

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПРОМЕРЗАНИЯ ПОЧВЫ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА ВЕСЕННЕГО СНЕГОВОГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА

В.А. Дмитриева

Воронежский государственный университет, Россия, Воронеж

e-mail: verba47@list.ru

Цель данного исследования – показать перераспределение доминирующей роли прямых и косвенных факторов формирования максимального стока весеннего половодья. При наличии снежного покрова, но не глубоком зимнем промерзании почвы и быстром ее оттаивании весной состояние почвы в совокупности с режимом температуры воздуха способно изменить процесс формирования максимумов и объемов весеннего стока. Временные колебания максимальных расходов воды и наибольшей глубины промерзания синфазны.

Ключевые слова: атмосферные осадки, промерзание почвы, максимальный сток, половодье.

Введение

Речной сток – процесс многофакторный, определяемый природно-климатическими и антропогенными условиями. Персональная роль каждого из указанной группы факторов может меняться во времени и пространстве, зависеть от множества причин, конкретного их сочетания и проявления. Реки, оставаясь «продуктом климата», естественным образом реагируют на все изменения, происходящие в земной атмосфере. Планетарные колебания климата, отраженные на региональных территориях, вызывают реакцию водной среды. Многочисленные исследования гидрологического режима рек указывают на существенные изменения водного, ледового и термического режима, режима стока наносов и переноса веществ в водных потоках [1-6]. В тоже время механизм взаимодействия природно-климатических факторов и речного стока не до конца изучен, и ответная реакция последнего на многообразие сочетаний состояния подстилающей поверхности в условиях меняющегося климата остается в научном аспекте актуальной.

В настоящем исследовании обращено особое внимание на состояние почвы, а именно, глубину промерзания почвы в предзимний, зимний и весенний периоды накануне и в процессе снеготаяния. При этом не рассматриваются водно-физические свойства почвы, участвующих в этом процессе, являющихся самостоятельной гидрологической задачей исследования.

Материалы и методы

Базовая информация исследования представлена метеорологическими данными по атмосферным осадкам (месячные и годовые суммы, максимальные и минимальные величины), температуре воздуха, глубине промерзания почвы, высоте снега и запасам воды в нем за период наблюдений на 9 метеостанциях Воронежской области, среднемесячным, годовым, наибольшим и наименьшим расходам воды за периоды наблюдений в бассейне Верхнего Дона, экстремальным значениям стоковых характеристик. Материалы заимствованы из кадастровых источников, интернет-ресурсов, архивных фондов Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Расчеты и анализ выполнены с применением методов географо-гидрологического, математико-статистических, сравнения, графического и др. В достижении поставленной цели использовались литературные источники, научные статьи. Расчеты выполнены в программных продуктах MSExcel, Statistica.

Результаты и обсуждение

Многоводные фазы водного режима: половодье и паводок – находятся в тесной зависимости от количества, вида, интенсивности, длительности выпадения атмосферных осадков на поверхность речного водосбора. Для снегового половодья в бассейне Верхнего Дона существенную роль играет снегонакопление холодного периода и сезона зимы, высота снежного покрова и запасы воды в снеге к началу снеготаяния. За счет более позднего осеннего снегообразования, нередко переходящего на декабрь, продолжительность устойчивого снежного покрова для бассейна сокращается, как это отмечается и в целом для ЕТР [7].

В количестве сезонных атмосферных осадков значимо выраженных тенденций не прослеживается. Зимние осадки, актуальные для образования половодного стока, четкого тренда роста или снижения не имеют. Колебания среднесезонных сумм (P, мм) осадков весны, лета и осени приобретают пилообразный характер (рис. 1). Лишь с некоторым допущением можно утверждать о снижении осенних осадков примерно после 1992 года и небольшом росте весенних осадков после 2002 года.

