

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.532;556.512

### ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ ДОНА<sup>1</sup>

© 2020 г. С. В. Долгов<sup>а, \*</sup>, Н. И. Коронкевич<sup>а, \*\*</sup>, Е. А. Барабанова<sup>а, \*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт географии РАН, Москва, 119017 Россия

\*e-mail: svdolgov1978@yandex.ru

\*\*e-mail: koronkevich@igras

\*\*\*e-mail: barabanova@igras.ru

Поступила в редакцию 10.03.2020 г.

После доработки 19.03.2020 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

Выполнен анализ современных изменений ландшафтной структуры бассейна Дона. На основании данных воднобалансовых станций определен вклад различных угодий в формирование весеннего поверхностного склонового стока. Дана оценка современным антропогенным и климатическим изменениям поверхностного склонового стока и инфильтрации в почву на пахотных угодьях в период весеннего половодья, а также речного стока, его поверхностной и подземной составляющих. Показано, что характерной особенностью формирования годового водного баланса стало значительное сокращение поверхностной составляющей стока и увеличение подземной составляющей. Выявленные тенденции современных изменений стока с водосбора Дона имеют устойчивый характер и их целесообразно учитывать при прогнозировании состояния водных ресурсов на ближайшую перспективу.

*Ключевые слова:* водосбор, ландшафтная структура, водный баланс, поверхностный сток, подземный сток, воднобалансовые станции, климатические и антропогенные изменения.

DOI: 10.31857/S032105962006005X

#### ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции многолетних колебаний речного стока в бассейне Дона обусловлены климатическими и антропогенными факторами, а также ландшафтными трансформациями, которым не уделяется достаточное внимание в гидрологических расчетах и прогнозах. Гидрологической роли ландшафтов посвящено немало работ, большая их часть выполнена давно и не отражает современной гидрологической ситуации. Статья посвящена исследованию совместного воздействия современной ландшафтной структуры и происходящих изменений климата на сток и водный баланс в бассейне Дона.

<sup>1</sup> Статья подготовлена по материалам исследований в рамках проекта ФНЦ Агроэкологии РАН “Долгосрочный прогноз изменения водных ресурсов для целей обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса бассейна реки Дон” (расчеты и обобщение их результатов); в рамках ГЗ (тема 0148-2019-0007 (разработка методики); при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-05-00479 (расчет стока весеннего половодья) и 18-05-00476 (оценка изменений инфильтрации и годового водного баланса).

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Исследования выполнены на основе географо-гидрологических подходов, представлений о вертикальной гидрологической структуре речного бассейна [11]. Для оценки временных изменений речного стока и вклада в эти изменения климатических и антропогенных факторов использованы методы статистической обработки данных. Для анализа формирования стока на водосборах применен воднобалансовый подход на основе обобщения данных воднобалансовых станций [12].

Оценка гидрологических характеристик бассейна Дона в целом выполнена путем обобщения результатов расчетов для территории каждой его административной единицы с учетом ее участия в формировании стока Дона. Это обусловлено тем, что структура ландшафтов, угодий в основном дается по административным единицам. В расчетах учитывались доли их донской части в площади всего бассейна Дона [16]. Для донской части территории административных единиц (не полностью находящихся в природных границах донского бассейна) доли площадей, занятых теми или иными ландшафтными выделами, приняты рав-

ными тому, что имеет место в административных единицах в целом. Для украинской части бассейна Дона, фактически для бассейна Северского Донца, размеры ландшафтных выделов приняты по аналогии с соседними российскими областями.

Расчет весеннего поверхностного склонового стока, составляющего большую часть годового, выполнен с учетом наиболее контрастных по условиям его формирования ландшафтных выделов, включая следующее:

гидрографическую сеть (участки, расположенные ниже бровок речных долин, оврагов, балок, лощин);

склоны (общая площадь за вычетом площади, занятой гидрографической сетью);

урбанизированные территории (включая населенные пункты и дорожную сеть);

лес (половина площади которого отнесена к склонам, половина — к площади, занимаемой гидрографической сетью);

поля под зябью и черным паром;

нераспахиваемые к весне сельскохозяйственные угодья (с уплотненной к началу половодья почвой — озимые, пастбища, залежи, многолетние травы).

Наиболее полное представление об особенностях водного баланса и стока с отдельных угодий и ландшафтов дают данные воднобалансовых станций. В настоящей работе использованы результаты обобщения данных наблюдений на воднобалансовых стационарах (путем их привязки к зональному речному стоку за период половодья) [12]. Это дало возможность определить зональные значения весеннего поверхностного склонового стока за исходный для расчетов период исчисления нормы стока по К.П. Воскресенскому [6] и картографировать их.

Для характеристики поверхностного склонового стока и водного баланса привлечены данные Новосильского, Поволжского и Волгоградского стационаров ФНЦ Агроэкологии РАН [2–4]; материалы наблюдений Нижнедевицкой воднобалансовой станции за 1998–2017. В качестве исходной информации использованы также многолетние данные наблюдений за речным стоком [1, 5, 14], температурой воздуха и осадками [7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Ландшафтные изменения в бассейне Дона*

Гидрологические изменения в бассейне Дона во многом обусловлены трансформацией ландшафтов, главным образом изменением площадей под зяблевой (осенней) вспашкой с разрыхленной к началу половодья почвой. Как показано в работах [2–4, 10, 12], весенний поверхностный

сток с полей, вспаханных осенью, значительно меньше, чем с нераспаханных полей.

