

Ж.Р.Шакірманова*, к.г.н., **І.П.Середіна**** , асп.

*Одеський державний екологічний університет

**Харківський гідрометеорологічний технікум

ДОВГОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р.СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

Для басейну р.Сіверський Донець запропонована методика довгострокового прогнозу характеристик весняного водопілля на основі типізації весен за їх водністю та з використанням дискримінантної функції, яка враховує комплекс основних факторів, що впливають на умови формування стоку. Прогноз представляється в оперативному режимі у вигляді карто-схем очікуваних модульних коефіцієнтів характеристик водопілля та їх ймовірнісних оцінок при завчасності 20-40 діб.

Ключові слова: довгостроковий прогноз, типізація весен, ймовірнісні оцінки

Вступ. Сіверський Донець – найбільша річка на сході України. Водночас вона є й найбільшою притокою Дону. Довжина річки становить 1053 км, площа басейну складає 98900 км². Річка бере початок на південному схилі Середньоруської височини. Основний напрямок течії у верхів'ї – на південь, нижче м. Зміїв – на південний схід. Значна частина водозбору знаходиться на Донецькому кряжі у межах горбистої денудаційної рівнини з висотами переважно 100–150 м. Ґрунти лісостепу чорноземні, слабогумусні. Поширені темно-сірі та сірі ґрунти. Вологоємність середньогумусних ґрунтів значно більша, ніж малогумусних. Зустрічаються невеликі масиви солонцюватих ґрунтів. Водопроникність їх незначна, а вологоутримуюча здатність висока. Кліматичні характеристики басейну річки мають певні особливості. Середня багаторічна температура повітря у січні становить – мінус 6.9° С, у липні – 20.3° С (м.Харків). Середня багаторічна кількість опадів у верхній частині річкового басейну становить 530 – 550 мм, у нижній – 460 - 480 мм. В період повені річка виходить за межі корінного русла, широко розливається по заплаві, а при високому рівні заливає всю її площу [1]. Характерною особливістю Сіверського Дінця є інтенсивне його господарське використання.

Матеріали і методи досліджень. Систематичні спостереження за річним стоком в басейні проводяться понад 50-80 років. Формування річкового стоку відбувається під впливом великої кількості факторів, які змінюються за часом і в просторі. Їх можна поділити на дві основні групи: а) метеорологічні, що визначають інтенсивність утворення талої води зі снігу та втрати на випаровування; б) інші фізико-географічні чинники або фактори підстильної поверхні, що визначають характер розподілу снігу на поверхні басейну та стікання талої води під снігом і в руслах потоків, величину акумуляції талої води на поверхні басейну й інфільтрації в ґрунт. Основними метеорологічними факторами, що визначають інтенсивність утворення талої води є сонячна радіація та тепловий обмін з повітрям. Фактори підстильної поверхні – рельєф, рослинний покрив, характер снігового покриву та ґрунтів – обумовлюють акумуляцію та регулювання талої води. Сніг, як і ґрунти, має властивості утримувати воду у вигляді плівчастої і капілярної вологи. Внутрішня снігова акумуляція зумовлює запізнення максимуму стоку від максимуму сніготанення.

Розробка наукових методик розрахунків та прогнозів стоку річок звичайно починається з аналізу однорідності стокових рядів та їх статистичної обробки. Найбільш тривалі спостереження на річках свідчать, що коливання річного стоку

носять циклічний характер, який полягає в послідовній зміні багатоводних і маловодних груп років.

Перевірка рядів стоку на однорідність виконувалась на основі критеріїв Фішера, Стьюдента і Вількоксона та шляхом побудови подвійних інтегральних кривих шарів стоку та максимальних витрат води. Так, для р.Сіверський Донець – м. Зміїв стокові ряди можна вважати однорідними, а для р. Оскіл - м. Куп'янськ однорідність порушена побудовою у 60-ті роки минулого сторіччя Краснооскільського водосховища.

В роботі була виконана статистична обробка часових рядів шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля за даними 32 гідрологічних постів в басейні Сіверського Дінця. Співвідношення коефіцієнта асиметрії та варіації як шарів весняного стоку, так і максимальних витрат води нормовано на рівні $C_s = 2C_v$.

