

УДК: 631.6.02

**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРИСУТОЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ОСАДКОВ ПО ДАННЫМ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМЕНИ  
В.А. МИХЕЛЬСОНА**

*И.А. Кузнецов<sup>1</sup>, В.В. Ильинич<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Российский государственный аграрный университет - МСХА имени  
К.А. Тимирязева, Москва, i.kuznecov@rgau-msha.ru*

**Аннотация:** *статья посвящена исследованию характеристик неравномерности внутрисуточного распределения ливневых осадков, способных вызвать водную эрозию почв.*

**Ключевые слова:** *интенсивность осадков, плювиограммы, водная эрозия, поверхностный сток.*

**Актуальность.** Комплексные исследования внутрисуточного распределения интенсивности атмосферных осадков в тёплое полугодие обуславливаются необходимостью использования более детальных характеристик ливневых осадков в современных моделях типа «осадки-сток». Они способствуют более детальному расчёту характеристик дождевого стока, которые позволяют уточнить степень водной эрозии на сельскохозяйственных полях, и их актуальность диктуется особенностями современных изменений климата.

В мировой практике сельского хозяйства по-прежнему имеются большие потери почв за счёт их эрозии поверхностным стоком [1-7]. В России, как и во многих странах мира, основой расчётов нормативных максимальных расходов воды поверхностного стока, влияющих на степень дождевой водной эрозии почв, являются максимальные суточные осадки, что отражено в ряде работ и нормативных документов [1-7]. При этом практически не рассматривается системно распределение интенсивности осадков в пределах суток. Такой подход во многом обусловлен материалами наблюдений за осадками, в которых существенно преобладают данные суточных наблюдений по осадкомеру, а данные в виде гиетогографов с плювиографа (график суммы осадки с десятиминутной дискретностью) не используются. Однако всё чаще обращается внимание на необходимость использования часовых интервалов

для более точных прогнозов и расчётов степени эрозионных процессов на основе моделей типа «осадки-сток» [9—13].

**Объекты и методы исследования.** Основой для исследований послужили данные наблюдений Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, которая обладает уникальными материалами, включающими в себя плювиограммы дождей с 10-минутной дискретностью за период с 1973 по 2023 гг., на примере которых можно достаточно объективно рассмотреть подход к оценке основных характеристик внутри-суточных колебаний ливневых дождей.

Согласно исследованиям [4, 7, 8, 12, 13], во многих странах мира было условно принято, что чувствительные эрозионные процессы и затопления территории начинаются только после дождей с суммой суточных осадков более 10 мм, и в данном случае нет весомой альтернативы принятию такой гипотезы. Для проведения анализа было отобрано 374 оцифрованных плювиограммы с суммарными осадками за сутки 10,0 мм и более. Из выбранных гигетографов формировались ряды интенсивности осадков (мм/час) с 1-часовой дискретностью, которые вычислялись на основании 10-минутных показаний с ленты плювиографа. Если осадки продолжались и в последующие сутки (после снятия ленты с плювиографа), они считались непрерывными и принимались к обработке в пределах одной плювиограммы. При этом следует особо заметить, что максимальная практически непрерывная продолжительность дождей оказалась равной 22 часам, что в некотором смысле подтверждает обоснованность выбора суточных осадков как основу для расчётов дождевого поверхностного стока, вызывающего эрозию почв.

Статистические характеристики внутрисуточного хода осадков определялись на основе подготовленных специальным образом статистических рядов. Часовые максимумы из каждой плювиограммы, имеющей индекс  $k$  ( $k=1\div 374$ ), были совмещены относительно максимального часового значения таким образом, чтобы все максимумы были на 12-ой позиции (среди всех рассмотренных плювиограмм не оказалось таких, где перед часовым максимумом было бы больше 11 часов с осадками), при этом индекс  $i$  искусственно изменялся на индекс  $j$ . Таким образом каждый часовой максимум в  $k$ -ой плювиограмме имел соответствующую индексацию  $X_{j=12,k}$ .

