

УДК 551.4.012

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА МАЛЫХ РЕК ЮЖНОЙ ПОЛОВИНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Г.Р. Сафина¹, В.Н. Голосов^{1,2}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, 119991, Россия

Аннотация

Изменения климата, которые происходят в настоящий момент, приводят к перестройке водного режима рек. Анализ стока воды малых рек южной половины Европейской территории России показал, что начиная с середины 70-х годов XX в. отмечается его внутригодовое перераспределение: наблюдается увеличение подземной составляющей и сокращение (уменьшение) поверхностной составляющей, основная часть которой приходится на период весеннего половодья. Некоторое сокращение площади пахотных земель в пределах юга лесной, лесостепной и степной ландшафтных зон, произошедшее после 1991 г., в незначительной мере сказывается на изменении соотношения подземного и поверхностного стоков воды.

Перераспределение годового стока оказывает существенное влияние на снижение темпов эрозийных процессов, поскольку именно поверхностный сток со склонов в период снеготаяния является важным фактором их развития. Поверхностный сток с пашни способствует формированию максимальных расходов воды в период снеготаяния, так как под лесом и на длительно залуженных участках склонов в целом глубина промерзания почв существенно ниже, а водопроницаемость почв выше, чем на пашне.

Ключевые слова: малые реки, пахотные земли, речной сток, внутригодовая изменчивость, максимальный сток, минимальный сток, эрозия, аккумуляция

Введение

Водные ресурсы – важный фактор социального и экономического развития, а также экологического благополучия страны. Кроме того, изучение водных ресурсов является одним из направлений фундаментального исследования водных объектов. В соответствии с решением VI Всероссийского гидрологического съезда [1] исследования в области водных ресурсов и водного режима рек страны выполнялись по нескольким направлениям: изучались вопросы гидрологического цикла, планетарного и регионального влагообмена, круговорота воды и речного стока. Многочисленные исследования были посвящены особенностям формирования и изменения водных ресурсов. Существенно возрос интерес ученых к прогнозу климатической изменчивости стока воды. Вопросы, касающиеся формирования стока рек, самым тесным образом связаны и с формированием стока воды и наносов на склонах речных бассейнов и тем

самым затрагивают проблемы изменения тренда эрозионно-аккумулятивных процессов.

Постановка задачи

Изменения климата наблюдаются на Европейской территории России (ЕТР) начиная с середины 70-х годов двадцатого столетия, когда наметился отчётливый тренд потепления климата, усилившийся в 90-е годы и продолжающийся до настоящего времени [2, 3]. Они сказались в большей мере на внутригодовом распределении стока рек южной половины ЕТР. Исследования пространственно-временной изменчивости речного стока и водных ресурсов в целом (многолетней и внутригодовой) проводились на территориальном, региональном и бассейновом уровнях [4–6].

При всей полноте анализа изменений внутригодовой водности и режима рек следует отметить, что в указанных работах рассматриваются достаточно крупные по площади водосбора реки и при этом практически не учитывалась степень сельскохозяйственного освоения их водосборов, которая во многом определяет особенности формирования стока, прежде всего на малых реках. В то же время внутригодовое распределение стока в бассейнах малых рек, составляющих более 80–85% общей протяжённости рек [7], наиболее чувствительно как к климатическим изменениям, так и к изменениям землепользования.

Целью настоящей работы является изучение тенденций изменений внутригодового распределения стока малых рек южной половины ЕТР в связи с изменениями климата как фактора, определяющего соотношение поверхностного и подземного стоков и возможного влияния этих изменений на темпы эрозионных процессов на склонах междуречий.