К 1940 г. площадь зяби в бассейне Дона составляла 25%. К 1960 г. она возросла почти до 50% и сохранялась на этом уровне до конца 1970-х гг. Затем произошло существенное ее снижение (в последние годы до 25–28%). В среднем за период с 1978 г. по настоящее время площадь зяби составила 36.5% — на 5% меньше площади угодий с уплотненной почвой к началу половодья (табл. 1). Во многом это уменьшение объясняется кризисными явлениями в экономике и увеличением доли озимых культур, дающих более высокий урожай по сравнению с яровыми культурами.

Быстро растет площадь урбанизированных территорий, способствующих увеличению стока. Она достигла ~4%. Несколько возросла площадь залесенных участков, поверхностный сток с которых близок к нулю. Представленные в табл. 1 урбанизированные территории, лес, угодья с рыхлой и уплотненной к началу половодья почвой в основном расположены на склонах.

Примерно такую же площадь, как и на склонах, лес занимает и в гидрографической сети (овраги, балки, речные долины), где скапливаются большие снеготопы, грунтовые воды залегают близко к поверхности, что способствует увеличению поверхностного стока.

### *Гидрологическая роль структуры ландшафта в бассейне Дона при относительно стабильных климатических условиях*

Гидрологическая роль ландшафтов особенно ярко проявляется при относительно однородных климатических условиях. В бассейне Дона такие климатические условия наблюдались с конца XIX в. до 1960-х гг. (период исчисления нормы стока, по [6]) и вплоть до 1980-х гг. В 1960–1970 гг. ландшафтная структура бассейна Дона существенно изменилась — резко увеличилась площадь зяблевой пахоты. Это привело к значительным изменениям весеннего поверхностного склонового стока, среднемноголетние величины которого по данным воднобалансовых станций представлены в табл. 2 и на рис. 1. Склоновый сток на рис. 1 учитывает структуру угодий и механический состав почв.

Заметны существенные различия величин склонового стока с зяби и с полей с уплотненной к началу половодья почвой (стерня, озимь, залежь, пастбища). Сток с зяби меньше, чем с нераспаханных к началу половодья полей, в 1.5 и более раз — в лесостепной и до 4–5 раз — в степной зонах.

В результате отмеченного выше резкого увеличения площадей под зябью средний взвешенный весенний поверхностный склоновый сток сни-

**Таблица 1.** Ландшафтная структура донского бассейна в среднем за период 1978–2013 гг., %

Административная единица	Урбанизированные территории	Лес	Зябь, пар	Уплотненная пашня	Площадь гидрографической сети
Тулльская область	4.6	6.5	40	33.9	15
Орловская область	3.8	4.7	40	29.5	22
Рязанская область	3.4	7.5	40	34.1	15
Тамбовская область	3.3	5.2	43	31.5	17
Липецкая область	4.3	3.8	45	31.9	15
Воронежская область	4.3	4.2	41	35.5	15
Курская область	4.1	4.2	45	26.7	20
Белгородская область	4.5	4.2	43	20.3	28
Пензенская область	3.6	10.6	35	35.8	15
Саратовская область	2.4	2.8	36	41.8	17
Волгоградская область	2.4	2.4	33	45.2	17
Республика Калмыкия	1.9	0.2	32	55.9	10
Ростовская область	3.6	1.4	34	51	10
Ставропольский край	3.5	0.7	33	50.8	12
Краснодарский край	3.5	1.1	35	50.4	10
Российская часть бассейна Дона	3.4	3.3	37.2	41.2	15
Украинская часть бассейна Дона	4.8	4.7	32	38.5	20
Всего бассейн Дона	3.6	3.1	36.5	40.9	16

**Таблица 2.** Весенний поверхностный склоновый сток с отдельных угодий в сравнении с величиной среднего многолетнего стока половодья за период исчисления нормы речного стока по К.П. Воскресенскому [6]

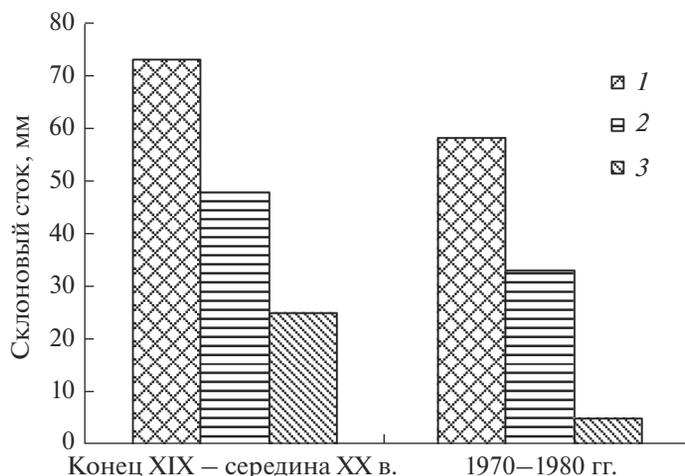
Физико-географическая зона	Средний многолетний сток половодья на реках за период с конца XIX в. до начала 1960-х гг., мм	Поверхностный склоновый сток, мм			
		на суглинистых почвах		на супесчаных почвах	
		зябь	поля, нераспаханные с осени	зябь	поля, нераспаханные с осени
Северная часть лесостепи	80	48	71	13	28
Южная часть лесостепи	60	31	61	9	23
Северная часть степи	40	18	48	6	20
Южная часть степи	20	5	32	3	17

