

Изменение стока снегового половодья на южном макросклоне Русской равнины в период 1930–2014 гг

© 2018 г. Н.И. Коронкевич*, А.Г. Георгиади, С.В. Долгов,
Е.А. Барабанова, Е.А. Кашутина, И.П. Милукова

Институт географии РАН, Москва, Россия

*koronkevich@igras.ru

Change in snow flood flow in the southern macro-slope of the Russian Plain in the period 1930-2014

N.I. Koronkevich, A.G. Georgiadi, S.V. Dolgov, E.A. Barabanova, E.A. Kashutina, I.P. Milyukova

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*koronkevich@igras.ru

Received January 25, 2018

Accepted July 30, 2018

Keywords: *climatic and anthropogenic factors, hydrographic network, long-lasting phase, long-term changes, medium and large rivers, spring (snow) flood flow.*

Summary

In recent decades, in the southern macro-slope (catchment) of The Russian Plain, mainly within the basins of the Volga and the Don rivers, the spring flood flow decreased due to both anthropogenic and climatic factors. Of anthropogenic factors, the creation of reservoirs played a significant role in changing the water regime of the Volga and the Don. Another important factor, affecting the river runoff, is agricultural activities on flat interfluvies and slopes. Compared with the conventional-natural period (for the Volga from 1879, and for the Don from 1876 to 1929) to the date (for the period 1930–2014), the flood flow of the Volga has been decreased by more than 4300 km³, and the Don – by almost 900 km³. The contribution of anthropogenic factors to this decrease in the Volga basin exceeded 70%, and for the Don it was equal to 45%, while the climatic ones contributed 30 and 55%, respectively. During the period of instrumental observations on the rivers of the region, long-lasting phases of high/low water content with duration from 15–20 to 90 years or longer, caused by the climatic changes, were determined. These are a characteristic feature of long-term changes in flood flow (and in a runoff of other seasons) on both medium and large rivers of the southern macro-slope of the Russian Plain. The period since early 2000s was a start of the decreased flood flow everywhere, i.e. on medium and large rivers. It is most clearly (by tens of percent) manifested in the decrease of the spring surface flow due to the following factors: more frequent thaws, reduction of the depth of soil freezing, increase of infiltration, especially in the forest-steppe and steppe zones. Increase in flow of the infiltration origin does only partially compensate the decrease of the flow in rivers.

Citation: Koronkevich N.I., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Barabanova E.A., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Change in snow flood flow in the southern macro-slope of the Russian Plain in the period 1930-2014. 2018. 58 (4): 498–506. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-4-498-506.

Поступила 25 января 2018 г.

Принята к печати 30 июля 2018 г.

Ключевые слова: *долговременные фазы, климатические и антропогенные факторы, многолетние изменения, склоновый сток, снеготаяние, средние и крупные реки, сток снегового половодья.*

Рассматриваются сток снегового половодья в пределах бассейнов Волги и Дона и его изменения под влиянием антропогенных и климатических факторов. Изложены методы исследования изменений речного стока, оценены его изменения за последние десятилетия. Общая тенденция – уменьшение стока половодья, что связано с гидротехническим воздействием и климатическими факторами.

Введение

Весеннее половодье – основная гидрологическая фаза на территории южной части Русской равнины, поскольку оно в значительной мере определяет годовой речной сток: более 60% годового стока в южной части лесной зоны, более 70% в лесостепи и 80–90% в степной зоне. Сток половодья и его вклад в годовой речной сток менялись под влиянием климатических и антропогенных

факторов. Этим изменениям посвящено немало исследований, в том числе и авторов настоящей работы [1–3]. Однако большая их часть выполнена давно или отражает лишь отдельные стороны произошедших изменений: например, климатические или антропогенные изменения только речного стока или стока, формирующегося на водосборах.

В настоящей работе сделана попытка рассмотреть все изменения в комплексе, вплоть до последнего времени, сначала на примере самых

крупных рек южной части Русской равнины в пределах России – Волги и Дона, а затем средних рек, а также стока, формирующегося на водосборах, колебания которого во многом объясняют изменения речного стока.

Методы исследования

Выявление изменений стока половодья крупных рек – Волги и Дона – выполнялось путём сопоставления стока условно естественного периода (для Волги с 1879 до 1929 г., а для Дона с 1876 до 1929 г.) со стоком за последующие годы, характеризующимся заметным антропогенным влиянием. Простое сопоставление даёт величину фактического изменения в результате совокупного влияния природных (в основном климатических) и антропогенных факторов. Для выявления вклада и тех, и других факторов проводилось восстановление условно естественного стока за период 1930–2014 гг. по уравнениям регрессии стока рассматриваемой реки по сравнению со стоком рек-индикаторов климатических условий (для Волги это Ока у Калуги, Вятка у Кирова и Белая у Бирска; для Дона – Дон у Казанской и Хопёр у Бесплемяновского [2]), сравнительно мало затронутых антропогенным воздействием за период до 1930 г. Сравнение фактического и восстановленного стока позволяет оценить вклад антропогенных и климатических условий в формирование фактического стока. Подробно эта методика изложена в работе [2]. Здесь же рассмотрена методика выявления вклада отдельных антропогенных факторов, основанная на результатах наблюдений на водно-балансовых станциях.

