

## **МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ РІЧОК ГІРСЬКОГО КРИМУ В УМОВАХ АКТИВНОГО ВПЛИВУ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ**

**Ключові слова:** максимальний стік, дощові паводки, карст

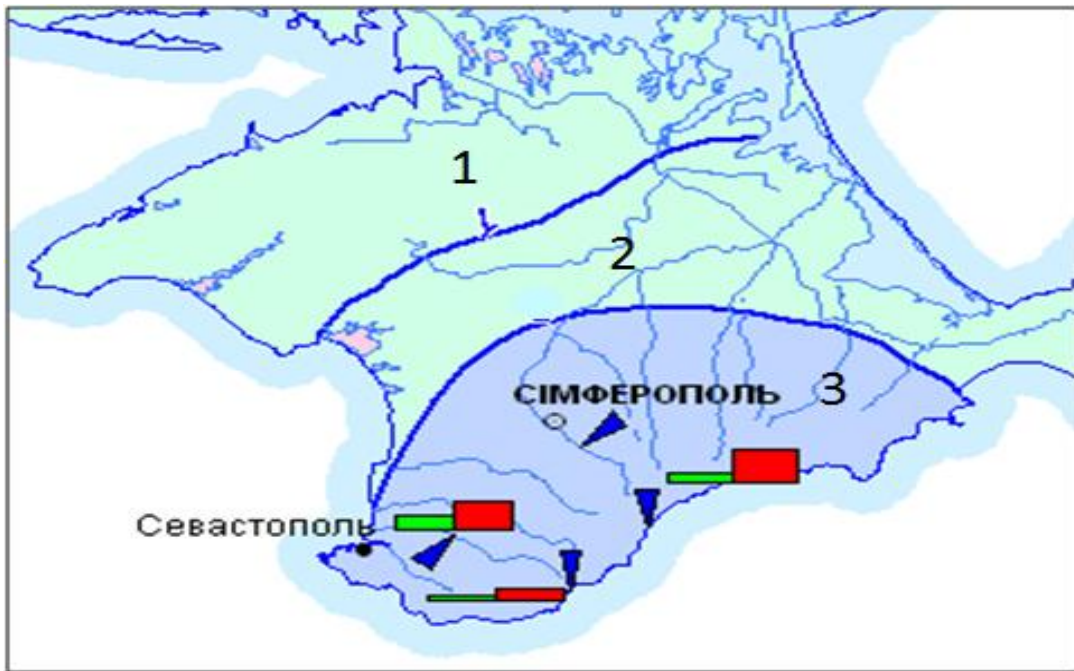
**Вступ.** Гірський Крим займає південно-східну та південну частину Кримського півострова. Гори тягнуться вздовж берега Чорного моря на 150-160 км від Севастополя на заході і до Феодосії – на сході. Максимальна їх ширина 50-60 км.

Характерною рисою ландшафту даної території є карст. Максимальні витрати води річок району формуються в літньо-осінній період в результаті випадання зливових опадів, і в зимово-весняний період – в результаті сніготанення з одночасним випаданням дощів. Максимум для більшості річок спостерігається в теплий період і для деяких з них може перевищувати зимово-весняний в 2-4 рази (річки Бельбек, Демерджі, Зуя та ін.) (рис.1).

Водний режим річок Гірського Криму, в зв'язку з його порівняно невеликою висотою, характеризується в цілому досить одноманітними гідрологічними умовами, проте на нього істотно впливають тріщинуваті вапняки, які регулюють поверхневий і підземний стік [1]. У західній частині даного регіону розташовані Яйлинські масиви, куди не заходять навіть верхів'я ерозійних систем, і які є безстічними областями. Території, де поверхневий стік поглинається карстовими порожнинами, утворюють області живлення карсту. У зв'язку з розбіжністю поверхневого та підземного водозборів річок можливий перерозподіл запасів підземних вод між сусідніми водозборами. Це призводить до того, що водні ресурси окремих водозборів визначаються не кліматичними, а гідрогеологічними умовами. Зазначена особливість викликає певні труднощі при розробці методик розрахунку водних ресурсів досліджуваної території, оскільки відомості про наявність карсту на водозборах і ступінь його впливу на умови формування стоку носять якісний, а не кількісний характер [2].

