

УДК 556.16

Н.С. Лобода, д. з. н.

Одеський державний екологічний університет

І.О. Шахман, асп.

Херсонський гідрометеорологічний технікум Одеського державного екологічного університету

ФУНКЦІЇ ВІДКЛИКУ ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМ НИЖНЬОГО ПОДНІПРОВ'Я НА ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАСИВІВ ВОДАМИ ДНІПРА

Виконано математичне моделювання побутового стоку. Оцінені статистичні параметри річного стоку в умовах господарської діяльності з використанням стохастичного моделювання і отримані функції впливу.

Ключові слова: *стохастична модель річного стоку, функції впливу*

Вступ. У зв'язку з незбалансованою водогосподарською діяльністю у другій половині минулого сторіччя при вирішенні питань водозабезпечення економіки України відбулася зміна гідрогеологічного середовища, перш за все, південних регіонів України. Недотримання при водокористуванні принципу непорушності окремих ланок складних гідрогеологічних систем, сформованих природою, призвело до негативних наслідків. Таким і є, зокрема, підтоплення, заболочування і засолення земель у південних областях України, куди додатково подається велика кількість води для зрошування [7]. Тому ряди побутового (перетвореного діяльністю людини) річного стоку вже не можуть розглядатися як реалізації ергодичного випадкового процесу, а отже, до них не придатні стандартні статистичні методи [6]. Для вивчення водного режиму річок в умовах антропогенної діяльності необхідна побудова математичних моделей стоку, які б дозволили імітувати стан водних ресурсів в залежності від виду водогосподарських перетворень. Класичний підхід до вирішення проблеми оцінки характеристик стоку в порушених водогосподарськими перетвореннями умовах формування стоку полягає в аналізі і розрахунках стоку в природних умовах і оцінці впливу окремих видів господарської діяльності [8].

Матеріали та методи досліджень. Головна особливість сучасних стохастичних моделей полягає в прийнятті гіпотези стаціонарності. Але якщо розглядати геофізичні процеси за достатньо довгий історичний період (сотні і тисячі років), то їх слід вважати все ж нестаціонарними. Порушення однорідності і стаціонарності рядів гідрологічних характеристик відбувається за рахунок зростаючого впливу господарської діяльності на водозборах і в руслах річок, а також завдяки антропогенним змінюванням клімату. Ці обставини ставлять перед сучасними науковцями проблему оцінювання характеристик стоку в умовах антропогенного впливу, вирішення якої досягається завдяки математичному моделюванню. Оцінювання впливу господарської діяльності на стік зводиться до пошуку оператора вихідного стану гідрологічної системи (в цьому випадку - природний стік) на змінений водогосподарськими перетвореннями. Математичний вираз цього оператора може бути різним: у вигляді функції відклику, інтеграла згортки, функції пам'яті тощо [6]. Серед методів урахування впливу господарської діяльності на річний стік річок можна виділити метод водогосподарського балансу, оснований на обліку безпосередніх скидів і заборів води [8]. Загальний вигляд рівняння водогосподарського балансу такий

$$W_{Поб} = W_{Пр} - \Delta W_B + \Delta W_{Ск}, \quad (1)$$

де $W_{Поб}, W_{Пр}$ – об'єми побутового і природного стоку;

ΔW_B – безповоротні вилучення стоку з поверхневих водотоків (втрати);

$\Delta W_{Ск}$ – скиди води в поверхневі водотоки.

Переваги цього підходу полягають в можливості оцінити вплив кожного водогосподарського фактора окремо. Але вирішення проблеми знову пов'язано з приведенням стоку до природного вигляду. Крім того, детальні експериментальні дані і надійні матеріали обліку водоспоживання і водовідведення, як правило, відсутні, що робить класичне вирішення поставленої задачі неможливим.

Найбільш перспективними в оцінці впливу водогосподарських перетворень на стік є методи імітаційного математичного моделювання, розвинуті в ОДЕКУ [6], в яких рівняння водогосподарських балансів подаються у стохастичному (ймовірністному) вигляді.

