

данным о запасе воды в русловой сети, мы предложили использовать метод соответственных уровней воды.

Ключевые слова: уровни воды, прогностические зависимости, кривые расходов, зарегулированность стока.

B.F. Khrystyuk

The technique of the forecasting of the characteristic ten-day water levels of the navigable part of Danube River

On the basis of operational data of the Ukrainian Hydrometeorological Center for the period 2010-13 about the water levels of 58 water-gauges in the Danube River basin the technique of the forecasting of the characteristic ten-day water levels of the navigable part of Danube River was developed. Unlike all previous techniques, which were based on the forecast method of runoff on the data about the water storage in the river-bed network, we proposed to use the method of corresponding water levels.

Keywords: water levels, forecasting dependences, gauge-discharge curves, regulation of runoff.

УДК 519.237.8+556:[166; 161]

Є.В. Василенко

ПРОСТОРОВА СТРУКТУРА ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПРИП'ЯТЬ (У МЕЖАХ УКРАЇНИ)

За допомогою процедури кластеризації виконано районування території басейну р. Прип'ять (у межах України) за умовами формування весняного водопілля. Виділено чотири однорідні райони: перший охоплює верхів'я Прип'яті, басейни річок Турія і Стохід, другий – середню та нижню течії річок Стир, Горинь та Случ в межах Поліської низовини, третій – басейни річок Льва, Уборть, Уж, четвертий – верхів'я річок Стир, Горинь і Случ у межах Волино-Подільської височини.

Ключові слова: весняне водопілля, кластерний аналіз, предиктор, гідрологічний район.

Вступ

Питання застосування принципів гідрологічного районування для класифікації річкових басейнів за групами на основі виявлених найсуттєвіших ознак актуальне в науковому та прикладному аспектах. Гідрологічне районування дозволяє проаналізувати просторову структуру коливань гідрологічних характеристик та гідрометеорологічних чинників, що їх зумовлюють, надає можливість на основі застосування методу аналогії визначити гідрологічні характеристики для річкових басейнів, де відсутні дані спостережень. Це зумовлює широке застосування принципів гідрологічного районування в практиці гідрологічних розрахунків та прогнозів.

Значна кількість наукових праць присвячена дослідженню класифікації річок та гідрологічного районування. Одним із перших учених, який почав ґрунтовно розробляти цю проблему на основі підходів, що застосовуються в ландшафтній географії, був П.С. Кузін [8]. Надалі цей напрям досліджень було розвинуто численними авторами, наприклад [1, 5, 9, 12].

Протягом останніх 10-15 років поруч з ландшафтно-гідрологічними методами районування стали широко застосовуватися методи районування, що базуються на багатомірному статистичному аналізі, зокрема кластерний аналіз.

Описання наукових засад кластерного аналізу можна знайти в багатьох публікаціях, зокрема в роботі [7]. Завдяки своїй відносній простоті, наочності, можливості використання великих об'ємів інформації з подальшим її відбором, а також змістовної інтерпретації результатів кластерний аналіз широко застосовується в економічних, соціальних та природничих науках, зокрема, в гідрологічних дослідженнях.

Кластерний аналіз для районування річок України за певними ознаками (гідрологічними характеристиками) використано багатьма науковцями: О.Г. Ободовським – за характером проходження руслоформувальних витрат води [13], В.І. Вишневським – за умовами формування і характеристиками паводків [3], дослідниками з Одеського державного екологічного університету – за характером коливань річного стоку на

території України та в окремих річкових басейнах [10, 11], Ю.О. Чорноморець – за умовами формування стоку в межах Українських Карпат [14]. Треба також відмітити роботу В.В. Гребня [6], який із застосуванням кластерного аналізу вперше виконав ландшафтно-гідрологічне районування території України.

Позитивні результати, отримані цими авторами, дали підставу нам уперше застосувати кластерний аналіз для дослідження умов формування весняного водопілля.

Мета цієї статті – представити результати процедури кластеризації, використаної для аналізу просторової структури гідрометеорологічних чинників формування весняного водопілля в межах правобережної частини басейну р. Прип'ять.

Виклад основного матеріалу

Відповідні розрахунки здійснено за допомогою програмного пакета STATISTICA, модуль Cluster Analysis, модифікація K-Means Clustering. Ми обрали модифікацію кластерного аналізу K-середніх значень, оскільки вона (єдина із запропонованих), дозволяє, маючи певні уявлення про очікувані результати, самостійно обирати необхідну кількість кластерів, а програма, насамперед, пропонує їх деталізацію відповідно до вхідних даних [6].

