

**Будник С.В.**

## **СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ ПО СКЛОНУ ПРИ СНЕГОТАЯНИИ**

Проблема расчета времени склонового добега воды актуальна при прогнозировании наводнений, притока воды к водохранилищам, разработки режима работы коллекторных сооружений и т.п. Этой тематике посвящено немало работ. В работе (И.К.Срибный, 1979) подробно рассматривается вопрос относительно добега воды при ливневом стоке, однако высказанные в ней замечания актуальны и для талого стока, в частности, как правило, недостаточно учитывается характер обработки почвы.

Целью настоящей работы является исследование факторов, влияющих на формирование скоростей движения воды по склону и разработка методов их оценки.

Проведены наблюдения за формированием склонового стока при снеготаянии в различные годы (1996–2006 гг.) в разных природных зонах (степная и лесостепная) на различных агрофонах и почвенных разностях (табл.1, 2).

Наблюдения проводились в опытном хозяйстве Института охраны почв УААН "Ударник" Лутугинского р-на Луганской обл. на черноземах обыкновенных на лессах, в Краснодонском р-не на черноземах на лессах, песках и мергелях, в Обуховском и Бориспольском р-не Киевской обл. на серых лесных почвах на лессе и Киево-Святошинском р-не на черноземах типичных на легком суглинке.

В качестве объектов наблюдения была принята сеть формирующихся непосредственно на склоне ручейков, заравниваемая при обработке почвы сельскохозяйственными машинами (т.е. первичная ручейковая сеть). По длине ручейка назначалось несколько створов измерения в зависимости от его длины.

Измерения проводились в основном, в соответствии с рекомендациями гидрометслужбы, за некоторым исключением в соответствии с особенностями изучаемых водотоков. Скорость воды при невысокой мутности определялась жидкостями – индикаторами, при высокой – поплавками, для глубин потоков более 0,01 м применялась также микровертушка Х–6–М. Пробы воды на мутность отбирались батометром, принцип работы которого напоминает работу лабораторной груши. Измерение уклонов водной поверхности проводилось прибором нашей конструкции, основанном на принципе действия геодезических уровней.

Диапазон изменения расходов воды составил  $4,3 \cdot 10^{-6}$ – $0,171$  м<sup>3</sup>/с; мутности воды –  $0$ – $99,99$  г/м<sup>3</sup>; максимальной глубины воды –  $0,025$  –  $0,13$  м; скорости воды  $0,182$  –  $1,49$  м/с. Наблюдается значительное варьирование характеристик по агрофонам, почвенным разностям, а также с изменением длины и уклона склона (табл.1). Также отмечается значительная изменчивость всех характеристик по годам наблюдений (табл.2) в связи с изменением условий формирования стока.

