

## Паводки на реках Русской равнины: случайность или закономерность?

М.Б. Киреева<sup>1\*</sup>, Е.П. Рец<sup>2</sup>, А.Л. Ентин<sup>1</sup>, Н.Л. Фролова<sup>1</sup>, Т.Е. Самсонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва

\*Kireeva\_mb@mail.ru

**Аннотация.** Вклад паводков в сток рек Русской равнины и их роль в формировании водного режима традиционно считалась незначительной с учетом преобладания снегового питания и многократного превышения расходов весеннего половодья над паводочными. В настоящее время масштабы изменения типового гидрографа рек Центральной и Южной части Европейской России проявляются настолько существенно, что роль паводочного стока становится гораздо более заметной. В данной работе представлены оценки характеристик стока зимних и летне-осенних паводков, полученные с помощью применения автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа GrWat для 50 водосборов крупных и средних рек. Показаны тенденции, которые наблюдаются за последние десятилетия в изменении характеристик дождевых и оттепельных паводков, в том числе их объемов, максимальных расходах и числе паводочных пиков.

**Ключевые слова:** паводки, водный режим рек, Русская равнина, сезонный сток рек, изменения климата.

## Occasional floods on the rivers of the Russian Plain: chance or regularity?

M.B. Kireeva<sup>1\*</sup>, E.P. Rets<sup>2</sup>, A.L. Entin<sup>1</sup>, N.L. Frolova<sup>1</sup>, T.E. Samsonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia

\*kireeva\_mb@mail.ru

**Abstract.** The contribution of occasional floods to the runoff of the rivers of the Russian Plain and their role in the formation of the water regime has traditionally been considered insignificant given the predominance of snow supply and the multiple excesses of spring flood over rain and thaw peaks. At present, the scale of changes in the typical hydrograph of the rivers of the Central and Southern parts of European Russia is so significant that the role of occasional floods becomes much more noticeable. This paper presents estimates of the runoff characteristics of winter, summer and autumn floods, obtained using an automated algorithm for the hydrograph separation (GrWat). It was applied for 50 catchments of large and medium rivers. The trends are shown that have been observed over the past decades in changing the characteristics of rain and thawing floods, including their volumes, maximum discharge rates and the number of flood peaks.

**Keywords:** occasional floods, hydrological regime, Russian Plain, seasonal runoff, climate change.

## **Введение**

Изучение паводочного стока являются исключительно важной проблемой, потому что именно чаще всего именно с паводками связаны наиболее разрушительные наводнения в различных регионах мира [5]. Анализ зарубежных исследований показывает, что за последние десятилетия водный режим рек не только Европейской территории России (ЕТР), но и других рек Восточной и Западной Европы претерпевает значительные изменения по своему характеру и структуре. Так, например, согласно статье [1], на реках Альпийско-Карпатского региона наблюдаются существенные изменения процессов формирования наводнений, обусловленных дождевыми паводками. Происходит возрастание роли осенних паводков по сравнению с летними в доле от общего объема паводочного стока. Таким образом, за счёт увеличения объема осенних паводков фактически, наблюдается снижение летнего стока. Согласно исследованиям, проведенным в 2009 г. [2], в западной и центральной Германии преобладают зимние паводки, в северной и восточной – процент весенних и летних паводков выше, в южной – пик паводочного сезона приходится на лето. Анализ тенденций развития паводков выявил большие изменения для зимних паводков, нежели для летних, также, опираясь на работы других исследователей [3], было выявлено, что наблюдаемые изменения в формировании паводков вызваны климатическими факторами. Таким образом, более мягкие зимы и более частые дожди, могут вызывать увеличение доли зимних паводков в течение года в целом для всей Западной Европы.

Авторами многих исследований отмечается, что за последние несколько десятилетий участились наводнения, связанные с изменением паводочного стока, вклад которого в структуру водного режима рек становится все более значительным. Многие исследования основываются на описании сезонных паводков, вызвавших наводнения, которые нанесли значительный ущерб инфраструктуре городов, и анализе вызвавших их факторов и причин [4].

Исключительно важным является исследование зимних паводков на реках Белоруссии [6], поскольку это пограничный с Россией регион. Полученные результаты перекликаются с тенденциями роста расходов зимних паводков на реках Центральной России и северо-запада. Авторами выявлены статистически значимые увеличения максимальных расходов воды зимних паводков на 10 из 30 исследуемых рек. Авторы связывают эти тенденции в основном с возрастанием роли западного типа циркуляции атмосферы согласно классификации Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирсом.