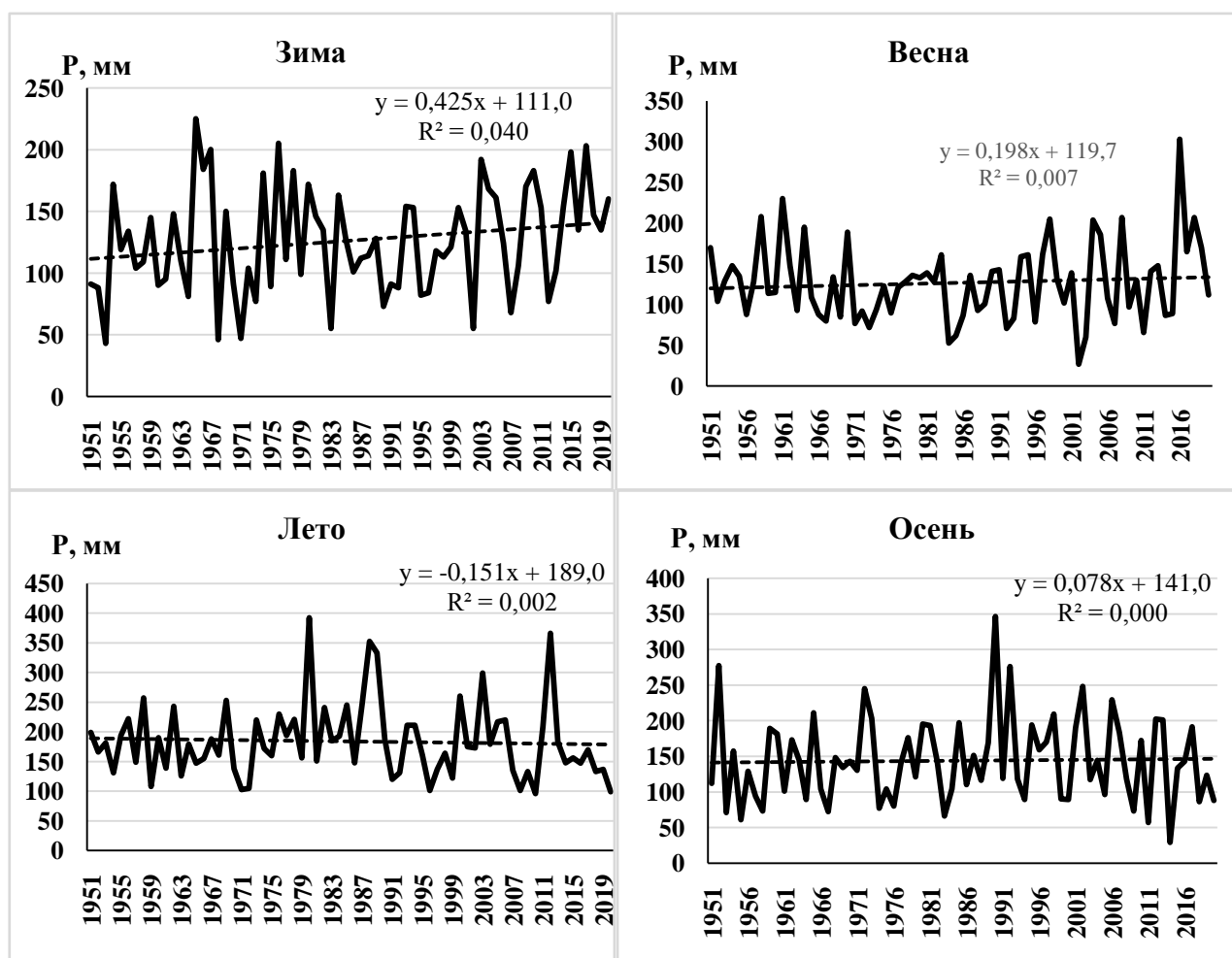


Рисунок 1 – Сезонные осадки по метеостанции Воронеж за 1951-2020 годы

Исходя из графического представления сезонных осадков за 70-летний период наблюдений на метеостанции Воронеж, можно констатировать, что существенных изменений в их количестве не отмечается. Распределение сумм осадков по сезонам внутри года в многолетних расчетах составляет зимой 21 %, весной 22 %, летом 32 %, осенью 25 % от годовой суммы 579 мм. Следовательно, количество осадков и их динамика не могут вызывать изменения в объемах снегового половодья и весеннего сезонного стока, происходящие на реках европейской России и, в частности, в бассейне Дона [8]. Очевидно, что ведущую роль в данных условиях играют иные элементы гидрологического цикла. Обратимся к температуре воздуха, ее изменениям и связанными с ними процессами на водосборе.