Стохастичне моделювання рядів побутового стоку виконується окремо для кожного з досліджуваних факторів антропогенного впливу, на основі рівнянь водогосподарських балансів, які описують реальну фізичну картину взаємодії того чи іншого фактора господарської діяльності з річним стоком. Для водозборів, які зрошуються за рахунок річок-донорів, рівняння водогосподарського балансу записується наступним чином

$$Y_{Поб,P} = Y_{Пр,P} + \xi \frac{M_{0,100-P}}{\eta} (1-\eta) f_{Зр}, \quad (2)$$

де $Y_{Поб,P}, Y_{Пр,P}$ – побутовий і природний стік із заданою забезпеченістю P , виражений у мм шару стоку;

$f_{Зр}$ – сумарна площа зрошуваних масивів, виражена в частках від загальної площі водозбору F ;

η – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи;

ξ – коефіцієнт зворотних вод, які утворюються за рахунок втрат води на інфільтрацію при зрошуванні сільськогосподарських масивів і надходять до русла річки підземним шляхом;

$M_{0,100-P}$ – зрошувальна норма-нетто з ймовірністю перевищення $100 - P$ [4].

Оскільки зрошення і регулювання стоку практично завжди взаємопов'язані, необхідний комплексний підхід до оцінки їхнього сумісного впливу на параметри річного стоку річок [1,2,5,6]. Зручним для цієї мети є використання коефіцієнтів K_A , які відображають ступінь впливу господарської діяльності на будь-який статистичний параметр. Коефіцієнти K_A представляються у вигляді відношення

$$K_A = \frac{A_{П}}{A}, \quad (3)$$

де K_A – коефіцієнт впливу господарської діяльності на статистичний параметр A ;

A_{Π} – значення параметра побутового стоку при заданому рівні антропогенного впливу, який, перш за все, характеризується показником f ;

A – значення будь-якого статистичного параметра річного стоку в природних умовах формування, коли $f = 0$.

Значення параметра A (норма, C_v , C_s , відношення C_s/C_v) в умовах порушеного господарською діяльністю водного режиму річок при наявності двох факторів антропогенної діяльності може бути представлено в такому вигляді [6]

$$A_{\Pi} = A - \Delta A_1 - \Delta A_2, \quad (4)$$

де ΔA_1 – змінювання параметра A в результаті забору води на зрошення при заданій відносній площі зрошення f_{3p} ;

ΔA_2 – змінювання параметра A в результаті додаткового випаровування з водної поверхні ставків і водосховищ при відносній площі затоплення f_B .

Вираз (4) можна записати таким чином

$$A_{\Pi} = A - [A - K_A A] - [A - K'_A A] \quad (5)$$

або

$$A_{\Pi} = A(K_A + K'_A - 1), \quad (6)$$

де K_A і K'_A – коефіцієнти впливу на параметр A двох антропогенних чинників, наприклад, зрошення і штучних водойм, відповідно.

Індивідуальна оцінка параметрів на основі загального рівняння (6) здійснюється за співвідношенням

$$\bar{Y}_{\Pi} = \bar{Y}(K_{\bar{Y}} + K'_{\bar{Y}} - 1), \quad (7)$$

$$C_{v\Pi} = C_v(K_{C_v} + K'_{C_v} - 1), \quad (8)$$

$$C_{s\Pi} = C_s(K_{C_s} + K'_{C_s} - 1), \quad (9)$$

де $K_{\bar{Y}}$, K_{C_v} , K_{C_s} – коефіцієнти впливу зрошення;

$K'_{\bar{Y}}$, K'_{C_v} , K'_{C_s} – коефіцієнти впливу штучних водойм.