Материалы и методы исследований

Исходным материалом для анализа послужили данные гидрологических ежегодников по годовому, максимальному и минимальному стокам воды малых рек южной половины ЕТР, относящихся к бассейнам: р. Дон (р. Девица / с. Девица, р. Битюг / г. Бобров, р. Битюг / р.п. Мордово, р. Ворона / с. Чутановка, р. Калаус / с. Сергиевка), р. Волги (р. Казанка / г. Арск, р. Меша / с. Пестрецы, р. Свяга / с. Вырыпаевка, р. Умела / с. Нармонка, р. Бузулук / с. Перевозниково) и р. Кумы (р. Кума / ст. Александрийская, р. Кума / ст. Бекешевская) (рис. 1). Исследуемые реки по классификации Б.Д. Зайкова [8] относятся к группе рек с весенним половодьем восточно-европейского типа. Для рек данного типа характерны высокое весеннее половодье, низкая летняя и зимняя межень и несколько повышенный сток осенью.

Все выбранные для анализа реки имеют относительно небольшие по площади бассейны (не более 7000 км²) и располагаются в различных частях юга лесной, лесостепной и степной зон с высокой долей пахотных земель. Такие реки в наибольшей мере чувствительны к изменениям, в том числе климатическим, происходящим в их бассейнах, и на них наиболее быстро проявляется реакция на изменчивость условий формирования стока [9]. Следует отметить, что именно доля пахотных земель в пределах речных бассейнов равнин умеренного



Рис. 1. Обзорная карта района исследования и расположение гидрологических постов на исследованных реках (обозначены цифрами): 1 – р. Казанка / г. Арск, 2 – р. Мёша / с. Пестрецы, 3 – р. Улема / с. Нармонка, 4 – р. Свяга / с. Вырыпаевка, 5 – р. Бузулук / с. Перевозниково, 6 – р. Ворона / с. Чутановка, 7 – р. Битюг / г. Бобров, 8 – р. Битюг / р.п. Мордово, 9 – р. Девица / с. Девица, 10 – р. Калаус / с. Сергиевка, 11 – р. Кума / ст. Бекешевская, р. Кума / ст. Александрийская

пояса во многом определяет формирование максимальных расходов воды в реке в период половодья, так как коэффициенты поверхностного стока воды, особенно в период весеннего снеготаяния, с пашни значительно превышают аналогичные показатели с частей бассейнов, занятых естественными угодьями (луг, лес и др.) [10].

Наблюдения за стоком воды в исследуемых бассейнах проводятся достаточно длительное время, что, во-первых, позволяет установить достаточно объективную тенденцию происходящих изменений; во-вторых, даёт возможность судить о тренде изменений стока воды в период глобального потепления. Неравномерность стока реки оценивалась нормированием максимального, минимального и годового расходов воды конкретного года к его среднегодовому значению. Временная изменчивость (направленные изменения) стока рек оценивались уравнением регрессии.

Расчеты проводились для трех временных интервалов: за весь период наблюдения; с начала наблюдений на каждом из гидрологических постов до 1976 г.; после 1976 г. до настоящего времени или (в ряде случаев) до прекращения наблюдений. Выбор 1976 г. (в некоторых исследованиях – 1978 г.) в качестве начала современного периода изменения водности обусловлен тем, что

практически на всей ЕТР выделяется устойчивый период пониженной водности с 60-х годов – начала 70-х годов до середины 70-х годов – начала 80-х годов как по годовым расходам, так и по другим характеристикам водности. Это дало возможность выделить последнее сорокалетие (в среднем с 1976 г.) в качестве периода современного изменения водности [11].

Аналогичные периоды как в глобальном [12], так и в региональном масштабах [13] выделяются и по климатическим показателям.

Результаты и их обсуждение

В последние десятилетия водный режим рек ЕТР и характер их внутригодового распределения стока существенным образом изменились [14]. Рассмотрим, как происходит изменение основных показателей стока воды на малых реках юга ЕТР с высокой степенью сельскохозяйственного освоения. В настоящий анализ реки Предкавказья Кума и Калаус не включены, так как в целом режим стока воды в их бассейнах существенно отличается от остальных рек в силу их расположения на юге ЕТР и большей по сравнению с другими бассейнами зарегулированностью стока.

1. Изменения максимального стока. Следует отметить, что все исследуемые реки характеризуются уменьшением абсолютных значений максимального расхода половодья (рис. 2) (на примере р. Девица). Сокращение максимальных значений половодного стока исследуемых рек колеблется в значительных пределах от 30% до 800%. Уменьшение максимального стока за период наблюдения находит отражение в высоких значениях коэффициентов уравнения регрессии.