На основании использованного ряда величин  $X_{j,k}$  были рассчитаны статистические характеристики (среднее, коэффициент вариации и наблюдаемый максимум) по максимальным осадкам за час (выбирались максимальные часовые ординаты из каждой наблюдаемой плювиограммы  $X_{j=12,k}$ ). Такие же процедуры были проведены относительно предыдущих

часовых значений  $X_{j=11,k}$  и  $X_{j=10,k}$ , а также последующих  $X_{j=13,k}$  и  $X_{j=14,k}$ . Такой подход обусловлен тем, что согласно визуальной оценке пювиограмм было очевидно, что основной объём осадков выпадал преимущественно в течение 3 часов, включающих в себя и час с максимальными осадками.

**Обсуждение результатов.** Проведённый анализ данных показал, что при одном и том же значении суточного слоя осадков на пювиограммах могут быть существенные различия во внутрисуточном распределении осадков. Несомненно, это приводит к различным последствиям в формировании поверхностного стока и, соответственно, к различной степени водной эрозии почвенного покрова.

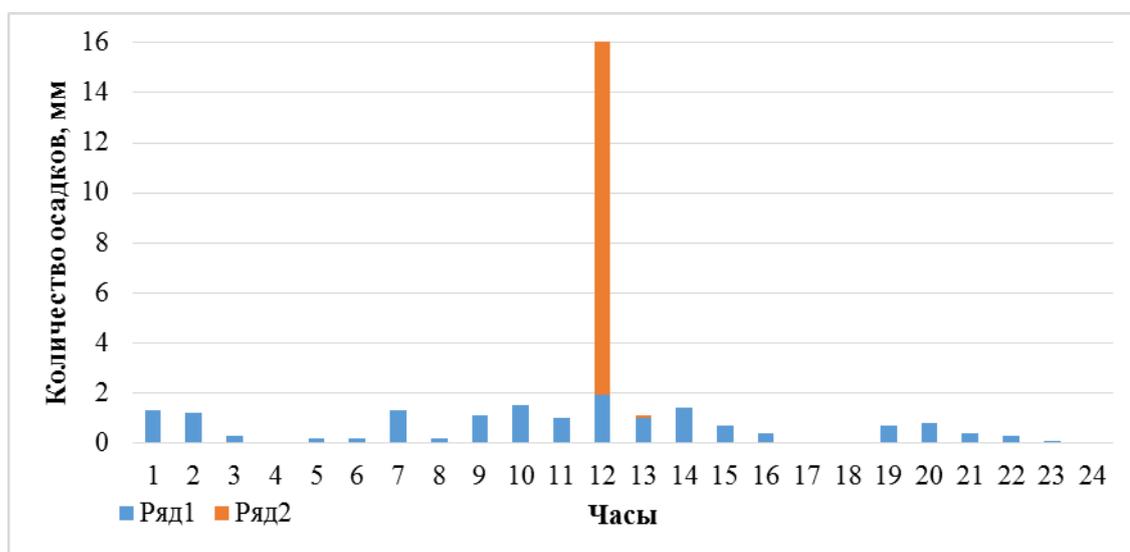


Рис 1. Две пювиограммы с суточным слоем осадков, равным 18 мм

Так, из рис. 1 видно, что при одинаковых суточных осадках, составляющих 18 мм, в первой пювиограмме (ряд 1) максимальная часовая интенсивность осадков составляет менее 2 мм/час, которая, в целом, не приводит к существенной эрозии почв. При этом во втором варианте практически все осадки выпали в пределах одного часа, а их интенсивность практически в 9 раз выше. При такой интенсивности осадков заведомо будет иметь место существенный процесс водной эрозии.