**Таблица 1.** Гидравлические характеристики склоновых водотоков при снеготаянии

| Фактор          | Диапазон изменения факторов                                      | Изменение мутности водотоков, кг/м <sup>3</sup> | Изменение расходов воды, м <sup>3</sup> /с | Изменение максимальной глубины воды, м | Изменение скорости воды, м/с |
|-----------------|--|---|--|--|------------------------------|
| Длина склона, м | 2–50   | 0–86,63   | $4,3 \cdot 10^{-6}$ – $0,00561$            | 0,005–0,045                            | 0,0182–0,71                  |
|                 | 51–90  | 0–99,99   | $2,6 \cdot 10^{-5}$ – $0,0096$             | 0,006–0,06                             | 0,0386–0,42                  |
|                 | 91–150   | 0,024–70,13                                     | $8,6 \cdot 10^{-6}$ – $0,0165$             | 0,004–0,06                             | 0,026–0,82                   |
|                 | 151–350  | 0–76,41   | $2,13 \cdot 10^{-5}$ – $0,0414$            | 0,006–0,085                            | 0,04–1,21                    |
|                 | 351–919  | 0–97,00   | 0,000195–0,171                             | 0,015–0,13                             | 0,202–1,49                   |
| Уклон склона, ‰ | 8–50   | 0–97,00   | $2,09 \cdot 10^{-5}$ – $0,171$             | 0,006–0,13                             | 0,04–1,09                    |
|                 | 51–100   | 0–99,99   | $4,3 \cdot 10^{-6}$ – $0,0751$             | 0,004–0,11                             | 0,0182–1,49                  |
|                 | 107–170  | 0–27,83   | $2,5 \cdot 10^{-5}$ – $0,00066$            | 0,008–0,035                            | 0,05–0,71                    |
| Агрофон         | зябь   | 0–97,00   | $7,1 \cdot 10^{-6}$ – $0,0751$             | 0,004–0,08                             | 0,0182–1,29                  |
|                 | озимые   | 0–99,99   | $4,3 \cdot 10^{-6}$ – $0,0577$             | 0,005–0,11                             | 0,0286–1,49                  |
|                 | многолетние травы  | 0–32,87   | $2,51 \cdot 10^{-5}$ – $0,00279$           | 0,008–0,07                             | 0,05–0,37                    |
|                 | полевая дорога   | 0,48–14,78                                      | 0,000265–0,171                             | 0,012–0,13                             | 0,31–0,63                    |
| Почво–грунты    | мергель  | 0–27,83   | $6,76 \cdot 10^{-5}$ – $0,000191$          | 0,01–0,12                              | 0,05–0,3                     |
|                 | чернозем обыкновенный на слабомощном лессе подстилаемом мергелем | 0–5,53  | $5,88 \cdot 10^{-5}$ – $0,00163$           | 0,01–0,045                             | 0,07–0,342                   |
|                 | чернозем обыкновенный на песках                                  | 2,26–70,13                                      | 0,000166–0,021                             | 0,025–0,05                             | 0,117–0,85                   |
|                 | чернозем обыкновенный на лессе                                   | 0–86,63   | $4,3 \cdot 10^{-6}$ – $0,00392$            | 0,004–0,07                             | 0,0182–0,75                  |
|                 | чернозем типичный на легком суглинке                             | 0,024–97,00                                     | $2,09 \cdot 10^{-5}$ – $0,171$             | 0,006–0,13                             | 0,056–1,49                   |
| Тип снеготаяния | серые лесные на лессе  | 2,55–99,99                                      | $2,13 \cdot 10^{-5}$ – $0,00047$           | 0,006–0,02                             | 0,0386–0,29                  |
|                 | солярно–адвективный  | 0,0–97,0  | $1,35 \cdot 10^{-5}$ – $0,171$             | 0,006–0,13                             | 0,0182–1,29                  |
|                 | солярный   | 0,115–86,60                                     | $8,6 \cdot 10^{-6}$ – $0,0207$             | 0,004–0,07                             | 0,026–0,79                   |
|                 | адвективный  | 0,0–99,99                                       | $4,3 \cdot 10^{-6}$ – $0,0751$             | 0,005–0,11                             | 0,0286–1,49                  |

## СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ ПО СКЛОНУ ПРИ СНЕГОТАЯНИИ

**Таблица 2.** Изменчивость характеристик скорости воды в склоновых водотоках при снеготаянии и погодно-климатические характеристики и характеристики подстилающей поверхности водосборов за годы наблюдений

