

ДИССИПАЦИЯ ЭНЕРГИИ В СКЛОНОВЫХ ВОДОТОКАХ

Будник С.В.

Институт гидротехники и мелиорации Украинской академии аграрных наук
03022 Украина, Киев, ул.Васильковская, 37.

Рассматриваются вопросы, связанные с величиной и направленностью расходования диссипирующей энергии в склоновых водотоках. Определяются факторы, влияющие на диссипацию энергии при талом и ливневом стоке.

Диссипация энергии представляет собой затраты механической энергии на преодоление сопротивления движению, сопровождающиеся превращением части механической энергии в тепловую [6,11,12]. Изучение данного вопроса актуально в связи с исследованием равновесных состояний систем и их устойчивости [6,14]. Считают [8], что при турбулентном движении диссипация механической энергии происходит за счет передачи энергии внешних сил осредненному движению. Энергия осредненного движения частично передается пульсационному движению и частично (до 60-70% при равномерном установившемся движении в трубе) превращается в теплоту. Энергия пульсационного движения в конечной стадии превращается в тепловую и рассеивается. Для рек исследования диссипации энергии проводились Гринвольдом Д.И., Никорой В.И. [6,14 и др.], Долгополовой Е.Н. [7] и др. Для склоновых водотоков этот вопрос практически не рассматривался. В [3] была приведена оценка величины диссипации энергии при талом стоке. В настоящей работе проводится оценка величин диссипации энергии в склоновых водотоках формирующихся как при снеготаянии, так и при ливнях.

Величину средней диссипации энергии определяли по формуле согласно [6]:

$$E=gvI$$

g – ускорение силы тяжести, v - скорость потока, I - уклон водной поверхности.

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

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, при талом стоке для глубин потоков более 0,01м применялась также микровертушка Х-6-М, в условиях ливневого стока её применение оказалось невозможным из-за высокой мутности воды. 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 [2].

Выборка наблюдений за талым стоком (1996-2002гг) составила 316 измерений. Измерения проводились в различные по водности годы и при различных типах снеготаяния. За исследуемый период расход воды варьировал в пределах 0,0000043-0,0577 м³/с, мутность воды – 0-99,99 кг/м³ (табл.1), скорость воды – 0,0182-1,492 м/с, максимальная глубина воды – 0,004-0,11м, диссипация энергии изменялась в пределах 1,8•10⁻⁷-1,903 м²/с³ при коэффициенте вариации $C_v = 1,63$, коэффициенте асимметрии $C_s = 0,063$.

Измерения характеристик стока воды и наносов от ливней проводились нами в водотоках на склонах в период 1997-2002 гг. Поскольку ливневый сток

в натуральных условиях замерить крайне сложно из-за его непродолжительности, нами проводились систематические наблюдения за выпадающими осадками в течение теплого периода года (с мая по август). Замеры в створах проводились систематически при повторном выпадении дождей. Общее число измеренных расходов воды при ливневом стоке в 36 створах, на 14 водотоках составляет 104. Полученные нами данные представляют собой пространственно - временной ряд.

Исследуемые водотоки при ливневом стоке характеризовались следующими величинами гидравлических параметров: расходы воды в водотоках колебались от $1,8 \cdot 10^{-6}$ до $0,0945 \text{ м}^3/\text{с}$, мутность воды - $0,587 - 434,74 \text{ кг}/\text{м}^3$ (табл.2) скорость воды - $0,015 - 1,5 \text{ м}/\text{с}$, максимальная глубина воды - $0,003-0,08 \text{ м}$. Диссипация энергии изменялась в пределах $6,4 \cdot 10^{-6} - 0,814$ при $C_v=1,23$, $C_s=-0,013$.

В табл.1 и 2 представлен диапазон изменения диссипации энергии по длине склона, уклону, на различных агрофонах и почвенных разностях.

Величины диссипации энергии в склоновых водотоках на несколько порядков превышают те же величины для рек. К примеру, по [7] для рек Киржач и Полометь осредненные по глубине значения диссипации энергии составляют соответственно $0,0006$ и $0,006 \text{ м}^2/\text{с}^3$. Вероятно, для водотоков на склонах характерен более интенсивный переход механической энергии в тепловую.

Анализ эмпирических кривых обеспеченности дифференцированных по характерным диапазонам влияющих факторов показал следующее.

Агрофон оказывает влияние на величину диссипации энергии. Так, если при талом стоке агрофона в порядке убывания величины диссипации энергии располагаются следующим образом: озимые, зябь, многолетние травы, то при ливнях – естественное кормовое угодье, многолетние травы, пар, полевая дорога, пропашные и зерновые колосовые.