Метеорологические факторы, а именно, нарастание или снижение температуры воздуха интенсифицирует или замедляет процесс таяния снега и дружность половодья. Изменение климата, прежде всего повышение температуры воздуха, регистрируемое как на глобальном, так и региональном уровнях, является мощным триггером современных природных процессов. На европейской территории России прогревание атмосферы, как отмечается в [6, 9], фиксируется в течение всего текущего века, а период 2015-2020 гг. был самым теплым шестилетием, а период 2011-2020 гг. – самым теплым десятилетием за все годы наблюдений. В бассейне Дона на территории Воронежской области наблюдается резкое увеличение среднегодовой температуры воздуха после 1987 года. Указанный год является рубежным в многолетней динамике температурной характеристики, после которого формируется постоянное и неуклонное потепление. В колебаниях среднегодовой температуры воздуха за 1951-2020 гг. завершающий период рассмотрения 2020-ый год, стал самым теплым, с самой высокой среднегодовой температурой, превысив наибольшую 2002-го и аномально высокую 2010-го годов (рис. 2). Аналогичный ход температуры наблюдается и по всем метеостанциям области.

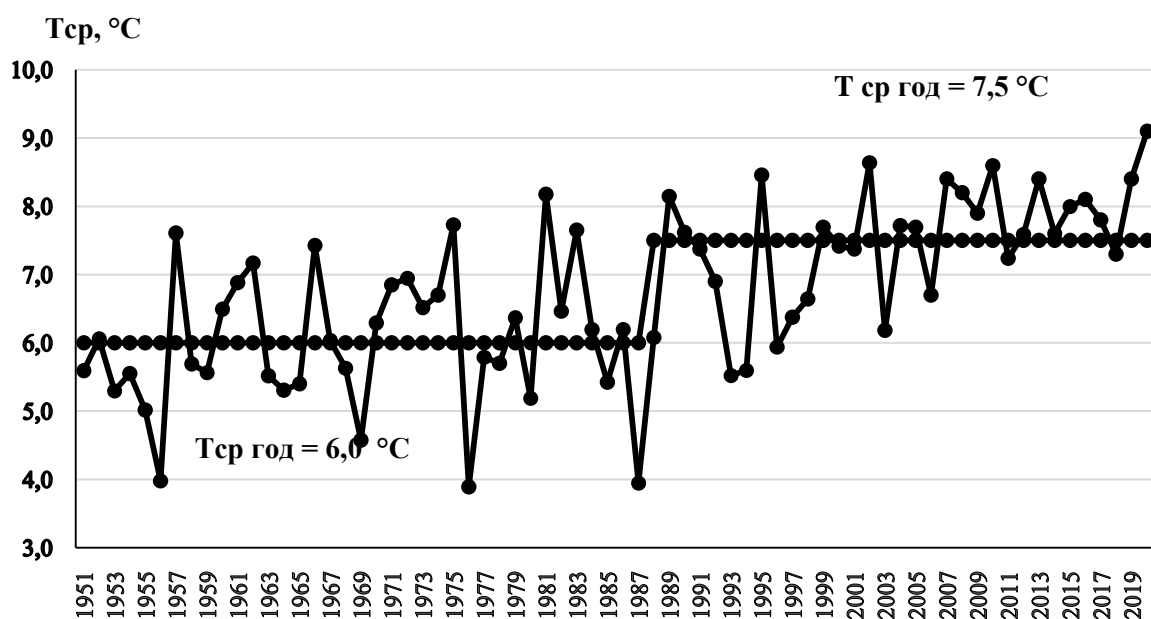


Рисунок 2 – Среднегодовая температура воздуха по метеостанции Борисоглебск за 1951-2020 годы

Повышение температуры происходит за счет наибольшего вклада зимнего прогревания атмосферы. Ее увеличение сопровождается слабым промерзанием почвы, а низкая глубина промерзания верхнего деятельного слоя почвы меняет условия снеготаяния и образования поверхностного склонового стока. Мерзлая земля в начальный период снеготаяния играет роль водоупора, не пропускающего воду вглубь почвы. Талая земля,

напротив, хорошо фильтрует воду в почву. Водоемкость почвенного слоя еще более возрастает, если осеннее увлажнение было небольшим. Сухая или мало увлажненная почва способна аккумулировать талую воду, сокращая образование поверхностного склонового и речного стока. В последние годы текущего столетия относительно теплые зимы не способствуют глубокому промерзанию почвы, которое оказывается ниже или значительно ниже среднемноголетней величины (нормы) (рис. 3).