Анализ нормированных отклонений максимального стока показывает, что уменьшение абсолютных значений сопровождается сокращением его неравномерности. По всем рекам в период до 1976 г. этот показатель превышал многолетнюю норму от 9% до 49%, в дальнейшем нормированные отклонения составляли лишь 30–85% нормы (рис. 2).

Тенденция сокращения максимального стока рек обусловлена повышением температуры воздуха в холодное время года, увеличением повторяемости оттепелей и, как следствие, снижением глубины промерзания почв и во многих случаях сокращением запасов снега в снежном покрове к моменту снеготаяния [14].

Следует отметить, что превышения максимальных расходов над годовыми значениями нарастает от бассейнов, расположенных на юге лесной зоны к степной зоне. После 1976 г. в бассейнах юга лесной зоны нормированный показатель сократился в 1.79 раза, в лесостепной – в 2 раза, в степной – более чем в 3.5 раза.

Совершенно иная ситуация наблюдается на малых реках юга степной зоны (Калаус, Кума), где уже с середины 70-х годов фактически не формируется устойчивый снежный покров, поэтому ежегодные максимальные расходы обусловлены в основном формированием дождевых паводков и приходятся на разные месяцы тёплого и даже холодного времен года (табл. 1).

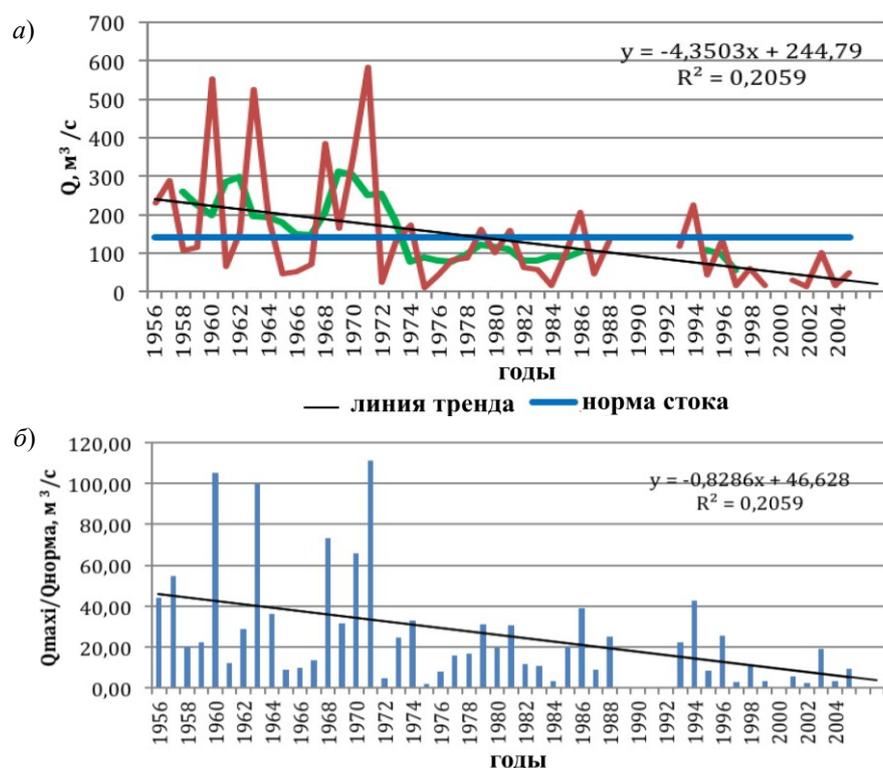


Рис. 2. Максимальный сток (а), нормированное отклонение максимальных значений стока (б) р. Девица / с. Девица за период наблюдений

Табл. 1

Даты прохождения максимальных расходов воды на некоторых малых реках юга степной зоны

