

## ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ТАЛЫХ ВОД В ЖИТОМИРСКОМ ПОЛЕСЬЕ

Васенков Г.И.<sup>1</sup>, Будник И.П.<sup>1</sup>, Пициль А.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Житомирский национальный агроэкологический университет, Житомир, Украина (10008, г. Житомир, Старый бульвар, 7), e-mail: ecos@znau.edu.ua

Изучены закономерности формирования и параметры поверхностного стока в специфических природных условиях Полесья, где лесоаграрные ландшафты претерпели кардинальные изменения. Охарактеризованы параметры стока талых вод на разных угодьях и селитебных территориях. Экспериментальным путем для различных территорий и угодий получены коэффициенты стока. Выявлена высокая гидрологическая роль лесных насаждений, которые способны снижать сток до 30 мм по сравнению с агрофонами. Величины стока и его характер зависят от метеорологических условий и вида поверхностей. Дана статистическая и вероятностная оценка гидрологических рядов поверхностного стока с позиции их репрезентативности и достоверности. Изменчивость стока по годам имеет циклический, квазиколебательный характер с дискретными значениями. На основании вероятностной оценки поверхностного стока уточнена его классификация по характеру и размерам с определением повторяемости.

Ключевые слова: сток, бассейн, территория, ландшафт, пашня, лес, лесная полоса, динамика, вероятность, классификация.

## SNOWMELT RUNOFF SURFACE IN NATURAL AREA ZHYTOMYR POLISSYA

Vasenkov G.I., Budnik I.P., Pitsil A.O.

Zytomyr National agroecological University, 7, Stary Blvd, 10008, Zytomyr, Ukraine, e-mail: ecos@znau.edu.ua

The regularities of formation and runoff parameters in specific natural conditions Polessye where forest agricultural landscapes have undergone a sea change. Characterized parameters Snowmelt Runoff in different lands and residential areas. Experimentally for different areas and farmland runoff coefficient obtained. A high hydrological role of forest plantations, which are able to reduce the stock to 30 mm compared to soil fertility. Runoff and its nature depends on the meteorological conditions and the type of surfaces. Dana statistical and probabilistic assessment of hydrological series of surface runoff from the perspective of their representativeness and reliability. Flow variability data is cyclical, kvazikolebatelny character with discrete values. Based on probabilistic assessment of surface runoff refined its classification for the nature and extent of the definition of repeatability

Keywords: runoff, basin, grounds, arable land, landscape, forest, forest belt, hydrology, dynamics, probability, classification.

### Введение

Разнообразные процессы потоков (миграции) веществ и энергии в ландшафтах связаны между собой стоком. Поверхностный сток в первую очередь определяется гидрометеорологическими факторами, которые характеризуются нерегулярными колебаниями во времени и имеют сложную физическую природу. К тому же количественные значения стока имеют вероятностный характер. Поэтому гидрологические исследования должны быть многолетними и включать цикл лет из статистического минимума с похожими условиями проявления процесса стока и смыва в виде статистически достоверного гидрологического ряда.

Кардинально изменилось направление и характер использования аграрных ландшафтов. Системные наблюдения за поверхностным стоком непосредственно в лесоаграрных ландшафтах не проводятся. Все это и обосновывает необходимость

исследований вопросов формирования поверхностного стока, его количественных и качественных характеристик.

### **Цель исследования**

Целью исследований является экспериментальное изучение поверхностного стока и его оценка по соображениям количественных и качественных характеристик, на разных элементах лесоаграрных ландшафтов и сельских селитебных территорий.

### **Материал и методы исследования**

Экспериментальные исследования проводились в Житомирском Полесье на двух элементарных водосборах и стоковых площадках с различными угодьями и агрофонами, расположенными на территории Житомирской области.

Вероятностная оценка поверхностного стока талых вод проведена для двух агрофонов: пашни и уплотненной пашни (озимых) и леса на дерново-среднеподзолистых легкосуглинистых почвах. Для анализа использованы экспериментальные данные, полученные В.П. Стрельченко в 1981–1992 гг., Г.И. Васенковым (1992–2004 гг.) и нами (2005–2012 гг.).

Исследование стока талых вод проводилось исходя из общего уравнения водного баланса элементарного участка ландшафта. Составляющие водного баланса определяют гидродинамику стока:

$$W_c + W_l + P = S + I + W_p,$$

где  $W_c$  - запас воды в снегу перед снеготаянием;  $W_l$  - запас воды в ледовой корке;  $P$  - осадки за период стока;  $S$  – сток;  $I$  - инфильтрация в почву;  $W_p$  - запас влаги в активном слое почвы.