Територіальне узагальнення коефіцієнтів варіації шарів стоку і максимальних витрат води в басейні р.Сіверський Донець показало, що при збільшенні географічної широти значення C_v зменшуються і можуть бути представлені рівняннями:

- для шарів стоку

$$(C_v)_Y = 0.68 - 0.097(\varphi^o - 50); \quad (1)$$

- максимальних витрат води водопілля

$$(C_v)_{Qm} = 1.02 - 0.19(\varphi^o - 50), \quad (2)$$

де φ^o - географічна широта геометричних центрів тяжіння водозборів (у частках град.півн.ш.).

При переході до прогнозування стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець автори роботи спираються на науковий метод територіального довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля рівнинних річок [2,3].

В гідрологічній практиці існують територіальні методи прогнозу, які відносяться головним чином до шарів весняного стоку. Для максимальних витрат (рівнів) води водопілля на річках, які становлять основну загрозу при затопленнях територій, просторові методи прогнозу практично відсутні і не використовуються на практиці. Це пов'язано з тим, що і максимальні витрати води, і їх модулі залежать від розмірів водозборів, що не дає змогу їх територіального узагальнення. Тому довгострокове прогнозування максимальних витрат чи рівнів води ведеться лише для окремих річок, які мають тривалі часові ряди гідрологічних спостережень.

Результати дослідження та їх аналіз. Науково-методична база для довгострокового прогнозу характеристик весняного водопілля (шарів стоку та максимальних витрат води) на річках в басейні Сіверського Дінця представлена залежностями модульних коефіцієнтів шарів стоку чи максимальних витрат води від сумарних запасів води в сніговому покриві та весняних опадів, виражених відносно їх середньобаторічних значень для річок, по яких є багаторічні ряди гідрометеорологічних спостережень у вигляді

$$k_m = f(k_X), \quad (3)$$

де k_m - модульні коефіцієнти: для шарів весняного стоку $k_m = Y_m / Y_0$, де Y_m та Y_0 - шари весняного стоку та їх середньобогаторічні значення, мм; для максимальних витрат (модулів) води весняного водопілля $k_m = q_m / q_0$, де q_m та q_0 - максимальні модулі весняного водопілля та їх середньо багаторічні значення, м³/(с·км²).

Модульні коефіцієнти загальних запасів вологи, які беруть участь у формуванні весняного водопілля k_X , включають

$$k_X = (S_m + X_1 + X_2) / (S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}), \quad (4)$$

де S_m та S_0 - значення середніх на водозборах максимальних снігозапасів та їх норма, мм;

X_1 і X_{1_0} - рідкі опади періоду весняного сніготанення та їх норма, мм;

X_2 і X_{2_0} - рідкі опади періоду спаду водопілля та їх норма, мм (враховуються при прогнозі шарів стоку водопілля).

Для встановлення типу майбутньої весни визначається знак лінійної дискримінантної функції DF , яка для річок басейну Сіверського Дінця розраховується в дату складання прогнозів за таким рівнянням [2,3]

$$DF = a_0 + a_1 k_X + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}, \quad (5)$$

де $A = (a_0, a_1, a_3, a_4)$ - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції.

Значення цих коефіцієнтів при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля на річках басейну Сіверського Дінця наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти рівнянь дискримінантної функції (5) при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля в басейні Сіверського Дінця

| Функція | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $DF1$ | 0.54 | -10.6 | 4.29 | 3.13 | -0.33 |
| $DF2$ | -0.05 | -2.20 | 5.97 | 2.69 | 0.97 |

Для розрахунку DF до вектор-предиктора дискримінантної функції були віднесені такі фактори весняного водопілля (виражені у модульних коефіцієнтах), як:

а) середньобогаторічні значення максимальних запасів води в сніговому покриві, що накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення, і весняні опади, тобто

$$k_X = \frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}};$$

б) індекс зволоження ґрунтів – середній річковий модуль стоку з вересня попереднього по січень поточного року, віднесений до його норми, тобто

$$k_{q_{09-01}} = q_{09-01} / (q_{09-01})_0;$$

в) максимальна глибина промерзання ґрунтів, у вигляді $k_L = L / L_0$;

г) середньомісячна температура повітря у лютому Θ_{02} °С.