В останні роки істотний вплив на формування поверхневого стоку здійснюють антропогенні фактори, які впливають безпосередньо, як на саму річку (кількість та якість води в ній), так і на умови формування стоку на водозборі. Природний режим більшості річок Криму змінюється під регулюючим впливом штучних водойм, а також внаслідок забору води на зрошення. У зв'язку з цим відзначаються відмінності у водному режимі для різних водотоків та навіть по довжині однієї тієї ж річки[4].

**Вихідні передумови.** В сучасній гідрологічній практиці є велика кількість моделей різного типу, але їх використання обмежене необхідністю наявності великого об'єму безпосередніх стаціонарних спостережень за стоком річок. Проте, в більшості країн світу існують водотоки або не охоплені мережею гідрометричних спостережень, або охоплені не в належній мірі, тому безпосереднє практичне застосування в гідротехнічній практиці мають моделі та методи, розроблені для випадку відсутності даних про стік.



Умовні позначення:

1 – від 1 до 4; 2 – від 4 до 6; 3 – від 6 до 10

Рис.1. Підйоми рівнів води в період паводків на річках Криму (м) [3].

Методики, запропоновані в нормативних документах, зокрема СНіП 2.01.14-83 [5], ґрунтуються на спрощених редукційних структурах (при  $F > 200 \text{ км}^2$ ) та формулах граничної інтенсивності (при  $F < 200 \text{ км}^2$ ).

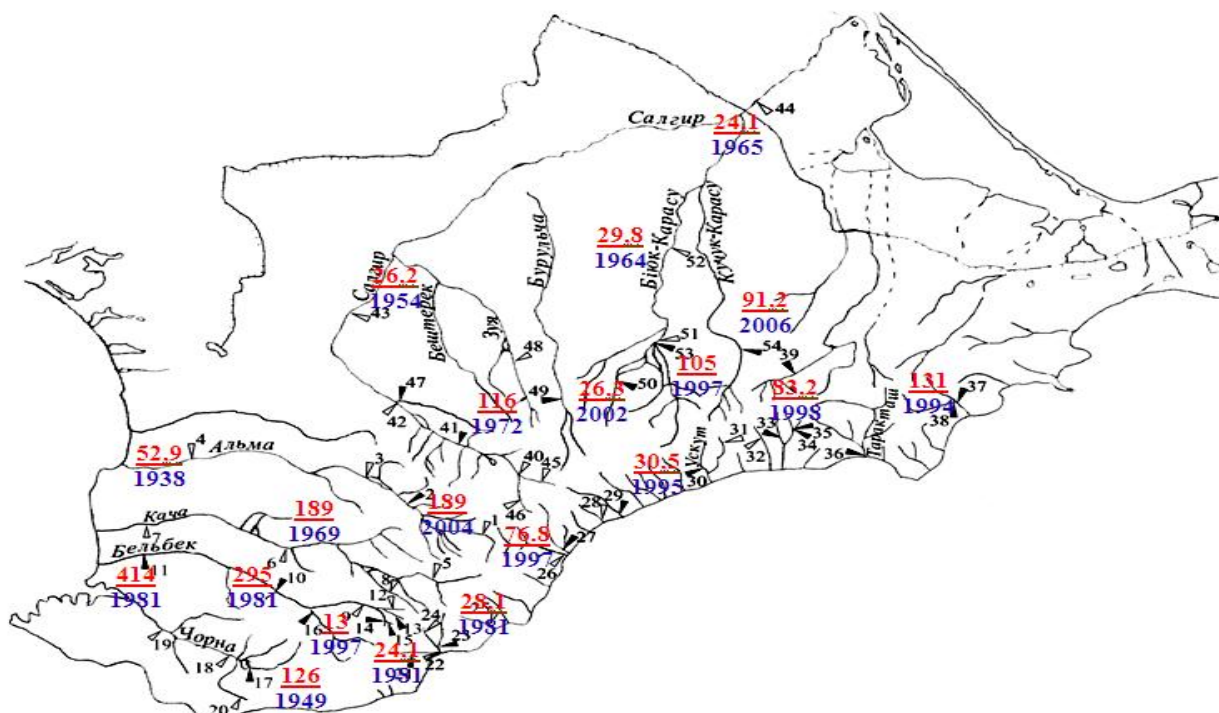
Проведений авторами цього дослідження аналіз показав, що розрахунок максимального стоку річок Гірського Криму за вказаними структурами не забезпечений необхідними вихідними даними. Результати розрахунків за регіональними методиками, які запропоновані у «Ресурсах поверхневих вод» [1] та П.Ф. Вишневським [6] свідчать про неправомірність використання структур на сучасному етапі. Також слід зазначити, що жодна з перерахованих вище структур не дозволяє безпосередньо враховувати вплив карсту на максимальний стік річок.

