

модулів максимального стоку, а також оцінку внутрішньорядної і міжрядної однорідності рядів спостережень. Проведено порівняльний аналіз можливості використання основних законів розподілу ймовірностей максимальної витрати. Оцінено просторові особливості характеристик максимуму цієї території.

**Ключові слова:** максимальний стік, однорідність рядів, закони розподілу.

#### **Оценка модулей максимального стока в бассейнах подольских притоков Днестра за удлиненными рядами наблюдений**

**Явкин В.Г., Мельник А.А.**

В работе рассмотрены особенности формирования максимального стока подольских притоков Днестра. В пунктах наблюдений осуществлены расчеты 1% обеспеченности модулей максимального стока, включая оценку внутрирядной и междурядной однородности рядов наблюдений. Проведен сравнительный анализ возможности использования основных законов распределения вероятностей максимального расхода. Оценено пространственные особенности характеристик максимума этой территории.

**Ключевые слова:** максимальный сток, однородность рядов, законы распределения.

#### **Evaluation modules of maximal flow in the basins of the Dniester tributaries Podolsk for extended series of observations**

**Yavkin V.G., Melnyk A.A.**

In this work the peculiarities of the maximum flow Podolsk tributaries of the Dniester. In the points of observations carried out calculations of 1% of the maximum flow of security modules, including assessment and inter-row vnutriryadnoyi homogeneous series of observations. A comparative analysis of the possibilities of using the basic laws of probability distribution of maximum cost. By spatial features of the characteristics of the peak area.

**Keywords:** maximum runoff, uniformity of rows, the laws of distribution.

*Надійшла до редколегії 14.11.2011*

УДК 556.124

**Лобода Н.С., Сіренко А.М.**

*Одеський державний екологічний університет*

#### **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ БАГАТОВИМІРНОГО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ У ГІДРОЛОГІЧНИХ ПРОГНОЗАХ ЛЬДОВИХ ЯВИЩ (НА ПРИКЛАДІ РІЧОК ДНІСТЕР ТА ТІЛІГУЛ)**

**Ключові слова:** прогноз льодових явищ, факторний аналіз, дискримінантний аналіз

**Вступ.** Процес формування льоду на річках залежить від багатьох факторів. Перш за все, на терміни появи льодових явищ впливають метеорологічні умови (кількість сонячної радіації, теплоємність опадів, швидкість вітру, індекси атмосферної циркуляції тощо). Окрім метеорологічних факторів, на льодоутворення також впливає запас тепла у водоймі, швидкість течії, надходження тепла з

*Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.3(24)*

грунтовими водами, скид промислових вод та ін. Характер впливу перелічених факторів неоднаковий.

Робота виконана згідно із напрямом постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р. № 1139 «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від впровадження господарської діяльності у сфері використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів і визначається періодичність проведення планових заходів, пов'язаних з державним наглядом (контролем)» [6]. Оперативні прогнози появи льоду на річках є дуже важливими для господарства та економіки країни. Методики прогнозування, які рекомендовані нормативними документами [7] не повністю задовільняють існуючим вимогам. По-перше, така ситуація зумовлена змінами глобального клімату, які спостерігаються сьогодні. По-друге, значна зарегульованість режиму річок приводить до порушення льодового режиму. Антропогенний вплив на річки дещо менший, порівняно із глобальними змінами клімату, однак, в наслідок дії водосховищ, на прилеглих до гідроелектростанцій ділянках льод взагалі не утворюється (р. Дніпро, р. Дністер) [1]. За таких умов краткострокові прогнози дат настання льодових явищ на річках набувають значних похибок, що може привести до нераціонального використання водних ресурсів. Задачею гідрологічних прогнозів льодового режиму річок є достовірне і точне прогнозування дати появи перших льодових явищ, строків встановлення суцільного льодоставу восени і його скресання навесні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом водотоки України зазнали суттєвих змін, що є результатом не тільки діяльності людини, але й – перетворень глобального клімату. Досліди науковців Європи, Америки [9, 11] а також вітчизняних вчених [2, 5], довели, що суттєво на льодоутворення впливає атмосферна циркуляція, для більшої частини України цей вплив відображають індекси Північно-Атлантичного коливання (ПАК). Індекси ПАК базуються на різниці тиску над рівнем моря між Понта-Дельгада (Азорські острови) і Рейк'явіком (Ісландія). Починаючи з 1980-х років індекси ПАК перейшли у позитивну фазу (рис.1). Під час позитивної фази на території України посилюються західні вітри, збільшується потік відносно теплого і вологого морського повітря на протязі зими, випадає аномально низька кількість опадів. В останні десятиріччя зв'язок між характеристиками температурного режиму України та індексами ПАК збільшився з 0,20 за період 1965 – 1980 рр. до 0,65 за період 1981 – 2002 рр [3].