Подход к анализу долговременных фаз многолетних изменений восстановленного стока половодья средних и крупных рек, обусловленных изменениями климата, основан на использовании разностно-интегральных кривых и анализе характеристик выявленных фаз контрастной водности. Разностно-интегральные кривые представляют собой нарастающую сумму отклонений какой-либо характеристики от её среднего многолетнего значения, рассчитанного для всего периода наблюдений, которые нормированы на среднее квадратическое отклонение. Они позволяют установить долговременные фазы, в течение которых существенно чаще встречаются значения харак-

теристик ниже или выше её среднего многолетнего значения. Временная граница смены долговременных фаз повышенного/пониженного стока определяется на основе выявления минимальных и максимальных значений координат разностно-интегральных кривых. Фазам повышенной водности соответствует однонаправленная многолетняя тенденция увеличения ординат разностно-интегральной кривой, а фазам пониженной водности – их уменьшения. На фоне таких многолетних тенденций наблюдаются более короткопериодные изменения стока. Отметим, что определение границ смены фаз на основе использования ряда статистических критериев, применяемых для оценки однородности рядов данных по их средним значениям, показало, что они, как правило, совпадают или весьма близки к результатам, полученным по разностно-интегральным кривым.

Поверхностный склоновый сток и водный баланс водосборов определялись по данным водно-балансовых станций, главным образом стоковых площадок. Стоковые площадки нередко существенно отличаются по конструкции, длительности наблюдений, размерам, уклонам, длине, экспозиции, характеру сельскохозяйственной обработки. Для приведения данных по ним к общему знаменателю применена «привязка» их к величине зонального речного стока в период половодья в районе расположения водно-балансовых станций, обобщающего гидрологическую ситуацию за длительный период времени [1]. Это позволило снивелировать влияние большинства факторов и определить средние многолетние значения поверхностного склонового стока. Указанная привязка была выполнена отдельно для участков с разным механическим составом почв: под зяблевой (осенней) пахотой, почва под которыми разрыхлена к началу половодья, и для полей, не распаханых осенью (стерня, залежь, озимые, многолетние травы), почва под которыми уплотнена к этому времени и способствует, в отличие от зяби, росту поверхностного склонового стока.

Особое внимание к зяби обусловлено тем, что в 1970–80-е годы зяблевая пахота под яровые культуры занимала 40–60% площади речных бассейнов в лесостепных и степных районах. В южной части лесной зоны был выделен и поверхностный сток с лесных угодий. Отметим, что величины зонального речного стока и соответственно привязанного к нему поверхностного стока относятся к периоду

конца XIX в. — начала 1960-х годов. Зная структуру угодий с учётом механического состава почвы, нетрудно приблизительно определить средневзвешенный склоновый сток, а также другие элементы водного баланса. Тот же подход применён и к определению поверхностного склонового стока в последующие периоды, отличающиеся метеоусловиями и структурой сельскохозяйственных угодий. Последняя определялась по данным статистических справочников. Заметим, что большая часть водно-балансовых станций в настоящее время закрыта или на них резко сократились объёмы работ. По существу, остались лишь три станции с длительными рядами наблюдений, на которых сопоставляется сток с зяби и с не распаханых с осени полей. Наблюдения на них ведут работники Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации (ВНИАЛМИ): Новосильская станция (1959–2013 гг., лесостепь, серые лесные почвы, в 55 км к северо-западу от г. Орёл, в дер. Одинок Новосильского района); Поволжская (1959–2008 гг., степная зона, обыкновенный чернозём, в 20 км юго-восточнее г. Самара, в пос. Новоберезовский Волжского района); Волгоградский стационар (1950–2013 гг., сухая степь со светло-каштановыми почвами, в 4 км к юго-западу г. Волгоград).

Только часть поверхностного склонового стока участвует в речном стоке, задерживаясь в отрицательных формах рельефа. Величина этого участия, как и величина стока с площади гидрографической сети (ниже бровок речных долин, оврагов и балок), а также стока инфильтрационного происхождения (верховодка и подземный сток), определялась решением водно-балансовых соотношений [1]. Площадь гидрографической сети рассчитывалась по крупномасштабным топографическим картам. В лесостепных и особенно в степных районах она близка к разнице общей площади территории и площади пашни.