Тип почвы также оказывает влияние на величину ε , однако внутри подтипов почв различия ослабевают. Так, при снеготаянии ряд почв в

Таблица 1 Изменчивость гидравлических и морфометрических характеристик склоновых водотоков при снеготаянии

Фактор	Диапазон изменения факторов	Мутность воды, кг/м ³	Расходы воды, м ³ /с	Диссипация энергии, ε м ² /с ³	Cv ε
Длина склона, м	2-50	0-86,63	0,0000043-0,00561	0,00000018-0,244	0,88
	51-90	0-99,99	0,000026-0,00204	0,00111-0,254	0,77
	91-150	0,063-70,13	0,0000086-0,00886	0,0023-0,331	0,66
	151-350	0-76,41	0,0000213-0,021	0,000343-0,805	1,25
	351-543	0-97,00	0,000233-0,0577	0,000299-1,9	1,06
Уклон склона, ‰	10-50	0-97,00	0,0000336-0,021	0,00034-0,393	0,93
	51-100	0-99,99	0,0000043-0,0577	0,00000018-1,9	1,71
	107-170	0-27,83	0,000025-0,00066	0,00111-0,244	1,25
Агрофон	Зябь	0-97,00	0,0000086-0,021	0,00000018-0,393	0,93
	Озимые	0-99,99	0,0000043-0,00151	0,000299-1,9	1,68
	Многолетние травы	0-32,87	0,0000251-0,00279	0,000343-0,272	1,03
Почвогрунты	Мергель	0-27,83	0,0000676-0,000191	0,00111-0,135	1,15
	Чернозем обыкновенный на слабо мощном лессе подстилаемом мергелем	0-5,53	0,0000588-0,00163	0,000343-0,14	1,23
	Чернозем обыкновенный на песках	2,26-70,13	0,000166-0,021	0,0023-0,292	0,85
	Чернозем обыкновенный на лессе	0-86,63	0,0000043-0,00392	0,00000018-0,331	0,84
	Чернозем типичный на легком суглинке	0,173-97,00	0,000201-0,0577	0,000299-1,9	1,0
	Серые лесные	2,55-99,99	0,0000213-0,00047	0,0135-0,219	0,76
Тип снеготаяния	Солярно-адвективный	0-97,0	0,0000135-0,021	1,79•10 ⁻⁷ -0,393	1,0
	Солярный	0-86,6	8,6•10 ⁻⁶ -0,0039	0,00378-0,331	0,71
	Адвективный	0-99,99	4,3•10 ⁻⁶ -0,0577	5,56•10 ⁻⁷ -1,9	1,64

Таблица 2, Изменчивость гидравлических и морфометрических характеристик склоновых водотоков при ливнях

Фактор	Диапазон изменения факторов	мутность воды, кг/м ³	расходы воды, м ³ /с	Диссипация энергии, ε, м ² /м ³	Cv ε
Длина склона, м	4-50	1,34-289,83	$1,8 \cdot 10^{-6}$ -0,0099	$6,38 \cdot 10^{-6}$ -0,185	0,94
	50-90	0,587-176,08	0,0000146-0,0188	$2,5 \cdot 10^{-5}$ -0,814	1,27
	140-300	3,32-434,74	0,0000092-0,0945	$1,08 \cdot 10^{-5}$ -0,589	1,05
Уклон склона, ‰	12-50	0,586-25,36	0,0000146-0,0188	$6,38 \cdot 10^{-6}$ -0,185	1,30
	51-100	2,21-289,83	$1,8 \cdot 10^{-6}$ -0,0099	0,000142-0,179	0,79
	100-165	3,32-434,74	0,0000092-0,0945	$1,08 \cdot 10^{-5}$ -0,589	1,03
	250-300	9,44-176,1	0,0000158-0,0023	0,053-0,814	0,61
Агрофон	Пар	2,21-41,71	$1,810^{-6}$ -0,0099	0,0002-0,18	0,81
	Пропашные	5,27-289,83	0,0000121-0,0003	$6,38 \cdot 10^{-6}$ -0,1	1,08
	Многолетние травы	2,58-19,03	0,0000429-0,0188	$1,08 \cdot 10^{-5}$ -0,22	0,75
	Естественное кормовое угодье	6,67-434,74	0,0000092-0,0945	0,000104-0,814	1,06
	зерновые колосовые	0,587-4,04	0,0000146-0,00615	$2,45 \cdot 10^{-5}$ -0,185	1,89
	полевая дорога	5,714-24,33	0,0000831-0,000741	0,000142-0,0667	0,69
почвогрунты	мергель	6,67-434,7	$9,2 \cdot 10^{-6}$ -0,0945	0,000104-0,814	1,08
	чернозем обыкновенный на мергеле	3,32-38,43	0,0000429-0,00408	$1,08 \cdot 10^{-5}$ -0,343	0,67
	чернозем обыкновенный на лессе	2,58-289,83	$1,8 \cdot 10^{-6}$ -0,0188	0,000142-0,181	0,91
	чернозем обыкновенный на песках	0,587-5,27	0,0000146-0,00615	$2,45 \cdot 10^{-5}$ -0,185	1,68
	серые лесные на лессе	21,93-48,13	0,0000121-0,000287	$6,38 \cdot 10^{-6}$ -0,1	1,25