**Метою** даного дослідження є обґрунтування та реалізація розрахункової методики для визначення характеристик максимального стоку дощових паводків теплового періоду для річок Гірського Криму з урахуванням активного впливу підстильної поверхні на формування стоку.

**Вихідні матеріали.** Для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків річок Гірського Криму використані матеріали режимних видань за багаторічний період спостережень (від початку спостережень по 2010 р. включно) по 54 водозборах. Діапазон змін площ водозборів – від 0,32 до 3540  $\text{км}^2$ , найбільша тривалість спостережень складає 82 роки.

Як добре ілюструє рис.2, значення максимальних за період спостереження витрат води коливаються в досить широких межах – від 13  $\text{м}^3/\text{с}$  (р.Кучук-Узеньбаш-с.Многоріччя) до 414  $\text{м}^3/\text{с}$  (р.Бельбек- с.Фруктове).

На перший погляд будь-які закономірності в розподілі цих максимумів як в просторі, так і в часі, практично відсутні. Проте, представляє певний інтерес аналіз кількості випадків максимумів витрат дощових паводків теплового періоду на річках Гірського Криму до 1989 року (початок кліматичних змін) і після нього (табл.1).



Умовні позначення: ▼ – гідрологічний пост; **414** – максимальні спостережені витрати води, м<sup>3</sup>/с; **1981** – рік, в якому спостерігались максимальні витрати води.

Рис.2. Карта-схема гідрологічної мережі по вимірюванню максимальних витрат води дощових паводків на річках Гірського Криму.

Таблиця 1. Кількість випадків максимумів витрат води паводків теплого періоду на річках Гірського Криму

Схили Кримських гір	Кількість випадків	
	до 1989р.	після 1989р.
Північно-західний	18	2
Північно-східний	11	5
Південний берег Криму	12	6

Аналізуючи дані табл.1, можна зробити однозначний висновок про те, що абсолютна більшість випадків максимальних витрат за період спостережень припадає на період до 1989 року. Так для річок північно-західного схилу за період з 1989 по 2010 роки спостерігалось тільки 2 випадки абсолютних максимумів, що в 9 разів менше ніж за період від початку спостережень до 1989 року. Подібна закономірність спостерігається і на двох інших схилах Гірського Криму де кількість випадків за період після 1989 року зменшилася практично в 2 рази.

Таким чином, характеризуючи вихідну гідрологічну інформацію по максимальному стоку паводків теплого періоду, можна відзначити, що, не дивлячись на глобальні і регіональні зміни клімату, число випадків

катастрофічних паводків на річках Гірського Криму за останні роки не збільшилося.