Основним критерієм виділення кластерів є міра подібності груп об'єктів, яка характеризує віддаль на площині між об'єктами. Найближчі між собою об'єкти входять в один кластер. Критерієм об'єднання в кластери є дисперсія величин розрахункових характеристик, яка є показником неоднорідності груп об'єктів.

Чинники формування весняного водопілля в межах басейнів правобережних приток р. Прип'ять, які вибрані як основні предиктори для виділення кластерів, визначені за допомогою факторного аналізу [2].

Так, основними предикторами для процедури кластеризації вибрано: географічне положення басейну (задане координатами його середньозваженого центру), – широта (φ , градуси) та довгота (λ , градуси) точки, довжина річки від витoku до створу гідрологічного поста (L , км), площа водозбору обмежена створом поста (F , км²), середній похил водозбору вище гідрологічного поста (I , м/км), середня висота водозбору ($H_{\text{срр}}$, м БС), залісеність ($K_{\text{ліс}}$, %), заболоченість ($K_{\text{бол}}$, %), розорюваність водозбору ($K_{\text{роз}}$, %), питома площа штучних водойм (ставків та водосховищ), створених у межах басейну ($K_{\text{вод}}$, га/км²), відношення корисного об'єму штучних водойм (ставків

та водосховищ), створених у межах басейну, до об'єму середнього багаторічного стоку в створі гідрологічного поста ($K_{\text{рег}}$, %), кількість опадів за весняне водопілля ($X_{\text{весн}}$, мм), запаси вологи в сніговому покриві (S , мм), запаси продуктивної вологи в ґрунтовому покриві ($w_{\text{весн}}$, мм) та глибина промерзання ґрунту на початок весняної повені (h , см).

Крім того, у групу предикторів ми включили деякі характеристики весняного водопілля: максимальний модуль стоку ($M_{\text{макс}}$, л/с·км²), об'єм водопілля (W , млн м³) та об'єм водопілля у % від річного стоку ($W_{\%}$), а також дати початку ($t_{\text{поч}}$, доба) і закінчення ($t_{\text{кін}}$, доба) водопілля, дати проходження найбільшої строкової витрати води ($t_{\text{макс}}$, доба) та тривалість водопілля (T , доба).

Значення основних предикторів формування весняного водопілля для гідрологічних постів басейну Правобережжя Прип'яті наведено в табл. 1.

Під час розрахунків перегляд груп тривав до виділення такої групи, для якої дисперсія мінімальна. Об'єкти, що входять до цієї групи, найближчі між собою [6].

Отримані ряди об'єднано за допомогою алгоритму деревоподібної кластеризації. Типовим результатом кластеризації є ієрархічне дерево або дендрограма. Вона дозволяє досить чітко простежити послідовність утворення груп на кожному кроці та добре відображає міру подібності (відмінності) об'єктів, що досліджуються.

Дендрограму кластерного аналізу параметрів територіальної структури водозборів річок правобережжя р. Прип'яті представлено на рис. 1.

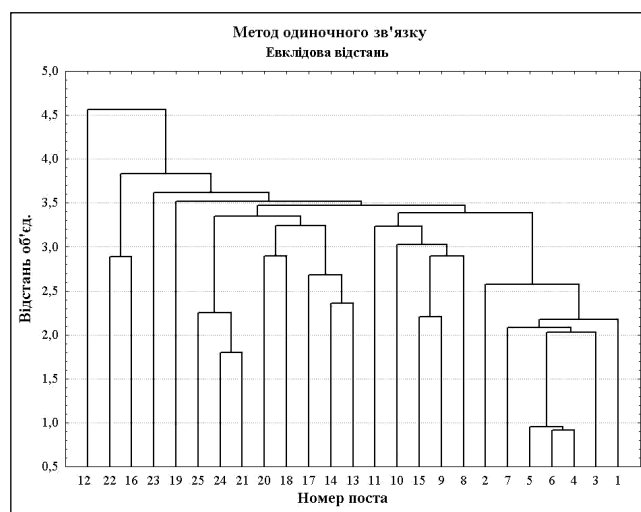


Рис. 1. Дендрограма кластерного аналізу параметрів територіальної структури водозборів річок правобережжя р. Прип'яті

Таблиця 1
Основні предиктори для процедури кластеризації за умовами формування весняного водопілля в басейні Правобережжя Прип'яті