| Годы | Средняя величина скорости, м/с | Минимальная величина скорости, м/с | Максимальная величина скорости, м/с | Коэффициент вариации скорости | Дата наступления снеготаяния, сутки от 1 января | Сумма Осадков за сезон, мм | Максимальная глубина промерзания почвы, см | Влажность почвы средняя за время стока, % | Плотность почвы средняя за время стока, г/м <sup>3</sup> | Глубина оттаивания агрофона средняя за время стока, см |
|------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------|--|---|--|--|
| 1996 | 0,17                           | 0,026                              | 0,71                                | 0,50                          | 87  | 157,3                      | 66   | 39,8                                      | 0,93   | 3,29   |
| 1997 | 0,24                           | 0,04                               | 0,75                                | 0,52                          | 59  | 93,5                       | 45   | 48,7                                      | 0,87   | 5,41   |
| 1998 | 0,29                           | 0,07                               | 0,85                                | 0,60                          | 55  | 143,9                      | 65   | 39,9                                      | 1,23   | 5,35   |
| 1999 | 0,14                           | 0,018                              | 0,37                                | 0,68                          | 33  | 148,5                      | 49   | 43,3                                      | 1,05   | 6,25   |
| 2000 | 0,15                           | 0,039                              | 0,29                                | 0,43                          | 58  | 207,7                      | 15   | 30,7                                      | 1,36   | 2,96   |
| 2001 | 0,62                           | 0,20                               | 1,49                                | 0,60                          | 68  | 242                        | 30   | 35,1                                      | 1,39   | 1,95   |
| 2002 | 0,40                           | 0,24                               | 0,54                                | 0,25                          | 29  | 182,4                      | 39   | 35,6                                      | 1,3  | 6,7  |
| 2003 | 0,49                           | 0,056                              | 1,24                                | 0,47                          | 73  | 142,2                      | 87   | 33,8                                      | 1,28   | 3,2  |
| 2004 | 0,52                           | 0,31                               | 1,09                                | 0,42                          | 47  | 205,7                      | 36   | 33,7                                      | 1,34   | 1,5  |
| 2005 | 0,64                           | 0,23                               | 1,29                                | 0,39                          | 84  | 183,5                      | 19   | 34,1                                      | 1,29   | 4,3  |
| 2006 | 0,52                           | 0,23                               | 0,79                                | 0,32                          | 84  | 229                        | 63   | 34,2                                      | 1,38   | 3,5  |

Вариабельность скоростей движения воды по склону от года к году определяется, в основном, уклоном склона, датой наступления снеготаяния, влажностью почвы, глубиной оттаивания агрофона, количеством осадков за осенне-зимний период и длиной склона.

Исследования показывают, что склон по длине в зависимости от типичности распределения скоростей течения воды при снеготаянии можно разбить на следующие зоны: I – 0–100 м; II – 101–300 м; III – 300–400 м; IV – 401–500 м; V – >500 м (рис.1). Причем, максимальный диапазон изменения скорости наблюдается в зоне III (300–400 м), далее диапазон изменения скоростей уменьшается. По всей видимости, это связано не столько с изменением рельефа местности, сколько с увеличением глубин и объемов воды (рис.2,3), которые способствуют уменьшению скоростей движения воды.

Скорость движения воды по склону ( $v$ , м/с) при снеготаянии при отсутствии материалов наблюдений можно оценить по зависимости:

$$v = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11} X_{12};$$

$$X_1 = 0,1667 + 0,001082 T n n^3;$$

$$X_2 = 3,677 h_{\max}^{0,385};$$

$$X_3 = 1,258 - 0,0006481 L s;$$

$$X_4 = 1,044 - 14,08 I c^{-1,5};$$

$$X_5 = 1,008 - 8,082 \cdot 10^{-13} S o^{-4};$$

$$X_6 = 0,1611 + 0,002914 X S + 7530 / X S^2;$$

$$X_7 = 0,8452 + 201,9 W n^{-2};$$

$$X_8 = 0,9511 + 2,014 / l p;$$

$$X_9 = 0,9089 + 0,01579 D a t - 0,000115 D a t^2;$$

$$X_{10} = 1,245 - 0,07085 O b + 0,00432 O b^2;$$

$$X_{11} = 1,032 - 0,008258 z o + 9,312 \cdot 10^{-5} / z o^2;$$

$$X_{12} = 1,035 - 0,02148 T c h + 0,002935 T c h^2;$$

где  $T n n$  – разновидность почвы: 2 – серые лесные, 3 – чернозем обыкновенный на лессах, 4 – чернозем обыкновенный на песках, 5 – чернозем обыкновенный на слабощном лессе подстилаемом мергелем, 6 – мергель, 7 – чернозем типичный;  $h_{\max}$  – максимальная глубина воды в водотоке, м;  $L s$  – длина склона от водораздела до створа измерения, м;  $S o$  – критерий Траска-Крумбейна;  $I c$  – уклон склона, %;  $l p$  – глубина промерзания почвы, см;  $W n$  – влажность почвы;  $X S$  – количество осадков за осенне-зимний период (ноябрь-март);  $D a t$  – дата наступления снеготаяния, сутки от 1 января;  $z o$  – глубина оттаивания почвы, см;  $T c h$  – тип снеготаяния: 2 – адвективный, 3 – соляренный, 4 – солярно-адвективный;  $O b$  – характер обработки почвы: 2 – безотвальная зябь, 3 – выровненная зябь, 4 – отвальная зябь, вспашка вдоль склона, 6 – чизельная обработка по консервирующей технологии, 7 – рядки поперек склона, 8 – без обработки.

Относительная ошибка модели  $E = 43,6\%$ ; абсолютная ошибка модели  $E_1 = 0,007$ ; множественный коэффициент корреляции  $r = 0,81$ ; критерий качества (критерий Гаусса)  $s/\sigma = 0,59$ .

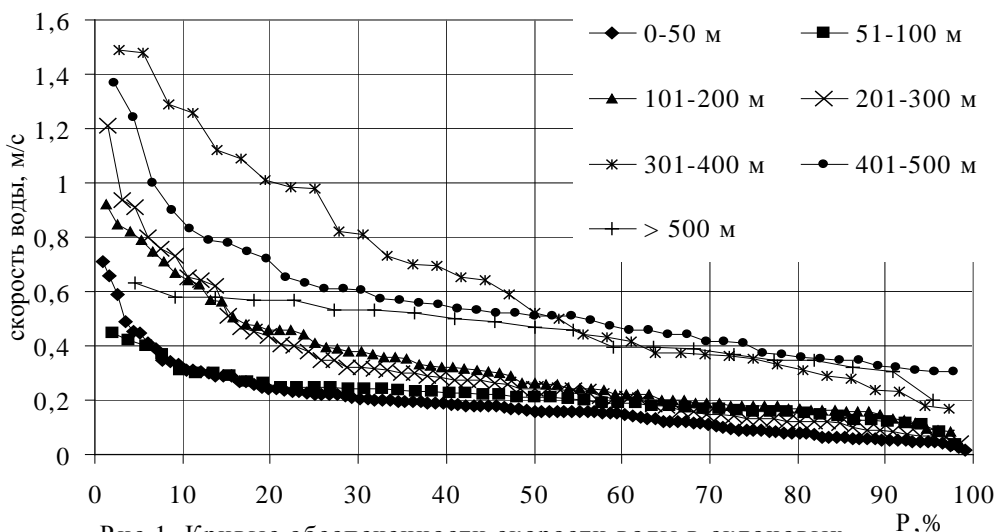


Рис.1. Кривые обеспеченности скорости воды в склоновых водотоках при снеготаянии дифференцированные по длине склона