Волга и Дон

На рис. 1 показано суммарное среднегодовое изменение стока половодья Волги и Дона за период наиболее интенсивного антропогенного воздействия (после 1930 г.). Видно, что и климатическое, и антропогенное изменение направлено в сторону уменьшения стока, хотя внутри рассматриваемого периода были и раз-

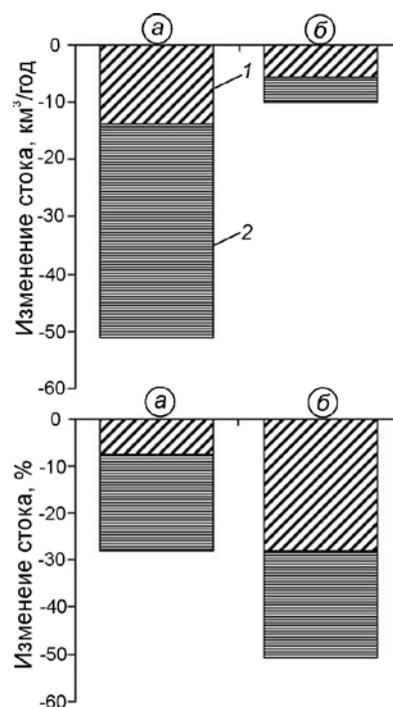


Рис. 1. Климатические (1) и антропогенные (2) изменения стока половодья Волги у Волгограда (а) и Дона у Раздорской (б) за период 1930–2014 гг. по сравнению с базовым периодом 1879–1929 гг. для Волги и 1876–1929 гг. для Дона

Fig. 1. Climatic (1) and anthropogenic (2) changes in the snow-melt floods of the Volga at Volgograd (a) and the Don at Razdorskaya (b) during the 1930–2014 period compared with the base period 1879–1929 for the Volga and 1876–1929 for the Don

нонаправленные изменения. Уменьшение стока половодья (у Волги в среднем за половодье почти 51 км³/год, за весь период 4328 км³, у Дона соответственно более 10 км³/год и 865 км³) значительно превышает годовое уменьшение стока этих рек (Волга — более 30 км³/год, в сумме 2566 км³, Дон — около 7 км³/год, в сумме 584 км³), что произошло, главным образом, под влиянием гидротехнического регулирования стока — наиболее мощного антропогенного фактора.

Волжско-Камский каскад водохранилищ, Цимлянский гидроузел на Дону и другие гидротехнические сооружения в бассейнах этих рек уменьшают сток в период половодья, увеличивая его в другие сезоны. Большой объём воды ушёл на заполнение так называемого мёртвого объёма водохранилищ. Влияние прочих антропогенных факторов на сток половодья было существенно меньшим. Среди них выделим агротехнические мероприятия по задер-

жанию стока на полях, о чём подробнее будет сказано далее. Другие виды хозяйственной деятельности, например водопотребление на различные хозяйственные нужды, влияют на сток главным образом в тёплый период года. Рост же урбанизированных ландшафтов, характеризующихся низкой водопроницаемостью, способствует росту стока [2]. В уменьшении стока половодья под влиянием климатических и антропогенных факторов вклад антропогенных факторов в бассейне Волги составил более 70%, Дона – 45%, а в уменьшении годового стока соответственно 45–50 и 40%, что имело крайне негативные экологические последствия.

Теперь о многолетних фазах восстановленного стока половодья. Если рассматривать только самые продолжительные тенденции в многолетних изменениях стока половодья, то на Волге и на Дону установлены две основные контрастные фазы: сначала повышенного (ФВС), а затем пониженного (ФНС) стока по сравнению с его средним многолетним значением, рассчитанным для всего периода наблюдений (рис. 2). На Дону фаза повышенного стока половодья наблюдалась с 1870-х до 1971 г., тогда как на Волге она началась в 1879 г. и закончилась в 1929 г. После этого на обеих реках наступила длительная фаза пониженной водности, которая на Дону продолжается вплоть до последних лет. На Волге на фоне длительной фазы пониженного стока (начавшейся с 1930 г. и продолжающейся до настоящего времени) с 1990 г. наблюдалась фаза повышенного стока половодья, которая прервалась в 2003 г. На Волге длительность фазы повышенного стока половодья составляла более 50 лет, а на Дону – около 100 лет. Фаза пониженного стока на Волге продолжалась около 90 лет (с перерывом в 1990–2003 гг.), а на Дону она была существенно короче (более 40 лет).

Средний многолетний сток половодья в фазы его повышенных и пониженных значений характеризуется существенной разницей. Так, на Дону она достигает 65%, что существенно больше, чем на Волге, где она составляет лишь 12%. На Дону она сопоставима с разницей стока межженных сезонов контрастных фаз, тогда как на Волге эта разница существенно меньше. На Волге в контрастные фазы водности доля стока половодья (сток за период с апреля по июнь) в годовом стоке неизменна и составляет 59%, хотя по абсолютной величине он выше в фазу повышенной водности примерно на 19%. На Дону в

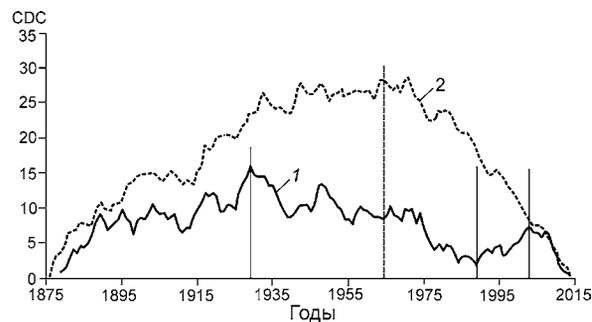


Рис. 2. Долговременные фазы повышенного и пониженного стока снегового половодья Волги (1) и Дона (2) в координатах нормированных разностно-интегральных кривых (CDC).