№ з/п	Річка - пост	M _{макс}	W	T	t _{пов}	t _{макс}	t _{мін}	W _%	S	W _{весн}	h	F	I	H _{сеп}	K _{бог}	K _{ліс}	K _{роз}	X _{весн}	K _{пр}	K _{вод}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	Прип'ять – с. Річиця	20,7	87,15	53	64	83	117	39	23,6	133	30	2210	0,2	170	15	32	20	100	4	0,42
2	Прип'ять – с. Люб'язь	14,5	205	68	66	90	132	54	29,7	139	36	6100	0,2	170	16	26	20	99	4	0,42
3	Вижівка – смт. Стара Вижівка	40,3	31,4	47	63	75	109	41	23,6	133	30	722	0,7	190	9	21	20	100	2	0,1
4	Турія – с. Ягінде	25,1	14,7	43	63	73	106	35	25,3	155	42	502	1,7	210	7	18	40	105	2	0,12
5	Турія – м. Ковель	20,5	43,1	48	63	75	110	38	25,3	155	42	1480	1,1	200	6	17	30	105	2	0,12
6	Стохід – с. Малинівка	24,0	21,6	44	65	74	107	39	25,3	155	42	692	0,9	200	9	8	40	105	2	0,09
7	Стохід – смт. Любешів	18,8	117,5	57	65	83	120	37	29,7	139	36	2970	0,4	180	8	35	20	99	2	0,09
8	Стир – с. Шурівці	23,9	79,75	46	61	70	105	24	26,4	176	46	2020	2,1	240	9	26	40	105	8	0,68
9	Стир – м. Луцьк	14,9	262,5	55	60	78	114	27	19,6	166	47	7200	0,7	230	6	16	40	90	8	0,68
10	Стир – с. Млинок	12,6	416	65	63	82	126	31	29,7	139	36	10900	0,4	210	5	24	40	99	8	0,68
11	Радоставка – с. Трійця	43,0	14,85	41	60	68	100	29	22,9	207	32	316	0,7	220	12	16	40	127	8	0,68
12	Іква – с. Великі Млинівці	25,9	18,3	39	61	70	99	18	26,4	176	46	632	2,2	320	0,5	14	60	127	6	2,47
13	Горинь – с. Ямпіль	34,0	47,95	42	60	73	101	24	38,9	196	46	1400	1,6	320	1	4	60	107	6	0,64
14	Горинь – с. Оженин	24,9	209	47	61	74	107	26	48,3	197	45	5860	0,7	280	2	17	60	105	6	0,64
15	Горинь – с. Деражне	19,3	378,5	55	69	80	114	29	19,6	166	47	9160	0,5	260	2	12	60	90	6	0,64
16	Вирка – с. Сварині	36,5	9,32	41	62	72	102	35	29,2	160	56	231	0,7	160	13	31	10	103	6	0,65
17	Случ – с. Громада	27,2	80,55	46	61	75	105	30	53,9	184	44	2480	0,7	300	5	4	80	117	7	0,66
18	Случ – м. Новоград-Волинський	31,1	263,5	50	63	79	112	32	36,7	214	34	7460	0,5	260	5	11	30	120	7	0,66
19	Случ – м. Сарни	39,4	664	54	65	76	116	39	29,2	160	56	13300	0,4	230	5	14	30	103	7	0,66
20	Тня – с. Бронники	61,5	45,7	42	63	75	104	42	36,7	214	34	982	0,8	230	1	16	40	120	7	0,6
21	Смілка – с. Сусли	53,4	27,55	41	63	74	103	44	48,3	197	45	632	0,8	230	2	30	40	122	1	0,06
22	Льва – с. Осницьк	59,8	16,8	39	65	73	103	34	29,2	160	56	276	0,9	180	3	47	10	103	7	0,18
23	уборть – с. Перга	33,2	148,5	48	62	78	112	38	51,5	216	54	2880	0,5	190	4	67	20	112	1	0,16
24	Уж – м. Коростень	44,8	54,75	44	63	77	106	41	51,5	216	54	1450	0,7	210	2	28	40	120	2	0,16
25	Норин – с. Славенщина	47,9	43,85	39	65	77	103	33	51,5	216	54	804	2,4	170	2	13	60	112	2	0,16

Кластеризація вхідних даних дозволила виділити в басейні правобережжя Прип'яті чотири райони-кластери, які об'єднують однорідні за умовами формування весняного водопілля річкові басейни (рис. 2).