Прогноз величин шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля у вигляді відносних їх значень здійснюється так:

– за знаком дискримінантної функції DF встановлюється тип водності очікуваного водопілля – вище, близько або нижче норми;

– прогноз чисельних величин виконується за регіональними залежностями для шарів стоку чи максимальних витрат води у вигляді (3), які описуються поліномом за умов застосування кривих за ознаками DF

$$k_m = b_0 + b_1 k_x + b_2 k_x^2 + b_3 k_x^3, \quad (6)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 - коефіцієнти полінома, значення яких для прогнозу шарів весняного стоку річок басейну Сіверського Дінця наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти полінома (6) при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля в басейні Сіверського Дінця

| Номер підрайону в межах басейну | Умови застосування дискримінантних рівнянь | Параметри рівняння | | | |
|---------------------------------|--|--------------------|-------|-------|--------|
| | | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 |
| а | $DF1 > 0$ | 0,08 | 0,36 | 0,52 | 0,51 |
| | $DF1 \leq 0, DF2 \geq 0$ | 0 | 0,02 | 0,53 | 0,12 |
| | $DF1 < 0, DF2 < 0$ | 0,01 | -0,11 | 0,30 | 0,08 |
| б | $DF1 > 0$ | 0,02 | 0,17 | 1,57 | -0,46 |
| | $DF1 \leq 0, DF2 \geq 0$ | 0,01 | -0,10 | 0,65 | -0,056 |
| | $DF1 < 0, DF2 < 0$ | 0,01 | -0,11 | 0,30 | 0,08 |
| в | $DF1 > 0$ | 0,02 | -0,28 | 1,57 | 0,65 |
| | $DF1 \leq 0, DF2 \geq 0$ | 0,01 | 0,17 | 0,40 | 0,50 |
| | $DF1 < 0, DF2 < 0$ | 0,04 | -0,42 | 0,55 | 0,10 |
| г | $DF1 > 0$ | 0,03 | 0,04 | 2,26 | 0,53 |
| | $DF1 \leq 0, DF2 \geq 0$ | -0,04 | 0,95 | -1,85 | 1,69 |
| | $DF1 < 0, DF2 < 0$ | -0,02 | 0,13 | -0,06 | 0,16 |

Виконані розрахунки показали, що коефіцієнти рівнянь DF зберігаються постійними в межах водозборів басейну Сіверського Дінця, а за виглядом одержаних прогнозних залежностей виділено чотири підрайони. Такі узагальнення дозволяють використовувати запропонований метод при оперативному прогнозуванні максимального стоку будь-яких річок басейну Сіверського Дінця, навіть за відсутності спостережень на них.

На дати випуску прогнозу шарів стоку водопілля є невідомі фактори - максимальні запаси води у сніговому покриві і опади під час весняного водопілля. Розраховуються вони за такою схемою

$$(S_m + X'_1 + X'_2)_{ДСП} = [S_{ДСП}(1 - f_l) + k_l S_{ДСП} f_l] + \Delta \bar{S} + X'_1 + X'_2, \quad (7)$$

де $S_{ДСП}$ - максимальні запаси води в сніговому покриві (одержані за снігомірною зйомкою на відкритих частинах водозборів), які вимірюються на дату складання прогнозу, мм;

f_l - частка площі водозборів, зайнята лісом;

k_l - коефіцієнт підвищеного снігонакопичення у лісі (прийнятий на рівні 1.13);

$\Delta \bar{S}$ - середньобаторічне значення поповнення снігозапасів, відомих на дату випуску прогнозу, до їх максимальних значень, мм;

X'_1 - опади, які випадають на танучий сніг, мм;

X'_2 - опади, які надходять на поверхню ґрунту, що звільнилася від снігу, мм.

Практичні рекомендації для визначення нормальних добавок $\Delta \bar{S}$ та величин опадів X'_1 і X'_2 з урахуванням метеорологічного їх прогнозу, надані в [3].