Годы	р. Калаус / с. Сергиевка		р. Кума / ст. Бекешевская		р. Кума / ст. Александрийская	
	Расход, м³/с	Дата	Расход, м³/с	Дата	Расход, м³/с	Дата
1986	22.4	06.06	17.5	27.05	47.6	29.05
1987	28.4	17.07	—	—	47.0	14.06
1988	65.0	25.05	20.2	10.07	—	—
1989	86.8	01.08	66.5	18.07	96.7	03.05
1990	13.3	22.01	25.7	25.03	36.0	27.03
1991	14.4	03.07	10.3	10.07	32.0	01.07
1992	14.7	08.06	28.7	03.06	117	05.06
1993	79.0	20.04	35.0	20.05	92.7	17.05
1994	12.1	12.05	14.2	15.05	44.9	16.05
1995	190	22.04	12.1	01.06	81.8	23.04
1996	27.5	25.02	—	—	25.5	23.06
1997	73.9	24.07	18.3	14.06	60.7	01.05
1998	52.5	23.02	28.6	31.05	—	—
1999	7.54	06.08	8.15	04.06	6.41	08.05
2000	36.9	04.05	8.31	09.05	8.06	21.04
2001	7.43	08.06	10.8	17.05	28.6	11.07
2002	34.2	21.06	8.99	22.06	285	22.06
2003	5.25	25.07	7.78	24.08	16.7	24.08

Некоторый тренд смещения максимальных расходов на более ранние сроки в период весеннего половодья имеет место и при анализе данных наблюдений на реках лесостепной и юга лесной зон, но отсутствует для рек южного сектора степной зоны [15, 16].

Выявленная тенденция сокращения максимальных расходов воды в период весеннего половодья, очевидно, является откликом на происходящие изменения климата, а именно на сокращение глубины промерзания зоны аэрации, что приводит к перераспределению талого стока в сторону увеличения подземного. Это подтверждается и ярко выраженным трендом роста среднегодовой температуры почвы с постепенным увеличением по направлению от юга лесной до степной зоны, который был установлен при анализе данных наблюдений на метеостанциях за период с 1960 г. [17]. И как следствие, происходит снижение поверхностного склонового стока и максимальных расходов воды в период прохождения половодий. Полученные результаты хорошо согласуются с данными аналогичных исследований изменений стока воды на более крупных реках ЕТР [14].

2. Изменения минимального стока. Весеннее половодье сменяется летне-осенней меженью. Минимальные расходы воды (летне-осенний и зимний), характеризующие вклад подземного стока в питание рек, почти по всем исследуемым рекам увеличиваются (рис. 3, б, 4). Исключением является бассейн р. Свияги, в котором, напротив, произошло некоторое сокращение меженного стока. Для остальных бассейнов речной сток летне-осеннего периода до 1976 г. составлял в среднем 57% многолетней нормы. В дальнейшем отмечается его рост с превышением относительно нормы более чем на 33%. Аналогичная тенденция наблюдается и при оценке динамики зимнего минимального стока (рис. 4, в, 5): величина зимней межени до 1976 г. на 37% была ниже нормы, а после 1976 г. – почти на четверть (рис. 4). Однако минимальные расходы воды в летне-осенний период возрастают несколько большими темпами, чем в зимний. Следует отметить, что увеличение минимального стока, характерное как для летней, так и для зимней межени, отмечается при исследовании меженного и подземного стоков средних рек в различных природных зонах равнинной части ЕТР [7].

Современные изменения режима рек определяются климатическими процессами: характер атмосферной циркуляции, увеличение числа оттепелей, сокращение длительности холодного периода служат причиной уменьшения глубины промерзания зоны аэрации. Следствием этого является рост инфильтрации, результатом которой является увеличение запасов грунтовых вод. Кроме того, на малых водосборах сокращение глубины промерзания зоны аэрации сопровождается активным формированием ячеистой структуры распределения мощности мерзлой зоны с преобладанием слабо мерзлых площадей (до 50–60%), что, в свою очередь, вызывает увеличение потерь талого стока на инфильтрацию и питание подземных вод [18, 19].

