Оригинальная статья
https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-79-82
УДК 556.5: 551.577: 551.432

# К ВОПРОСУ ВЫЧИСЛЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ ОБЪЕМА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ВОДЫ, ГИДРОПОТЕНЦИАЛА ПРЕДГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ

**Х.Г. Асадов✉, Е.Д. Сулейманова, Р.А. Ахмедова**
Национальное Аэрокосмическое Агентство; г. Баку, Азербайджанская Республика

**Аннотация.** В статье рассматривается анализ соотношения объема поверхностного стока, гидропотенциала предгорного ландшафта и общего количества осадков. Проведен критический анализ по известной методике определения количественной оценки поверхностного стока при заданных величинах показателей суммарного осадка и гидрологического потенциала местности ландшафта. Цель работы – выявление двузначности получаемых результатов по известной методике и разработка графоаналитического метода вычисления основных показателей гидрорежима предгорного ландшафта. В качестве базового был использован известный метод *CN* кривых, используемый для вычисления поверхностного стока в предгорных бассейнах ландшафтов. Разработан графоаналитический метод для вычисления требуемого количества осадков при заданных значениях показателей гидрологического удержания. Предлагаемый метод может быть использован при гидрологических расчетах в целях прогнозирования ожидаемого поверхностного стока участков предгорного ландшафта.

**Ключевые слова:** поверхностный сток, гидропотенциал, суммарные осадки, предгорный ландшафт, оптимизация

**Формат цитирования:** Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Д., Ахмедова Р.А. К вопросу вычисления соотношения объема поверхностного стока воды, гидропотенциала предгорных территорий и общего количества осадков // Природообустройство. 2024. № 2. С. 79-82. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-79-82

Original article

# ON THE QUESTION OF CALCULATING THE RATIO OF THE VOLUME OF SURFACE WATER RUNOFF, THE HYDRO POTENTIAL OF FOOTHILL AREAS AND THE TOTAL AMOUNT OF PRECIPITATION

**H.H. Asadov✉, E.D. Suleymanova, R.A. Akhmedova**
National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the ratio of the volume of surface runoff, the hydro potential of the foothill landscape and the total amount of precipitation. A critical analysis was carried out using a well-known method for determining the quantitative assessment of surface runoff at given values of total precipitation and hydrological potential of the terrain of the landscape. **The purpose** of this work is to identify the ambiguity of the results obtained using a well-known technique and to develop a graph-analytical method for calculating the main indicators of the hydro regime of the foothill landscape. *Research methods.* The well-known CN curve method used to calculate surface runoff in foothill basins of landscapes is used as a base method. *The results obtained.* A graph-analytical method has been developed to calculate the required amount of precipitation for given values of hydrological retention indicators. *Conclusions.* The proposed method can be used in hydrological calculations in order to predict the expected surface runoff of areas of the foothill landscape.

**Keywords:** surface runoff, hydro potential, total precipitation, foothill landscape, optimization

**Format of citation:** Asadov H.H., Suleymanova E.D., Akhmedova R.A. On the issue of calculating the ratio of the volume of surface water runoff, the hydro potential of foothill territories and the total amount of precipitation // Prirodoobustrojstvo, 2024. No. 2. P. 79-82. https: //doi.org /10.26897/1997-6011-2024-2-79-82

**Введение.** Хорошо известно, что в практике интегрированного управления поверхностным стоком в бассейне предгорных рек широко используется моделирование поверхностного стока при помощи коэффициентов кривых поверхностного стока [1-7]. Метод коэффициента

© Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Д., Ахмедова Р.А., 2024

кривых поверхностного стока, или CN кривой, в котором используется эмпирический параметр для прогнозирования прямого затопления, был разработан Службой консервации сельскохозяйственных природных ресурсов США (USDA) [8, 9].

Как отмечается [10], при использовании CN кривых для вычисления объема вод поверхностного стока следует учесть не только гидрологическое состояние территории, но и состояние землепользования. Коэффициент CN изменяется в пределах от 0 до 100. Максимальная величина 100 соответствует тому случаю, когда вся дождевая вода или вся вода речного бассейна уходит в поверхностный сток. Минимальная величина 0 (ноль) соответствует тому случаю, когда вся дождевая вода фильтруется в почву.