Для водозборів, які знаходяться в районах перекидання стоку, вплив зрошення враховується за допомогою двох різних показників антропогенного впливу: f_{3p} – відносної площі земель, які зрошуються за рахунок місцевого стоку, і f''_{3p} – відносної площі земель, що зрошуються за рахунок стоку річок-донорів. З урахуванням цих умов вираз (4) перетворюється таким чином

$$A_{II} = A - \Delta A_1 - \Delta A_2 - \Delta A_3, \quad (10)$$

$$\bar{Y}_{II} = \bar{Y} (K_{\bar{Y}} + K'_{\bar{Y}} + K''_{\bar{Y}} - 2), \quad (11)$$

$$C_{vII} = C_v \left(K_{C_v} + K'_{C_v} + K''_{C_v} - 2 \right), \quad (12)$$

$$C_{sII} = C_s \left(K_{C_s} + K'_{C_s} + K''_{C_s} - 2 \right), \quad (13)$$

де $K_{\bar{Y}}$, K_{C_v} , K_{C_s} – коефіцієнти, які враховують зміни статистичних параметрів річного стоку при вилученнях води на зрошення з місцевого стоку;
 $K'_{\bar{Y}}$, K'_{C_v} , K'_{C_s} – коефіцієнти, які враховують зміни статистичних параметрів річного стоку за рахунок додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм;
 $K''_{\bar{Y}}$, K''_{C_v} , K''_{C_s} – коефіцієнти, які враховують зміни статистичних параметрів річного стоку при надходженні зворотних вод з масивів, які зрошуються за рахунок річок-донорів.

Метою статті є побудова стохастичної моделі річного стоку річок Нижнього Подніпров'я та визначення основних факторів впливу водогосподарських систем на формування стоку в умовах недостатності даних спостережень і неповного обліку водоспоживання.

Результати досліджень та їх аналіз. Моделювання рядів природного річного стоку виконувалось у вигляді послідовностей випадкових величин, пов'язаних кореляцією марковського нелінійного типу з маргінальним трипараметричним гамма-розподілом С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля [4]. Таке стохастичне моделювання передбачає наявність вхідних даних про статистичні параметри річного стоку в природних умовах його формування. Для визначення середніх багаторічних значень природного річного стоку використовувалась оцінка норм природного річного стоку, виконана із застосуванням карти ізоліній кліматичного стоку \bar{Y}_K з наступним визначенням коефіцієнтів переходу від норм кліматичного річного стоку до природного [3]. Для визначення інших параметрів природного річного стоку використовувалися результати їх статистичного районування. Надалі проводилося безпосереднє імітаційне стохастичне моделювання побутового річного стоку згідно з рівнянням (2). На кожному кроці моделювання показники рівня водогосподарської діяльності задавалися постійними. Отримані результати моделювання були узагальнені за моделлю покрокової множинної регресії і представлені у вигляді аналітичних рівнянь

$$Y_{30} = 36,0f_{3p} + 8,38v_0 + 3,01\xi - 14,0\eta + 32,7, \quad R = 0,738 ; \quad (14)$$

$$Y_{20} = 38,5f_{3p} + 11,6v_0 + 3,21\xi - 15,5\eta + 21,1, \quad R = 0,752 ; \quad (15)$$

$$Y_{10} = 49,6f_{3p} + 13,1v_0 + 4,14\xi - 20,0\eta + 13,1, \quad R = 0,763 , \quad (16)$$

де Y_{30}, Y_{20}, Y_{10} – норма річного побутового стоку при вихідній нормі природного річного стоку 30, 20, 10 мм відповідно;

$v_0 = \frac{w_0}{w_{HB}}$ – відносна зволоженість ґрунту w_0 , виражена в частках від найменшої

польової вологоємності w_{HB} , при якій відбувається оптимальний розвиток рослин;

ξ – коефіцієнт, який задає частку ґрунтових вод, що надходять при зрошуванні в поверхневі водотоки, його значення визначається місцезнаходженням зрошуваних масивів відносно водоприймача, а також наявністю або відсутністю гідрографічного зв'язку зони зрошування з річкою, що розглядається;

R – коефіцієнт множинної регресії.