Кліматичні зміни привели до скорочення на річках загальної кількості діб із льодовими явищами, підвищення температури води у осінньо-зимовий період, істотно змінилися строки появи та закінчення льодових явищ [8], збільшились випадки відлиг, які порушують суцільний льодостав, збільшилась кількість випадків, коли льодостав взагалі не утворюється [4].

• **Постановка завдання.** Метою даної роботи є створення алгоритму прогнозування льодових явищ на річках за допомогою методів

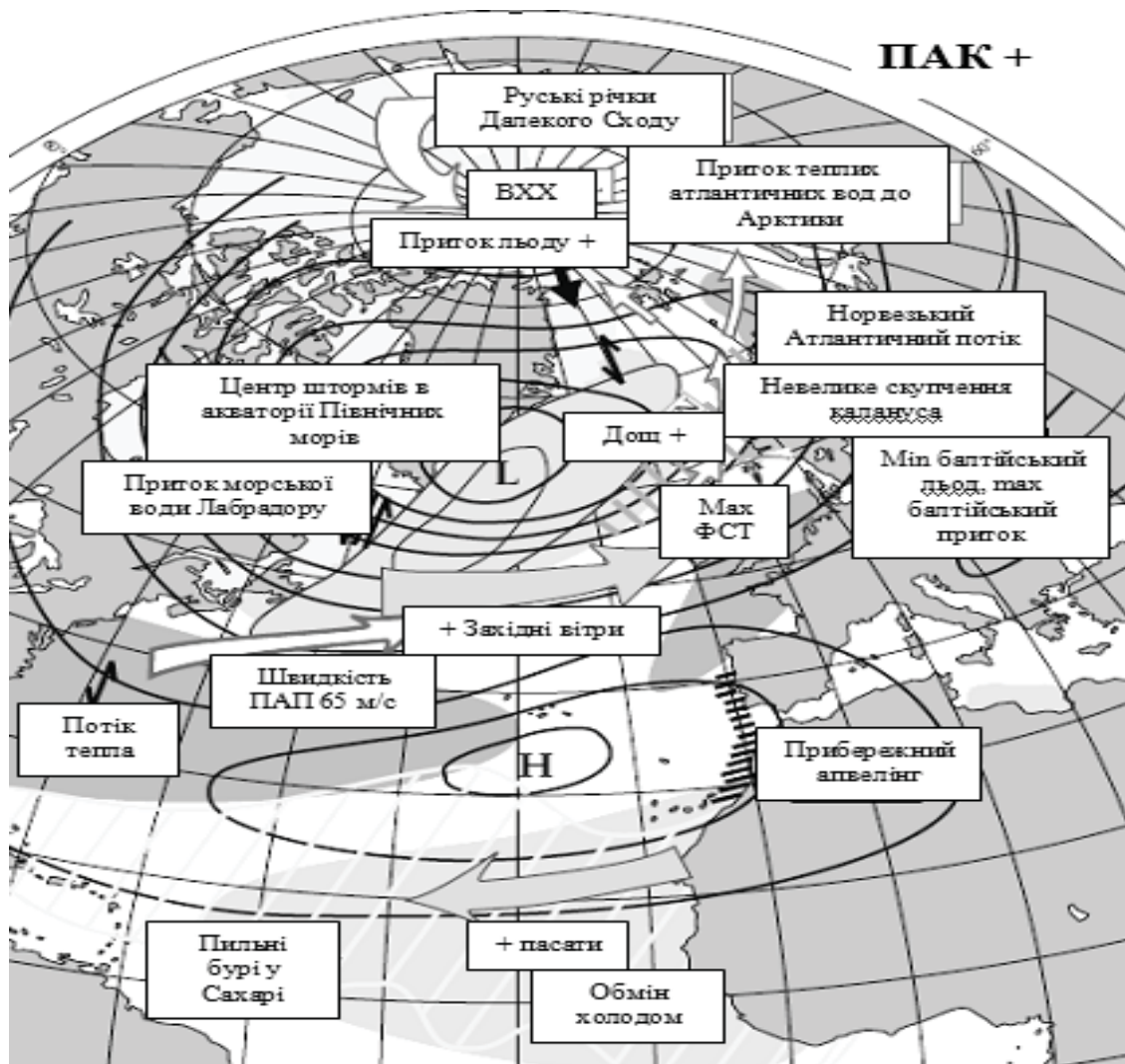


Рис. 1. Схема дії Північно-Атлантичного колювання у позитивній фазі [10; 15-31]

багатовимірного статистичного аналізу. Завдання, які можна вирішити методами багатовимірного статистичного аналізу, наступні:

- за спостереженими значеннями випадкового вектору  $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)^T$  встановити зв'язок між його компонентами;
- скоротити об'єм початкових даних шляхом застосування методів багатовимірного статистичного аналізу;
- виявити із більшості показників  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ті, які найбільше впливають на прогнозоване явище;
- класифікувати вхідні фактори за будь-якою ознакою;
- виконати статистичну обробку для рядів нечислових даних; отримати класифікаційне прогнозне рівняння.

Класичними методами прогнозування льодових явищ є метод Л.Г. Шуляковського та метод, побудований на використанні фізико-статистичних залежностей [7]. Альтернативним методом прогнозування є прогноз появи льодових явищ на основі дискримінантного аналізу. Дискримінантний аналіз – це апарат для вирішення завдань розпізнавання та класифікації образів,

ухвалення рішення про те, які саме змінні розділяють (тобто «дискримінують») набори даних. У якості первинної обробки інформації був проведений факторний аналіз даних. Головна мета факторного аналізу виявлення прихованих (латентних) факторів, зміна яких впливає на мінливість усіх досліджуваних показників, що у результаті приводить до скорочення кількості змінних.