Вертикальные линии – годы смены фаз

Fig. 2. Long-term phases of increased and decreased snowmelt flood flow in the Volga (1) and Don (2) basins in the coordinates of the cumulative deviation curves (CDC).

Vertical lines are phase change years

фазу низкой водности доля стока половодья в годовом стоке существенно уменьшается и в относительном выражении, и в абсолютном. Его доля в годовом стоке снижается с 64% в ФВС до 46% в ФНС, а в объёмах – с 18,9 до 11,5 км³.

Средние реки лесостепной и степной зон

В качестве объектов исследования выбраны девять бассейнов средних рек в лесостепи и степи, отражающих спектр внутризональных особенностей многолетних изменений стока половодья Русской равнины в этих зонах. Их бассейны расположены в довольно узкой субширотной полосе (с 51° по 54,5° с.ш.), вытянувшейся с 34° по 60° в.д. Два бассейна (Большой Караман–Советское и Самара–Елшанка) полностью степные, четыре (Сосна–Елец, Битюг–Бобров, Дёма–Бочкарева, Белая–Сыртланово) – лесостепные. Бассейны Хопра у Поворино и Урала у Кизильского заняты лесостепью и степью, северная часть бассейна Сейма у Рьльска относится к зоне смешанных лесов, а остальная – к лесостепи. Часть бассейнов Урала у Кизильского и Белой у Сыртланово относится к низкогорьям. Площадь водосборов рек варьирует от 3,5 до 23 тыс. км².

На всех рассмотренных реках наблюдались две основные долговременные фазы многолетних изменений (рис. 3). На реках, бассейны которых расположены в западной и центральной частях

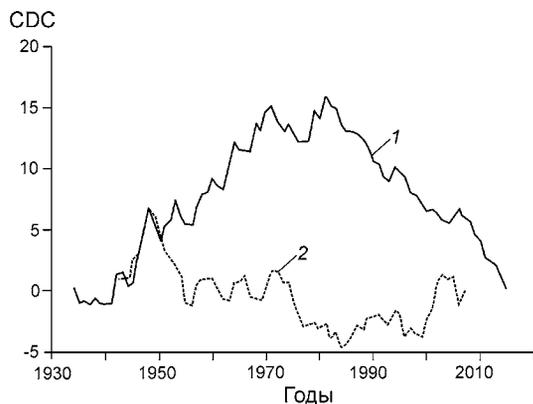


Рис. 3. Основные типы многолетней динамики долговременных фаз повышенного и пониженного стока половодья в координатах нормированных разностно-интегральных кривых (CDC):

1 – тип 1 (на примере р. Битюг у Боброва); 2 – тип 2 (на примере р. Белая у Сыртланово)

Fig. 3. The main types of multi-year dynamics of long-term phases of increased and decreased snow-melt flood flow in the coordinates of cumulative deviation curves (CDC):

1 – type 1 (on the example of Bitjug river at Bobrov); 2 – type 2 (on the example of Belaya river at Syrtlanovo)

региона (Сейм, Сосна, Битюг, Большой Караман, а также Самара и Хопёр), долговременная фаза повышенного стока наступила практически с начала наблюдений и сменилась в 1970–80-е годы на противоположную фазу. На реках восточной части региона (Белая, Урал и, в известной мере, Дёма, на которой практически не выражена начальная фаза пониженного стока половодья) наблюдалась обратная картина смены основных фаз стока половодья (см. рис. 3).

Смена фаз повышенного/пониженного стока происходит в относительно короткие временные интервалы. Эта закономерность многолетних изменений уже отмечалась применительно к стоку воды крупных и средних рек Русской равнины и Сибири [2, 4, 5]. Продолжительность фаз в основном варьирует от 20 до 50 лет (табл. 1). Как правило, длительность фаз пониженного стока половодья превышает и часто значительно превышает продолжительность фаз повышенной водности. Однако в западной части региона (на реках Сейм, Сосна и Хопёр) наблюдается обратная картина. Разница среднего стока половодья в долговременные фазы его повышенных/пониженных значений (см. табл. 1) варьирует от 23 до 70% (относительно стока в фазу его пониженных значений). Она сопоставима с соответствующей дельтой для годово-

Таблица 1. Средние расходы воды за половодье в фазы его повышенной (числитель) и пониженной (знаменатель) водности

Река, пункт	Средний расход воды за половодье, м ³ /с	Продолжительность, годы
Сейм, Рыльск	192/118	36/34
Сосна, Елец	190/120	41/34
Битюг, Бобров	66,4/39,4	36/44
Большой Караман, Советское	16,4/5,3	31/44
Белая, Сыртланово	204/165	19/35
Самара, Елшанка	182/123	21/49
Урал, Кизильское	136*/66	8/51
Дёма, Бочкарева	124/96,4	58/12
Хопёр, Поворино	211/167	50/25

*Короткая фаза повышенного стока.