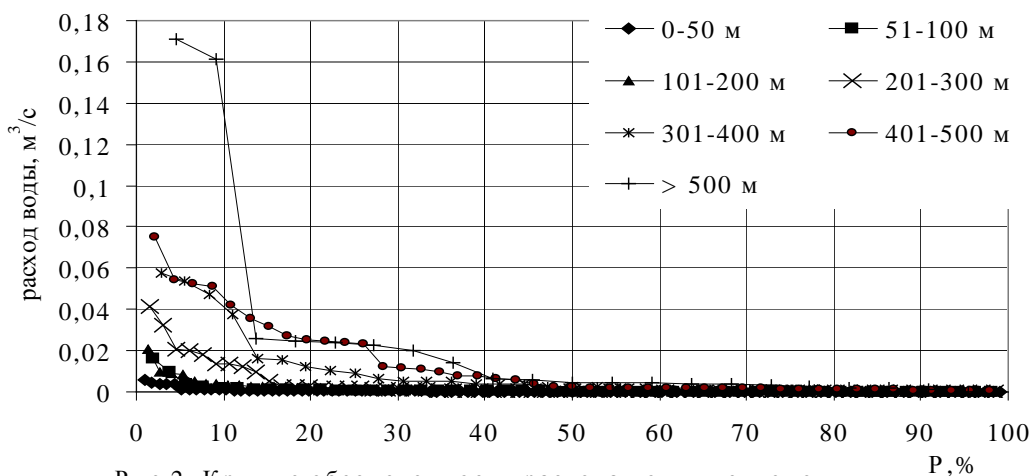


Рис.2. Кривые обеспеченности расхода воды в склоновых водотоках при снеготаянии дифференцированные по длине склона

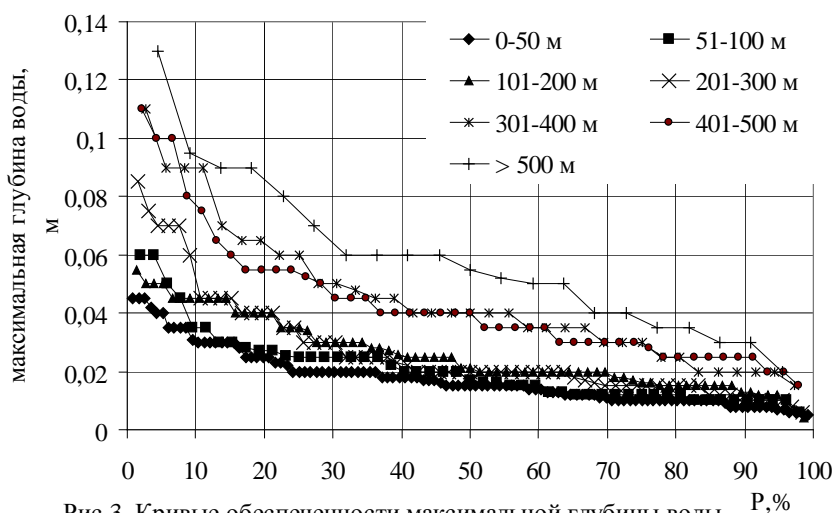


Рис.3. Кривые обеспеченности максимальной глубины воды в склоновых водотоках при снеготаянии дифференцированные по длине склона

Максимальную глубину воды ( $h_{max}$ , в м) в склоновых водотоках, сформировавшихся при снеготаянии, можно определить по следующей эмпирической зависимости:

$$h_{max} = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9;$$

$$X_1 = 0,04742Ls / (89,09 + Ls);$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 1/(106,8-29,65pHn+2,071pHn^2); \\
 X_3 &= 1/(1,519-0,3286zo+0,0375zo^2); \\
 X_4 &= 1/(0,9581-0,008324Nan+0,0006553Nan^2); \\
 X_5 &= 1/(1,848-0,07068Ic+0,0009172Ic^2); \\
 X_6 &= 1/(1,603-0,03258Ip+0,0003012Ip^2); \\
 X_7 &= 1,02NO_3n/(0,0002629+NO_3n); \\
 X_8 &= 1/(1,034-351700\exp(-0,4985Wn)); \\
 X_9 &= 1/(-0,1211+0,01266XS-0,00003358XS^2),
 \end{aligned}$$

где  $pHn$  – кислотность поверхностного 0–3 см слоя почвы;  $zo$  – глубина оттаивания почвы;  $NO_3n$  – содержание нитратов в верхнем 0–3 см слое почвы, мг/100 г;  $Nan$  – содержание натрия в верхнем 0–3 см слое почвы, мг/100 г.