зился по сравнению с периодом исчисления нормы стока в северной части лесостепи на >20%, в центральной лесостепи – в 1.5 раза, а в степной зоне ~в 6 раз. Это сказалось и на полном речном стоке Дона – он уменьшился на >10% [8]. В дальнейшем все большую роль в изменении стока стали играть увеличение площади урбанизированных территорий и особенно климатические изменения.

#### *Изменение климатических условий*

К числу основных факторов формирования стока относятся температура воздуха и атмосферные осадки.

Для определения регионального эффекта глобального изменения климата (в сторону потепления) анализировались многолетние наблюдения за температурой воздуха на воднобалансовом стационаре Каменная Степь, находящемся в цен-



**Рис. 1.** Поверхностный склоновый сток с сельскохозяйственных угодий в разные периоды в южной части Русской равнины. 1 – северная лесостепь; 2 – центральная и южная лесостепь; 3 – степная зона.

тральной части донского бассейна. По результатам наблюдений в 1923–2017 гг., рост среднегодовой температуры в Каменной Степи весьма существенен – 2.8°C. Обусловлено это прежде всего увеличением температуры в холодный период (с ноября по март) – на 4.2°C; это привело к снижению глубины промерзания почвогрунтов и к участвовавшим оттепелям, во время которых значительная доля талых вод расходуется не на образование поверхностного стока с речных водосборов, а на инфильтрацию и пополнение запасов подземных вод. Тенденция роста отчетливо выражена также в многолетних колебаниях температуры в теплый период (с апреля по октябрь). За рассматриваемый период он составил 2°C и способствовал увеличению испарения.

Последствия многолетнего увеличения температуры воздуха холодного и теплого периодов различны. Рост температуры воздуха холодного периода (при характерном для него низком испарении) привел к меньшему промерзанию почвы, учащению оттепелей, росту инфильтрации, увеличению стока в осенне-зимнюю межень главным образом за счет возросшей роли подземного питания рек. В то же время он стал основной причиной уменьшения поверхностного склонового стока и речного стока весеннего половодья. В итоге уменьшилась неравномерность внутригодового распределения стока.

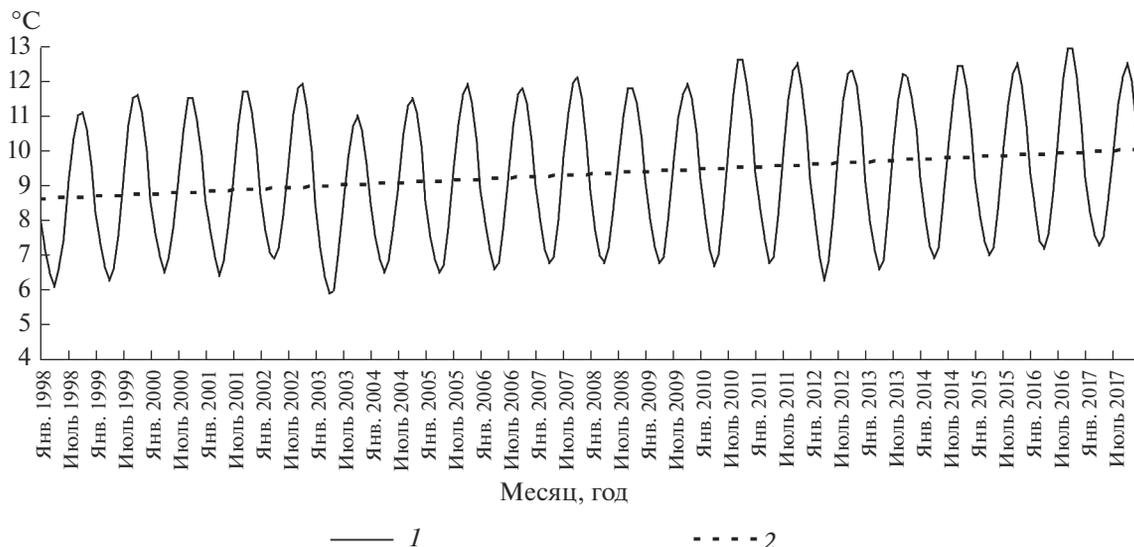
Иная ситуация наблюдается при росте температуры воздуха в теплый период. Такое изменение способствует увеличению испарения и снижению стока летне-осенней межени. Если судить по динамике влагозапасов в верхнем метровом слое почвы, то тенденция увеличения испарения в последние годы сохраняется. Так, с 1998 по 2017 г. уменьшение влагозапасов в районе Нижнеде-

вицкой воднобалансовой станции составило в среднем 45 мм.