го стока, но меньше разницы между стоком контрастных фаз зимней и летне-осенней межени.

На большинстве рек западной и центральной частей региона (Сейм, Сосна, Битюг, Большой Караман) в ФВС его доля в годовом стоке ощутимо выше, чем в ФНС (на 14–24%), но на Самаре и Хопре она немного ниже (на 2–4%), что объясняется внутригодовым перераспределением стока начиная с 1970–80-х годов (начало современного потепления климата). На Белой и Дёме (относящихся к восточной части региона) в ФВС, напротив, доля стока половодья в годовом стоке ниже, чем в ФНС (на 2–9%), однако на Урале она существенно выше (на 14%), что также связано с особенностями многолетней динамики контрастных фаз стока половодья, зимней и летне-осенней межени.

С началом современного потепления климата в 1970–80-х годах сток половодья на большинстве рассмотренных средних рек западной и центральной частей региона характеризуется пониженной водностью, а на других реках наблюдалась фаза повышенного стока половодья. Однако с начала 2000-х годов появляется тенденция к переходу от ФВС к ФНС и практически повсеместно на южном макросклоне Русской равнины наблюдается пониженный сток половодья.

Начальные звенья формирования стока половодья на водосборах рек

В табл. 2 приведены данные по весеннему поверхностному склоновому стоку с отдельных угодий на водосборах рек за период исчисления нормы речного стока. Здесь значения среднего многолет-

Таблица 2. Весенний поверхностный склоновый сток с отдельных угодий при среднем многолетнем стоке речного половодья за период исчисления его нормы

Средний многолетний сток половодья на реках с конца XIX в. до начала 1960-х годов, мм	Поверхностный склоновый сток на разных почвах, мм		
	лес	зять	поля, не распаханнные с осени
120	35/3	80/19	92/37
100	27/1	63/17	81/32
80	18/0	48/13	71/28
60	8/0	31/9	61/23
40	4/0	18/6	48/20
20	0/0	5/3	32/17

*В числителе – на суглинистых почвах; в знаменателе – на супесчаных почвах.

него стока речного половодья (100–120 мм) соответствуют южной части лесной зоны, 60–80 мм – лесостепи, 20–40 мм – степной зоне Русской равнины. Наименьший поверхностный склоновый сток соответствует лесным угодьям, далее следует зять (разрыхлённая к началу снеготаяния почва с микрорельефом, способствующим задержанию стока). Наибольший сток отмечается на не распаханнных с осени полях (стерня, озимые, залежь, многолетние травы), под которыми почва к началу снеготаяния уплотнена. Поверхностный сток на суглинистых почвах существенно выше, чем на супесчаных. Сток с зяби на суглинках ниже, чем на не распаханнных с осени полях на 10–20% в южной части лесной зоны, на 30–50% в лесостепи и на 65–90% в степной зоне. Помимо лучших условий инфильтрации, это объясняется и меньшими снегозапасами на зяби по сравнению с другими полями – в среднем на 25% на рассматриваемой территории.

Наибольшие снегозапасы по данным водно-балансовых станций наблюдались в лесу. Значительная часть снега сносится ветром к лесным опушкам и в отрицательные формы рельефа. Максимальные снегозапасы, особенно в лесостепной и степной зонах, накапливаются в овражно-балочной сети. Здесь они в 2,5–3 раза выше, чем на склонах. В целом, на площади гидрографической сети (ниже бровок оврагов, балок, речных долин) снегозапасы выше, чем на склонах, в 1,2–1,3 раза в южной части лесной зоны и в 1,5–1,6 раза в лесостепной и степной зонах [1]. Ввиду большей аккумуляции снега и более высоких коэффициентов стока слой поверхностного стока здесь существенно выше, чем на большей части пологих склонов и плакоров. Ранее выполненные расчёты [1] показали, что на площади гидрогра-

Таблица 3. Изменение структуры речного стока весеннего половодья, %

Зона	Поверхностный склоновый сток	Поверхностный сток с площади гидрографической сети	Подземный сток и верховодка
Южная часть лесной	29*/20	28/30	43/50
Лесостепная	33/14	32/40	35/46
Степная	50/13	42/70	8/17

*В числителе – в период исчисления нормы стока (конец XIX в. – начало 1960-х годов); в знаменателе – в современный период (после 2000 г.).