убывающем порядке значений величины ε располагается следующим образом: чернозем типичный, серые лесные, чернозем обыкновенный на песках, чернозем обыкновенный на лессе, мергель, чернозем обыкновенный на мергеле. При ливневом стоке: мергель, чернозем обыкновенный на мергеле, чернозем обыкновенный на лессе, серая лесная и чернозем обыкновенный на песках. Если при талом стоке на мергелях и черноземе обыкновенном на мергеле величины ε минимальны, то при ливнях наоборот.

Тип снеготаяния также оказывает влияние на величину диссипации энергии. Так, при адвективном типе снеготаяния величина диссипации энергии наибольшая, при солярном типе снеготаяния – наименьшая, при солярно-адвективном типе снеготаяния ε принимает промежуточные значения.

Режим (по числу Рейнольдса Re) и состояние потока (по числу Фруда Fr) оказывают одинаковое влияние на величины ε при обоих типах формирования стока. Так, при числе Рейнольдса $Re > 5000$ и $Fr > 1$ ε максимально, при $Re < 700$ и $Fr < 1$ – минимально (рис.1).

Примечательно, что в склоновых водотоках при снеготаянии температура воды при $Re > 5000$ и частично при $Fr > 1$ ниже чем при других режимах и состояниях потока (рис.2). При ливнях дифференциации кривых температуры воды по Re и Fr не наблюдается (температура воды здесь выше).

При бурном состоянии и турбулентном режиме диссипация энергии выше и тело (в данном случае вода) должна нагреваться. Поскольку при талом стоке вода охлаждается, а при ливнях различий в температуре для разных режимов и состояний потоков нет, тепловая энергия должна на что-то затрачиваться. Тепловую энергию всю превратить в механическую энергию нельзя [12]: постулат диссипации энергии гласит: для каждого тела объемом V существует предельная скорость, с которой тепло может превращаться в энергию без совершения механической работы. Возможно, вырабатываемое тепло при бурном и турбулентном режиме идет на протекание химических реакций в потоке, т.к. в таких условиях поток более аэрирован и больше