До *першого району* належить верхів'я Прип'яті (до державного кордону з Республікою Білорусь), а також басейни річок Виживка, Турія та Стохід. Цьому району властиві невеликі запаси води як у сніговому, так і в ґрунтовому покриттях (близько 25 мм та 140-150 мм відповідно) та малі глибини промерзання ґрунту (35-40 см) на початку весняного водопілля.

Територія району має велику кількість як заболочених земель, так і заліснених земель. Коефіцієнт заболоченості тут становить 10-16 %, а коефіцієнт залісненості 20-26 %, що значно впливає на формування весняного стоку. Район характеризується найменшим (у межах басейну) коефіцієнтом розорюваності – 20-30 %.

До *другого району* відносимо середню та нижню течії річок Стирі, Горині та Случі. Це найбільший за об'ємом весняного стоку (400-500 млн м³) і за тривалістю проходження весняного водопілля (55-60 діб) район у межах басейну. Територія

другого району характеризується найменшими запасами води в сніговому покриві (20-28 мм), досить малими запасами вологи в ґрунті (140-160 мм) та великими глибинами промерзання ґрунтового покриву (50-55 см) перед початком формування весняного стоку.

Під час проходження весняного водопілля на цій території випадає найменша кількість опадів (90-100 мм) порівняно з іншими районами. Цей район характеризується досить великим коефіцієнтом зарегульованості стоку (6-8 %) та невеликими коефіцієнтами залісненості та розорюваності території – 15-25 % та 30-40 % відповідно.

У *третьому районі* об'єднано басейни річок Льва, Уборть та Уж з її лівою притокою р. Норин. Для виділеної території властиві найбільші значення запасів вологи як у сніговому, так і в ґрунтовому покриттях на початок формування весняного водопілля – 50 мм і 200-215 мм відповідно. Крім того, для району властиві найбільші глибини промерзання ґрунту (в середньому близько 55 см) та найменші коефіцієнти зарегульованості й заболоченості території (2-3 %) порівняно з іншими районами. Під час проходження весняного водопілля на території району випадає досить значна