фической сети, занимающей 15–25% всей территории, формируется поверхностный сток, по существу, равный тому, который стекает с пологих склонов выше бровок гидрографической сети, учитывая, что только часть стока, формирующегося на пологих склонах, достигает рек, задерживаясь в замкнутых отрицательных формах рельефа. Структура стока половодья за период исчисления его нормы дана в табл. 3.

К настоящему времени на водосборах южной части Русской равнины произошли существенные изменения стока и его структуры. С учётом структуры угодий средний взвешенный склоновый сток снизился в южной части лесной зоны в среднем в 1,5 раза, в лесостепи – в 2,9 раза, в степной зоне – в 6 раз. Его доля в речном стоке уменьшилась по сравнению с периодом исчисления его нормы почти в 1,5 раза в южной части лесной зоны, в 2,4 раза – в лесостепи, в 4 раза – в степных районах (см. табл. 3), что в значительной мере объясняет и снижение стока речного половодья на рассматриваемых здесь реках и в целом на макросклоне Русской равнины в среднем на 10–40% [4, 6].

Поверхностный сток с площади гидрографической сети изменился сравнительно мало, но его доля в речном стоке половодья возросла (на 8–10% – в южной части лесной зоны, на 20–30% – в лесостепи и в 1,7 раза – в степной зоне) главным образом из-за уменьшения величины последнего. Произошло и увеличение доли стока инфильтрационного происхождения: верховодки и подземного стока почти на 10% в южной части лесной зоны, на 30% в лесостепи, в 2 раза в степных районах. Конечно, это – весьма осреднённые данные. В отдельных районах ситуация может быть несколько иной. Однако очевидно, что определяющим в изменении величины речного половодья стало, как видно из рис. 4, сниже-

