

Паводочный сток на реках Европейской территории России и его роль в формировании современного водного режима

Киреева М.Б.¹, Рец Е.П.², Фролова Н.Л.¹, Езерова Н.Н.¹

¹Географический факультет МГУ

²Институт Водных Проблем РАН

Kireeva_mb@mail.ru

Аннотация: Современные изменения водного режима рек к настоящему моменту являются неоспоримым фактом. Основная тенденция, которая характерна для большинства рек Европейской территории России, заключается в «выравнивании» годового гидрографа стока. Это приводит к сокращению стока весенних месяцев, связанному с перехватом части талой воды оттепельными паводками. Одновременно с этим процессом наблюдается увеличение стока в маловодные периоды года – во время летне-осенней и, особенно, зимней межени. Сокращение глубины промерзания почвы, связанное с более мягкими зимами, приводит к увеличению питания грунтовых вод за счет талого оттепельного стока. Одновременно потери стока на поверхностное задержание и испарение в течение зимнего и особенно весеннего периода – увеличиваются. В работе проведен комплексный анализ генетических компонентов стока, основанный на результатах расчета и расчленения гидрографа с помощью алгоритма GrWat. Практически для всех сезонов, особенно в западной части Русской равнины, наблюдается рост числа паводочных пиков. Они накладываются на волну подъема и спада половодья, делая его выделение как отдельной фазы водного режима в отдельные годы практически невозможным. Аналогичная ситуация прослеживается и для зимней межени, особенно для рек западной части Русской равнины, где в последние два десятилетия она практически не формируется. В течение всей зимы сток рек повышен, гидрограф имеет пилообразную форму, связанную с выпадением осадков в смешанной или жидкой фазе. Все чаще на реках наблюдается явление зимнего ледохода, обусловленное также повышенным стоком и частыми оттепелями. Данные тенденции в меньшей степени наблюдаются на севере и северо-востоке Русской равнины. Существенная трансформация водного режима за счет паводочного стока выражена в бассейнах Дона и Оки.

Ключевые слова: Паводки, паводочный сток, речной сток, трансформация водного режима

Введение

Реки Европейской территории России относятся к рекам с Восточно-Европейским типом водного режима. Для них свойственно прохождение более 50 % годового стока за период весеннего половодья. За последние 30 лет водный режим рек данной территории претерпел серьезные изменения (Водные ресурсы России..., 2008, Методы оценки..., 2012), обусловленные в большей мере климатическими факторами. В мировой литературе встречается множество исследований современных изменений гидрологических характеристик и водного режима, начиная от масштаба отдельного речного бассейна до глобальных обобщений. Часть исследований обнаруживает статистически значимые связи происходящих с трендами характеристик атмосферных осадков и температуры воздуха. Общей тенденцией считается интенсификация гидрологического цикла и учащением экстремальных ситуаций связанных с повышенной и пониженной водностью (Watson et al, 1997, Douglas et al, 2000). Анализ метеорологических данных за последние десятилетия свидетельствует, что этот период был не только самым тёплым, но и самым влажным за

время инструментальных наблюдений. Важным следствием увеличения числа, продолжительности и «глубины» оттепелей служит рост потерь талого стока и повышенное питание подземных вод. За счёт этого возрастает роль паводочного стока, особенно в зимний период. Основной целью работы является определить роль паводочного стока в изменении водного режима под влиянием климатических факторов. Для выполнения этой цели необходимо выявить изменения характеристик паводков в различные сезоны года, провести анализ и статистическую оценку этих изменений в различных природных регионах, проследить влияние изменений паводочного стока на другие характеристики водного режима, а также проанализировать изменения соотношений характерных расходов воды.

Материалы и методы

Для отработки технологии расчленения гидрографа и анализа характеристик паводочного стока было выбрано 35 гидрологических постов, расположенных в различных природных условиях и природных зонах Европейской территории России. Они отражают процессы зонального формирования стока, кроме того была привлечена информация по крупным бассейнам, сток которых может отражать тенденции в крупных географических регионах. Для отобранных створов были подготовлены исходные суточные данные о расходах воды за период 1945 -2015 гг.