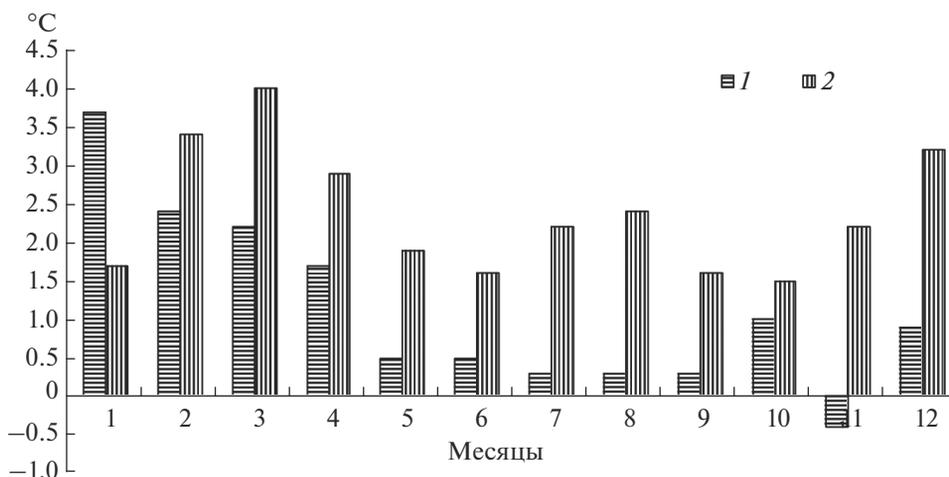
Поскольку сезонный ход температуры грунтов в зоне аэрации прослеживается на значительной глубине (рис. 2), то существенный вклад в уменьшение стока может вносить испарение грунтовых вод, особенно в речных долинах. Такой же эффект становится возможным при неглубоком их залегании на приводораздельных частях водосбора. Так, в районе Каменной Степи увеличение испарения грунтовых вод стало одной из основных причин прекращения в начале 1980-х гг. подъема их уровней, наблюдавшегося длительное время (с середины 1950-х гг.), впоследствии их стабилизации и снижения с 2007 г.

Для прогнозирования состояния водных ресурсов на ближайшую перспективу важнейшее значение имеет современная тенденция изменения температуры воздуха. О возможности сохранения выявленной авторами статьи тенденции в многолетнем ходе температуры воздуха свидетельствует то, что за последнее десятилетие рост температуры стал еще более заметным (рис. 3). При этом если в период с 1981 по 2007 г. наиболее значительный рост температуры (на 1.9°C) наблюдался в холодный период и в гораздо меньшей мере (на 0.7°C) в теплый период, то в последнее десятилетие наметилась тенденция сокращения этой разницы, хотя рост температуры (в среднем на 3°C по сравнению с нормой) в холодный период продолжился, но весьма существенно возросла температура (на 2.2°C по сравнению с нормой) и в теплый период (по состоянию на 1980 г.).

Анализ многолетних колебаний количества осадков выполнен по восьми метеостанциям с наиболее длительным периодом наблюдений, которые находятся в различных физико-географических условиях. Для расчетов привлекались дан-



**Рис. 2.** Динамика среднемесячной температуры грунтов зоны аэрации на глубине 3.2 м от дневной поверхности (по данным Нижнедевицкой воднобалансовой станции). 1 – фактические значения; 2 – линейный тренд ( $y = 0.006x + 8.50$ ,  $R = 0.21$ ).



**Рис. 3.** Изменение среднемесячной температуры воздуха на метеостанции Каменная Степь за 1981–2007 (1) и 2008–2017 гг. (2) относительно нормы за 1923–1980 гг.

ные по осадкам с поправками по следующим метеостанциям: города Валуйки, Волгоград, Урюпинск, Фролово, пгт Чертково, Гигант (Сальский район, Ростовская область), Богородицкое-Фенино (Губкинский район, Белгородская область), г. Пенза.

Расчеты показали, что, в отличие от температуры воздуха, осадки изменились не столь существенно. По сравнению с нормой, исчисляемой по данным наблюдений до 1981 г., годовые суммы осадков немного увеличились. Рост за 1981–2015 гг. составил 19 мм (3.6%). В основном увеличилось количество осадков в теплый период (на 18 мм, 5.8%), которые не играют существенной роли в

формировании стока, а количество осадков в холодный период практически не изменилось.

#### *Сток в весеннее половодье в современных климатических условиях*

Вследствие прекращения наблюдений на многих воднобалансовых станциях в 1980–1990-е гг. для оценки изменений поверхностного склонового стока на пахотных угодьях (занимающих большую часть склонов на речных водосборах) в основном пригодны данные лишь трех стационаров ФНЦ Агрэкологии РАН – Новосильского, Поволжского и Волгоградского [2]. Анализ этих