Коэффициент CN охватывает такие показатели, как гидрологическая группа почвы, структура ландшафта, гидрологические характеристики методов культивации земли, гидрологические характеристики влагосодержания почвы и др. При использовании коэффициента CN вычисляется показатель потенциального удержания воды A. В свою очередь, показатель A используется для вычисления как прямого поверхностного стока, так и объема паводковой воды [11]. Для вычисления показателя A используется формула:

$$A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10\right). \quad (1)$$

Предложенный метод кривых паводка [10] разработан в предположении того, что отношение объема воды поверхностного стока к объему общих дождевых вод равно отношению всего объема, собранного в течение поверхностного стока, к потенциально возможному объему вод, который может быть собран. Затопление начинается после процессов удержания и инфильтрации воды землей. Эти процессы оценены [11, 12] на уровне 0,2 A, где $A$ – показатель потенциального удержания воды. Объем вод прямого затопления [9] вычислен по формуле:

$$H_0 = \frac{[H_s - 0,2A]^2}{H_s + 0,8A}, \quad (2)$$

где $H_s \geq 0,2A$; $H_0$ – показатель прямого затопления; $H_s$ – общее количество осадков; $A$ – потенциальное удержание воды.

**Цель исследований:** выявление двузначности получаемых результатов по формуле (2), выявление дополнительных условий для применения этой формулы и разработка графоаналитического метода вычисления показателя $H_s$ на основе вновь выявленных соотношений между показателями $H_s, A$ и $H_0$.

**Материалы и методы исследований.** Для выявления двузначности результата по формуле (2) и вычисления объема затопления преобразуем формулу (2):

$$H_s^2 - 2H_s \cdot 0,2A + 0,04A^2 = H_0 H_s + 0,8A \cdot H_0. \quad (3)$$

Выражение (3) может быть приведено в вид квадратного уравнения:

$$H_s^2 - H_s(0,4A + H_0) + 0,04A^2 - 0,8H_0 A = 0. \quad (4)$$

Решение квадратного уравнения (4) имеет вид:

$$H_{s1,2} = \left(0,2A + \frac{H_0}{2}\right) \pm \pm \sqrt{\left(0,2A + \frac{H_0}{2}\right)^2 - 0,04A^2 - 0,8H_0 A}. \quad (5)$$

Из выражения (5) становится очевидным то, что верность формулы (2) может быть обеспечена при условии

$$\left(0,2A + \frac{H_0}{2}\right)^2 > 0,04A^2 + 0,8H_0 A. \quad (6)$$

Из выражения (6) находим

$$\underline{0,04A^2} + \underline{\underline{0,8AH_0}} + \frac{H_0^2}{4} > \underline{0,04A^2} + \underline{\underline{0,8AH_0}}, \quad (7)$$

или $\frac{H_0^2}{4} > 0.$

С учетом (5)-(7) получаем

$$H_{s1,2} = 0,2A + \frac{H_0}{2} \pm \frac{H_0}{2} \quad (8)$$

или

$$H_{s1} = 0,2A + H_0; \quad (9)$$

$$H_{s1} = 0,2A. \quad (10)$$

Следовательно, при решении (9) требуемый объем осадков равен сумме 0,2 части потенциального удержания и вод прямого затопления. Решение (10) соответствует случаю отсутствия затопления, то есть $H_0 = 0$.

Очевидно, что условие (10) следует из выражения (2) при $H_0 = 0$.

Проанализируем другие крайние условия, вытекающие из формулы (2).

1. При $A = 0$ имеем

$$H_0 = H_s, \quad (11)$$

то есть показатель прямого затопления равен общему количеству осадков.

2. При $H_s = 0,2A$ получаем

$$H_0 = 0.$$

Трехмерный график показателей $H_s, A$ и $H_0$ представлен на рисунке 1.

На основе графического представления взаимоотношения показателей $H_s, A$ и $H_0$

предлагается графоаналитический метод вычисления требуемого общего количества осадков при заданных величинах $A$ и $H_0$.

Предлагаемый метод выполняется из следующих шагов:

1. На плоскости $(H_s, A)$ вычерчиваются линии линейной зависимости $H = kA$, где $k = 0,2 \pm 0,1n;\ n = \overline{1,8}$.

2. На плоскости $(H_s, H_0)$ вычерчивается линия $H_0 = H_s$.

3. Вычисление $H_s$ осуществляется по формуле (9) путем графического сложения отрезков линий, соответствующих заданным значениям $kA$ и $H_0$.

Пример реализации предлагаемого графоаналитического метода показан на рисунке 2.

Исходно заданными являются:

1. Соотношение $H_s = 0,5A$.

2. Значения $H_{01}$ и $A_0$.

3. Вычисленные выражения (9) и (11).

Процедура графоаналитического построения заключается в следующем.

1) на оси $A$ обозначается заданная величина $A_0$;

2) используя линию $H_s = kA$, соответствующую заданной величине $k = 0,5$ на оси $H_s$, определяют точку проекцию точки $L_1$ на оси $H_s$;

3) на оси $H_0$ отмечается заданная величина $H_{01}$;

4) используя линию $H_0 = H_s$ на плоскости $(H_0, H_s)$, определяют точку $L_2$ и ее проекцию на оси $H_s$ в виде точки $H_{s2}$;

5) суммирование линейных отрезков $(0 - H_{s1})$ и $(0 - H_{s2})$ осуществляется согласно полученному выражению (9). Результирующий линейный отрезок $(0 - H_{s3})$ равен обрезке $(0 - H_{s3})$.