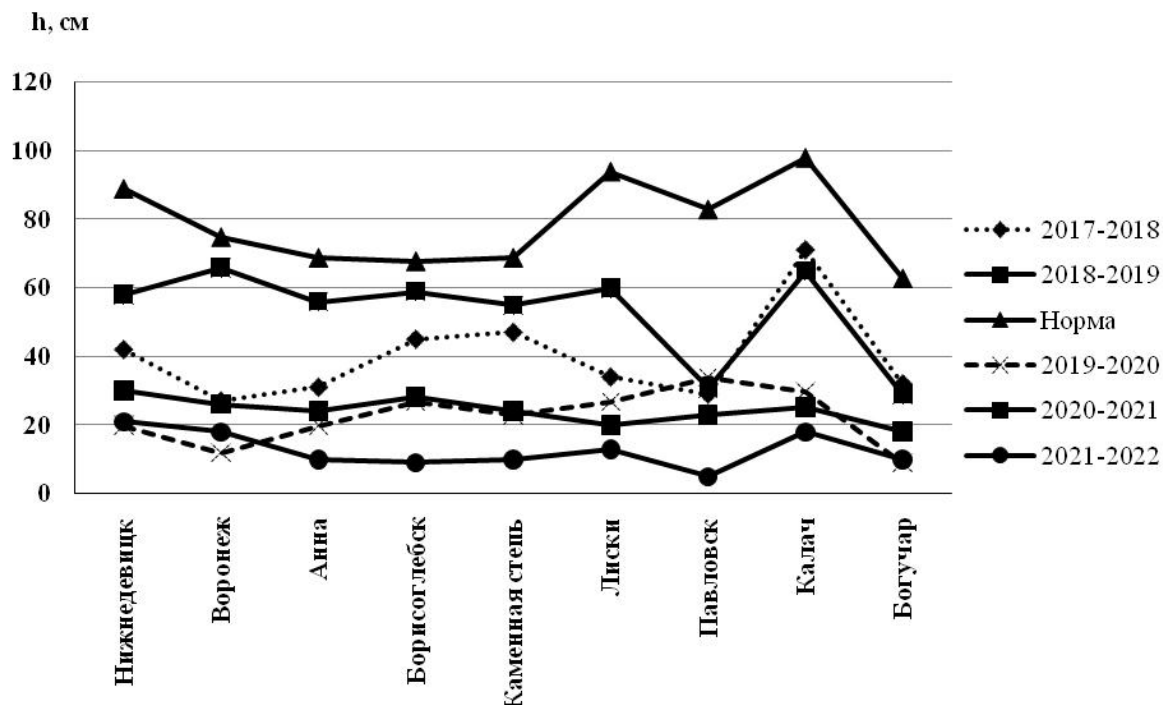


Рисунок 3 – Наибольшая глубина зимнего промерзания почвы к началу снеготаяния по данным метеостанций Воронежской области

Состояние почвы с предзимья, зимы до начала снеготаяния может изменить процесс половодья, а при многократных и постоянных повторениях скорректировать многолетний генезис максимальных расходов, поверхностного склонового и максимального стока [8]. Подобного характера трансформации в генезисе наблюдаются в современном режиме максимального стока весеннего снегового половодья на реках Дона.