При встановленні за прогнозною методикою очікуваних модульних коефіцієнтів k_m знаходяться самі величини:

- шарів весняного стоку

$$Y_m = k_m Y_0; \quad (8)$$

- максимальних витрат води

$$Q_m = k_m Q_0 = k_m q_0 F, \quad (9)$$

де Y_0 або $Q_0(q_0)$ – норма шарів весняного стоку або максимальних витрат (модулів) води, які розраховуються для окремих річок за часовим рядом спостережень на них;

F – площі водозборів річок, км².

За відсутності тривалих гідрологічних вимірів на річці норму Y_0 можна визначити за карто-схемою її розподілу на досліджуваній території. Що стосується норм максимальних витрат води або їх модулів, які залежать від розмірів водозборів і не можуть бути безпосередньо картовані, запропонована методика їх визначення, заснована на моделі одномодальних типових гідрографів водопілля [4], у вигляді

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (10)$$

де q_0 і q'_0 – середній багаторічний модуль максимального стоку та схилового припливу, відповідно, м³/(с·км²);

$\psi(t_p / T_0)$ - трансформаційна функція розпластування паводкових хвиль під впливом русло-заплавного регулювання тало-дошових вод;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

r – коефіцієнт трансформації водопіль під впливом озер та водосховищ руслового типу.

Для розрахунку середньобагаторічного значення модуля максимальних витрат води схилового припливу q'_m Є.Д.Гопченком [4] рекомендується формула

$$q'_0 = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \quad (11)$$

де Y_0 – норми шарів весняного стоку, які визначаються за карто-схемою їх розподілу по території [3], мм;

T_0 – тривалість схилового припливу води, яка також визначається за карто-схемою розподілу її величини по території басейну [3], год;

$(n+1)/n$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу, який в межах рівнинної території України, у тому числі й для басейну Сіверського Донця, береться рівним 8.0.

Методика визначення інших параметрів розрахункової схеми норм максимальних модульних коефіцієнтів виконується за рекомендаціями, наданими в [3]. Слід також відзначити, що до карто-схем Y_0 та T_0 пропонується застосовувати коефіцієнти на залісеність та заболоченість водозборів.

В запропонованій прогнозній схемі характеристик весняного водопілля в басейні Сіверського Дінця передбачено також встановлення забезпеченості або ймовірності настання прогнозних величин весняного водопілля у багаторічному розрізі, яка визначається за допомогою кривої трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля при середньому по території значенні співвідношення $C_s / C_v = 2.5$.

Встановлення забезпеченості виконується за значеннями коефіцієнтів варіації C_v і модульних коефіцієнтів шарів стоку (максимальних витрат води) водопілля k_m за таблицями С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля у вигляді інтервалу

$$P_1 < P_Y(Q_m) < P_2, \quad (12)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, %.

За відсутності даних спостережень по річках рекомендується використовувати карту розподілу коефіцієнтів варіації C_v по території або одержані для басейну Сіверського Дінця рівняння (1) чи (2).

Оцінка методики прогнозу шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля була здійснена за даними десяти річок басейну Сіверського Дінця за період з 1966 по 2000 роки, причому більшість з них складала незалежну вибірку. Виконані перевірені прогнози показали такі результати: справджуваність прогнозів коливається в межах від 88 до 60%, при змінюванні критерію якості S/σ від 0.49 до 0.82. Завчасність складених прогнозів знаходиться в межах 20-40 діб.

В територіальній методиці довгострокових прогнозів представлення прогнозних у поточному році характеристик весняного стоку відбувається шляхом побудови карто-схем очікуваних величин, причому у вигляді безрозмірних їх значень – модульних коефіцієнтів. Одержані з прогнозних карто-схем для геометричних центрів тяжіння будь-яких водозборів значення характеристик водопілля перераховуються у самі шари стоку або максимальні витрати води водопілля, відповідно за рівняннями (8) або (9) та рекомендаціями до визначення норм стокових характеристик.