Методы расчета водного баланса традиционные. Уравнение водного баланса используется за период времени от снеготаяния до окончания стока. Техника эксперимента достаточно информативно описана ранее [1].

На стоковых площадках проводилось измерение высоты напоров (уровней потока) на тонкостенных водосливах с треугольным вырезом. Количественные параметры жидкого стока (расход, слой стока) рассчитывались по авторской программе *Rashod*.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Формирование поверхностного стока, его количественная и качественная характеристики являются сложными и зависят от многих биотических, абиотических и антропогенных факторов.

Большинство выполненных исследований поверхностного стока на Полесье фрагментарны, имеют эпизодический и единичный характер наблюдений [2; 4; 6].

Параметры поверхностного стока, закономерности его формирования в специфических природных условиях Житомирского Полесья остаются недостаточно изученными.

Нами проведено экспериментальное изучение поверхностного стока на различных агрофонах (многолетние травы, озимые, пашня), в лесных насаждениях и сельских селитебных территориях.

Элементы водного баланса и размеры вызванного поверхностным стоком талых вод в пределах элементарных водосборов представлены в таблице 1.

Осредненные данные наших наблюдений (1999-2012 гг.) о водном балансе свидетельствуют о том, что в целом сток с лесных насаждений меньше стока с многолетних трав (залежи). Разница между пашней и лесной полосой небольшая.

Таблица 1

Элементы водного баланса на разных элементах ландшафта (1999-2012 гг.)

Вариант	Запас воды в снеге, мм	Инфильтрация, мм	Поверхностный сток, мм	Коэффициент стока
Лес, состав - 8С 2Б, возраст 15 лет.	62±3,2	54±2,4	8±0,08	0,12±0,06
Лесная полоса 3р. Д 2р. С 1р. Б	68±4,3	47±1,9	21±1,23	0,31±0,18
Многолетние травы	49±2,7	10±1,3	39±1,21	0,79±0,12
Озимые	45±2,4	18±1,5	27±1,08	0,59±0,09
Пашня	43±3,1	35±2,1	16±1,07	0,37±0,11
Частный сектор с приусадебными участками	57±3,7	40±2,3	17,6±1,4	0,31±0,07
Сельские дороги с твердым покрытием	56±3,4	5,3±0,3	50,6±2,2	0,91±0,8
Территория свиного комплекса	49,6±	30±1,85	19,6±1,17	0,4±0,17

В период наших исследований на селитебных сельских территориях поверхностный сток наблюдался на всех элементарных водосборах. Наиболее высокий уровень стока характерен для дорог с различным покрытием. Он классифицируется как слишком сильный (коэффициенты стока более 0,8) при незначительной инфильтрации 3-7 мм на уличных дорогах и 7-13 мм на внутренних дорогах ферм. Наименьший сток наблюдался с территории свиного комплекса и приусадебных участков при коэффициентах 0,3-0,4. Начало весеннего стока с дорог наблюдается раньше, чем в границах сельских частных застроек и на других водосборах. В частном секторе из-за меньшего воздействия на снег инсоляции и химического загрязнения, а также наличия древесно-кустарниковой растительности снег тает значительно медленнее.

Для весеннего стока при метеорологических условиях, которые проявляются в Полесье, характерна суточная цикличность. Амплитуда суточных циклов стока, так же как и максимального весеннего стока, в пределах населенного пункта и дорог выше, чем в естественных условиях.

Как правило, места гидрологической разгрузки потока были связаны с улицами и дорогами, которые выходят к гидрографической сети, а также с искусственно созданными ложбинами, которые также являются коллекторами для сбора и отвода стока талых вод.

На величину поверхностного стока оказывают влияние множество природных факторов. Проведенные нами исследования показали, что изменчивость стока по годам имеет циклический характер (рис. 1).

При таких квазипериодических колебаниях определить и подвергнуть проверке численные характеристики многолетних периодических рядов, истинность их природы затруднительно, а в некоторых случаях не представляется возможным. Однако и отрицать их нельзя с позиций теоретических представлений о многолетних колебаниях стока как строго динамического процесса.