Рассмотрим вариант реализации предложенного графоаналитического метода при замене координаты $A$ на показатель $CN$. Из выражения (1) находим

$$10 + \frac{A}{25,4} = \frac{1000}{CN}. \qquad (12)$$

Из выражения (12) получаем

$$CN = \frac{25400}{254 - A}. \qquad (13)$$

Таким образом, согласно (13) между $CN$ и $A$ существует нелинейная зависимость. Как результат, номограммные линии, показанные на плоскости $(H_s, A)$ (рис. 2), превращаются в нелинейные кривые. Условный пример реализации этого метода представлен на рисунке 3.

Отметим, что функциональные зависимости $\varphi(CN, k)$, показанные на рисунке 3, формируются на основе выражений (10) и (13).

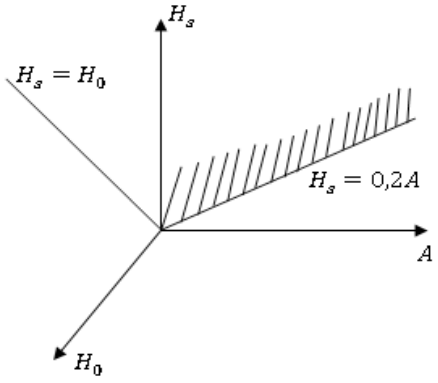


Рис. 1. **Трехмерный график представления показателей $H_s$, $A$ и $H_0$**

Fig. 1. **3D graph of presentation of indicators $H_s$, $A$** and **$H_0$**

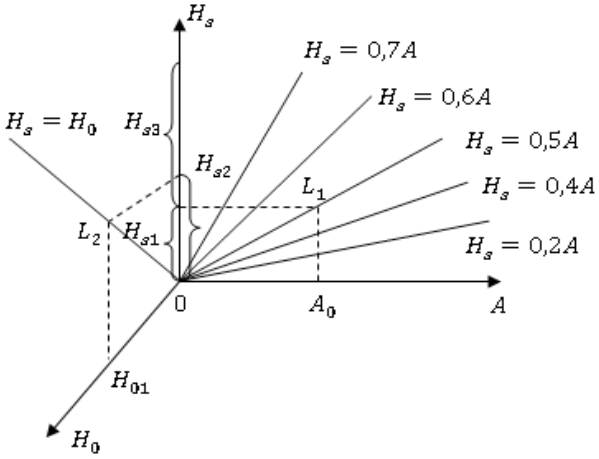


Рис. 2. **Пример графоаналитического вычисления показателя $H_s$ при заданных $H_{01}$, $A_0$ и $k$**

Fig. 2. **The example of the graph-analytical calculation of the indicator $H_s$ at the given $H_{01}$, $A_0$ and $k$**

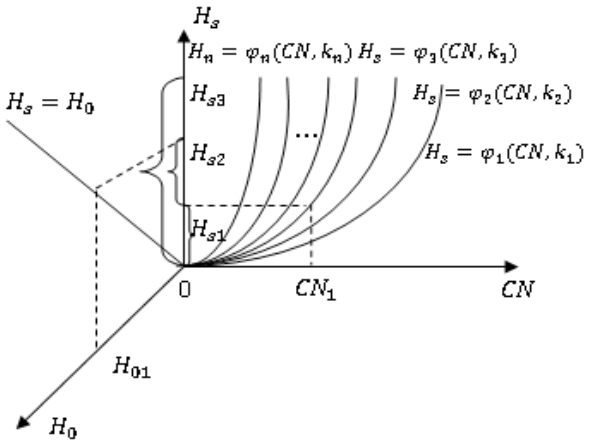


Рис. 3. **Условный пример реализации предлагаемого графоаналитического метода вычисления объема осадков при заданных значениях $H_{01}$ и $CN_1$**

Fig. 3. **The conditional example of implementation of the proposed method of the graph-analytical calculation method of precipitation volume at the given values $H_{01}$** and **$CN_1$**

С учетом $H_s = kA$ получим

$$A = \frac{H_s}{k}. \quad (14)$$

Из выражений (13) и (14) получим

$$CN = \frac{25400}{254 - \frac{H_s}{k}} = \frac{25400k}{254k - H_s} = \varphi(k). \quad (15)$$

Таким образом, задаваясь значениями $k_i$, можно вычислить функции $H_s = \varphi(CN, k_i)$, представленные на рисунке 3.