**Таблица 3.** Ландшафтная структура поверхностного склонового стока (1978–2013 гг.), мм

Административная единица	Урбанизированные территории	Лес	Зябь	Нераспахиваемые осенью поля	Всего
Тульская область	5.2	0	4.4	10.5	20.1
Орловская область	4.2	0	3.2	7.1	14.5
Рязанская область	3.6	0	4.8	10.2	18.6
Тамбовская область	3.4	0	3.4	7.9	14.7
Липецкая область	4.2	0	3.6	5.7	13.6
Воронежская область	4.1	0	2.9	6.4	13.4
Курская область	4.2	0	1.8	4.0	10.0
Белгородская область	4.1	0	1.3	2.4	7.8
Пензенская область	3.8	0	3.9	10.0	17.7
Саратовская область	1.8	0	2.5	8.4	12.7
Волгоградская область	1.7	0	0.3	1.8	3.8
Республика Калмыкия	1.2	0	0	0	1.2
Ростовская область	2.3	0	0.3	2.0	4.7
Ставропольский край	2.3	0	1.7	7.6	11.5
Краснодарский край	2.3	0	0.4	1.5	4.2
Российская часть бассейна Дона	2.5	0	1.8	4.5	8.8
Украинская часть бассейна Дона	3.5	0	0.6	3.1	7.2
Всего бассейн Дона	2.5	0	1.7	4.4	8.6

данных показал, что характерной тенденцией в современный период (конец 1970-х – начало 1980-х гг.) стало резкое (на десятки процентов) сокращение весеннего поверхностного склонового стока на всей территории донского бассейна [3, 10]. В начале XXI в. он нередко равняется нулю. Особенно сильно (на 40–74%) снизился поверхностный склоновый сток на уплотненной пашне; в меньшей мере, но весьма существенно (на 33–83%) уменьшился он и на зяби. Другой отчетливо выраженной тенденцией стало увеличение инфильтрации весной. На большей части рассматриваемой территории она значительно возросла – на 22–41%, сократившись лишь в засушливой степи со светло-каштановыми почвами – на 30–39% вследствие уменьшения на 36–50% запаса воды в снеге и осадков за период снеготаяния.

Эти изменения связаны с тем, что рост температуры воздуха (на 1.2–1.4°C) в холодный период года привел к участвующимся оттепелям и к уменьшению вследствие этого запасов воды в снеге перед началом половодья, а также к снижению (в ~2 раза) глубины промерзания почвогрунтов. При этом количество осадков за холодный период на рассматриваемой территории практически не изменилось.

Расчеты показали, что изменения климата и сельскохозяйственной деятельности на современном этапе разнонаправленно действуют на поверхностный склоновый сток [3, 10]. Произшед-

шие за последние годы изменения в хозяйственной деятельности на речных водосборах (в основном, сокращение площади зяблевой пахоты) способствуют увеличению стока. Их вклад в общее его изменение составляет 15–25%, но климатический фактор в несколько раз больше уменьшает сток. Его вклад в современное общее изменение стока составляет 75–85%.

На основе рекомендаций по определению стока с урбанизированных площадей [15] также рассчитан сток с площадей, занятых постройками и дорогами, по величине снеготаяния и осадков за период снеготаяния, умноженной на коэффициент стока 0.7 для северной части бассейна Дона и 0.6 – для южной. Сток с лесных угодий принят равным нулю.

Обобщение результатов расчетов для ландшафтных выделов территории каждой административной единицы позволило определить ландшафтную структуру современного поверхностного склонового стока донского бассейна в период половодья (табл. 3). Расчеты показали, что существенную роль в формировании склонового и речного стока играют урбанизированные территории. Величина стока, формирующегося на них, в настоящее время соизмерима с его величиной с сельскохозяйственных угодий.

С учетом подземного стока, определяемого расчленением гидрографов, и стока с гидрографической сети в табл. 4 дана общая структура реч-

ного половодья в бассейне Дона по административным единицам. При этом сток с площади гидрографической сети, определенный на основе данных по снегозапасам и с использованием коэффициентов стока с гидрографической сети [12, 13], снижен из-за уменьшения ветрового переноса снега со склонов. Это объясняется уменьшением доли твердых осадков в общем их количестве в холодный период года и частичного стаивания снега на склонах во время оттепелей [9]. Как видно из табл. 4, результаты расчетов речного стока половодья близки к величинам фактического речного стока по [9]. В целом для бассейна Дона они отличаются на <10%. Полученные соотношения использованы для расчета структуры стока ряда речных бассейнов (табл. 5). Следует обратить внимание на довольно устойчивую долю склонового стока, на возрастание доли стока, формирующегося на площади гидрографической сети в южных степных районах, и, соответственно, на снижение доли подземного стока.

*Структура годового речного стока  
и современные ее изменения в бассейнах рек  
Верхнего и Среднего Дона*

Наиболее детально современные изменения стока определены в бассейне р. Девичы. Площадь водосбора р. Девичы составляет 1490 км<sup>2</sup>. О репрезентативности этого водосбора для всего донского бассейна (по крайней мере его верхней части с площадью 204000 км<sup>2</sup>, где формируется основной объем стока) свидетельствует тесная корреляционная связь между величинами годового стока р. Девичы у с. Девича и р. Дон у х. Беляевского (коэффициент корреляции 0.8).

Характерной особенностью формирования годового водного баланса в бассейне р. Девичы (табл. 6) стало значительное (на 75%) сокращение поверхностной составляющей стока и увеличение (на 30%) подземной составляющей. В результате годового стока р. Девичы существенно (на ~35%) сократился, а коэффициент речного стока снизился с 0.24 до 0.15. Доля дренируемого рекой подземного стока в полном годовом стоке возросла с 39 до 80%. Поверхностная составляющая речного стока в основном формируется на площади гидрографической сети (участки, расположенные ниже бровок речных долин, оврагов, балок, лощин).