Залежність коефіцієнтів варіації і асиметрії природного стоку для всієї досліджуваної території, можна подати у вигляді таких регресійних залежностей

$$C_v = 0,37 - 1,275f_{3p} - 0,199v_0 - 0,091\xi + 0,548\eta, \quad R = 0,773; \quad (17)$$

$$C_s = 2,13 + 2,520f_{3p} + 0,219\xi - 1,044\eta, \quad R = 0,662. \quad (18)$$

В результаті стохастичного моделювання були оцінені коефіцієнти антропогенного впливу (3) річного стоку в умовах господарської діяльності для річок зони недостатнього зволоження (Нижнього Подніпров'я) і отримані такі функції впливу

$$K''_{Y30} = 1,207f_{3p} + 0,271v_0 + 0,100\xi - 0,459\eta + 1,092, \quad R = 0,733; \quad (19)$$

$$K''_{Y20} = 1,943f_{3p} + 0,574v_0 + 0,160\xi - 0,775\eta + 1,058, \quad R = 0,750; \quad (20)$$

$$K''_{Y10} = 4,969f_{3p} + 1,312v_0 + 0,414\xi - 2,005\eta + 1,308, \quad R = 0,763, \quad (21)$$

де $K''_{Y30}, K''_{Y20}, K''_{Y10}$ – коефіцієнти впливу зрошення при вихідній нормі природного річного стоку 30, 20, 10 мм відповідно.

Залежність змін коефіцієнтів варіації і асиметрії природного стоку, які враховують змінення статистичних параметрів річного стоку при надходженні води на зрошення за рахунок річок-донорів, для всієї досліджуваної території, можна подати у вигляді таких регресійних залежностей

$$K''_{C_v} = 1,35 - 0,029Y - 0,632f_{3p} - 0,001v_0 - 0,037\xi + 0,291\eta, \quad R = 0,977; \quad (22)$$

$$K''_{C_s} = 2,10 + 0,001Y - 1,741C_v - 0,399f_{3p} - 0,256v_0 + 0,000005\xi + 0,201\eta, \quad R = 0,930, \quad (23)$$

де Y – шар побутового стоку, мм.

Був виконаний аналіз антропогенного впливу за рівняннями (19-21). На водотоках Нижнього Подніпров'я зрошення здійснюється з магістральних каналів зрошувальних систем, тобто за рахунок річки-донора. На водозборах невеликих річок виникають зворотні води, які формуються внаслідок фільтраційних втрат з мережі зрошувальних систем. За антропогенними функціями установлені так звані критичні відносні площі зрошуваних масивів, при яких відбуваються суттєві зміни стоку на водозборах Нижнього Подніпров'я (табл.1).

Таблиця 1 – Критичні значення площ зрошування (для рівня оптимального зволоження $v_0 = 0,8$, коефіцієнта, що визначає місцезнаходження зрошуваних масивів відносно водоприймача, $\xi = 0,5$ і коефіцієнта корисної дії $\eta = 0,9$)

Характеристика водних ресурсів	Коефіцієнт впливу зворотних вод $K_{\bar{Y}}^n$	Норма природного стоку \bar{Y} , мм	Відносна площа масивів, що зрошуються f_{3p} , %
значущі зміни водних ресурсів	1,1	10	6,8
		20	10,3
		30	12,8
руйнування водогосподарської системи	1,5	10	14,9
		20	30,9
		30	45,9
невідновне руйнування водогосподарської системи	1,7	10	18,9
		20	41,2
		30	62,5

Висновки і перспективи подальших досліджень. Згідно з отриманими результатами можна зробити такі висновки. Річний стік збільшується за рахунок проникнення зворотних вод, що виникають внаслідок фільтраційних втрат з мережі зрошувальних систем, яка проводить і розподіляє воду. Ефект впливу зрошування здебільшого визначається зволоженістю території, яка може бути охарактеризована нормою кліматичного стоку. Наявність зворотних вод та збільшення відносної площі зрошуваних земель спричиняє збільшення норм річного стоку та його асиметрії і зменшення мінливості. Найбільш інтенсивне змінювання статистичних параметрів річного стоку спостерігається при оптимальній зволоженості ґрунту для вологолюбних рослин ($v_0=1,0$). При переході до більш посушливих територій вплив антропогенної діяльності збільшується.