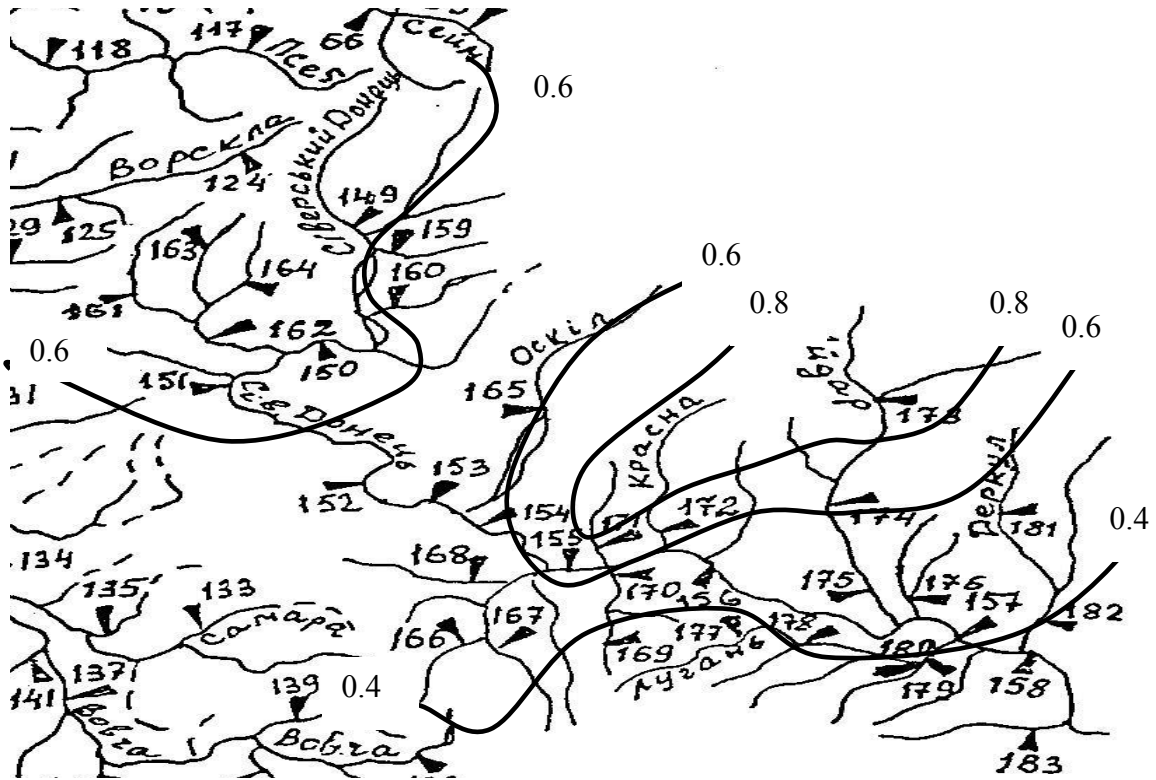


Рис. 1 – Просторовий розподіл по території басейну Сіверського Дінця прогнозних величин модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля 2010 р. (прогноз складений в дату S_m – 20 лютого).