**Результаты и их обсуждение.** Изложен критический подход к известной методике определения количественной оценки поверхностного стока при заданных величинах показателей суммарного осадка и гидрологического потенциала местности ландшафта. На базе известного выражения получено квадратное уравнение, решение которого позволило разработать графоаналитический метод определения необходимой величины суммарных осадков при заданных значениях других учитываемых показателей. Предлагаемый графоаналитический метод может быть реализован в трехмерных пространствах $(H_s, H_0, A)$ и $(H_s, H_0, CN)$.

## Выводы

На основе известного метода *CN* кривых, используемого для вычисления поверхностного стока в предгорных бассейнах ландшафтов, разработан графоаналитический метод для вычисления требуемого количества осадков при заданных значениях показателей гидрологического удержания. Предложенный метод может быть использован при проведении гидрологических расчетов в целях прогноза ожидаемого поверхностного стока участков предгорного ландшафта.

## Список использованных источников / References


1. **Huang W.S.C., You L.W., Tung Y.K., Yoo C.S.** Assessing curve number uncertainty for green roofs in a stochastic environment // The 4th international conference on water resource and environment (WRE2018).

2. **Ibrahim S., Brasi B., Yu Q., Siddig M.** Curve number estimation using rainfall and runoff data from five catchments in Sudan // Open Geosciences. 2022. № 14. Pp. 294-303.

3. **Vinithra R., Yeshodha L.** Rainfall-runoff modelling using SCS-CN method: a case study of Krishnagiri district, Tamilnadu // International Journal of science and research. 2016. Vol. 5. Iss. 3.

4. **Jajarmizadeh M., Harun S., Shahid S., Akib S., Salarpour M.** Impact of direct soil moisture and revised soil moisture index methods on hydrologic predictions in an arid climate // Hindawi publishing corporation advances in meteorology. 2014.

5. **Soulis K.X.** Soil conservation service curve number (SCS-CN) method: current applications, remaining challenges, and future perspectives // Water 2021. № 13. P. 192. https://doi.org/10.3390/w13020192.

6. **Rao K.B., Singh D.K., Bhattacharya A.K.** Applicability of Curve Number method for estimation from extended duration rainfall // Journal of Soil and Water Conservation. 2002. № 1 (2-3). Pp. 163-170.

7. **Shi Z.H., Chen L.D., Fang N.F., Qin D.F., Cai C.F.** Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfallrunoff event analysis in the Three Gorges Area, China. Catena. 2009. № 77 (1). Pp. 1-7.

8. **Ward D.A., Trimble W.S.** Environmental Hydrology // Lewis Publisher. 2004.

9. **Shirmohamadi A., Yoon K.S., Rawls W.J., Smith O.H.** Evaluation of Curve Number procedure to predict runoff in GLEAMS // Journal of American Water Resource Association. 1997. № 33 (5). Pp. 1069-1076.

10. **Petrovic F., Stranovsky P., Muchova Z., Faltan V., Skokanova H., Havlicek M., Gabor M., Spulerova J.** Landscape-ecological optimization of hydric potential in foothills region with dispersed settlements – a case study of Nova Bosaca, Slovakia // Applied ecology and environmental research. 2017. № 15 (1). Pp. 379-400.

11. **Gajdosik P., Sulik V., Trizna M.** Vplyy zmeny priestorovej struktury krajiny na odtok vody z povodia (in Slovak) // Geograficke spektrum 4. Bratislava, Geo-grafika, 2005.

12. **Simanton J.R., Hawkins R.H., Mohseni-Saravi M., Renard K.C.** Runoff curve number variation with drainage area, Walnut Gultch, Arizona. Transaction of the ASAE. 1996. № 39 (4). Pp. 1391-1394.


## Об авторах


**Хикмет Гамид оглы Асадов,** д-р техн. наук, профессор; ORCİD0000-0003-1180-1535; asadzade@rambler.ru

**Егане Джалал гызы Сулейманова,** канд. техн. наук, зам. директора по научной работе ОКБ Космического приборостроения

**Рена Афрас гызы Ахмедова,** старший инженер


## Author information


**Hikmet H. ogly Asadov,** DSc (Eng), professor: ORCİD0000-0003-1180-1535; asadzade@rambler.ru

**Egane D. gyzy Suleymanova,** CSc (Eng), Deputy director on scientific work of OCB of aerospace instrumentation engineering

**Rena A. gyzy Akhmedova,** senior engineer



**Критерии авторства / Criteria of authorship**

Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Д., Ахмедова Р.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

H.H. Asadov, E.D. Suleymanova, R.A. Akhmedova performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism

**Конфликт интересов / Criteria of authorship**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest

**Вклад авторов**

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

**Поступила в редакцию / Received at the editorial office** 28.06.2023

**Поступила после рецензирования / Received after peer review vised** 18.012024

**Принята к публикации / Accepted for publication** 18.012024