Исследования, проводимые коллективом авторов в последние десятилетия, также показывают увеличение роли паводочного стока в водном режиме рек Русской равнины [7]. В данной работе приводится первое обобщение полученных тенденций на пространственном масштабе региона.

## **Материалы и методы исследования**

В качестве исходной информации используются ряды значений суточных расходов воды за период наблюдений с 1936 по 2015 гг. На этапе подготовки данных на ЕТР отбирались крупные и средние реки с площадью бассейна от 2 тыс. км<sup>2</sup> до 50 тыс. км<sup>2</sup>, кроме того, расчеты проводились для отдельных замыкающих створов крупных рек с площадью водосбора от 150 до 250 тыс. км<sup>2</sup>. Средние реки использовались для оценки фоновых изменений водного режима, а замыкающие створы крупных рек – для изучения трансформации характеристик стока и водного режима крупных речных бассейнов. В итоге для ЕТР было выбрано 45 постов, расположенных в регионах с различными условиями формирования стока, приоритет отдавался постам с наиболее полными рядами гидрологических данных. Для отобранных створов были подготовлены исходные данные для расчетов, включающие в себя непрерывный ряд расходов воды, с пропусками, заполненными значением -999.

В качестве основного метода обработки исходных данных использовался алгоритм автоматизированного расчленения гидрографа GrWat [7]. В результате его применения за каждый день водохозяйственного года были получены 4 генетические компоненты стока: базисная, талая снеговая (основной волны половодья), талая снеговая (оттепельных пиков за зимний период) и дождевая.

Для каждого поста в результате были получены все показатели, характеризующие сезонный сток и характерные расходы воды за период весеннего половодья, летне-осенней межени, зимней межени. Для паводочного стока было рассчитано 14 показателей (Табл.). В общей сложности было проанализировано 1680 гидрографов. Несмотря на всю универсальность предложенного алгоритма, для 45 гидрографов (2,7 % от общего числа) наблюдаются ошибки расчленения. В целом это очень хороший результат, с учетом того, что для каждого поста параметры подбирались на весь период наблюдения одинаковые, в этом состояла задача и объективность анализа. Характеристики паводочного стока рассчитывались за два сезона: летне-осеннюю межень (конец совпадает с устойчивым переходом температуры воздуха к отрицательным значениям в течение 5 дней) и зимнюю межень.

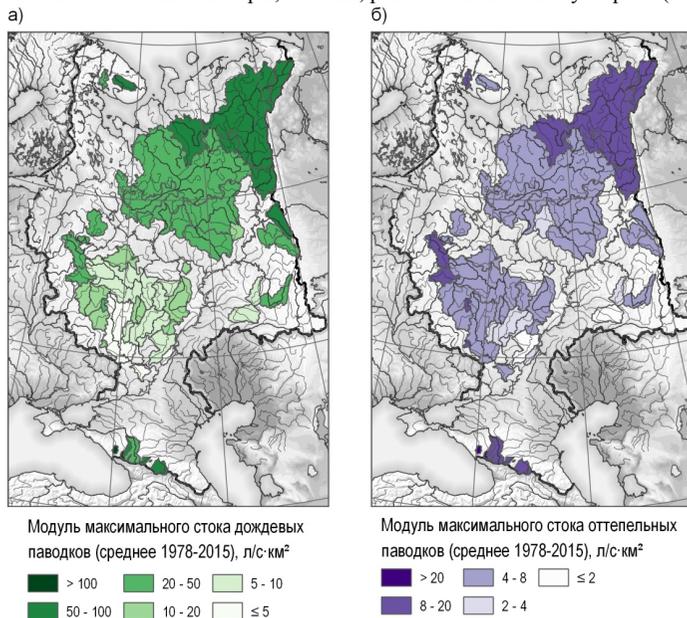
**Табл. Перечень показателей в выходном файле программы GrWat.**