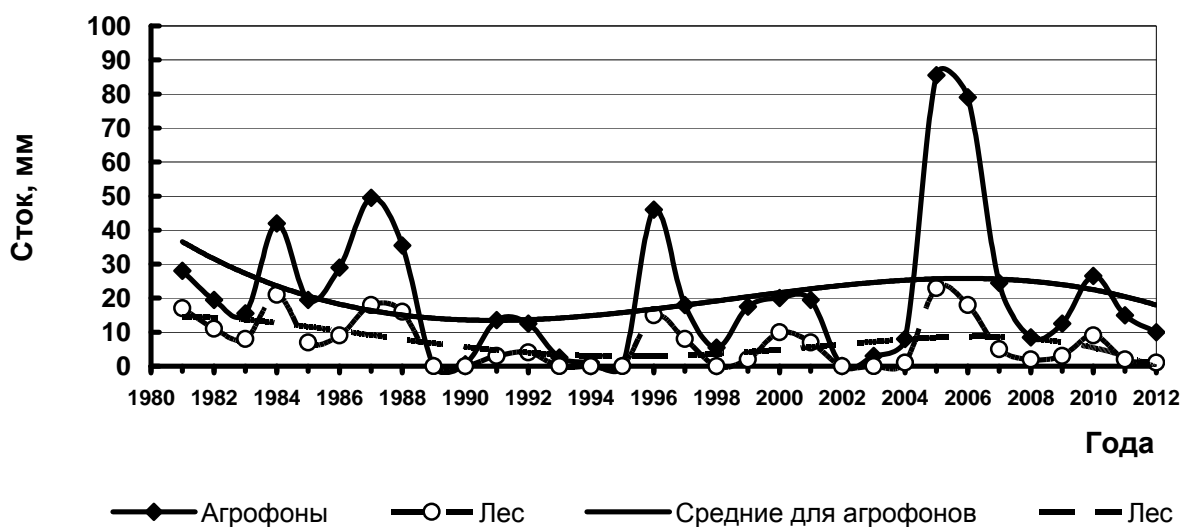


Рис. 1. Выровненные значения многолетних колебаний стока

Большинство исследователей считают, что происхождение цикличности стока вызвано внешними причинами [7]. Распространено мнение и о том, что это естественное свойство любой стационарной системы. Бесспорно и то, что сток является интегральной характеристикой многих геофизических, физико-географических, антропогенных факторов. Проанализировать все факторы с достаточной количественной информативностью практически невозможно из-за отсутствия численных показателей многих факторов. Поэтому анализ имеющегося ряда показателей величины поверхностного стока нами проведен методами теории вероятности и математической статистики.

Согласно 31-летнему ряду наблюдений на всех исследованных угодьях сток не формировался 6 лет (1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 2002). В лесу стока не было еще и в 1999, 2004, 2008, 2011 и 2012 годах. Экстремальные значения стока (50 мм) с уплотненной пашни (озимые) и пашни отмечены в 2004 и 2006 году, а на озимых и в 1984, 1987 и 1996 годах.

Экспериментальные данные величин стока за исследуемый период, вследствие вероятностного характера взаимодействий факторов, формирующих гидрологический процесс, имеют значительные колебания. Для выяснения существования закономерностей изменения поверхностного стока во времени (годовые смены) мы провели анализ гидрологических рядов по известным в математической статистике и широко применяемым в гидрологии способам (выравнивание и осреднение) [3].

Анализ показал очевидное общее снижение величин стока с 1981 по 1994 год на агрофонах и до 1998 года в лесу с 2-3-летними циклическими колебаниями. В дальнейшем постепенное увеличение до 2007 года и снова снижение до 2012 года. Цикличность колебаний сохраняется. Фактические величины стока дискретны с нулевыми значениями по ряду годов, отмеченных выше.

Синхронно изменяются обе кривые на агрофонах и в лесу. На высокую синхронность изменений указывает показатель сходства кривых:

$$C_x = n^+ * 100 / n - 1,$$

где  $n$  - число сопоставляемых величин;  $n^+$  - число интервалов, сходимых в тенденции изменчивости. Идеальная синхронность сравниваемых кривых имеет место при  $C_x = 100\%$ , асинхронность будет при  $C_x \leq 50\%$ .

Фактическая величина показателя сходства для анализируемых рядов (рис. 1) равна 71,9%, что свидетельствует о весьма высокой синхронности изменения величины поверхностного стока с агрофонов и леса.

Определение принадлежности исследуемых рядов величин стока к одной или разным выборкам провели посредством их статистической оценки, а также эмпирических и вероятностных характеристик (табл. 2).

Безразмерный статистический параметр ( $C_v$ ), который характеризует варьирование случайной величины во времени (96-103%), свидетельствует об очень высокой ее изменчивости по всем исследованным рядам.

Судя по ошибкам коэффициента изменчивости (3,08-3,34%), длина всех трех рядов достаточна, так как удовлетворяется известное в математической статистике условие - ошибка  $C_v < 10-20\%$ .