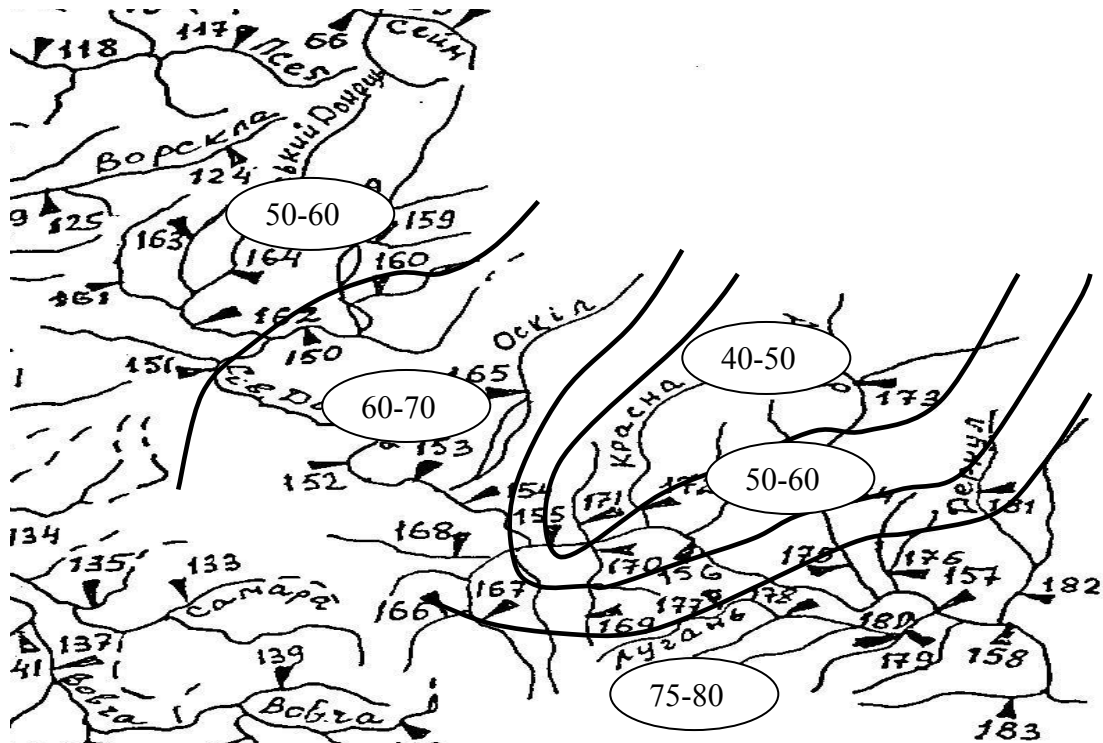


Рис. 2 – Просторовий розподіл по території басейну Сіверського Дінця ймовірності настання у багаторічному розрізі шарів стоку весняного водопілля 2010 р. (прогноз складений в дату S_m – 20 лютого) – P%.

Крім того, ймовірнісні оцінки або забезпеченість $P\%$ очікуваних характеристик весняного стоку також представляються у картографічному вигляді.

За розробленою методикою здійснено оперативний прогноз шарів стоку весняного водопілля для поточного 2010 г. на річках басейну Сіверського Дінця (для 10 опорних гідрологічних постів), а прогнозні величини шарів стоку водопілля представлені у вигляді двох карт: модульних коефіцієнтів шарів стоку (рис.1) та ймовірності їх появи в багаторічному розрізі (рис.2).

Наведені карто-схеми дають можливість оцінити розміри водопілля на річках всього басейну Сіверського Дінця. Так, весняне водопілля 2010 р. формувалося в умовах значної величини снігозапасів (за даними снігозйомки 20 лютого величини снігозапасів досягли максимуму (S_m) і коливалися від 27 до 123 мм або в модульних коефіцієнтах – на рівні і вище від норми), при промерзанні ґрунтів 30-55 см (близькими та нижчими за норму) та добре зволоженому метровому їх шарі в основному за рахунок зимового паводку у січні 2010 р. Танення снігу відбувалося протягом тривалого часу при поверненні холоду і з повторним снігонакопиченням в північній частині басейну. Складений прогноз шарів стоку весняного водопілля показав, що вони майже на всій території басейну Сіверського Донця не перевищували норму (модульний коефіцієнт k_m складав 0.6-0.8), а в південній частині басейну $k_m=0.4$ (рис.1). Карто-схема ймовірності настання такого водопілля (рис.2) свідчить про те, що його повторюваність $P\%$ знаходиться на рівні 60-70% і 40-50% в різних частинах басейну. Оцінка складеного по запропонованій методиці прогнозу шарів стоку весняного водопілля 2010 р. для р.Сіверський Донець – м.Ізюм (при допустимій похибці прогнозу шарів стоку 12 мм) представлена на рис.3.