**Пропонована методика.** Авторами роботи [7], для розрахунків максимального стоку річок Гірського Криму, в якості базової прийнята редуційна формула у вигляді

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}, \quad (1)$$

Ця формула може бути отримана безпосередньо з моделі руслових ізохрон в редакції Є.Д. Гопченка [8]

$$q_m = q'_m \psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_F. \quad (2)$$

Зіставивши (1) та (2) отримаємо

$$\psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_F = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (3)$$

Тоді формула (2) спрощується до рівня

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (4)$$

Розрахунковий вираз для  $q'_m$  має вид

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}, \quad (5)$$

де  $\frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу;  $T_0$  – тривалість припливу води зі схилів у руслову мережу, час;  $Y_{1\%}$  – шар стоку за паводок, мм.

**Результати дослідження.** З метою обґрунтування розрахункових параметрів проведена стандартна статистична обробка вихідної інформації по максимальному стоку паводків річок даної території. В результаті отримані середні багаторічні значення максимальних витрат води і шарів стоку паводків, а також відповідні їм коефіцієнти варіації та асиметрії. Визначені витрати води і шари стоку рідкісної ймовірності перевищення ( $P = 1, 3, 5$  і  $10\%$ ) [9].

Ґрунтуючись на даних статистичної обробки, а також на аналізі умов формування стоку паводків теплого періоду, для розглянутої території визначені та узагальнені всі параметри у вигляді розрахункових залежностей.

Одновідсоткові шари  $Y_{1\%}$ , а також тривалість силового припливу  $T_0$  узагальнені у вигляді залежностей від середньої висоти водозборів. Коефіцієнт нерівномірності  $\frac{n+1}{n}$  осереднений для рік Гірського Криму на рівні 16,0.

Використовуючи формулу (5) визначені розрахункові максимальні модулі схилового припливу 1%-ої забезпеченості для території Гірського Криму та узагальнені у вигляді карти-схеми (рис.3).

Аналізуючи карту можна відзначити, що розрахункові граничні модулі схилового припливу в цілому збільшуються з північного сходу на південь від  $0,5 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$  до  $10\text{-}15 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$ . Локальні максимуми ( $20 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$ ) спостерігаються на річках Чорна і Ворон. В межах водозборів цих річок відбувається активне розвантаження карстових вод. З іншого боку, мінімальні значення максимальних модулів схилового припливу (від  $0,5 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$  до  $2,5 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$ ) приурочені до зони живлення карсту.