При небольшой глубине промерзания в начальный момент снеготаяния часть воды впитывается почвой. Способность поглощения воды почвой зависит от типа почвы и ее физического состояния на момент начала снеготаяния. При полном заполнении пор и пустот почвы водой, а также мелких понижений рельефа местности потери поверхностного склонового стока минимизируются и начинает образовываться поверхностный склоновый сток, который, достигая русловую емкость, становится русловым стоком. При подобном сценарии стока половодья часть его затрачивается на пополнение запасов грунтовых и подземных вод, а оставшаяся часть образует речные воды половодья. Излишки стекающей воды образуют максимальные расходы воды в речном потоке. При этом закономерно снижается объем поверхностного и склонового стока и возрастает объем грунтового и подземного стока. Глубина промерзания почвы и максимальный расход воды чаще синфазны, и графики хода характеристик совпадают (рис. 4).

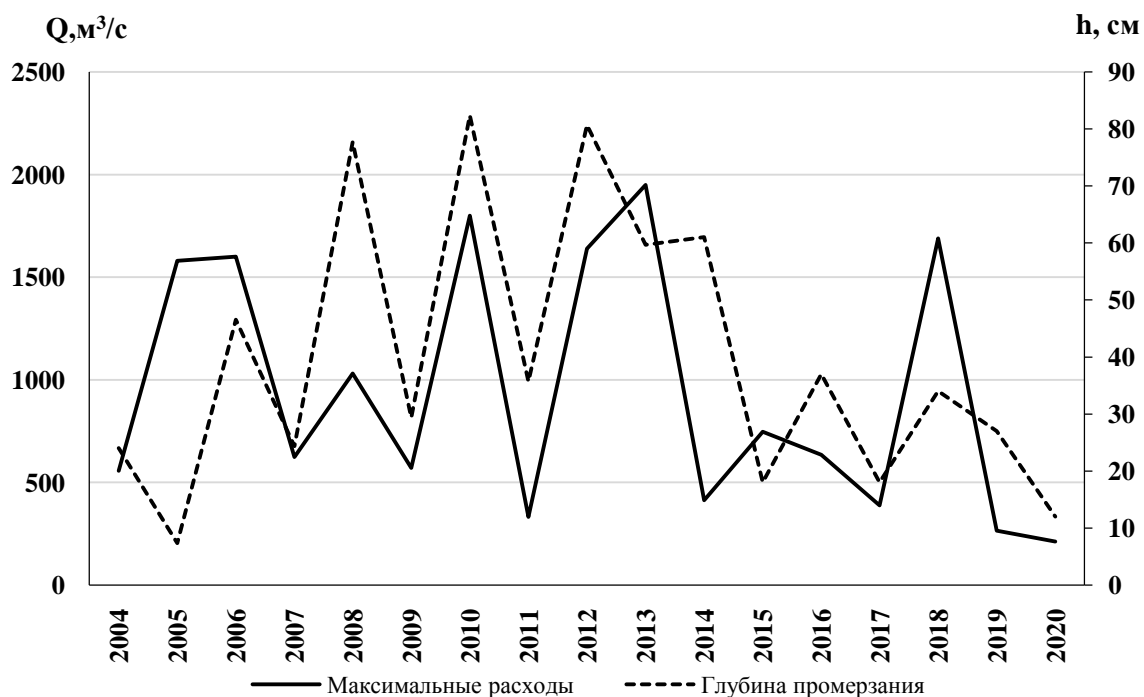


Рисунок 4 – Максимальная глубина промерзания почвы (метеостанция Лиски) и максимальные расходы снегового половодья (р. Дон – г. Лиски)

Важную роль в формировании максимального стока играют снеготаяния и водозапасы в снеге к началу снеготаяния. Как показывают материалы стационарных наблюдений на метеостанциях Воронежской области, высота снежного покрова в текущем столетии не выходит из диапазона средних значений 20-40 см, исключение составляет лишь зима 2018-2019 года, в которую в конце января высота снега на востоке Воронежской области достигала 84 см, а на остальной части – 44-73 см. Запасы воды в снеге выросли до максимальных значений в первой декаде февраля и на востоке области (метеостанция Борисоглебск) составили 189 мм, а на остальной части – 89-151 мм. Со второй декады февраля они начали уменьшаться. Несмотря на обильные снежные запасы и объемы воды, заключенные в них, достаточные для большого половодья, весенний разлив рек не был высоким, по величине ближе к средним значениям. Связано это с тем, что глубина промерзания почвы максимального значения 28 см достигла в первой декаде января, а в следующем месяце происходило постепенное оттаивание земли под пологом снежного покрова. В результате, вопреки благоприятным предпосылкам, половодье 2019 года не отличалось высокой водностью. Таким образом, подтверждается предположение о главенствующей роли состояния подстилающей поверхности, почвенного слоя, в современном генезисе половодья.