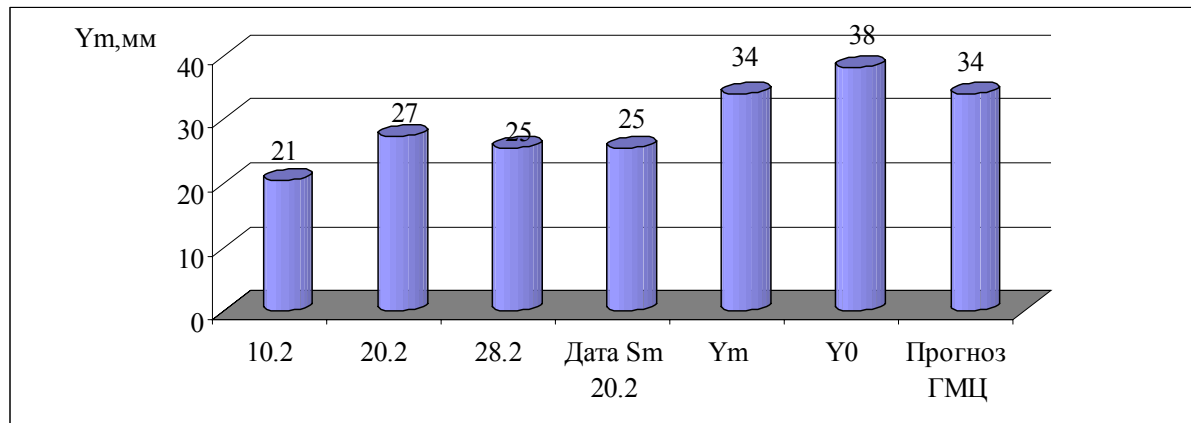


Рис. 3 – Оцінка прогнозу шарів стоку весняного водопілля 2010 р. р. Сіверський Донець – м.Ізюм.

Умовні позначення:

10.2; 20.2; 28.2; Дата S_m 20.2 – дати складання прогнозу;

Y_0 – середньобогаторічний шар стоку водопілля;

Y_m – спостережена величина шару стоку весняного водопілля 2010 р.;

Прогноз ГМЦ – значення шару стоку водопілля, отримане за прогнозом Гідрометцентру.

Висновки. Запропонований метод довгострокового просторового прогнозу характеристик весняного стоку дозволяє для басейну Сіверського Дінця:

1. Проводити прогнозування на основі врахування типу водності майбутнього водопілля з використанням дискримінантної функції, в якій поєднується в кожному році низка чинників, що обумовлюють формування різних за розмірами водопілля.

2. Складати прогнози шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля із завчасністю 20-40 діб.

3. Представляти прогнозні характеристики в картографічній формі у вигляді безрозмірних величин – модульних коефіцієнтів, а також встановлювати ймовірність очікуваних розмірів водопілля в багаторічному розрізі.

4. Краща якість прогнозів досягається для зим зі сталим сніговим покривом (як, наприклад, зима 2010 р.). Але окремі труднощі виникають при наявності зимових відлиг, що є частим явищем впродовж останніх років.

Метод прогнозу водності водопілля для річок басейну Сіверського Дінця можна використовувати в оперативній практиці Харківського гідрометеорологічного центру (з побудовою карто-схем очікуваних величин за допомогою комп'ютерних технологій).

Список літератури

1. *Северско-Донецкий природный комплекс.* – Харьков: Изд-во при ХГУ издательского объединения «Вища школа», 1980 – 85 с.

2. *Гопченко Е.Д., Шакирманова Ж.Р.* Территориальное долгосрочное прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья: Учебное пособие. – К.: КНТ, 2005. - 240 с.

3. *Гопченко Е.Д., Шакирманова Ж.Р.* Метод просторового довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля та строків його проходження // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - 2008. – Вип. 50, ч. II. – С. 158-168.

4. *Гопченко Е.Д., Гушля А.В.* Гидрология с основами мелиорации. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 302 с.

Долгосрочный прогноз характеристик весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец. Шакирманова Ж.Р., Середина И.П.

Предложенный метод территориального долгосрочного прогнозирования характеристик весеннего половодья с пространственным представлением в виде карт ожидаемых модульных коэффициентов половодья и их вероятностных оценок позволит для р.Северский Донец в оперативном режиме составлять прогноз весеннего половодья (с заблаговременностью 20-40 суток) в отделах гидрометеорологической службы.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз, типизация вёсен, вероятностные оценки.

The long-term forecasts of characteristics of spring floods in the basin of r.Seversky Donets. Shakirmanova J., Seredina I.

The offered method of territorial long-term forecasts of characteristics of spring flood with its spatial representation in the form of map for the expected module coefficients of the flood and their probabilistic estimation will make it possible for the basin r.Seversky Donets in the on-line mode to make the forecast of spring flood (at forecast lead time of 20-40 days) at the departments of the hydrometeorological service.

Keywords: long-term forecasts, distributions of spring, probabilistic estimation.