Обобщение данных Нижнедевицкой воднобалансовой станции за 1998–2017 гг. показало, что расходная часть водного баланса бассейна р. Девичы (в сумме сток и испарение) в среднем за гидрологический год составляет ~85% количества осадков. Остальная часть осадков пополнила запасы влаги во всей толще зоны аэрации — за 20 лет на 87 мм: в том числе в верхнем метровом слое почвы — на 8 мм, ниже 1 м — на 79 мм.

В последнее десятилетие (2008–2017 гг.) вследствие уменьшения осадков на 13 мм суммарный сток снизился на 12 мм. Особенно заметно сократился поверхностный сток с водосбора — с 6 мм до нуля. Весьма существенно снизилась подземная составляющая стока в связи с уменьшением (на 6 мм) влагозапасов в зоне аэрации из-за усилившегося испарения.

В табл. 7 приведены данные о сезонном распределении поверхностного и подземного стока с водосбора р. Девичы, а также суммарного стока. Годовой суммарный сток р. Девичы за последнее десятилетие заметно уменьшился — на 13% (относительно периода 1998–2007 гг.) На близкую величину — 16% сократился годового стока Дона в створе г. Лиски. Причем уменьшение стока наблюдается как в летне-осеннюю межень, так и в зимнюю.

Анализ многолетних колебаний месячного минимального стока показал, что снижению в последние годы годового стока на Верхнем Дону способствует уменьшение подземного стока как в холодный (ноябрь–март), так и в теплый (апрель–октябрь) периоды года (рис. 4).

Уменьшение подземной составляющей стока прослеживается в бассейне не только Верхнего Дона, но и Среднего Дона: р. Чир у ст. Обливской (8470 км<sup>2</sup>) и р. Иловля у с. Боровки (8730 км<sup>2</sup>) (рис. 5). Оно характерно для межени холодного периода и составило по отношению к периоду 1981–2006 гг. в среднем соответственно 45 и 55%. Вероятно, это имеет место не только на Верхнем и Среднем, но и Нижнем Дону, что требует дополнительных исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для бассейна Дона характерны существенные ландшафтные изменения, выразившиеся главным образом в изменении площадей под зяблевой (осенней) пахотой, весенний поверхностный сток с которой, как показывают данные наблюдений на воднобалансовых станциях, значительно меньше, чем с полей нераспаханных с осени. Если до Великой Отечественной войны площадь зяби в бассейне Дона была ≤25%, то в 1960–1970 гг. осенью распахивалось до 50% всей площади бассейна Дона. Затем площадь зяби сократилась и составила за период 1978–2013 гг. в среднем 36.5%, а в самые последние годы — 25–28%. В 1960–1970 гг. увеличение площади зяблевой пашни стало основным фактором уменьшения поверхностного склонового и речного стока половодья из-за изменения ландшафтной структуры территории. Сток снижался и после 1970 г.; причем в самые последние годы поверхностный склоновый сток стал близок к нулю. Несмотря на сокращение площадей под зяблевой пашней и

Таблица 4. Структура половодья за 1978–2013 гг. по административным единицам

Административная единица	Фактический сток половодья на реках, мм	Поверхностный склоновый сток		Сток с площади гидрографической сети		Подземный сток		Суммарный рассчитанный сток половодья	
		мм	рассчитанный сток, %	мм	рассчитанный сток, %	мм	рассчитанный сток, %	мм	%
Тульская область	55	20.1	30.8	22	33.8	23	35.4	65	100
Орловская область	48	14.5	26	19	35.2	21	38.8	54	100
Рязанская область	58	18.6	33.4	23	40.3	15	26.3	57	100
Тамбовская область	55	14.7	33.3	22	48.9	8	17.8	45	100
Липецкая область	37	13.6	31.2	15	33.3	16	35.5	45	100
Воронежская область	33	13.4	35.2	14	37.8	10	27	37	100
Курская область	30	10	31	12	40	9	29	31	100
Белгородская область	30	7.8	29.7	13	40.3	9	30	30	100
Пензенская область	62	17.7	29	25	41	18	30	61	100
Саратовская область	35	12.7	36.6	15	43.2	7	20.2	35	100
Волгоградская область	15	3.8	28.6	8	57	2	14.4	14	100
Республика Калмыкия	5	1.2	20	3	65	1	15	5	100
Ростовская область	13	4.7	31.2	8	55.5	2	13.3	15	100
Ставропольский край	40	11.5	25.5	20	42.5	15	32	47	100
Краснодарский край	15	4.2	28.7	8	57	2	14.3	14	100
Росийская часть бассейна Дона	26.8	8.8	31.5	12.1	43.4	7	25.1	27.9	100
Украинская часть бассейна Дона	18	7.2	29.2	9	37.5	8	33.3	24	100
Всего бассейн Дона	25.7	8.6	31.2	11.9	43.1	7.1	25.7	27.6	100

**Таблица 5.** Структура стока половодья в речных бассейнах в 1981–2013 гг.

Река–пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Слой стока речного половодья, мм*	Доля участия в стоке речного половодья, %		
			поверхностный склоновый сток	сток с площади гидрографической сети	подземный сток
Дон–ст. Казнская	102000	47	31	35	34
Сосна–г. Елец	16300	46	26	35	39
Воронеж–г. Липецк	15300	48	38	33	29
Битюг–г. Бобров	7340	39	39	34	27
Хопер–х. Бесплемяновский	44900	47	30	40	30
Медведица–ст. Арчединская	33700	34	40	43	17
Иловля–с. Александровка	6520	13	40	45	15
Чир–ст. Обливская	8470	20	31	56	13
Северский Донец–с. Киселево	740	27	30	40	30
Оскол–д. Раздолье	8640	27	30	40	30

\* По [9].