Многолетние ряды значений поверхностного стока не однородны и не принадлежат к одной совокупности, о чем свидетельствуют соответствующие статистические характеристики (табл. 2).

Полученные данные в наших исследованиях о средней величине поверхностного стока из-за большой их вариабельности по годам имеют вероятностный характер, как и другие гидрологические характеристики. Представляет интерес их вероятностная оценка, которая дает возможность оценить величину поверхностного стока в разные по водности годы: в маловодные и многоводные различной обеспеченности или повторяемости (в среднем один раз в N лет). Сток различной повторяемости определялся по кривым обеспеченности. Следует отметить, что для Полесского региона такие исследования нами проведены впервые.

Таблица 2

Статистическая оценка гидрологических рядов поверхностного стока весеннего половодья  
(n=32)

Показатели	Поверхность (агрофон)		
	Пашня	Озимые	Лес
Среднее значение, мм	16,3	25,4	6,9
Ошибка среднего, %	0,1711	0,1747	0,1822
Коэффициент изменчивости ( $C_v$ )	0,9682	0,9885	1,0310
Ошибка $C_v$ , %	3,34	3,08	3,22
Коэффициент асимметрии ( $C_s$ )	1,9364	1,625	2,062
Соотношение $C_s / C_v$	2,00	1,644	2,00
Критерий Стьюдента (озимые и пашня)	$t_{\text{факт}}=37,07$ $t_{05}=2,042$		
Критерий Стьюдента (среднее - агрофоны и лес)	$t_{\text{факт}}=16,07$ $t_{05}=2,042$		

Значения стока в виде эмпирических кривых экстраполированы в теоретические кривые его распределения на статистически достоверном уровне (рис. 2).

На основе рассчитанных теоретических кривых обеспеченности (рис. 2) определены значения стока талых вод различной вероятности и проведена его оценка (табл. 3). Характеристика поверхностного стока, название категорий принадлежащих ему величин приняты по классификации [8].

Средние значения стока (50% обеспеченности), который бывает раз в 2 года, характеризуются для озимых как «умеренный» (21÷40 мм), а для пашни и леса как «слабый» (8-20 мм). Для сильного стока 41÷75 мм на агрофонах присуще широкое варьирование по обеспеченности от 5 до 20% с повторяемостью от одного раза в 20 лет до одного раза в 5 лет, а категория «слабого» стока в лесу варьирует от одного раза в 10 лет до одного раза в 2 года.

Чрезвычайно сильный сток за период наших исследований отсутствовал. Поэтому классификация Г.П. Сурмача [5] не очень информативно и объективно отражает

количественные характеристики поверхностного стока в условиях наших исследований. Исходя из реальных условий наших исследований предлагается характеристика стока по категориям согласно таблице 3.