Таким чином, запропонований алгоритм прогнозування льодових явищ має наступний вигляд:

1. Формування масиву вхідних даних.
2. Проведення факторного аналізу.
3. Аналіз отриманих результатів (виявлення прихованих факторів, встановлення характеру зв'язків між факторами, вибір оптимальних предикторів, які впливають на появу льоду на річках).
4. Побудова прогнозного рівняння на основі обраних факторів з використанням дискримінантного аналізу.
5. Перевірка статистичної значущості рівняння.
6. Випуск прогнозу за дискримінантною функцією.
7. Оцінка точності прогнозу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Апробація запропонованого алгоритму виконувалась для річок Дністер та Тілігул за період спостережень з 1980 по 2008 р. Були сформовані показники характеристик початку та тривалості похолодання і попереднього накопичення запасу тепла у водній масі (табл. 1).

*Таблиця 1. Вихідні дані для факторного аналізу*

Характеристики початку та тривалості похолодання і попереднього накопичення запасу тепла у водній масі	Змінна
Кількість днів від 1 жовтня до дати переходу температури повітря через 0°C	$D_0$
Кількість днів від 1 жовтня до дати появи плавучого льоду	$D_{пл.л.}$
Температура води в декаду переходу температури повітря через 0°C	$T_0$
Температура води в декаду появи плавучого льоду	$T_{пл.л.}$
Сума від'ємних температур повітря від дати переходу температури повітря через 0°C до дати появи плавучого льоду	$\sum  \theta^- $
Рівень води в день переходу температури повітря через 0°C в день появи плавучого льоду	$H_0$
Рівень води в день появи плавучого льоду	$H_{пл.л.}$
Місячні індекси Північно – Атлантичного коливання (І <sub>ПАК</sub> ) за вересень, жовтень, листопад	$I_s, I_o, I_n$
Сезонний місячний індекс осені (вересень – листопад)	$I_{son}$

На базі сформованого масиву даних виконувався факторний аналіз. Були отримані наступні результати. Для р. Дністер у створі м. Могильов – Подільський вихідна інформація описується чотирма факторами і міра факторизації становить 81,2%. Перший фактор описує 40,4% дисперсії даних