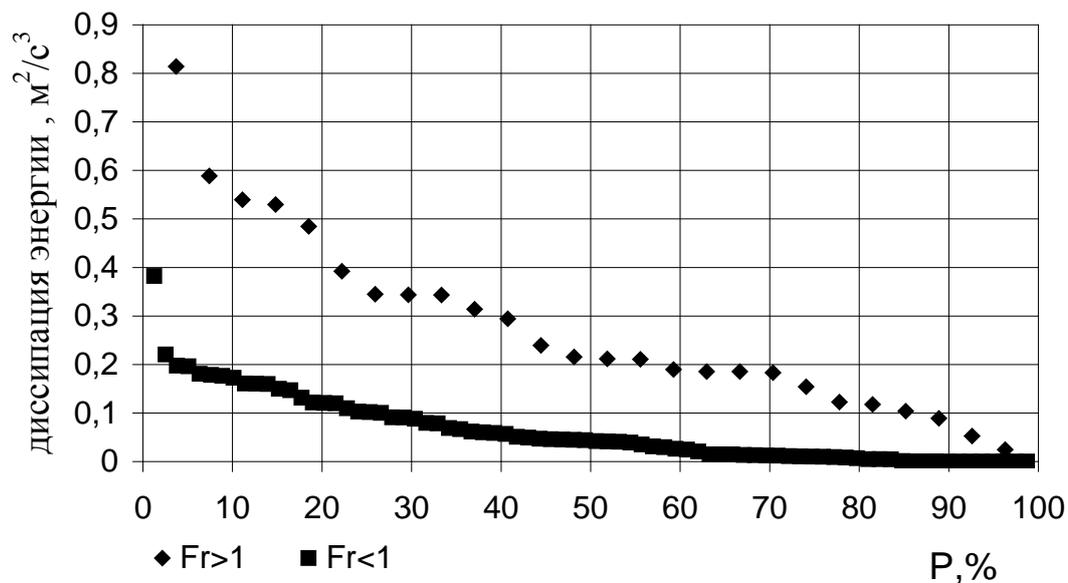


Рис.1. Эмпирическая кривая обеспеченности диссипации энергии в склоновых водотоках при ливнях дифференцированная по состоянию потока (Fr)

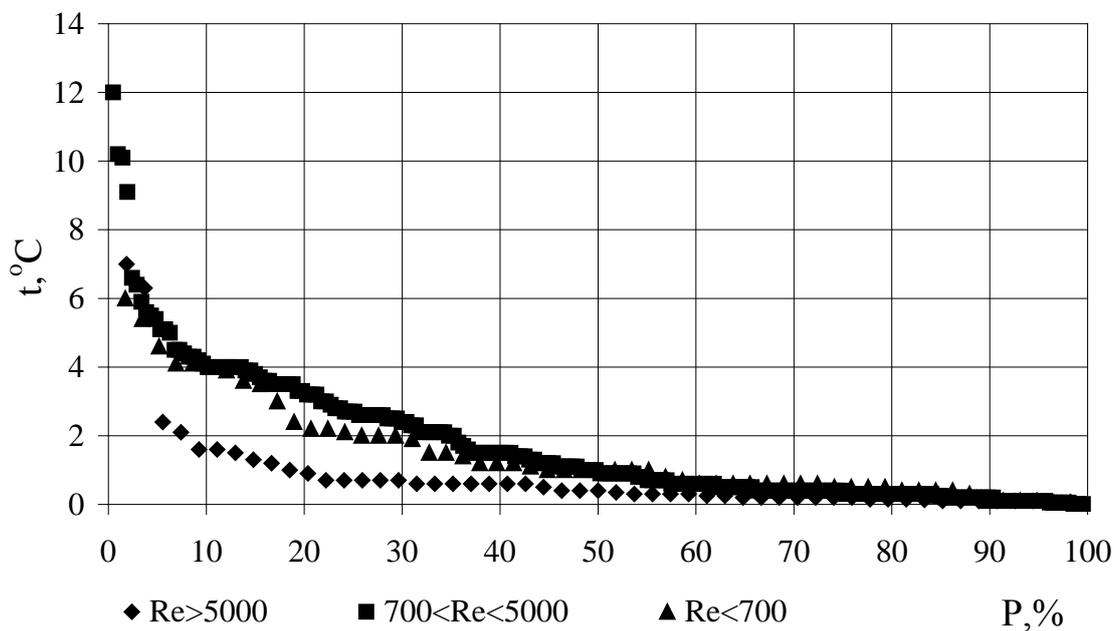


Рис.2. Эмпирическая кривая обеспеченности температуры воды (t) в склоновых водотоках при снеготаянии дифференцированная по режиму потока