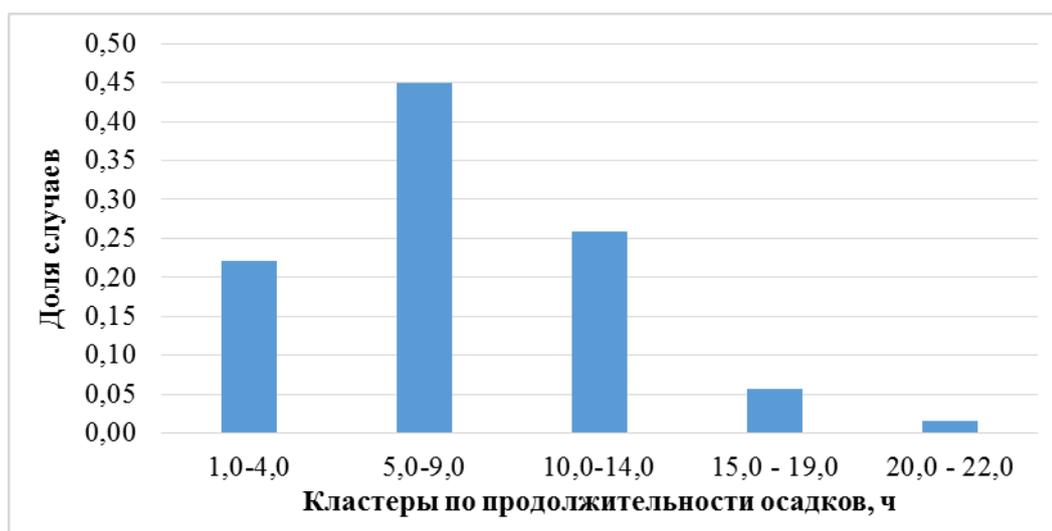


Рис. 2. Долевое распределение продолжительности осадков по кластерам времени

В рабочей статистической выборке суточных осадков при искусственно ограниченном нижнем пределе, равном 10,0 мм, максимальные часовые суммы осадков варьировались от 2,0 до 31,4 мм. Суммарная продолжительность осадков в течение суток также имеет существенные различия — от 1 часа до 22 часов. Гистограмма распределения продолжительности осадков в течение одних суток представлена на рис. 2.

При анализе 374 плювиограмм было также выявлено, что процентная доля суммы всех осадков за максимальный час ( $X_{j=12}$ ) к общей сумме всех осадков составила 43%. Соответственно за 3 смежных часа ( $X_{j=11}$ ,  $X_{j=12}$  и  $X_{j=13}$ ) такая доля составила уже 63%, а за 5 часов ( $X_{j=10} \div X_{j=14}$ ) 73%. За пределами рассмотренного периода в 3 часа, и, тем более, периода в 5 часов, часовые осадки были совсем незначительны, и, как правило, их интенсивность не превышала 2 мм/час. Традиционные статистические характеристики основных элементов плювиограмм приведены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические характеристики основных элементов плювиограмм

Характеристики	Часовые характеристики осадков				
	$X_{j=10}$	$X_{j=11}$	$X_{j=12}$	$X_{j=13}$	$X_{j=14}$
Среднее, мм	0,73	1,50	6,97	1,73	0,91
$C_v$	1,63	1,03	0,71	1,02	1,47
Максимум, мм	6,71	6,90	31,39	8,88	7,42

Очевидно, что изменчивость всех рассмотренных характеристик, оцениваемая коэффициентом вариации ( $C_v$ ), является существенной. Среди часовых интенсивностей осадков наименьшее значение  $C_v$  — у максимальных

часовых осадков, и, по мере удаления часовых интервалов от часа с максимальной их интенсивностью, изменчивость увеличивается. Такой факт тоже можно считать подтверждением того, что концентрация ливневых осадков в пределах рассмотренных 3—5 часов имеет существенное превышение над интенсивностью осадков в другие часы суток.

**Заключение.** С помощью методов статистического анализа получены результаты, которые позволяют нам утверждать, что режим выпадения ливневых дождей в течение суток исключительно разнообразен. В Московском регионе в большинстве случаев штормовые осадки, вызывающие ощутимую эрозию почв, имеют существенную интенсивность в пределах 3—5 часов.