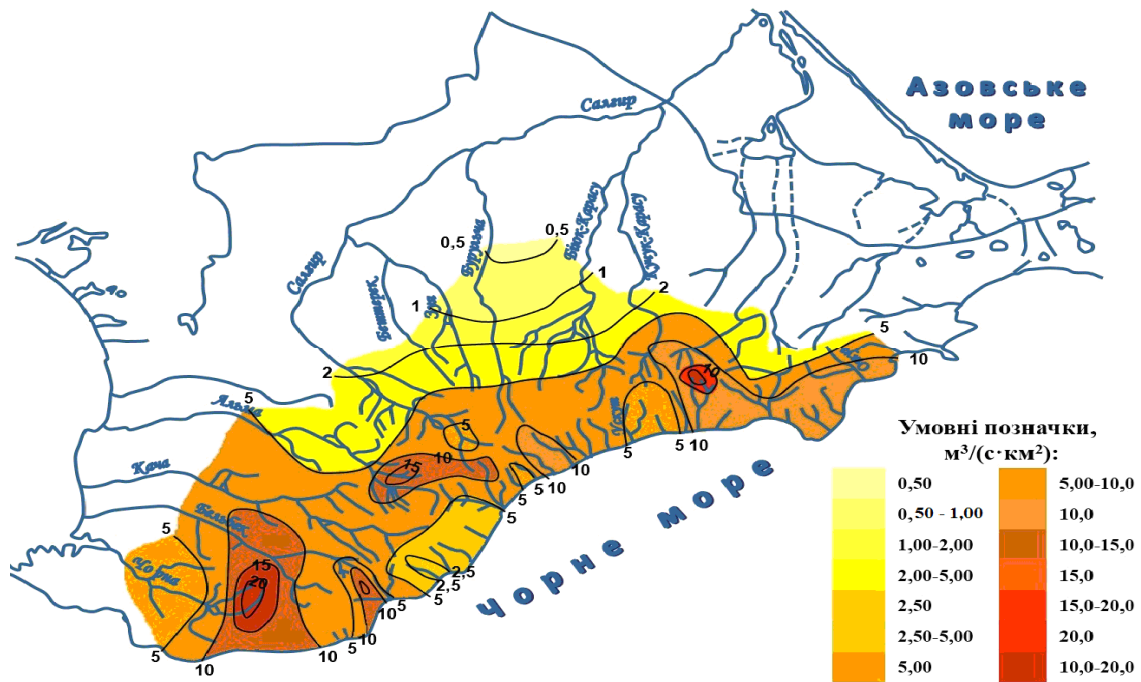


Рис.3. Розподіл максимальних модулів схилового припливу 1%-ої забезпеченості по території Гірського Криму,  $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$

З метою окремого врахування впливу підстильної поверхні і висоти місцевості на складові схилового припливу (шар стоку і тривалість схилового припливу) виконаний розрахунок цих характеристик по рівняннях, які описують вплив висоти місцевості. Розрахункові рівняння мають такий вигляд

$$Y_{1\%} = 0,19H_{\text{сър}} - 18,5, r^2 = 0,27, r = 0,52 \quad (6)$$

та

$$T_0 = 0,10H_{\text{сър}} - 6,80, r^2 = 0,34, r = 0,58 \quad (7)$$

де  $H_{\text{сър}}$  – середня висота водозборів, м.

З використанням рівнянь (6) та (7), визначені максимальні модулі схилового припливу з урахуванням середньої висоти місцевості.

Далі, враховуючи попередній аналіз стокоформуючих факторів на досліджуваній території, отриманий інтегральний коефіцієнт підстильної поверхні, який представляє собою відношення розрахункових модулів схилового припливу до фактичних:

$$k_r = q'_{1\%_{\text{Нсър}}} / q'_{1\%}, \quad (8)$$

де  $q'_{1\%_{\text{Нсър}}}$  – максимальний модуль схилового припливу, розрахований з урахуванням впливу висоти місцевості.

Для невивчених в гідрологічному відношенні річок  $k_n$  представлений у вигляді карти (рис.4). Отримані величини змінюються в діапазоні від 0,06 до 3,20 і, на нашу думку, відображають інтегральний вплив карсту та особливостей підстильної поверхні, які можуть бути пов'язані з водогосподарською діяльністю на водозборах; коефіцієнти, що наближаються до 1.0, свідчать про відсутність впливу підстильної поверхні на досліджувану величину.