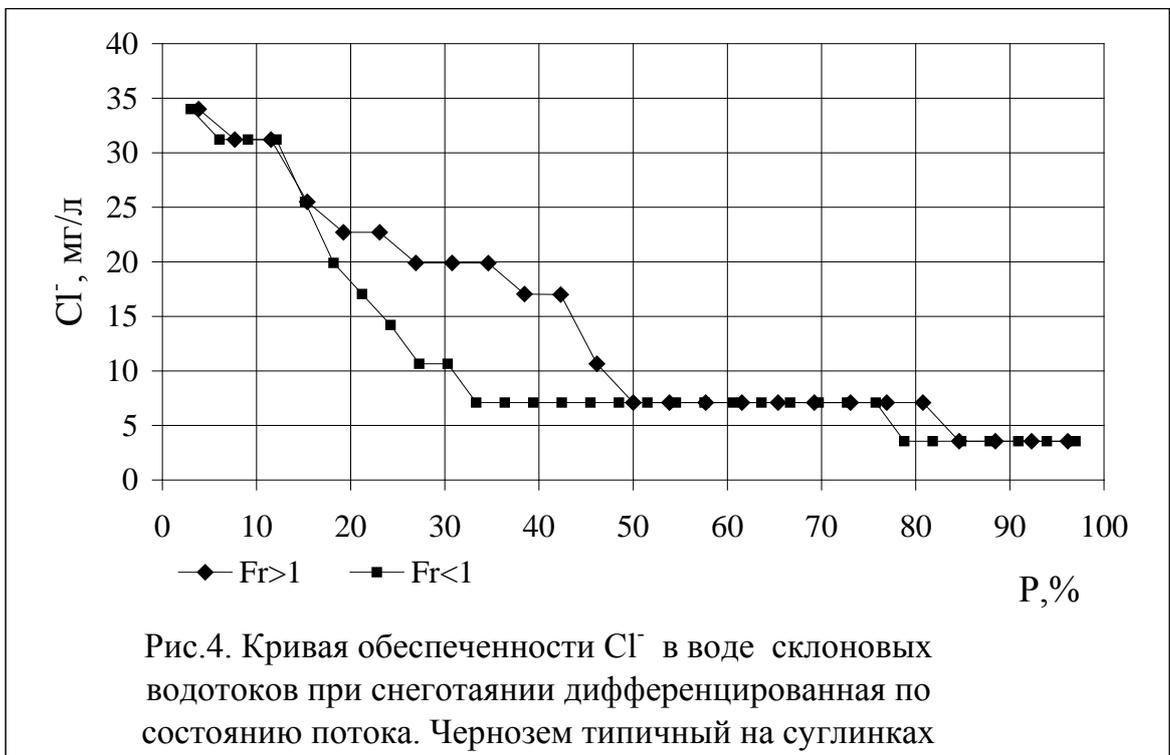
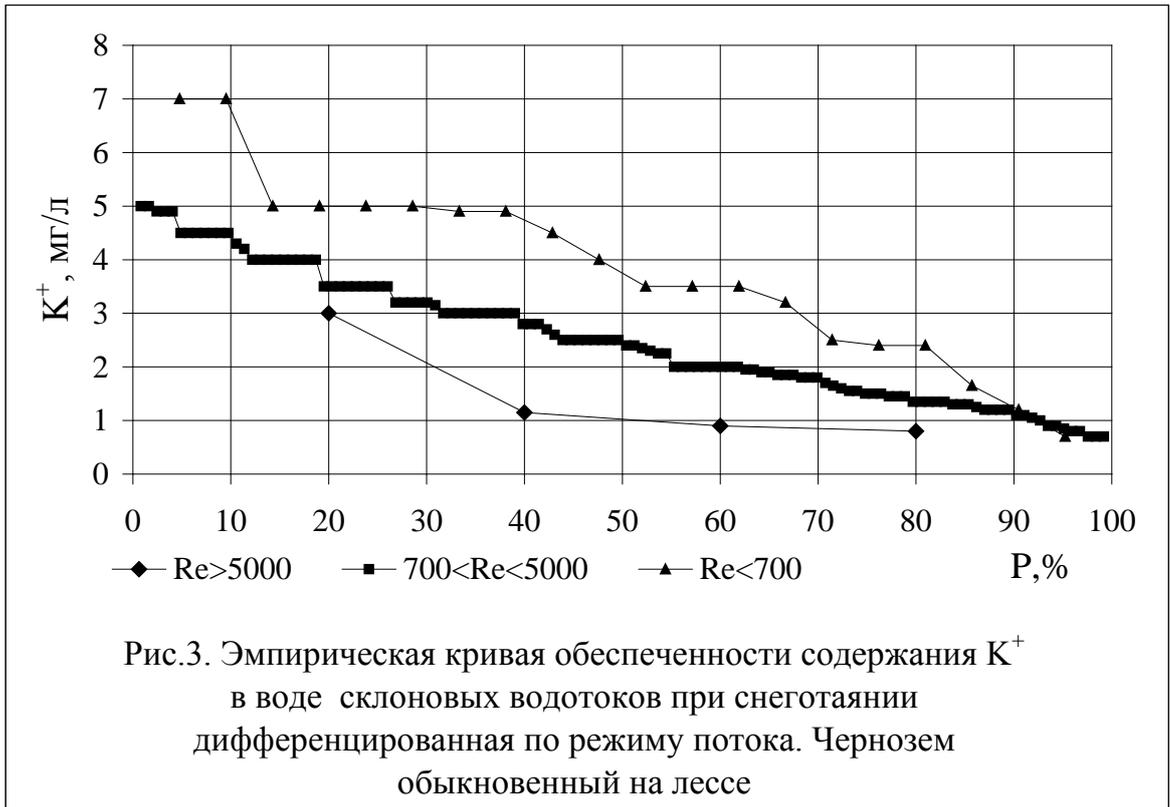
насыщен взвешьями. Опыты по экстракции веществ в мешалках при различных соотношениях фаз и гидродинамических условий [10] показали, что при $Re < 800$ экстракция веществ происходит в диффузионной области, а при больших значениях переходит в кинетическую область. Причем, при $Re > 1500$ точки зависимости концентрации от продолжительности процесса ложатся на одну кривую независимо от величины Re . То есть, при больших числах Re химические процессы протекают по другому принципу, чем при низких и влияние интенсивности перемешивания на эти процессы также различно.