$$E = 22,0\%, E_1 = 0,001m, r = 0,88, s/\sigma = 0,48.$$

Учет даты при моделировании процессов связанных со снеготаянием предлагали многие авторы, к примеру, В.А.Бельчиков с соавторами (1992) предлагал учитывать дату числом суток от 21 марта до начала таяния, также они учитывали продолжительность световой части суток, а В.П.Сергеев (1992) предлагал учитывать число дней от 20 марта до начала таяния. Г.И.Швебс (1974) предлагал учитывать высоту стояния солнца, которая в свою очередь также зависит от даты наступления снеготаяния и времени наблюдения в течении суток. Поскольку в наших широтах снеготаяние на склонах часто начинается раньше, чем 21 марта нами отсчет даты наступления снеготаяния предлагается вести от 1 января. Даты наступления оттепелей и снеготаяния за период наблюдений за стоком со склонов представлены в табл.2.

Время добегаания определяется суммой времен добегаания на соответствующих отрезках склона.

Выводы: Пространственно–временная природа формирования скоростей движения воды по склонам требует разбиения их на характерные участки, где характер формирования скоростей движения воды сходен. Для определения времени добегаания воды по склону целесообразно определять его на соответствующих участках, а затем суммировать, поскольку при определении сразу средней скорости на склоне теряется точность расчетов.

В рекомендуемой для оценки скорости движения воды по склону при снеготаянии формуле учитывается характер обработки почвы, рельеф склона, тип почвы, характер снеготаяния. Она не требует дополнительных определений коэффициентов шероховатости поверхности, т.к. те учтены характером обработки, гранулометрическим составом почвы, характером агрофона.

#### Источники и литература

1. Бельчиков В.А., Корень В.И., Нечаева Н.С. Автоматизированные краткосрочные прогнозы расходов и уровней воды для речной системы Северной Двины // Труды ГМЦ, – 1992.– Вып.324.– С.3–15.
2. Сергеев В.П. Реализация модели формирования талого стока для рек среднего Урала. // Труды ГМЦ.– 1992.– Вып.317.–С.125–132.
3. Срибный И.К. О расчетах скоростей стекания и времени добегаания воды со склонов при определении максимальных ливневых расходов для малых водосборов // Метеорология и гидрология.– 1979.– №12.– С.76–82.
4. Швебс Г.И. Влияние рельефа и водной эрозии на сток //Водные ресурсы.– 1974.– №2.– С.62–77.

#### Вахрушев И.Б.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИРОДООХРАННОГО И РЕКРЕАЦИОННОГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, НА ПРИМЕРЕ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ МАССИВОВ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Известняковые массивы ЮБК являются важнейшим компонентом ландшафтной структуры региона. Сложенные крепкими верхнеюрскими известняками они, совместно с грандиозным эскарпом Главной гряды и горными массивами интрузивных тел, возвышаются над эрозионным флишевым мелкогорьем и, в сочетании с субсредиземноморской растительностью, являются важным атрактивным рекреационным ресурсом Крымского южнобережного курорта. В краеведческой литературе за ними закрепился термин «яйлинские отторженцы» [1].

Кроме пейзажной эстетической ценности известняковые массивы, в силу своей изолированности и труднодоступности, часто становятся убежищами, своего рода рефугиумами реликтовых, краснокнижных и эндемичных видов растений. На некоторых из них хорошо сохранились (Ласпи, Кошка, Ай-Никола, Крестовая и др.) фрагменты типичных растительных сообществ, которые можно рассматривать как эталоны некогда широко распространенных на ЮБК формаций пушисто-дубовых, фисташковых, можжевеловых, земляничниково-мелкоплодных, сосновых и др. лесов. Рассматривая известняковые массивы с позиции геолого-геоморфологической науки отметим, что многие из них являются уникальными геологическим памятниками. С ними и окружающими их обвально-осыпными шлейфами связаны запасы высококачественных