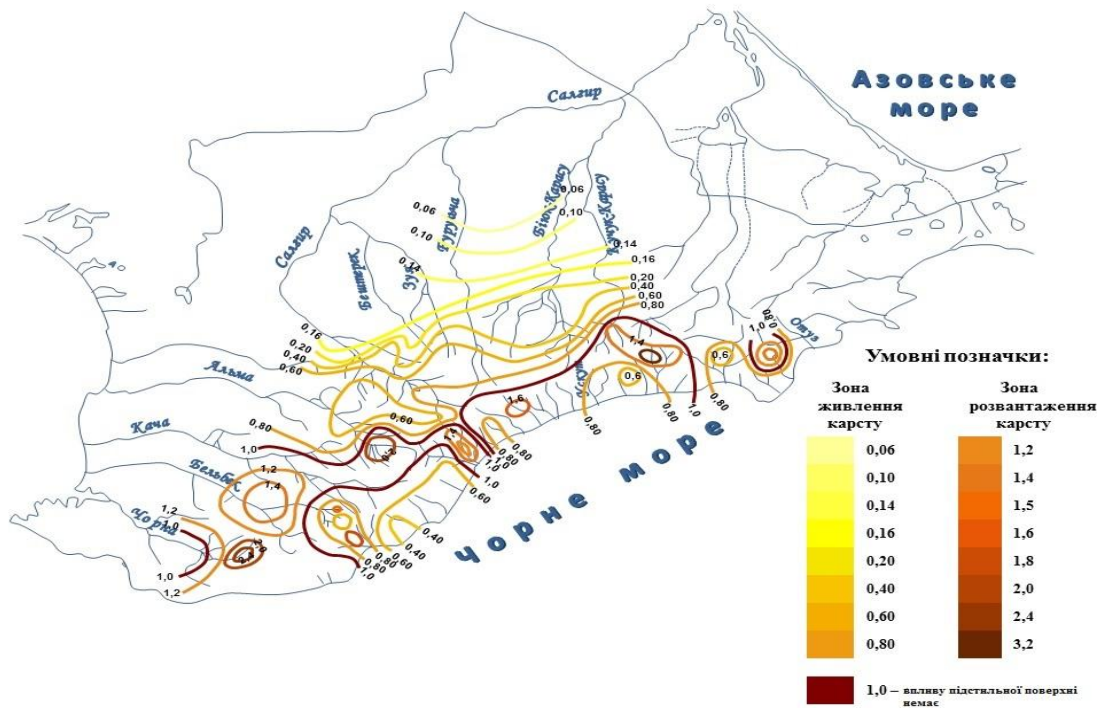


Рис.4. Карта-схема розподілу коефіцієнту підстильної поверхні для території Гірського Криму

Таким чином, в роботі запропоновані два варіанти розрахункової методики для визначення максимального стоку дощових паводків теплового періоду річок Гірського Криму:

а) з використанням максимальних модулів схилового припливу:

$$q_{p\%} = \frac{q'_{1\%}}{(F+1)^{0,53}} \lambda_p, \quad (9)$$

б) з урахуванням коефіцієнта підстильної поверхні:

$$q_{p\%} = \frac{q'_{1\%} k_n}{(F+1)^{0,53}} \lambda_p, \quad (10)$$

Осереднена точність розрахунку запропонованих методик знаходиться на рівні  $\pm 21,3\%$ , при точності вихідної інформації  $\pm 21,6\%$ .

**Висновки.**

- Дослідження умов формування паводків теплового періоду на річках Гірського Криму підтвердило той факт, що одним з факторів, який суттєво впливає на водний режим Кримських річок, є карст. Формування паводків пов'язане з опадами зливового характеру, які охоплюють порівняно невеликі за площею території, але можуть призводити до катастрофічних наслідків.

- Аналіз вихідної гідрологічної інформації по максимальному стоку паводків теплового періоду, показав, що не дивлячись на глобальні і регіональні зміни клімату, число випадків катастрофічних паводків на річках Гірського Криму за останні роки не збільшилося.

- У роботі запропоновані два варіанти розрахункової моделі формування максимального стоку дощових паводків теплового періоду річок Гірського Криму. У першому варіанті основним розрахунковим параметром методики є максимальний модуль схилового припливу, який узагальнено у вигляді карти.

Згідно з другим, в розрахункову формулу введений коефіцієнт підстильної поверхні, що враховує вплив карсту, а максимальний модуль схилового припливу визначається з урахуванням висоти місцевості.

• Середня точність розрахунку за двома варіантами становить  $\pm 21,3\%$ , при точності вихідної інформації  $\pm 21,6\%$ , що дозволяє рекомендувати методику, розроблену для річок Гірського Криму для практичного застосування.