Но гидрологическая память хранит сведения о другом состоянии почвы, коренным образом изменившем типовую форму гидрографа. Так, зима 1952-1953 года в Воронежской области, как и на европейской части России, отличалась суровостью, с постепенным нарастанием среднемесячной температуры воздуха от минус 6,0°С в декабре до минус 13,5°С в феврале при количестве осадков и высоте снежного покрова в 1,5 раза ниже нормы. К концу февраля глубина промерзания почвы равнялась 102 см по измерениям на метеостанции Лиски, рассматриваемой в качестве примера. Температурный режим марта и даже апреля характеризовался отрицательными значениями, причем средняя месячная температура апреля равнялась минус 7,0°С за счет очень низких значений первой декады апреля. Но с 13 апреля приток солнечного тепла резко увеличился и началось бурное снеготаяние, которое сформировало ветвь подъема половодья в р. Битюг – г. Бобров в

течение 7 суток. В этих условиях мерзлая земля экранировала поступление воды в почву, и талая вода сбегала по склону в русло реки. В результате сложился новый, не характерный для реки с восточно-европейским режимом тип водного режима и тип гидрографа (рис. 5).

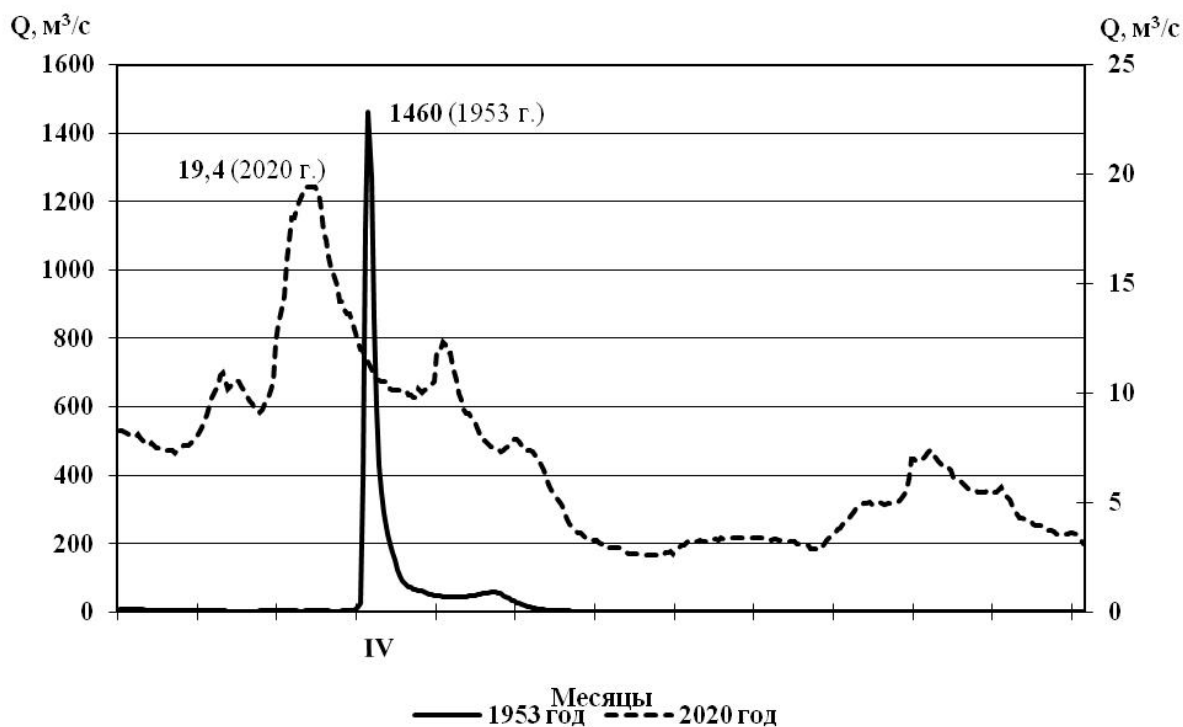


Рисунок 5 – Гидрограф р. Битюг – г. Бобров за 1953 и 2020 годы

За короткий промежуток времени, всего 7 суток, образовался исторический максимум весеннего половодья, остающийся им до настоящего времени. Максимальный расход воды $1530 \text{ м}^3/\text{с}$ при среднесуточном значении $1460 \text{ м}^3/\text{с}$ превышает средний многолетний расход $17,9 \text{ м}^3/\text{с}$ за период наблюдений 1933-2020 гг. в 85 раз. Продолжительность половодья составила рекордно короткие 32 суток.

Исключительно малая глубина максимального промерзания почвы к началу снеготаяния в зимний сезон в ряде случаев формирует вялотекущее половодье. Так, весеннее половодье 2020 года претендует на самое низкое за весь период мониторинговых наблюдений в бассейне Верхнего Дона. Подтверждением сказанному служит гидрограф р. Битюг-г. Бобров за 2020 г. (рис. 5). Ветви подъема и спада половодья характеризуются невысокой интенсивностью нарастания и снижения расходов воды, низкими значениями максимальных расходов, а в многолетнем ряду находятся в области исключительно низких величин. Максимальный расход весеннего половодья 2020 года является экстремально низким за весь период наблюдений с 1933 по 2022 год на гидростворе г. Бобров.