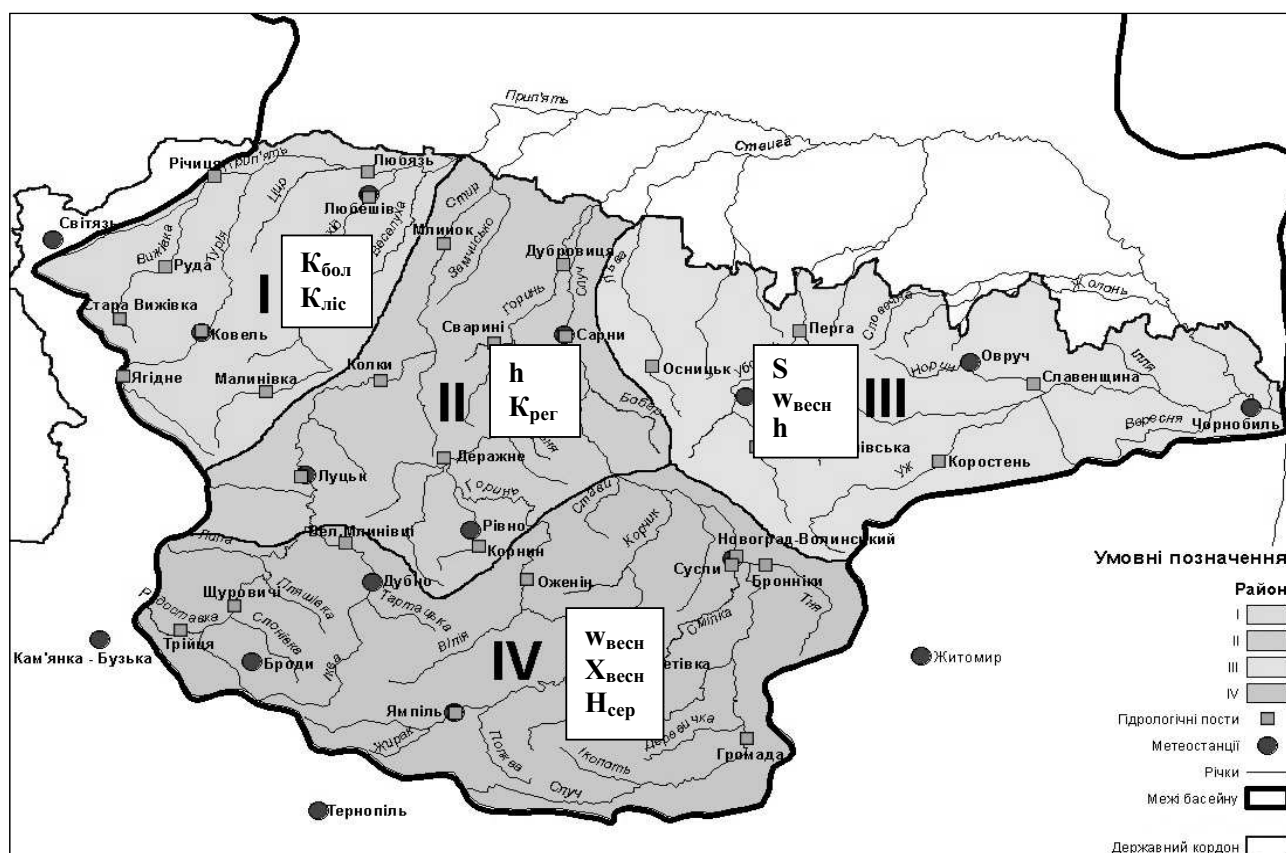


Рис. 2. Схема гідрологічного районування території правобережжя р. Прип'ять за умовами формування весняного водопілля (поряд із номером району вказано основні чинники, які впливають на формування водопілля в межах цього району)

кількість опадів – 110-120 мм. У результаті дії всіх зазначених чинників тривалість проходження весняного водопілля на території виділеного району є найменшою в межах басейну правобережжя Прип'яті і становить 40-45 діб.

Четвертий район охоплює верхів'я р. Стир вище м. Луцьк, разом із басейнами річок Радоставка та Іква, верхів'я р. Горинь вище с. Оженін, а також верхів'я та середню частину басейну р. Случ вище м. Новоград-Волинський, разом з басейном р. Тня. Ця територія характеризується значними середніми висотами річкових басейнів 260-320 м і випадінням найбільшої кількості опадів (120-130 мм) під час проходження весняного водопілля. Тут відмічено найбільші значення запасів вологи в ґрунтовому покриві (близько 200 мм) та досить великі запаси води в сніговому покриві (30-50 мм). Район має найбільший коефіцієнт розорюваності території – 60-70 % та найменший коефіцієнт залісеності – 10-15 %. Усі ці чинники зумовили тут невелику тривалість проходження весняного водопілля – 45-50 діб.

Як ми бачимо, басейни річок Стир, Горинь та Случ розділено на два однорідні за умовами формування весняного водопілля райони. Це пояснюється тим, що ці річки беруть початок на Волино-Подільській височині (середні висоти водозборів 260-320 м), а потім протікають по Поліській низовині (середні висоти водозборів 150-200 м), де умови формування весняного стоку мають дещо інший характер.

Висновки

Виконані дослідження підтвердили перспективність застосування кластерного аналізу для дослідження просторової структури такого багатфакторного гідрологічного явища як весняне водопілля. Процедура кластеризації дозволила в межах української частини басейну річки Прип'ять виділити чотири однорідні за умовами формування весняного водопілля райони: перший район охоплює верхів'я Прип'яті, басейни річок Турія і Стохід, другий – середню та нижню течії річок Стир, Горинь та Случ в межах Поліської низовини, третій – басейни річок Льва, Уборть, Уж, четвертий – верхів'я річок Стир, Горинь і Случ в межах Волино-Подільської височини. Отримані результати можна використовувати під час розробки регіональних методів гідрологічних розрахунків і прогнозів.