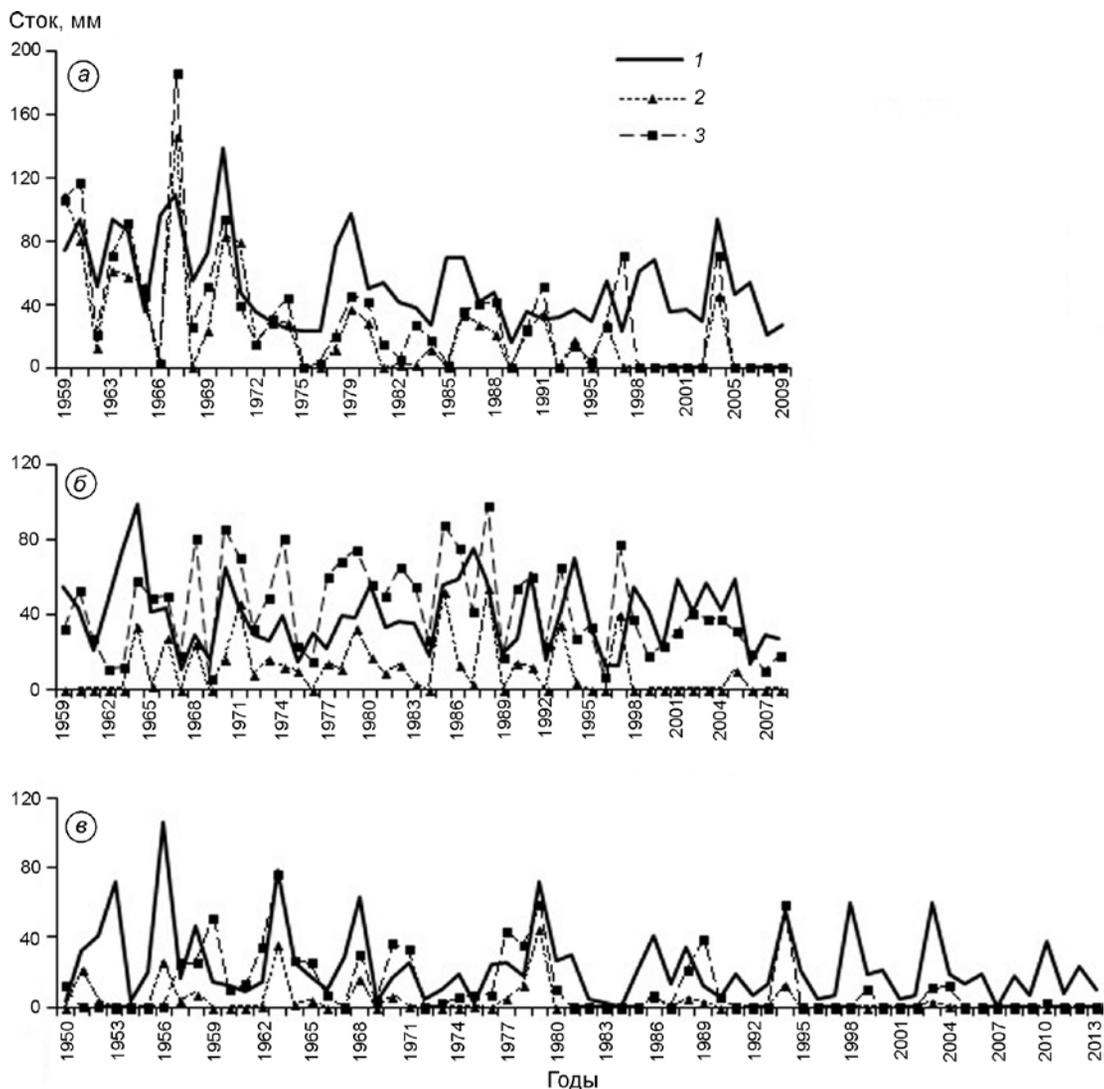


Рис. 4. Динамика снегового речного и склонового стока:
a – серые лесные почвы (Орловская область); *б* – чернозёмы обыкновенные (Самарская область); *в* – светло-каштановые почвы (Волгоградская область); 1 – сток речного половодья; 2 – сток с рыхлой пашни (с зяби); 3 – сток с уплотнённой пашни

Fig. 4. Dynamics of snow-melt flow
a – gray forest soils (Orel administrative region); *б* – ordinary chernozems (Samara administrative region); *в* – light chestnut soils (Volgograd administrative region); 1 – flood river flow; overland flow from: 2 – loose arable land (from fall-plowed land); 3 – compacted arable land

ние поверхностного склонового стока, хотя оно и было несколько скомпенсировано увеличением стока инфильтрационного происхождения.

Метеорологические условия изменения стока на водосборах

Основная причина современных изменений весеннего стока на водосборах – изменение метеорологических условий, выражающееся в первую очередь в повышении температуры воздуха в холодный

период года (с ноября по март). Так, если судить по данным метеостанций (Поныри, Серноводск, Волгоград), расположенных вблизи упомянутых здесь водно-балансовых стационаров, то в лесостепи и степи в бассейнах Волги и Дона температура воздуха за последние годы (1981–2015 гг.) увеличилась в среднем на 1,2–1,4 °C (по сравнению с периодом до 1981 г.). Значительно уменьшилась глубина промерзания почвогрунтов зоны аэрации (например, в районе Новосильского стационара в 2 раза), участились оттепели. В то же время осадки за весь холодный период, зафиксированные на метеостанци-

ях, изменились по территории Русской равнины не столь однозначно. Они уменьшились на 1,5–8% в районах Новосильского и Волгоградского стационаров и увеличились на 4–5% в районе Поволжской станции в степном Самарском Заволжье.

Аналогичная ситуация наблюдается также в изменении по территории южной части Русской равнины стокообразующих осадков, непосредственно участвующих в формировании стока весеннего половодья. По сравнению с суммарными осадками за весь холодный период они изменились в ещё большей степени. Так, за счёт участвовавших зимних оттепелей в современный период снегозапасы, формирующие сток весеннего половодья, сократились в среднем на 15% в районе Новосильского стационара и на 35–50% в районе Волгоградского. При этом доля стокообразующих осадков от суммарных осадков холодного периода на большей части рассматриваемой территории уменьшилась (в зависимости от вида агрофона) с 45–47 до 39–41% в районе Новосильской станции и с 26–34 до 18–19% в районе Волгоградского, в значительной мере определяя отмеченное ранее уменьшение поверхностного склонового стока.

Обсуждение полученных результатов

На южном макросклоне Русской равнины в последние десятилетия сток половодья уменьшался, что обусловлено как антропогенными, так и климатическими факторами. Из антропогенных факторов особенно заметное влияние на изменение водного режима Волги и Дона, достигшее максимума в 1950–70-е годы, имело гидротехническое регулирование стока, кардинально изменившее его внутригодовое распределение. Это влияние в отдельные отрезки времени соизмеримо по своим масштабам с воздействием климата, а часто превосходит его. Максимальное водопотребление отмечается в летне-осенний период и сравнительно мало сказывается на стоке речного половодья, как и отдельные виды хозяйственной деятельности – лесное хозяйство, урбанизация территории. Однако воздействие агротехнических мероприятий на весенний поверхностный склоновый сток и, как следствие, на речной сток половодья существенно, хотя и гораздо меньше на современном этапе, чем в 1980-е годы.

Долговременные фазы изменения условно-естественного стока половодья Волги и Дона, а также средних рек различаются. Это обусловлено тем, что сток Волги формируется в основном в лесной зоне, а сток Дона и рассмотренных средних рек – в лесостепной и степной зонах. Имеются и региональные различия, но в целом с начала 2000-х годов они сглаживаются и практически повсеместно наблюдается тенденция перехода к фазе пониженной водности половодья, обусловленной более выраженной территориальной общностью атмосферных процессов. Наиболее чётко это проявляется при анализе особенностей формирования поверхностного стока с водосборов. Повышение температуры воздуха в холодный период года, сопровождающееся более частыми оттепелями и усилением инфильтрации воды в почву, привело к резкому уменьшению весеннего поверхностного склонового стока и его участия в речном стоке, что стало определяющим фактором снижения стока речного половодья на южном макросклоне Русской равнины.