В условиях мягкой зимы и слабого промерзания почвы количество и распределение твердых осадков в формировании максимального стока и прохождении половодья уступают главную роль ведущего природного фактора состоянию почвы. Осеннее увлажнение почвы и толщина слоя промерзшей земли в совокупности с метеорологическими условиями в период снеготаяния являются ведущими как в самом процессе стокообразования, так и в формировании его особенностей, типичных или отличительных черт, аномалий. Применительно к текущему столетию можно говорить о смене ведущих факторов снегового половодья в бассейне Верхнего Дона.

Со сменой доминирования климатического фактора происходит перераспределение объемов речного стока по сезонам внутри года, постепенное снижение доли поверхностного питания в пользу подземного, на что указывает ряд исследователей [1, 2, 4, 6], существенно сокращается поверхностное питание малых и очень малых водотоков, а также и средних в

верховье, имеющих исключительно поверхностное питание. Очевидно, с недостатком поверхностного питания и слабым или отсутствующим подземным при небольшой глубине вреза русел связано отмирание верхних частей малых и средних рек, деградация или полное исчезновение малых и очень малых рек. Авторские исследования состояния малых водотоков в бассейне реки Сосна (Быстрая Сосна), значимого по водности правобережного притока Верхнего Дона, указывают на уменьшение речной сети на 8,2 % за счет полного или частичного исчезновения малых водотоков в течение второго десятилетия текущего века [2]. Аналогичные и очень интенсивные процессы трансформации малых водотоков наблюдаются на юге Воронежской области, в бассейнах рек Черная Калитва, Россошь, Гнилуша, Мамоновка и др. Очевидно, что при прогнозируемом дальнейшем нагревании приземного слоя атмосферы процессы деградации гидрографической сети могут продолжиться.

Выводы

В современных климатических условиях, при активном прогревании приземной температуры воздуха, в генезисе весеннего половодья роль глубины промерзания почвы доминирует над количеством атмосферных осадков и запасов влаги в снеге к началу снеготаяния. Максимальные расходы воды половодья, как правило, синфазны с максимальной глубиной промерзания к началу снеготаяния.

Осеннее влагосодержание почвы регулирует объемы инфильтрации талой воды, формирование склонового стока и поверхностное питание малых водотоков, сроки наступления наибольших (экстремальных) характеристик речного стока. С сокращением поверхностного питания в весенний сезон и недостатком подземного питания в летне-осеннюю межень, предположительно, связана деградация малых водотоков и средних рек в их верховьях.