* *

1. *Антипов А.Н., Федоров В.Н.* Ландшафтно-гідрологіческая организация территории. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 254 с.
2. *Василенко Є.В.* Аналіз чинників формування весняного водопілля на річках Правобережжя Прип'яті // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т. 3(24). – С. 99-105.
3. *Вишневецький В.І.* Річки і водойми України. Стан і використання – К.: Вікол. – 2000. – 376 с.
4. Вікіпедія – вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. Кластерний аналіз. – Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Кластерний_аналіз.
5. *Гребінь В.В.* Пропозиції щодо ландшафтно-гідрологічного районування території України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Т. 17. – С. 26-39.
6. *Гребінь В.В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К.: Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
7. *Дюран Б., Одел П.* Кластерный анализ. – М.: Статистика, 1977. – 128 с.
8. *Кузин П.С.* Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 455 с.
9. *Кузин П.С., Бабкин В.И.* Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1979. – 200 с.
10. *Лобода Н.С., Гопченко Є.Д.* Нормування характеристик природного річного стоку України // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2003. – Вип. 252. – С. 5-10.
11. *Мельник С.В., Лобода Н.С.* Изменения в характере колебаний стока рек Верхнего Днестра в современных климатических условиях // Вісник Харківського національного університету. – 2010. – Вип. 909. – С. 117-127.
12. *Мирон І.В.* Ландшафтно-гідрологічна просторова класифікація басейну Десни (в межах України) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2001. – Т. 2. – С. 803-807.
13. *Ободовський О.Г.* Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). – К.: Ніка-Центр, 2001. – 274 с.
14. *Чорноморець Ю.О.* Оцінка циклічності багаторічних коливань стоку річок Українських Карпат: автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.07 – К., 2007. – 20 с.
15. Электронное руководство *STATISTICA* / [Microsoft® HTML Help Executable]. – 8,00 КБ (8 192 байт).
16. *Base Group Labs.* Технологии анализа данных. Кластеризация [Электрон. рес.]. – Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/clusterization>.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*

Пространственная структура факторов формирования весеннего половодья в бассейне р. Припять (в пределах Украины)**Василенко Е.В.**

С помощью процедуры кластеризации выполнено районирование территории бассейна р. Припять (в пределах Украины) по условиям формирования весеннего половодья. Выделено четыре однородных района: первый охватывает верховья Припяти, бассейны рек Турия и Стоход, второй – среднее и нижнее течение рек Стырь, Горынь и Случь в пределах Полеской низменности, третий – бассейны рек Льва, Уборть, Уж, четвертый – верховья рек Стырь, Горынь и Случь в пределах Воыно-Подольской возвышенности.

Ключевые слова: весеннее половодье, кластерный анализ, предикторы, гидрологический район.

Spatial structure of the spring flood formation factors in the Pripyat river basin (within Ukraine)**Vasylenko E.V.**

Regionalization of the Pripyat river basin (within Ukraine) under conditions of spring flood formation has been carried out according to the clustering procedure. Four homogeneous regions have been singled out: the first region includes the upper part of the Pripyat river as well as the Turia and Stokhid river basins, the second one includes the middle and lower reaches of the Styr, Gorin and Sluch rivers within Polissya Lowland, the third one – the Lva, Ubort, Uzh river basins, the fourth one – upper part of the Styr, Gorin and Sluch river basins within the Volyno-Podilska Upland.

Keywords: spring flood, cluster analysis, predictors, hydrological region.

УДК 556.166.06

Т.В. Маслова, О.А. Липкань**МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВЕСНЯНИХ ВИТРАТ ВОДИ ЗА КОЕФІЦІЄНТАМИ РЕГРЕСІЇ ДЛЯ ПЕВНИХ ІМОВІРНОСТЕЙ ПЕРЕВИЩЕННЯ**

Застосування методики прогнозування максимальних весняних витрат води за коефіцієнтами регресії $k_{Q(P)}$ для певних імовірностей перевищення дозволяє безпосередньо враховувати допустимі похибки прогнозів, оскільки в межах довірчих інтервалів знаходяться ймовірні відхилення витрат води.

Ключові слова: весняне водопілля, довгостроковий прогноз, максимальні весняні витрати води.

Вступ

Спосіб оцінювання якості прогнозів у вигляді інтервальних оцінок має реальніше вираження, ніж застосування відносної міри середньої квадратичної похибки. Імовірність перевищення допустимої похибки залежить від значень максимальних витрат води.

Мета дослідження полягає в теоретичній та практичній реалізації науково-методичної бази довгострокового прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля у вигляді інтервальних оцінок для певних довірчих імовірностей, а також – у визначенні підходів для цих розрахунків на прикладі річок басейну Десни.

Виклад основного матеріалу досліджень

В основу довготермінового прогнозування максимальних весняних витрат води під час весняного водопілля покладено спосіб визначення їх у вигляді інтервальних оцінок для певних довірчих імовірностей [1-3].

Запропонована схема ґрунтується на зв'язку максимальних витрат води з шарами стоку з річкового водозбору. Чим більший шар стоку за повінь, тим більша максимальна витрата та рівень води. Таким чином, максимальна витрата й рівень певною мірою залежать від тих самих чинників, від яких залежить і об'єм весняного стоку. Точність зв'язку максимальної витрати води та шару стоку – $Q_{\max.} = f(h)$ може виявитись дуже різною, залежно від особливостей формування стоку. У залежностях максимальних витрат води