.949	0.995	0.995	0.996	1.000	1.000					
8	0.934	0.973	0.966	0.961	0.969	0.973	0.977	1.000				
9	0.869	0.932	0.910	0.903	0.918	0.919	0.925	0.964	1.000			
10	0.950	0.946	0.972	0.969	0.978	0.982	0.984	0.990	0.965	1.000		
11	0.967	0.965	0.988	0.985	0.987	0.991	0.993	0.989	0.941	0.987	1.000	
12	0.922	0.971	0.957	0.952	0.961	0.964	0.969	0.999	0.972	0.988	0.983	1.00

Remarcă: Cifrele din tabel – corespund numerotației din tab. 2.

CONCLUZII

1) Pentru prima dată a fost determinat volumul fluxului de apă subterană în cadrul a 3 bazine hidrologice folosind 11 metodologii independente, din cadrul softului BFI.

2) Determinarea volumului fluxului de apă subterană în cadrul bazinelor și rezultatele obținute sunt reale și comparabile cu alte metode internaționale. Astfel, programul BFI permite calcularea rapidă și eficientă a valorii debitului apelor subterane.

3) Studiul de față determină metodologia în plan regional a calculului fluxului de apă subterană în rețeaua hidrografică a Republicii Moldova.

4) Analiza matricei corelației liniare între cele 11 metode menționate anterior, pentru cele trei r., confirmă faptul că coeficientul de corelație cu valoarea $r \geq 0,5$ poate fi considerat nivel veridic de corelație liniară.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. Cazac V. ș.a. *Resursele acvatice ale Republicii Moldova. Vol. 1: Apele de suprafață*. Chișinău: Știința, 2007, p. 248.

2. *Гидрологический Ежегодник 1958 - 1978 г. Том 2 Бассейн Черного моря (без Кавказа) выпуск 0, 1 Бассейн Черного моря без бассейнов р. Днепр и р. Дон.* – Ленинград: Гидрометеорологическое, 1958 – 1978.

3. *Государственный водный кадастр Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1979 – 1986 г. Части 1 и 2 Том IX.* – Кишинев, 1979 – 1986.

4. Base flow index (BFI+). <http://hydrooffice.org> (accesat 20.09.18).