Группа	№	Название	Единицы измерения	Описание параметра
Характерные объемы стока	1	Wpavs1	км <sup>3</sup>	Объем дождевого стока вместе с объемом грунтовой составляющей стока
	2	Wpavs2	км <sup>3</sup>	Объем дождевого стока без грунтовой составляющей
	3	Wpavthaw1	км <sup>3</sup>	Объем оттепельного стока вместе с объемом грунтовой составляющей стока
	4	Wpavthaw2	км <sup>3</sup>	Объем оттепельного стока без грунтовой составляющей
паводочные максимумы	5	Qmaxpavs	м <sup>3</sup> /с	Максимальный расход дождевых паводков
	6	datemaxpavs	дата	Дата максимального расхода дождевых паводков
	7	Qmaxpavthaw	м <sup>3</sup> /с	Максимальный расход оттепельных паводков
	8	datemaxpavthaw	дата	Дата максимального расхода оттепельных паводков
	9	DaysPavsSum	дни	Количество дней с паводками в летне-осенней межени
	10	DaysThawWin	дни	Количество дней с паводками в зимней межени
	11	CvWin	безразм.	Относительная изменчивость расхода воды в зимнюю межень
	12	CvSum	безразм.	Относительная изменчивость расхода воды в летнюю межень
	13	CountPavs	число	Количество дождевых паводков
	14	CountThaws	число	Количество оттепельных паводков

## Результаты и выводы

Формирование паводков на реках стало наблюдаться практически ежегодно для большинства рек Европейской России. Причем в последние десятилетия паводки наблюдаются практически в любой гидрологический сезон года. Временные изменения характеристик паводочного стока выражаются в основном в увеличении максимальных расходов дождевых паводков и росте объема паводочного стока наряду с базисной составляющей, повышенные величины которой обуславливают благоприятные условия для формирования паводков.

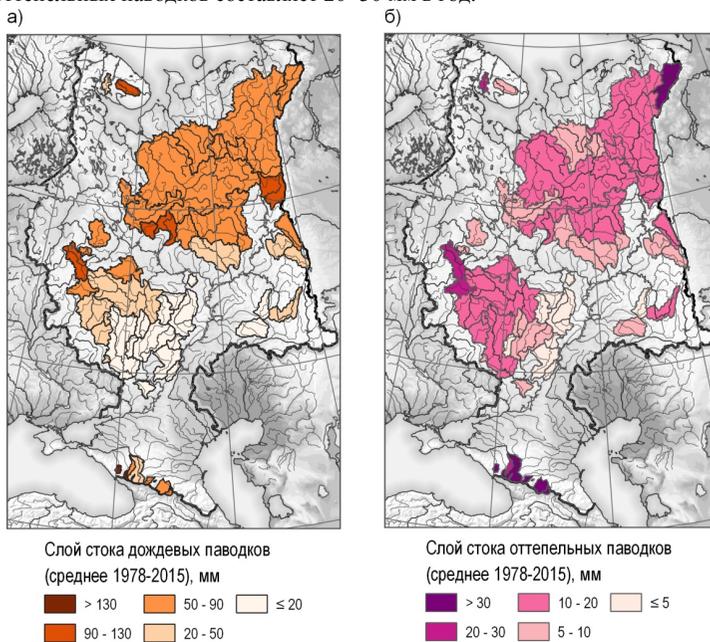
В результате полученных обобщений были построены серии карт характеристик паводочного стока рек ЕТР. Максимальный модуль стока дождевых паводков меняется согласно законам географической зональности, наибольшие значения для равнинных рек наблюдаются на севере Европейской России и составляют более  $50 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  в бассейне Печоры, Мезени, реках Кольского полуострова (Рис. 1).



**Рис. 1** Максимальный суточный модуль стока дождевых (а) и оттапельных (б) паводков за 1978-2015 гг.

Этот максимум соответствует климатическому гребню стока. Наиболее высокие величины характерны для рек бассейна Печоры и Камы, берущих начало с западных склонов Урала. Интересной особенностью являются высокие значения от 20 до  $50 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  в бассейнах рек Верхней Волги и Верховьях Оки. Значения модуля оттапельного стока на порядок ниже значений дождевого, кроме того, они имеют несколько иную пространственную закономерность. Наибольшие значения также характерны для Северо-Востока региона и Кольского полуострова. Высоким модулем оттапельного стока обладают реки бассейна Верхней Волги (Рис. 1), здесь он составляет более  $10 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ . На реках Северного Кавказа значения максимального модуля стока дождевых паводков достигает более  $100 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  на западе.