і може інтерпретуватися як змінна, що описує атмосферні процеси осіннього сезону, кількісні характеристики якого представлені індексами ПАК для вересня – листопада. Цей процес пов'язаний із формуванням температурного режиму води та ходом рівнів: кількісний внесок (вага) першого фактора у формування температурного режиму у дату появи плавучого льоду становить 0,84; вагове навантаження на змінну, що відповідає даним про рівень води у дату появи плавучого льоду становить -0,74. Знак (-) показує зворотну спрямованість впливу атмосферних процесів на температурний режим води у порівнянні із режимом рівнів. Тобто, чим більший рівень, а, отже, й глибина води у річці, тим менше впливають атмосферні процеси на температуру води через зміну умов охолодження. На третій фактор припадає 17% дисперсії вихідних даних, він характеризує дату початку охолодження температури повітря ( $l_{31} = 0,95$ ). Четвертий фактор, внесок якого становить 14%, описує водність річки на дату переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  ( $l_{46} = 0,81$ ).

Для р. Тілігул у створі смт. Березівка вихідна інформація описується також чотирма факторами, міра факторизації становить 79%. Міра факторизації першого фактору становить 35,3 %. Перший фактор дозволив виділити зв'язок суми від'ємних температур повітря із рівнями води у річці: чим більше рівень води, тим більша кількість тепла повинна бути відведена у атмосферу для охолодження водної маси. Другий фактор має внесок 29,1% і інтерпретується як фактор впливу атмосферних процесів жовтня ( $I_o$ ). Відмічається тісний зв'язок індексів ПАК жовтня із показниками охолодження повітря та температурою води. Третій фактор відображає вплив атмосферних процесів листопада на формування льодових явищ та ілюструє зв'язок із температурою води. Міра факторизації становить 21,5%. Четвертий фактор пояснюється, як передумова охолодження повітря та являє собою індекс ПАК вересня, його ваговий внесок становить 14,1%.

Другим етапом стала побудова прогнозного рівняння. Спираючись на результати факторного аналізу по р. Дністер, предикторами дискримінантної функції були обрані наступні чинники: як температура води в декаду появи плавучого льоду  $T_{пл.л.}$ , рівень води в день появи плавучого льоду  $H_{пл.л.}$ , сума від'ємних температур повітря від дати переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  до дати появи плавучого льоду  $\sum|\theta^-|$  та індекс ПАК за осінній сезон (вересень-листопад)  $I_{SON}$ . Для р. Тілігул у якості предикторів були обрані: температура води в день переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$   $T_0$ , сума від'ємних температур повітря від дати переходу температури повітря через  $0^{\circ}\text{C}$  до дати появи плавучого льоду  $\sum|\theta^-|$ , рівень води в день появи плавучого льоду  $H_{пл.л.}$ . Були отримані прогнозні рівняння для р. Дністер (1) та р. Тілігул (2):

$$F = -6,71V_{пл.л.} - 0,030H_{пл.л.} + 0,020\sum\theta^- - 0,580I_{SON} + 18,4, \quad (1)$$

$$F = 1,16T_0 - 0,61\sum\theta^- + 0,02H_{пл.л.} - 4,77. \quad (2)$$

У зв'язку з тим, що дискримінантні функції розраховуються по вибірковим даним, вони потребують у перевірці статистичної значущості. Визначаючим для дискримінантного аналізу є перевірка гіпотези про відсутність різниці між груповими середніми, що є багатовимірним аналогом однофакторного дисперсійного аналізу. Для цього може бути використане число Махаланобіса, позначається як  $\Delta$ , яке є критерієм якості в альтернативних прогнозах. Прогноз вважається адекватним фізичній природі явища, коли величина  $\Delta$  більша 11. Для рівняння (1) було отримане число Махаланобіса 15,6, для рівняння (2) – 10,3. Низьке значення величини  $\Delta$  для рівняння (2) пояснюється специфічними умовами водного та льодового режимів р. Тилігул. Однак, отримані числа Махаланобіса є задовільними і дозволяють застосовувати отримані рівняння для прогнозування льодових явищ.