Список литературы

1. Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.
2. Дмитриева В.А., Поваляев Н.Р. Изменения русловой сети на границе лесостепи и степи в Верхнедонском бассейне и водохозяйственные последствия // Степи Северной Евразии: материалы VIII международного симпозиума. Оренбург, 2018. С. 336-339.
3. Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Коронкевич Н.И. Весенний поверхностный склоновый сток на Русской равнине в годы различной водности // Известия РАН. Сер. географическая. 2020. № 1. С. 37-46.
4. Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья // Региональные геосистемы. 2021. № 45(4). С. 617-631.
5. Румянцев В.А., Коронкевич Н.И. Стратегические ресурсы природных вод России. Стратегические ресурсы и условия устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов. М., 2014. 166 с.
6. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Современные изменения водного режима рек бассейна р. Урал // Вопросы географии. 2018. № 145. Гидрологические изменения. С. 298-313.
7. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.
8. Дмитриева В.А., Сушков А.И., Закусилов В.П. Климатическая обусловленность современных гидроэкологических процессов в речных потоках бассейна Верхнего Дона //

Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 2. С. 118-127.

9. Научно-прикладной справочник «Климат России» (meteo.ru) [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/faces/index0a.xhtml> (дата обращения: 17.01.2023).

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 10.02.2023

Принята к публикации 16.03.2023

THE HYDROLOGICAL ROLE OF SOIL FREEZING IN THE FORMATION OF SPRING SNOW FLOOD RUNOFF IN THE UPPER DON BASIN

V. Dmitrieva

Voronezh State University, Russia, Voronezh
e-mail: verba47@list.ru

The purpose of this study is to show the redistribution of the dominant role of direct and indirect factors in the formation of the maximum runoff of the spring flood. In the presence of snow cover, but not deep winter freezing of the soil and its rapid thawing in spring, the state of the soil in combination with the air temperature regime can change the process of formation of maxima and volumes of spring runoff. The time fluctuations of the maximum water flow and the greatest freezing depth are in-phase.

Key words: precipitation, soil freezing, maximum runoff, high water.

Referents

1. Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. Vodnye resursy basseina Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie. M.: GEOS, 2017. 205 s.
2. Dmitrieva V.A., Povalyaev N.R. Izmeneniya ruslovoi seti na granitse lesostepi i stepi v Verkhnedonskom basseine i vodokhozyaistvennye posledstviya. Step'i Severnoi Evrazii: materialy VIII mezhdunarodnogo simpoziuma. Orenburg, 2018. S. 336-339.
3. Kashutina E.A., Yasinskii S.V., Koronkevich N.I. Vesennii poverkhnostnyi sklonovyi stok na Russkoi ravnine v gody razlichnoi vodnosti. Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya. 2020. N 1. S. 37-46.
4. Kumani M.V., Shul'gina D.V., Kiselev V.V. Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh elementov stoka rek v predelakh Tsentral'nogo Chernozem'ya. Regional'nye geosistemy. 2021. N 45(4). S. 617-631.
5. Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I. Strategicheskie resursy prirodnykh vod Rossii. Strategicheskie resursy i usloviya ustoichivogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii i ee regionov. M., 2014. 166 s.
6. Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Sovremennye izmeneniya vodnogo rezhima rek basseina r. Ural. Voprosy geografii. 2018. N 145. Gidrologicheskie izmeneniya. S. 298-313.
7. Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2022. 124 s.
8. Dmitrieva V.A., Sushkov A.I., Zakusilov V.P. Klimaticheskaya obuslovlennost' sovremennykh gidroekologicheskikh protsessov v rechnykh potokakh basseina Verkhnego Dona.

Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2022. N 2. S. 118-127.

9. Nauchno-prikladnoi spravochnik «Klimat Rossii» (meteo.ru) [Elektronnyi resurs]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/faces/index0a.xhtml> (data obrashcheniya: 17.01.2023).

Сведения об авторах:

Вера Александровна Дмитриева

Д.г.н., профессор кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежский государственный университет

ORCID 0000-0002-8464-3593

Vera Dmitrieva

Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University

Для цитирования: Дмитриева В.А. Гидрологическая роль промерзания почвы в формировании стока весеннего снегового половодья в бассейне Верхнего Дона // Вопросы степеведения. 2023. № 1. С. 16-24. DOI: 10.24412/2712-8628-2023-1-16-24.