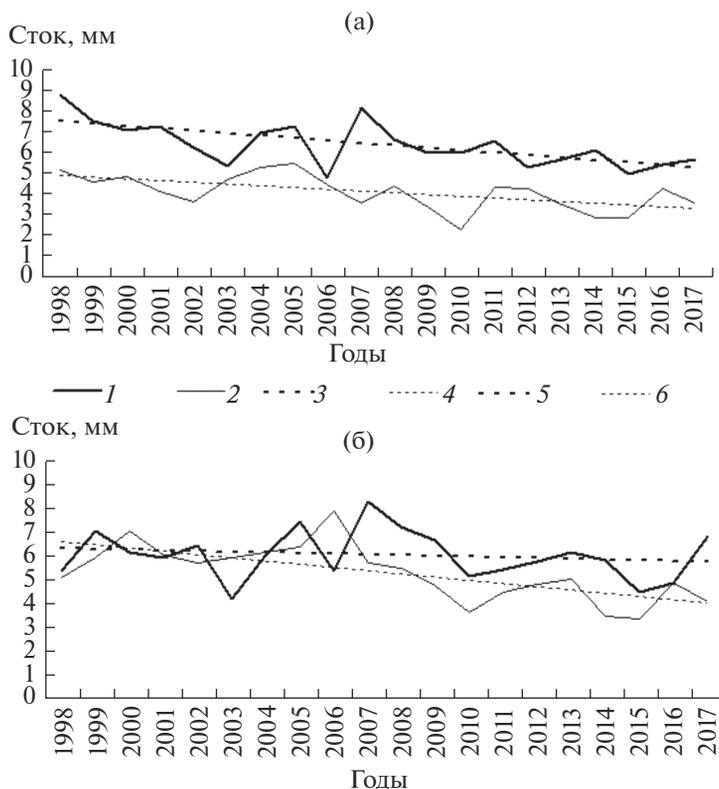
**Таблица 6.** Водный баланс бассейна р. Девицы у с. Девицы в среднем за гидрологический год в различные периоды (по методике ГГИ [5])

Элемент водного баланса	Период, годы			
	1945–1960	1998–2017	1998–2007	2008–2017
Величина элементов водного баланса, мм				
Осадки ( $X$ )	578	601	608	595
Поверхностный сток с водосбора (в среднем между логами Долгий и Малютка ( $Y$ ))	46	2.8	5.5	0
Сток р. Девицы ( $Y_{\text{реч}}$ ),	141	93	99	87
поверхностная составляющая стока ( $Y_{\text{пов}}$ )	86	21	20	22
подземная составляющая стока ( $Y_{\text{подз}}$ )	55	72	79	65
Испарение ( $E = X - Y_{\text{реч}}$ )	437	508	509	508
Инфильтрация в почву ( $I = E + Y_{\text{подз}}$ )	492	580	588	573
Изменение относительно нормы, %				
Осадки ( $X$ )	–	4.0	5.2	2.9
Поверхностный сток с водосбора (в среднем между логами Долгий и Малютка ( $Y$ ))	–	–94	–88	–100
Сток р. Девицы ( $Y_{\text{реч}}$ ),	–	–34	–30	–38
поверхностная составляющая стока ( $Y_{\text{пов}}$ )	–	–76	–77	–74
подземная составляющая стока ( $Y_{\text{подз}}$ )	–	31	44	18
Испарение ( $E = X - Y_{\text{реч}}$ )	–	16	16	16
Инфильтрация в почву ( $I = E + Y_{\text{подз}}$ )	–	18	20	16

**Таблица 7.** Сезонное распределение составляющих годового стока р. Девицы у с. Девица за 1998–2017 гг. (мм и % годового стока)

Показатель стока	Годы наблюдений	Гидрологический год*		Период половодья		Летне-осенний период**		Осенне-зимний период***	
		мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Поверхностная составляющая	1998–2007	20.1	20	13.2	13.3	3.6	3.7	3.3	3.3
	2008–2017	21.8	25	13.7	15.9	3.7	4.2	4.4	5.1
	1998–2017	20.9	23	13.5	14.5	3.6	3.9	3.8	4.1
Подземная составляющая	1998–2007	79.2	80	10.4	10.4	39.5	39.8	29.3	29.5
	2008–2017	64.6	75	9.7	11.2	31.5	36.5	23.4	27.1
	1998–2017	71.9	77	10.0	10.8	35.5	38.3	26.4	28.4
Суммарный сток	1998–2007	99.3	100	23.5	23.7	43.2	43.5	32.6	32.8
	2008–2017	86.4	100	23.5	27.2	35.2	40.7	27.8	32.2
	1998–2017	92.8	100	23.5	25.3	39.2	42.2	30.2	32.5

\* С октября по ноябрь.  
 \*\* От окончания половодья по октябрь.  
 \*\*\* С ноября до начала половодья.