Для решения поставленных задач анализа паводочного стока необходимо было разработать алгоритм (названный GrWat), который, учитывая особенности каждой конкретной реки, правильно отделял на гидрографе подземную составляющую, весеннее половодье и дождевые паводки. В качестве основы была выбрана методика расчленения гидрографа Б. И. Куделина (Куделин, 1967), которая в упрощенном виде сводится к следующим принципам:

1. Во время прохождения максимального расхода воды подземное питание реки (в случае полной гидравлической связи с грунтовыми горизонтами) равняется нулю.
2. Уменьшение подземного питания начинает происходить во время подъема половодья. В этот период начинает работать обратная гидравлическая связь: вода из реки начинает поступать в грунтовые горизонты (береговое регулирование)
3. После прохождения половодья грунтовое питание повышено и постепенно убывает по экспоненциальному закону
4. При прохождении паводков дождевой сток не снижает подземное питание, а увеличивает его. Отчленение паводков в межень происходит по хорде от точки резкого увеличения расходов воды до точки перегиба (снижения расходов воды). Отчленение паводков на спаде и подъеме половодья происходит по экспоненциальному закону.

Программа GrWat делит суточные расходы воды на водохозяйственные годы – каждый такой год считается от начала половодья текущего календарного года до начала половодья следующего. Для математического описания индивидуальных особенностей стока каждой реки были введены 12 калибруемых параметров, графоаналитически описывающих вариации гидрографа, которые включают в себя характеристики градиентов роста и снижения расходов воды, типовые границы сезонов и их критические продолжительности. Позднее к ним были добавлены еще 12 дополнительных параметров, отвечающих за интерпретацию паводочных пиков (дождевой, оттепельный, смешанный) с учетом привлекаемой метеорологической информации. В качестве входной метеорологической информации использовались псеводвременные ряды метеорологических величин – осредненные по бассейну значения суточного количества осадков и температуры воздуха. Характеристики были получены с помощью блока подготовки входных данных путем осреднения данных реанализа NOAA-CIRES по выделенным водосборам с буферной зоной для захвата точек в 50 км.

Для всех створов были выполнены тестовые калибровки параметров, на основе которых было проведено предварительное районирование параметров. В итоге в качестве калибруемых параметров для рек различных природных зон ЕТР были приняты следующие величины (табл. 1). В таблице приводятся только те параметры, которые изменялись в зависимости от особенностей водного режима гидрологического поста.

Из таблицы видно, что для большинства параметров отвечающих за выделение половодий (grad1, kdQgr1, polmon(1), polmon(2)) увеличиваются с юга на север. Сильно изменяется параметр kdQgr1, отвечающий за возможный рост грунтовой составляющей. Для лесостепной зоны наблюдаются более низкие значения polgrad(1) и polgrad(2).

Табл. 1. Принятые значения основных калибруемых параметров для ключевых створов в различных природных зонах Европейской территории России

Основной параметр	р.Вятка-г.Вятские Поляны	р.Мокша-г.Темников	р.Ока-г.Калуга	р.Ока-г.Муром	р.Угра - пгт. Товарково	р.Самара - с.Елшанка	р.Дон - ст-ца Казанская	р.Медведица - ст-ца Арчединская	Р.Печора – с.Усть-Цильма	р.Северная Двина - с.Усть-Пинега
grad	1	1	0.8	0.5	0.6	1	0.4	1.5	0.3	0.5
grad1	1.7	1.7	1.15	1.15	1.4	3.5	0.6	2	6	5
kdQgr1	350	500	450	450	350	350	150	150	1000	800
polmon(1)	3	2	2	2	2	2	1	1	3	3
polmon(2)	5	5	6	6	6	6	5	5	8	8
polkol(1)	8	6	5	5	8	8	8	15	10	10
polkol(2)	15	15	8	10	15	15	25	25	15	15
polgrad(1)	10	7	8	8	10	10	5	7	10	10
polgrad(2)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	6	1.5	1.5
Pcr	20	20	20	20	20	20	30	30	10	10
Tzam	-10	-20	-15	-10	-10	-10	-30	-30	-20	-20
Twin	-2	-2	-1.5	-2	-1	-2	-1.5	-1	-2	-2
SignDelta	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.15	0.15	0.15	0.15
PavRate	0.001	0.001	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001

Результаты

Результаты расчётов подтвердили ряд полученных ранее выводов об изменении и трансформации водного режима рек ЕТР и показали, что в последние 30 лет в средней и южной полосах Европейской территории России – в бассейнах Волги, Оки, Вятки, Дона – наблюдается снижение объёмов половодья, рост меженных расходов воды и увеличение доли паводочного стока в годовом. Кроме того, наблюдается явная тенденция к увеличению зимнего стока.