Вероятно, этим и объясняется тот факт, что на участках склона ближе к водоразделу влияние химической составляющей на размыв значимее чем динамической [4].

Влияние повышения температуры воды на размыв грунта в следствие интенсификации физико-химических процессов и изменения параметров турбулентности отмечено в [13]. Опыты проводились в лотке при температуре воды от 0 до 36°C.

Однако анализ кривых обеспеченностей рН воды и содержания химических элементов в воде склоновых водотоков при снеготаянии дифференцированных по режиму и состоянию потока показали, что при $Re > 5000$ рН и содержание всех элементов в воде водотоков ниже, чем при $Re < 700$ (рис.3). Для $Fr > 1$ на черноземе обыкновенном на лессе рН воды ниже, чем при $Fr < 1$, а для чернозема типичного на легком суглинке наоборот при $Fr > 1$ рН воды выше, выше здесь и содержание в воде водотоков HCO_3^- . Содержание других элементов как на черноземе обыкновенном, так и на черноземе типичном безусловно зависит от числа Fr , что отражается в различиях в форме кривых для различных состояний потоков, однако однозначно сказать при каком состоянии потока содержание веществ выше нельзя (рис.4).

Агрофон и тип снеготаяния также влияют на содержание веществ в воде склоновых водотоков.



При ливнях же наоборот, при $Re > 5000$, а особенно четко это заметно при $Fr > 1$ рН воды и содержание практически всех элементов выше, чем при ламинарном режиме и при спокойном течении, что говорит о преимущественном расходовании диссипации энергии при ливнях на химические реакции (рис.5).

Кроме того, температурная обстановка при ливнях и талом стоке в корне отличается. При ливнях идет поступление холодной воды на прогретую солнцем почву, а при снеготаянии наоборот, более теплая вода поступает на промерзшую почву.