При использовании максимальных суточных осадков в формулах и моделях мы получаем один единственный вариант максимального суточного расхода, не имея гарантии, что он самый неблагоприятный для эрозии почв. Моделируя множество вариантов ливневых осадков для моделей поверхностного стока с часовой дискретностью, можно выявить наиболее неблагоприятный сценарий их выпадения относительно эрозионных процессов для конкретного водосбора или сельскохозяйственного угодья. Такой сценарий при моделировании поверхностного стока может быть обусловлен уклоном водосбора, видом почв и растительности на нём, его ориентацией по отношению к линии прохождения атмосферного фронта и т.д.

С помощью современных моделей по типу «осадки-сток» имеется возможность учитывать разнообразные сценарии ливневых осадков с часовой дискретностью и на их основе более детально рассчитывать степень водной эрозии почв, что обусловлено, в том числе, и необходимостью адаптации к наблюдающейся интенсификации ливневых осадков.

Подход к выявлению всевозможных сценариев ливневых осадков на основе многолетних данных обсерватории В.А. Михельсона может быть реализован для других регионов на основе данных плювиографов с ближайших метеостанций.

### **Библиографический список**

1. СП 33 – 101 – 2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М. 2004 с. 70.
2. СП 131.13330.2020. Свод правил Строительная климатология. 2020. С.109.
3. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на европейской территории СССР. Ленинград : Гидрометеиздат, 1979.С.62.

4. Мирцхулава Ц.Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. Изд-во «Колос». М. 1970. 350 с.
5. Бондаренко Ю.В. Эрозионно-гидрологическое обоснование систем адаптивно-ландшафтных мелиораций водосборов. Саратов, 2002. 184 с.
6. Кочетов И.С., Белолюбцев А.И., Чебаненко С.И., Григоров А.А. Влияние почвозащитных приемов обработки на динамику, состав органического вещества почвы и формирование урожая сельскохозяйственных культур // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 3. С. 24-26.
7. R.P.C. Morgan. — 3rd ed, National Soil Resources Institute, Cranfield University, 2005, P.303.
8. Statistical methods in the Atmospheric Sciences / Ed. R. Dmowska, D. Hartman, H.T. Rossby // Inter. Geoph. Series. - 2011-Vol. 1 - Oxford, OX51GB, UK. - 668 p.
9. Ильинич В.В., Перминов А.В., Наумова А.А. Оценка влияния климатических характеристик и ландшафтных изменений на максимальный сток малых водосборов. Вестник МГСУ. 2021, Том 16, выпуск 9, С. 1228-1235.
10. Kuznetsov, I. Stochastic modeling of storm precipitation scenarios. A: IAHR Young Professionals Congress. "Proceedings of the 1st IAHR Young Professionals Congress". 2020, p. 70-71. ISBN 978-90-82484-6-63.
11. Lenderink G., van Meijgaard E. 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. Nat. Geosci., 1, p. 511–514.
12. V. Ilinich, E. Akulova, V. Belchihina and K. Ponomarchuk. Estimation of Statistical Characteristics for Storm Precipitation with Long-term Data to Assess Climate Change. Journal of Climate Change, Vol. 2, No. 2 (2016), pp. 83–87. DOI 10.3233/JCC-160019.
13. Zolina, O., C. Simmer, A. Kapala, P. Shabanov, P. Becker, H. Maechel, S. K. Gulev, P. Groisman, 2014: New view on precipitation variability and extremes in Central Europe from a German high resolution daily precipitation dataset: Results from STAMMEX project. Bulletin of Amer. Met. Soc., 96, doi:10.1175/BAMS-D-12-00134.1.

**DAILY DISTRIBUTION OF EROSION-HAZARDOUS PRECIPITATION  
CHARACTERISTICS ESTIMATION BASED ON THE DATA PROVIDED  
BY THE METEOROLOGICAL OBSERVATORY NAMED AFTER V.A.  
MIKHELSON**

I.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, V. Ilinich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, i.kuznecov@rgau-msha.ru

*Abstract: The article is devoted to the study of irregularity characteristics of daily storm precipitation distribution capable of causing water erosion of soils.*

*Keywords: precipitation intensity, rain gauge charts, water erosion, surface runoff.*