**Рис. 4.** Динамика минимального месячного стока р. Девицы у с. Девица (а) и р. Дон у г. Лиски (б). Фактические значения: 1 – холодный период, 2 – теплый период. Линейные тренды: 3:  $y = -0.12x + 7.67$ , ( $R = 0.65$ ); 4:  $y = -0.084x + 4.99$  ( $R = 0.58$ ); 5:  $y = -0.03x + 6.38$  ( $R = 0.16$ ); 6:  $y = -0.13x + 6.76$  ( $R = 0.68$ ).

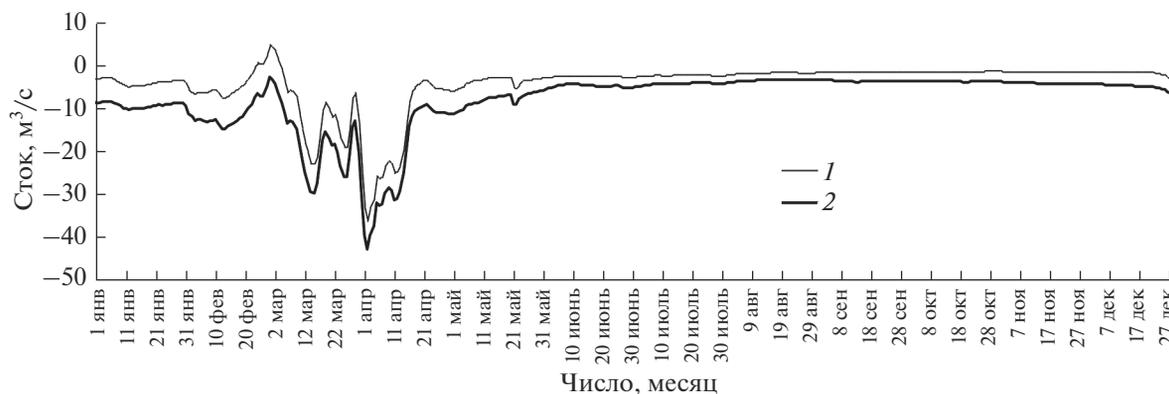


Рис. 5. Изменение среднего за 2007–2016 гг. суточного стока р. Чир у ст. Обливской (1) и р. Иловли у с. Боровки (2) относительно среднего за 1981–2006 гг. суточного стока.

рост урбанизированных территорий, главным фактором этого снижения стало изменение климатических условий. Рост температуры воздуха в холодный период года привел к уменьшению глубины промерзания почвы, учащению оттепелей, росту инфильтрации воды в почву. В отличие от температуры воздуха, количество осадков в бассейне Дона изменилось не столь существенно, в том числе в холодный период года.

Определена структура весеннего поверхностного склонового стока и речного стока для ряда речных бассейнов. Показано, что существенную роль в формировании склонового и речного стока играют урбанизированные территории. Величина стока, формирующегося на них, в настоящее время соизмерима со стоком с сельскохозяйственных полей. Показан большой вклад в речной сток площади гидрографической сети. С учетом поверхностного склонового стока и подземной составляющей, определенной по расчленению гидрографов, рассчитан суммарный сток весеннего половодья для бассейна Дона за 1978–2013 гг. – 26.7 мм.

Детальное изучение годового водного баланса р. Девицы, сток которой довольно тесно связан со стоком р. Дон у х. Беляевского, показало, что годовой сток Девицы за последнее десятилетие уменьшился на 13% относительно периода 1998–2007 гг. На близкую величину – 16% сократился годовой сток Дона в створе г. Лиски. Причем уменьшение стока наблюдается как в летне-осеннюю, так и в зимнюю межень. Подобная тенденция свойственна и другим рекам Верхнего и Среднего Дона.

В будущем весьма велика вероятность сохранения выявленных тенденций в изменениях климатических условий и стока. Для более детального изучения этих тенденций было бы чрезвычайно важно реанимировать сеть воднобалансовых станций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). [Электронный ресурс]. <https://gmvo.skniivh.ru/>
2. Барabanов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.
3. Барabanов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностный склоновый сток в лесостепных и степных районах Русской равнины // Вод. ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 332–340.
4. Барabanов 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. 74–81.
5. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 199 с.
6. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 548 с.
7. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ МЦД). [Электронный ресурс]. <http://meteo.ru/>
8. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милокова И.П., Кашутина Е.А., Барabanова 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. ISBN: 978-5-317-04737-5
9. 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.
10. Долгов С.В. Водный потенциал Волгоградской области и его современные изменения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 4. С. 77–88.

11. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Гидрологическая ярусность равнинной территории // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 1. С. 7–25.
12. Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
13. Мишон В.М. Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. 192 с.
14. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 3. Бассейн Дона. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 559 с.
15. СНиП 2.04.03-85 “Канализация. Наружные сети и сооружения”. Минстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1996.
16. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Дон. Кн. 1. Общая характеристика речного бассейна. 2013. 343 с.