Слід зазначити, що не зважаючи на підвищення водності невеликих річок, інтенсивне надходження зворотних вод зі зрошуваних масивів до русла річки не покращує хімічного та екологічного стану поверхневих водотоків, оскільки мова йде про надходження в річку хімічно забруднених вод.

Отримана методика врахування впливу зрошуваних заходів на характеристики річного стоку річок є реалізацією стохастичної моделі, яка дозволяє отримати статистичні параметри річного стоку при наявності на водозборах масивів, що зрошуються за рахунок річок-донорів.

Через те, що стік більшості річок трансформований водогосподарськими перетвореннями на водозборах, оцінювання побутового стоку для річок Нижнього Подніпров'я може бути виконано за рівняннями (19-23). Площі зрошуваних масивів та додаткове надходження дренажних вод до русла річки забезпечують збільшення норм річного стоку і вирівнювання розподілу стоку в багаторічному розрізі. Запропонована методика оцінки антропогенного впливу шляхом використання коефіцієнтів антропогенного впливу може бути застосована для кожного водозбору в залежності від заданих чинників водогосподарських перетворень.

Відносно сучасного стану водних об'єктів можна зазначити, що існуючі площі зрошування викликають тільки значущі зміни водних ресурсів. Отже, можливе відновлення водного режиму річок.

В Україні водні ресурси повинні використовуватись раціонально і комплексно, при цьому треба виключити практику різкого порушення окремих ланок гідрологічних систем. Отримані результати планується використовувати при оцінці та передбаченні характеристик стоку в умовах проведення водогосподарських заходів для окремих водозборів, при науковому обґрунтуванні водоохоронних заходів.

Список літератури

1. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Применение методов статистического моделирования при оценке изменений годового стока рек под влиянием орошения // Метеорология и гидрология. – 1986. – № 9. – С. 79-84.
2. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных антропогенной деятельностью условиях): Монография. – К.: КНТ, 2005. – 192 с.
3. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С., Шахман И.О. Оцінювання природних водних ресурсів Нижнього Подніпров'я за метеорологічними даними // Метеорологія, кліматологія, гідрологія. – 2005. – № 49. – С. 485-496.
4. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М. Наука, 1981. – 235 с.
5. Лобода Н.С. Системный подход и функции отклика гидрологической системы на антропогенные воздействия при математическом моделировании бытового стока // Міжвід. наук. зб. України. – Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса. – 2002. – Вип. 48. – С. 416-424.
6. Лобода Н.С. Расчёты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. – Одесса.: Экология, 2005. – 208 с
7. Шахман И.О. Оцінка впливу водогосподарських перетворень у басейні р. Інгулець // Матеріали третьої науково-практичної конференції „Підтоплення-2005”. – К.: НПЦ „Екологія. Наука. Техніка.”, 2005. – с.62-64.
8. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 335 с.

Функции отклика водохозяйственных систем Нижнего Приднепровья на орошение сельскохозяйственных массивов водами Днепра.

Лобода Н. С., Шахман И. А.

Выполнено математическое моделирование бытового стока. Произведена оценка статистических параметров годового стока в условиях хозяйственной деятельности с использованием стохастического моделирования и получены функции влияния.

Ключевые слова: стохастическая модель бытового стока, функции влияния

Response functions of water economic systems of Low Pridneproviya to the agricultural tracts by Dniper waters. Loboda N. S., Shakhman I. O.

Mathematical model of life-conditioned annual runoff was selected. Estimation of statistical parameters of annual runoff under economic activity on the base of stochastically model was work. Influence functions were received.

Key words: stochastically model of annual runoff, influence functions