После середины 1970-х годов на гидрографах отчётливо видна трансформация внутригодового распределения речного стока. Отличительной чертой данной трансформации являются сдвиги в область более ранних значений не только дат начала половодья, но и минимальных расходов стока за период зимней межени. Эта тенденция характерна даже для такого северного створа, как р.Печора – с.Усть-Цильма, на котором не наблюдается значимых изменений в перестройке водного режима. В течение последних

лет на большинстве рек происходит интенсивное сокращение соотношения объемов и максимальных расходов половодья по отношению к соответствующим объемам грунтовой составляющей. Если до 1978 года объемы воды, проходящие за половодья, значительно превышали объем подземной составляющей за год, то в последние тридцать лет эти величины даже для крупных бассейнов становятся сопоставимыми или доля последних начинает преобладать. Характер этих изменений не является линейным, скорее, его можно описать некоторой периодичностью в изменение стока, наложенной на положительный тренд. Основная причина роста минимальных расходов воды связана скорее всего с увеличением числа, интенсивности и продолжительности оттепелей.

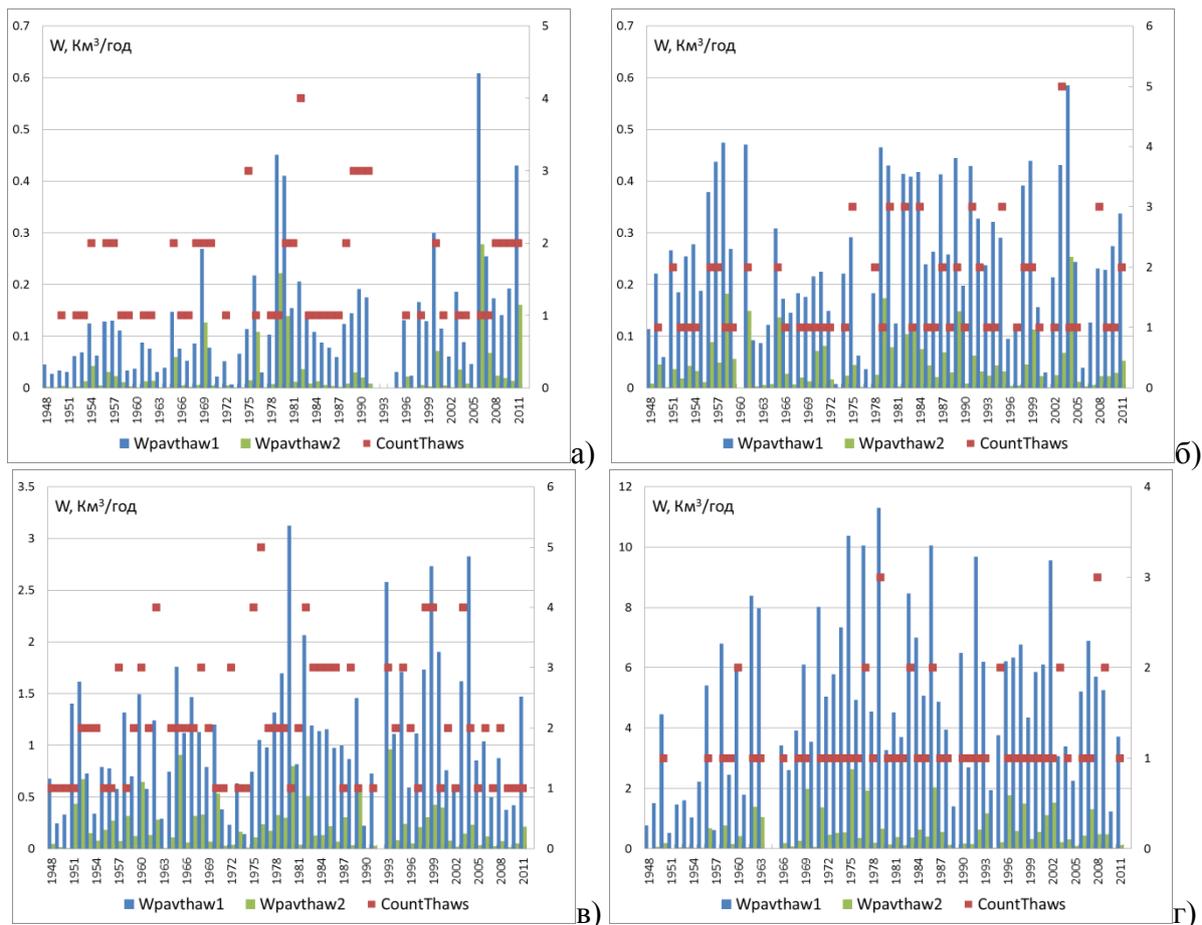


Рис. 1 Изменение величины талого стока за зимний период на примере бассейна р.Ока: а) р.Мокша – г. Темников, б) р.Угра – пгт. Товарково в) р.Дон – ст-ца Казанская, г) р.Печора – с.Усть-Цильма