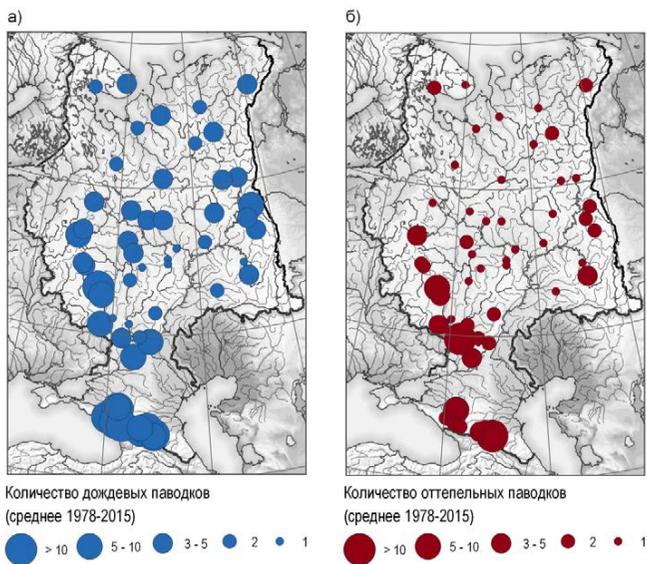
Слой стока дождевых и оттепельных паводков меняется по территории плавно и практически полностью соответствует изменениям континентальности климата. Выделяются орографические формы рельефа – Валдайская возвышенность, склоны Урала, где слой паводочного стока доходит до 80 мм в случае дождей и до 30 мм в случае оттепелей (Рис. 2). На Северном Кавказе слой стока дождевых паводков близки к наблюдаемому на реках Русского Севера: 50-90 мм, при этом в пределах водосборов небольших рек его значение может превышать 130 мм. В последние десятилетия заметно повышенный оттепельный сток имеют реки Центральной России. Здесь слой стока оттепельных паводков составляет 20 -30 мм в год.



**Рис. 2 Слой стока дождевых (а) и оттепельных (б) паводков за 1978-2015 гг.**

Исключительно интересным показателем является количество паводков, в среднем наблюдаемое на реках. Число дождевых пиков меняется от 1 до более, чем 10 в зависимости от географического положения водосбора. Самое большое количество локальных дождевых максимумов имеют реки западной половины ЕТР, левобережные притоки Верхней Волги – реки Кострома, Унжа и Ветлуга, а также реки Северного Кавказа. Число оттепельных максимумов четко делит ЕТР на западную и восточную половины. В западных частях бассейна Оки, Верхней Волги, Дона и на Северном Кавказе оно доходит до 5-8 и более (Рис. 3), в восточной – редко превышает 1. Лишь левобережные притоки Камы, берущие начало со склонов Южного Урала характеризуются 2-3 оттепельными пиками.

Подводя итог, можно сказать, что паводочный сток на современном этапе играет гораздо большую роль в формировании водного режима рек региона, во многом прохождение паводков приводит к росту базисной составляющей стока, который в свою очередь создает благоприятные условия для формирования паводков.



**Рис. 3** Количество случаев дождевых (а) и оттепельных (б) паводков за 1978-2015 гг.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 19-77-10032.

#### **Acknowledgments**

The work was supported by Russian Science Foundation Grant № 19-77-10032.

#### **Список литературы**

1. J. Parajka, S. Kohnová, G. Bálint, M. Barbus, M. Borga, P. Claps, S. Cheval, A. Dumitrescu, E. Gaume, K. Hlavc'ová, R. Merz, M. Pfaundler, G. Stancalie, J. Szolgay, G. Blöschl Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine–Carpathian range // *Journal of Hydrology* 394, 2010, P. 78–89
2. Beurton S., Thielen A. Seasonality of floods in Germany // *Hydrological Sciences Journal* Vol. 54, Iss. 1, 2009
3. Petrow, T., Merz, B. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951 – 2002// *Journal of Hydrology*, 371, 2009, P. 1-4, 129-141
4. Marsh, T. J.; Hannaford, J. The summer 2007 floods in England and Wales – a hydrological appraisal. Wallingford, Centre for Ecology and Hydrology, 2007, 30 p.
5. Günter Blöschl, Julia Hall, Juraj Parajka, Perdígão Rui A.P, Bruno Merz, Natalia Frolova, Liudmyla Gorbachova, Jamie Hannaford, Shaun Harrigan, Maria Kireeva, et al. Changing climate shifts timing of European floods // *Science*. 2017. Vol. 357, P. 588–590.
6. Волчек А.А, Шелест Т.А. Формирование зимних паводков на реках Беларуси// Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета (Рубрика: Гидрология), Вып. 25, 2012 г., С. 5-19.
7. Kireeva M., Frolova N., Rets E., Samsonov T., Entin A., Kharlamov M., Telegina E. Evaluating climate and water regime transformation in the European part of Russia using observation and reanalysis data for the 1945–2015 period// *International Journal of River Basin Management*, 2019/11/25, 2019, doi: 10.1080/15715124.2019.1695258