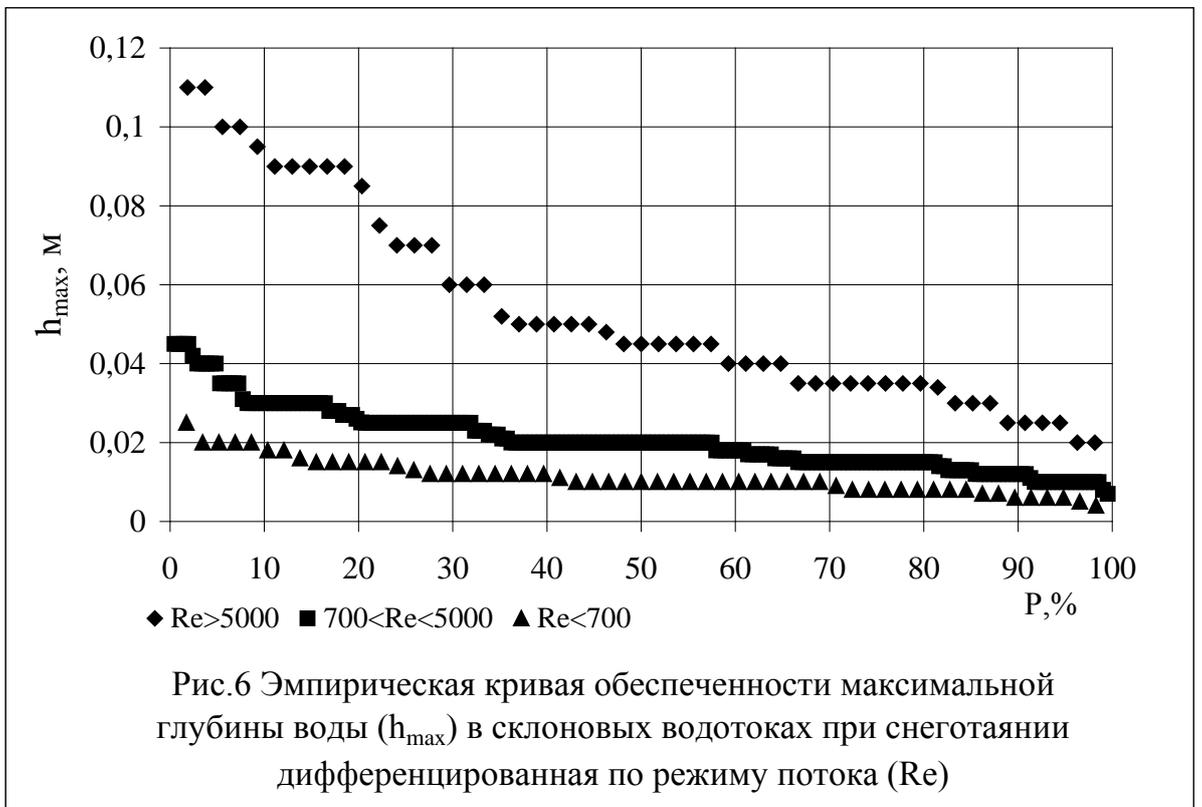
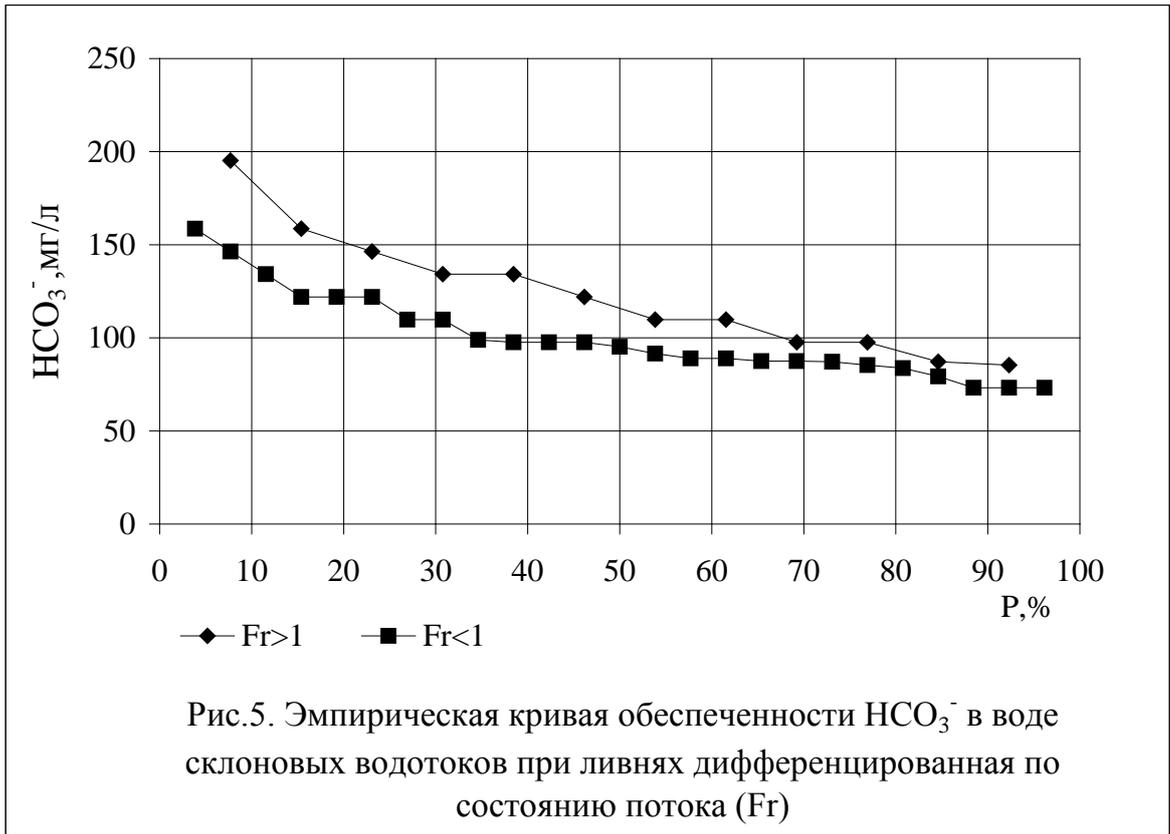
При интенсивном перемешивании в водотоке при снеготаянии наблюдается более интенсивный контакт воды с мерзлым грунтом, что усиливает размыв и уменьшает температуру воды. На отдачу водой тепла промерзшему ложу указывают опыты [5], где показано, что величина оттаивания ложа определяется скоростью водного потока и временем его воздействия, вязкостью и температурой воды. А в [1 и др.] отмечается, что практически вся продукция турбулентности и её диссипация сосредоточены вблизи стенки. Нужно также иметь ввиду, что при таянии льда содержание карбонатов, сульфатов и хлоридов щелочных элементов и магния резко повышается в первых порциях расплава льда [9] и затем быстро снижается в последующих. Последние порции расплава имеют ничтожную концентрацию. Это связано с особенностями замерзания воды, с вытеснением химических соединений в наружные слои, которые замерзают последними, а оттаивают первыми.