Згідно з отриманими рівняннями (1) та (2) льодові явища будуть спостерігатися на річці, якщо  $F \geq 0$ , і навпаки, якщо  $F \leq 0$ , то лід на річці не утвориться. Таким чином, дискримінантна функція є вирішальним правилом, за яким будується прогноз.

На основі отриманих прогнозних рівнянь були виконані перевірені прогнози появи плавучого льоду. Забезпеченість перевірних прогнозів за дискримінантною функцією склала для р. Дністер склала 91%, для р. Тилігул – 80%. Перевірені прогнози за фізико-статистичними залежностями отримали забезпеченість лише 68% та 63% для річок Дністер та Тилігул, відповідно.

**Висновки.** На сьогодні методи багатовимірного статистичного аналізу не достатньо застосовуються у гідрологічних прогнозах, зокрема у прогнозах дат настання льодових явищ. У майбутньому використання факторного та дискримінантного аналізу в гідрологічних прогнозах дозволить підвищити ефективність прогнозування та отримати науково-обгрунтовані прогнозні рівняння для річок різних ландшафтно-гідрологічних провінцій України. Окрім того, даний алгоритм може бути застосований для прогнозування дат настання суцільного льодоставу та дат скресання льоду на річках.

Застосування методів багатовимірного статистичного аналізу дозволяє істотно підвищити якість прогнозів появи льоду на річках. Факторний аналіз використовується для первинної обробки вихідних даних, скорочення вихідної інформації, визначення головних факторів, які обумовлюють льодовий режим на річках. Дискримінантний аналіз дозволяє побудувати науково-обгрунтоване прогнозне рівняння. Забезпеченість перевірних прогнозів виконаних для рр. Дністер і Тилігул становить 91% и 80% відповідно, у той час коли за фізико-статистичним методом забезпеченість склала лише 68% та 63%. Окрім того, методи багатовимірного статистичного аналізу допомагають дослідити зміни глобального клімату та ступінь їх впливу на метеорологічні умови України.

#### Список літератури

1. Вишневський В. І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режими річок / В.І. Вишневський // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип.

250. – С. 190–201. **2.** *Воскресенская Е.Н.* Глобальные процессы в системе океан-атмосфера и их влияние на природные аномалии Атлантико - Европейского региона : автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра геогр. наук : спец. 11.00.08 «Океанология» / Е.Н. Воскресенская ; Морской гидрофизический институт НАН Украины. – Севастополь, 2005. – 31 с. **3.** *Лобода Н.С.* Вплив глобального потепління на льодовий режим річки Дністер / Н.С. Лобода, А.М. Сіренко // Науковий вісник Чернівецького університету. Сер. Географія. – 2009. – Вип. 480-481. – С. 200–203. **4.** *Лобода Н.С.* Вплив Північно-Атлантичного колювання на строки проходження льодових явищ на річках Західної України / Н.С. Лобода, А.М. Сіренко // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2010. – Вип.51 – С. 182–188. **5.** *Попова В.В.* Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. I. Статистический анализ данных наблюдений / В.В. Попова, А.Б. Шмакин // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 5. – С. 62–74. **6.** Постанова Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р. № 1139. **7.** Руководство по гидрологическим прогнозам; вып. 3. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах./ под ред. Н.В. Шабалиева. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 6–34. **8.** *Струтинська В.М.* Термічний та льодовий режим річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття / В.М. Струтинська, В.В. Гребінь. – К. : Ніка-Центр, 2010. – С. 127–169. **9.** *Hurrell J.W.* Influence of Variations in Extratropical Wintertime Teleconnections on Northern Hemisphere Temperatures / J.W. Hurrell // Geophysical Research Letters. – 1996. – Vol. 23, No. 6. – P. 665–668. **10.** *Hurrell J.W.* Climate variability over the North Atlantic / J.W. Hurrell and R.R. Dickson // Marine Ecosystems and Climate Variation. The North Atlantic: A comparative perspective. – Oxford, 2005. – P. 15-31. **11.** *Yoo J.C.* Trends and fluctuations in the dates of ice break-up of lakes and rivers in Northern Europe: the effect of the North Atlantic Oscillation / Yoo J.C., D'Odorico P. // Journal of Hydrology. – 2002. – №6573. – P. 15-28.