Заключение

На большей части южного макросклона Русской равнины в последние десятилетия отмечается уменьшение стока половодья, обусловленное как климатическими, так и антропогенными факторами. По сравнению с условно естественным периодом (до 1930 г.) сток половодья Волги к настоящему времени уменьшился более чем на 4300 км³, а Дона – почти на 900 км³. Вклад антропогенных факторов в это уменьшение в бассейне Волги составил более 70%, Дона – 45%, а вклад климатических факторов – соответственно 30 и 55%. Антропогенные изменения половодья Волги и Дона вызваны главным образом гидротехническим регулированием стока.

Долговременные фазы повышенной/пониженной водности представляют собой характерную особенность многолетних изменений стока половодья, как и стока других гидрологических сезонов, отмечаемых для последних весьма продолжительных периодов инструментальных наблюдений, охватывающих последние 70 лет для средних рек и 140 лет для Волги и Дона. Как на средних реках, так и на Волге и Дону (для которых исследовались многолетние ряды стока по-

ловодья за вычетом антропогенных изменений) они обусловлены изменениями климата. Продолжительность таких фаз варьирует от 15–20 до 90 лет и более, и они проявляются как на средних, так и на крупных реках южного макросклона Русской равнины. При этом разница в стоке контрастных фаз многолетних изменений стока половодья для средних лесостепных и степных рек Русской равнины достигает 100% и более. На Волге средний сток половодья таких фаз отличается между собой на 12%, на Дону – на 65%.

С началом современного потепления климата в 1970–80-х годах сток половодья на большинстве рассмотренных средних рек запада и центра лесостепи и степи Русской равнины характеризуется пониженной водностью, а на реках её восточной части наблюдалась фаза повышенного стока половодья. Однако с начала 2000-х годов появляется тенденция к перехо-

ду от фазы повышенной водности к фазе пониженной водности и практически повсеместно на южном макросклоне Русской равнины наблюдается пониженный сток половодья. Уменьшение стока речного половодья в лесостепной и степной зонах в значительной мере обусловлено многократным снижением весеннего поверхностного склонового стока, лишь частично компенсируемым увеличением стока инфильтрационного происхождения.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Госзадания № 0148-2014-0003 и при поддержке РФФИ (гранты № 17-05-00948 и 18-05-00479).

Acknowledgments. This investigation was performed in frameworks of the IGRAS budget project № 0148-2014-0003 and due to financial support of the Russian Foundation for Basic Research, Grants № 17-05-00948 and 18-05-00479.

Литература

1. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
2. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милукова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А.* Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: Макс Пресс, 2014. 214 с.
3. *Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И.* Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 62–69. doi: 10.7868/S0032180X17010063.
4. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: изд. Госуд. гидрологич. ин-та, 2008. 600 с.
5. *Георгиади А.Г., Кашутина Е.А.* Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 5. С. 70–81.
6. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Рец Е.П., Сафронова Т.И., Бугров А.А., Телегина А.А., Телегина Е.А.* Современные ресурсы подземных и поверхностных вод европейской части России: Формирование, распределение, использование. М.: ГЕОС, 2015. 320 с.

References

1. *Koronkevich N.I.* *Vodnyi balans Russkoy ravniny i ego antropogennye izmeneniya.* Water balance of the Russian plain and its anthropogenic changers. Moscow: Nauka, 1990: 205 p. [In Russian].
2. *Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A.* *Sovremennye i sstenarnye izmeneniya rechnogo stoka v basseynakh krupneyshikh rek Rossii. Chast' 2. Basseyny rek Volgi i Dona.* Modern and scenario changes in river flow in the basins of Russia's largest rivers. Part 2. The Volga and Don basins. Moscow: Max Press, 2014: 214 p. [In Russian].
3. *Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I.* Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on ploughed field in the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain. *Pochvovedenie.* Soil Science. 2018, 1: 62–69. doi: 10.7868/S0032180X17010063. [In Russian].
4. *Vodnyye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie.* Water resources of Russia and their use. Ed. E.A. Shiklomanov St. Petersburg: State Hydrological Institute, 2008: 600 p. [In Russian].
5. *Georgiadi A.G., Kashutina E.A.* Long-term changes in runoff of the largest Siberian rivers. *Izvestiya Ross. Akad. Nauk, Seriya Geogr.* Proc. of the RAS, Geographical Series. 2016, 5: 70–81. [In Russian].
6. *Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Retz E.P., Safonova T.I., Bugrov A.A., Telegina A.A., Telegina E.A.* *Sovremennye resursy podzemnykh i poverkhnostnykh vod evropeyskoy chasti Rossii. Formirovanie, raspredelenie, ispol'zovanie.* Modern resources of underground and surface water in the European part of Russia: Formation, distribution, use. Moscow: GEOS, 2015: 320 p. [In Russian].