При оценке вклада оттепельных паводков в увеличение стока стоит рассматривать две характеристики. Значения объема стока оттепельных паводков без учета грунтовой составляющей (зеленые столбцы на рисунке 1) отражают тот объем воды, который относительно быстро поступает в русловую сеть в результате таяния снега во время оттепелей и выпадающих жидких осадков в период их прохождения. Значения же с учетом грунтовой составляющей (синие столбцы на рисунке 1) включают в себя, от части, талый сток, поступающий в русло реки уже в качестве подземной составляющей, и с другой стороны, зависят от водности предшествующего периода. Для обеих характеристик характерна так же некоторая цикличность в изменение с ярко выраженным увеличением в конце 1970х г. Для ряда гидрологических постов прослеживается тенденция в увеличение числа оттепелей за период после 1978 относительно предшествующего периода.

Выводы

Проведенные расчеты показали, что снижение стока половодья происходит на фоне увеличения минимального зимнего стока, происходящего в основном за счёт зимних паводков, объём которых на большинстве рек увеличивается на 20 – 30 %. Практически для всех сезонов, особенно в западной части Русской равнины, наблюдается рост числа паводочных пиков. Они накладываются на волну подъема и спада половодья, делая его выделение как отдельной фазы водного режима в отдельные годы практически невозможным. Аналогичная ситуация прослеживается и для зимней межени, особенно для рек западной части Русской равнины, где в последние два десятилетия она практически не формируется. В течение всей зимы сток рек повышен, гидрограф имеет пилообразную форму, связанную с выпадением осадков в смешанной или жидкой фазе. Данные тенденции в меньшей степени наблюдаются на севере и северо-востоке Русской равнины. Существенная трансформация водного режима за счет паводочного стока выражена в бассейнах Дона и Оки. Таким образом, некоторые реки ЕТР по классификации Б. Д. Зайкова с трудом можно относить к рекам с Восточно-Европейским типом водного режима, поскольку сток весеннего половодья составляет менее 50 % годового стока.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-60080 в части методологических подходов, алгоритмов и программного обеспечения, гранта РФФИ № 17-05-41030 рго_а в части концептуального анализа и картографирования

Список литературы

Водные ресурсы России и их использование (под ред. Шикломанова А.И.) СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008, 600 с.

Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем (под ред. Семенова С.М.) М.: Росгидромет, 2012, 506 с.

Watson RT, Zinyowera MC, Moss RH (eds) (1998) The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge

Douglas, E. M., Vogel, R. M., Kroll, C. N., 2000, Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation.// J. Hydrol., Vol. 240 (1-2), pp. 90–105.

The occasional floods on the rivers of the European territory of Russia and its role in the formation of the modern water regime

Kireeva M.B.¹, Rets E.P.², Frolova N.L.¹, Ezerova N.N.¹

¹Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

²Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences

Kireeva_mb@Mail.ru

Abstract: Modern changes in the water regime of rivers are by now an evident fact. The main trend, which is typical for the most of the rivers in the European territory of Russia, is the "leveling" of the annual hydrograph. This leads to a reduction in the flow of spring months associated with the interception of part of melt water by thawing floods. Simultaneously with this process, an increase in runoff is observed in the low flow - during the summer-autumn and, especially, the winter period. Reducing the depth of freezing of the soil, associated with mild winters, leads to an increase of groundwater nourishment due to infiltration. Simultaneously, the loss of runoff to surface retention and evaporation during the winter and especially in the spring period is increasing. A comprehensive analysis of the genetic components of runoff based on the results of hydrograph separation with the help of GrWat algorithm has been carried out. Almost all seasons, especially in the western part of the Russian Plain, there is an increase in the number of flood peaks. They are superimposed on the main wave of spring (regular) flood, making it separation in some years practically impossible. A similar situation can be traced for winter low flow period, especially for the rivers of the western part of the Russian Plain, where it has been practically not formed in the last two decades. Throughout the winter, river runoff is increased, the hydrograph has a "piolo" – like shape, associated with precipitation in the mixed or liquid phase. The phenomenon of winter ice drift is observed on the rivers more and more often, due to increased run-off and frequent thaws. These trends are to a lesser extent observed in the North and North-East of the Russian Plain. Significant transformation of the water regime due to the flow of water is expressed in the Don and Oka basins.

Keywords: Occasional floods, flood runoff, river runoff, water regime transformation