### **Використання методів багатовимірного статистичного аналізу в гідрологічних прогнозах льодових явищ (на прикладі річок Дністер та Тілігул)**

***Лобода Н.С., Сіренко А.М.***

*Оперативні прогнози появи льоду на річках є дуже важливими для господарства та економіки країни. Методики прогнозування, які рекомендовані нормативними документами не повністю задовольняють існуючим вимогам. Запропонований алгоритм прогнозування з використанням методів багатовимірного статистичного аналізу. Апробація алгоритму виконана для річок Дністер і Тілігул. На першому етапі виконана обробка масиву даних за допомогою факторного аналізу, аналіз отриманих результатів та визначення найвпливовіших факторів. На другому етапі побудоване прогнозне рівняння з використанням дискримінантного аналізу. Забезпеченість прогнозів склала 91% для р. Дністер та 80% для р. Тілігул. Класичні методи прогнозування, для аналогічних рядів вихідних даних, мають забезпеченість 68% та 63% відповідно.*

***Ключові слова:*** прогноз льодових явищ, факторний аналіз, дискримінантний аналіз.

### **Использование методов многомерного статистического анализа в гидрологических прогнозах ледовых явлений (на примере рек Днестр и Тилигул)**

***Лобода Н. С., Сиренко А. Н.***

*Оперативные прогнозы появления льда на реках очень важны для хозяйства и экономики страны. Методики прогнозирования, рекомендуемые нормативными документами, не полностью удовлетворяют существующим требованиям. Предложен алгоритм прогнозирования с использованием методов многомерного статистического анализа. Апробация алгоритма проводилась для рек Днестр и Тилигул. На первом этапе выполнен факторный анализ, анализ полученных результатов и определение самых влиятельных факторов. На втором этапе построено прогнозное уравнение с использованием дискриминантного анализа. Обеспеченность прогнозов составила 91% для р. Днестр и 80% для р. Тилигул. Классические методы прогнозирования, для*

аналогичных рядов исходных данных, имеют обеспеченность 68% и 63% соответственно.

**Ключевые слова:** прогноз ледовых явлений, факторный анализ, дискриминантный анализ.

### **Use of methods of the multidimensional statistical analysis in hydrological forecasts of the ice phenomena (on an example of the rivers Dnestr and Tiligul)**

**Loboda N. S., Sirenko A. N.**

*Operative forecasts of occurrence of ice for the rivers are very important for an national economy. Techniques of forecasting which are recommended by standard documents, not completely meet existing requirements. It is proposed to use the algorithm of forecasting with use of methods of the multidimensional statistical analysis. Algorithm approbation is executed for the Dnestr river and Tiligul river. At the first stage the factorial analysis, the analysis of the received results and definition of the most influential factors are made. At the second stage the look-ahead equation with use of the discriminant analysis is constructed. Probability of forecasts has made 91 % for the river Dnestr and 80 % for the river Tiligul. Classical methods of forecasting for similar numbers of the initial data have probability of 68 % and 63% accordingly.*

**Keywords:** forecasts of the ice phenomena, the factorial analysis, the discriminant analysis.

*Надійшла до редколегії 27.09.2011*

УДК 556.16.047

**Мельник С.В.**

*Одесский национальный политехнический университет*

### **РАСЧЕТ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НА ПОДОЛЬСКИХ ПРИТОКАХ ДНЕСТРА**

**Ключевые слова:** сток наносов, значимые факторы, влияние водоемов, регрессионное уравнение

**Актуальность.** Изучение современного стока наносов имеет практическое значение для разработки мероприятий по регулированию и стабилизации флювиальных геоморфологических процессов при разных видах хозяйственной деятельности.

В настоящее время используются три метода обобщения данных по стоку взвешенных наносов: метод построения карты мутности, метод построения карт эрозионных коэффициентов и метод получения эмпирических формул стока наносов, связывающих его с основными определяющими природными факторами.

Наиболее распространенным является метод построения карты мутности, предложенный в 1939 г. Г.В.Лопатиным. Метод картирования эрозионных коэффициентов использовал еще в 1935 г. Б.В.Поляков, а позднее К.Н.Лисицына для рек Северного Казахстана и Европейской территории СССР.

*Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.3(24)*