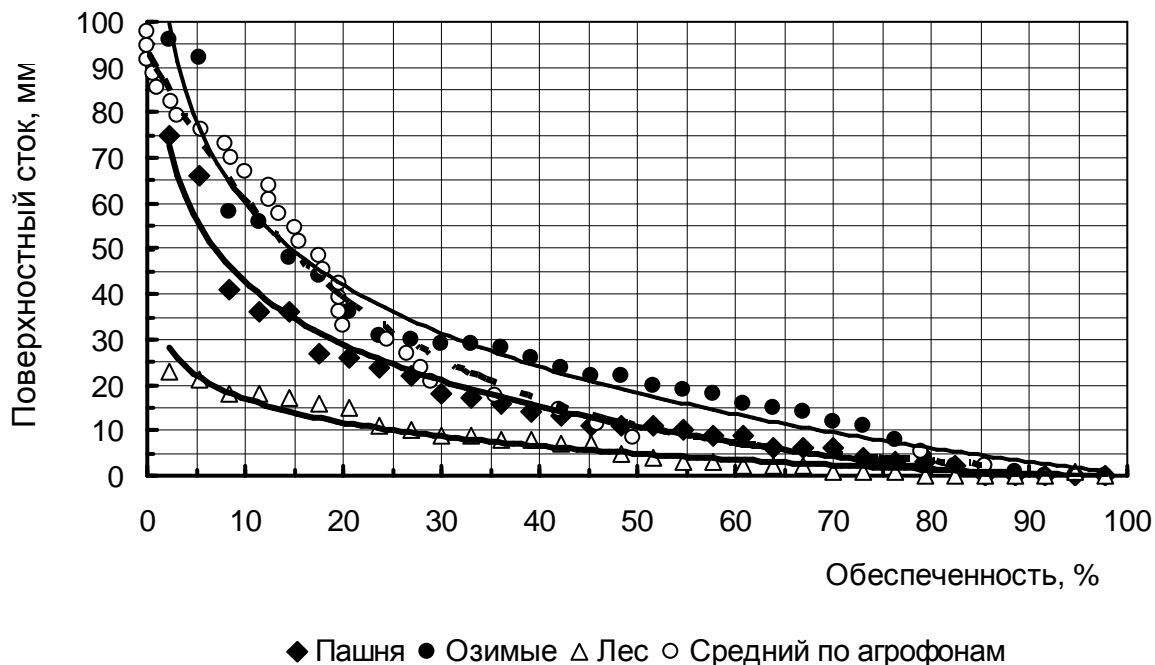


Рис. 2. Теоретические кривые распределения стока за 32-летний период

Таблица 3

Поверхностный сток весеннего половодья и его вероятностные характеристики

Характеристика стока (категория / слой, мм)	Обеспеченность, %			Повторяемость, один раз в n лет		
	Озимые	Пашня	Лес	Озимые	Пашня	Лес
За классификацией Г.П. Сурмача [7]						
Очень слабый / до 7	71	61	36	3,4	2,5	2,7
Слабый / 8-20	70-46	62-31	35-7	3,3-2,2	2,6-3,2	2,8-14,2
Умеренный / 21-40	45-22	30-12	6-2,5	2,2-4,5	3,3-8,3	16,6-40
Сильный / 41-75	21-6	11-2,5	-	4,7-16,6	9,1-40	-
Очень сильный / 76-115	5-2,5	-	-	20-40	-	-
Чрезвычайно сильный / > 115	-	-	-	-	-	-
Принятые в наших исследованиях для условий Полесья						
Слабый / до 5	87 i >	68 i >	50 i >	4,5	3	2
Умеренный / 6-10	85-67	67-55	49-25	6,6-3	2,7-1,8	2,1-4
Средний / 11-30	66-32	54-20	24-2,5	2,9-3,1	2,1-5	4,1-40
Сильный / 31-50	31-15	19-6	-	3,2-6,7	5,3-16,7	-
Очень сильный / 51-100	14-2,5	5-2,5	-	7,1-40	20-40	-

## Заключение

Выполненные экспериментальные наблюдения за поверхностным стоком талых вод с элементарных водосборов на различных элементах ландшафтов и сельских селитебных территорий показали высокий стокорегулирующий эффект лесных насаждений, которые обеспечивают сокращение слоя стока в среднем на 9–30 мм. Лесные полосы повышают инфильтрационную способность стокообразующих фонов - уплотненной пашни (многолетние травы и озимые) и стокопоглощающих - зябь в среднем за год соответственно на 35 и 10 мм. Чрезвычайно сильный сток в метеорологических условиях Полесья по категориям принятых классификаций (> 115) не наблюдается при обеспеченности 2 и менее %. Полученные эмпирические кривые распределения поверхностного стока талых вод позволяют выполнять надежные гидрологические расчеты при прогнозировании и проектных работах.

### Список литературы

1. Гаршинев Е.А., Васенков Г.И. Методологические основы моделирования эрозионно-аккумулятивного процесса при стоке талых вод в полевом эксперименте // Науч. тр. ВНИАЛМИ. — 1987. — Вып. 11 (90). - С. 125-132.
2. Долгилевич М.И., Васенков Г.И. Миграция радионуклидов на сельскохозяйственных водосборах притоков Днепра // Проблемы экологической оптимизации землепользования и водохозяйственного строительства в бассейне р. Днепр : материалы Межрегион. науч. конф. — Вып. 1. – Ч. 1. - Киев, 1992. – С. 108-112.
3. Слуцкий Е.Е. Сложение случайных причин как источник циклических процессов : избр. тр. — М. : Изд-во АН СССР, 1960. — 492 с.
4. Стрельченко В.П. Грунтово-екологічні основи системи землеробства Полісся України : автореф. дис. ... докт. с-г. наук. — Киев, 1994. — 48 с.
5. Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. - Л. : Гидрометеиздат, 1976. - 253 с.
6. Тарарико А.Г. Агроэкологические основы почвозащитного земледелия. – Киев : Урожай, 1990. — 184 с.
7. Шелутко В.А. Статистические модели и методы исследования многолетних колебаний стока. — Л. : Гидрометеиздат, 1984. — 160 с.

### Рецензенты:

Будник С.В., д.г.н., профессор кафедры мониторинга окружающей среды Житомирского национального агроэкологического университета, г. Житомир.

Гузий Анатолий Илькович, д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой эксплуатации лесных ресурсов Житомирского национального агроэкологического университета, г. Житомир.