Наши исследования показывают, что и при ливнях и при талом стоке при $Re > 5000$ максимальная глубина воды наибольшая (рис.6), как и при $Fr > 1$.

Выводы.

Диссипация энергии в склоновых водотоках выше, чем в реках.

Агрофон, тип почвы и тип снеготаяния оказывают влияние на величину диссипации энергии. Причем влияние агрофонов и типов почв для талого и ливневого стока отличается.



Режим и состояние потока на величину ε при талом и ливневом стоке влияют одинаково. Расходование тепла от диссипирующей энергии при талом стоке направленно преимущественно на оттаивание ложа ручейка, а при ливневом стоке – на протекание химических реакций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асланов П.В., Максимцев В.М.* Баланс энергии турбулентных потоков растворов поверхностно-активных веществ // Вісник Донецького ун-ту, сер.А: природничі науки, вип.1. 2000. С.93-97
2. *Будник С.В.* Измерение уклонов водной поверхности временных водотоков на склонах //Почвоведение, 1999. №5. С.585-586
3. *Будник С.В.* Оценка параметров турбулентности склоновых водотоков // Водные ресурсы. 2002. №3. С.319-321
4. *Будник С.В.* Некоторые принципы размещения противоэрозионных сооружений на склонах с учетом их пространственной устойчивости /В зб.:Агрохімія і ґрунтознавство. 2002. вип.63. С.103-110
5. *Гоголев Е.С., Красавин А.Н.* Определение коэффициента теплоотдачи на моделях ледяных русел // Метеорология и гидрология, 1982, №9. С.83-88
6. *Гринвальд Д.И., Никора В.И.* Речная турбулентность .-Л.:Гидрометиздат. 1988. 152с.
7. *Долгополова Е.Н.* Оценка энергетических характеристик речного потока //Водные ресурсы. 1999. т.26. №3. С.283-287
8. *Захаров Х.И.* Расчет диссипации энергии волн перемещений. // Доклады ВАСХНИЛ, 1986. №10. С.41-42
9. *Иванов А.В., Власов Н.А.* Влияние криогенных процес сов на формирование гидрокарбонатно-натриевых вод // Гидрохимические материалы. 1974. т.61. С.55-61
10. *Кропивницька Л.М., Перекупко Т.В., Максимович Г.Є. Блажівський К.І.* Вплив масового співвідношення між фазами та гідродинамічних умов на технологічні показники екстрагування хлориду натрію з гагіто-лангбейнітового

залишку калійних виробництв// Вісник Нац. Ун-ту „Львівська політехніка”, №447 „Хімія, технологія речовин та їх застосування”. 2002.С.12-15

11. *Левицкий Б.Ф., Леций Н.П.* Гідравліка. Загальний курс.-Львів: Світ. 1994. 264с.

12. *Люкин Б.А., Герасимов А.В., Крестулева Р.А., Люкин П.А.* Моделирование физико-механических процессов в неоднородных конструкциях.- Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2001. 272с.

13. *Мицхулава Ц.Е.* Основы физики и механики эрозии русел.- Л.:Гидрометеиздат. 1988. 304с.

14. *Никора В.И.* Речной поток как диссипативная система // Метеорология и гидрология. 1981. №12. С.84-88

DISSIPATION OF ENERGY ON SLOPE WATER-COURSES

Budnik S.V.

The article considers issues connected with amount and orientation of dissipation energy expenditure on slope water courses. The factors influencing upon dissipation of energy at snowmelt and storm runoff are determined.

ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ У СХИЛОВИХ ВОДОТОКАХ

Буднік С.В.

Розглядаються питання, що пов’язані з величиною та спрямованістю витрат енергії, що дисипує у силових водостоках. Визначаються фактори, що впливають на дисипацію енергії при талому та зливовому стоці.