### **Список літератури:**

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. (1966). Том 6. Украина и Молдавия. Выпуск 4. Крым. Ленинград: ГМИ, 344 с. 2. Атлас України [Електронний ресурс]: Кер. проекту Л.Г.Руденко, В.С.Чабанюк, А.І.Бочковська. Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999-2000. 3. Нгуен Ле Минь, Лобода Н.С. (2004). Оценка вклада карстовых вод в формирование годового стока рек Горного Крыма с использованием метеорологической информации. Міжвід. наук. зб. України. - Метеорологія, кліматологія та гідрологія. Одеса. Вип. 48. С.425–434. 4. Устойчивый Крым. Водные ресурсы (2003). Симферополь: «Таврида», 413с. 5. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. (1984). Л.: Гидрометеиздат, 447 с. 6. Вишневський П.Ф. (1964). Зливи і зливовий стік на Україні. Київ: Наукова думка, 230 с. 7. Ovcharuk Todorova O. (2016). Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea. J. Fundam. Appl. Sci., 8(2), 525-541. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i2.23>. 8. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Тодорова Е.И. (2016). Проблемы создания нормативных документов в области расчета характеристик максимального стока рек Украины и возможные пути их решения. Географический вестник. № 1(36). С.49-57. 9. Овчарук В.А., Тодорова Е.И. (2014). Статистические параметры максимальных расходов воды и слоев паводочного стока для рек горного Крыма. «Геополітика і екогеодинаміка регіонів» Науковий журнал. Том 10. Вип.1. С. 766-770.

**Максимальний стік дощових паводків річок Гірського Криму в умовах активного впливу підстильної поверхні**

**Овчарук В.А., Тодорова О.І., Прокоф'єв О.М.**

*В статті обґрунтовано використання двох варіантів розрахунку максимального стоку дощових паводків теплового періоду річок Гірського Криму. У першому варіанті основним розрахунковим параметром є максимальний модуль схилового припливу. Згідно з іншим, в розрахункову формулу введений коефіцієнт підстильної поверхні, що враховує вплив карсту.*

**Ключові слова:** максимальний стік; дощові паводки; карст

**Максимальный сток дождевых паводков рек Горного Крыма в условиях активного влияния подстилающей поверхности**

**Овчарук В.А., Тодорова Е.И., Прокофьев О.М.**

*В статье обосновано использование двух вариантов расчета максимального стока дождевых паводков теплового периода рек Горного Крыма. В первом варианте основным расчетным параметром является максимальный модуль склонового притока. Согласно второму, в расчетную формулу введен коэффициент подстилающей поверхности, учитывающий влияние карста.*

**Ключевые слова:** максимальный сток; дождевые паводки; карст

**Maximum runoff of the rain floods of the rivers of Mountain Crimea in conditions of active influence of the underlying surface**

**Ovcharuk V.A., Todorova O.I., Prokofiev O.M.**

*In Ukraine, as in many countries of the former USSR, the normative document SNiP 2.01.14-83,*

or its modern modifications, in which the main design structures have remained unchanged, are used to justify the calculated hydrological characteristics. In determining the maximum runoff of rainwater, it is proposed to use simplified reduction structures and the maximum intensity formula. However, the calculation of the maximum runoff of the rivers of the Mountainous Crimea by this the structures is not provided with the necessary initial data. The results of calculations based on regional methods, which are proposed in the "Surface Water Resources", P.F. Vishnevsky and A.L. Skorik showed that they need to refine the parameters on modern data. Thus, based on the analysis of the current state in the field of normalizing the characteristics of the maximum runoff of rain floods on the rivers of the Crimean Mountains, a modified reduction structure based on the isochron channel model is adopted as the base.

In order to justify the calculated parameters, a standard statistical treatment of the initial information on the maximum runoff of the floods of the rivers in the area under review was carried out. As a result, the average long-term values of the maximum water discharges and flood runoff layers were obtained, as well as the corresponding coefficients of variation and asymmetry. The maximum water discharges and runoff layers of the rare probability of excess ( $P = 1, 3, 5$  and  $10\%$ ) are determined.

In order to generalize the design characteristics on the territory, their factorial conditionality was investigated. It is established that the main factors that influence the distribution of slope runoff characteristics - its duration and layer - are the average height of the catchments and karst.

The proposed calculation allows to take into account the influence of the underlying surface, through the corresponding coefficient, and the maximum modules of slope influx is determined taking into account the average height of the catchments. The average accuracy of the calculation is  $\pm 21.3\%$ , with the accuracy of the initial information  $\pm 21.6\%$ , which allows us to recommend a technique developed for the rivers of the Crimean Mountains for practical use.

**Keywords:** maximum runoff; rain floods; karst.