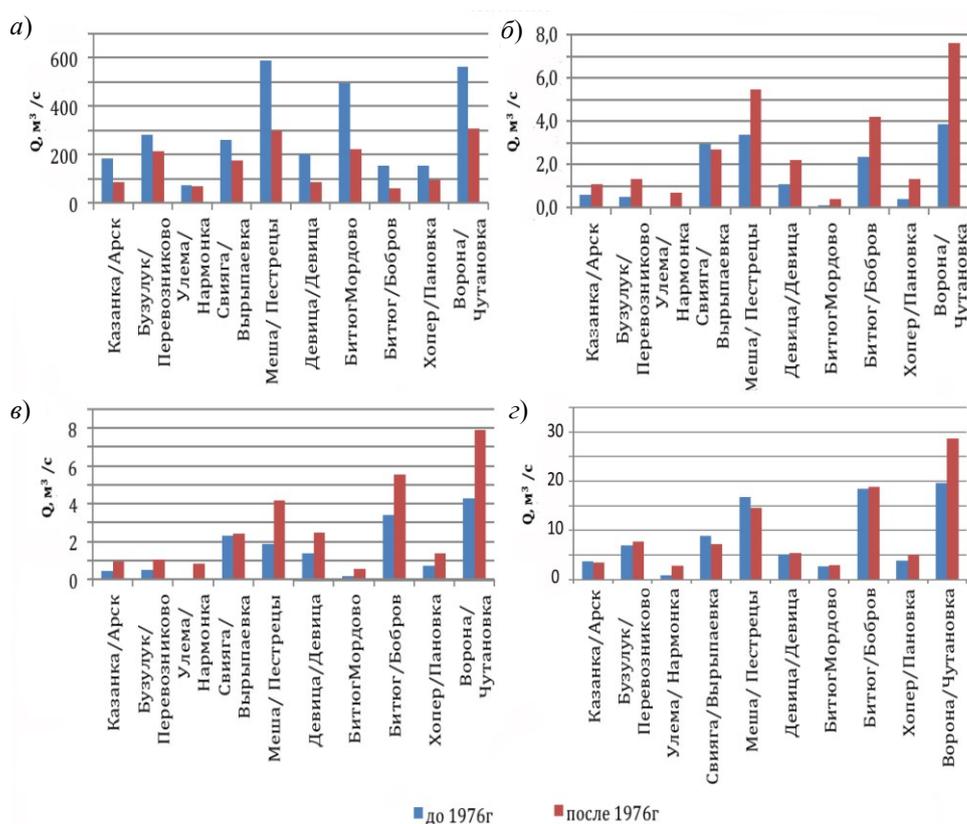


Рис. 3. Изменение годового и внутригодового стока рек за различные периоды: *а* – максимальный сток, *б* – минимальный летний, *в* – минимальный зимний, *г* – годового сток

Для объёма годового стока на исследуемых реках характерно относительное постоянство или незначительное увеличение, что свидетельствует о том, что перераспределение стока между фазами водного режима и соотношением поверхностного и подземного стоков не оказывает на него существенного влияния (рис. 3, *д*, *б*).

Следует также отметить, что ещё одним важным фактором, который также может влиять на соотношение поверхностного и подземного стока, а соответственно на изменения минимального и максимального стока, являются изменения землепользования, и прежде всего площадей пашни. Согласно статистическим данным в целом за период 1980–2012 гг. на ЕТР произошло резкое сокращение площади пахотных земель, составившее в лесной зоне порядка 56%, в лесостепи – 28% и в степной зоне – 27,6% [20]. Более детальные данные получены для ряда речных бассейнов в южной части ЕТР, включая бассейны рек Свяги и Улемы, включённые в данный анализ (табл. 2). В бассейнах рек Меша, Ведуги и Самары за этот же период площади пашни сократились на 10%, 9% и 14% соответственно [21]. Следует отметить, что бассейн р. Ведуги находится непосредственно к северу от бассейна р. Девица, а бассейн р. Бузулук является частью бассейна р. Самары, что позволяет с известным приближением интерполировать результаты оценки изменений площади пашни на бассейны рек, включённых в анализ изменений водного режима.

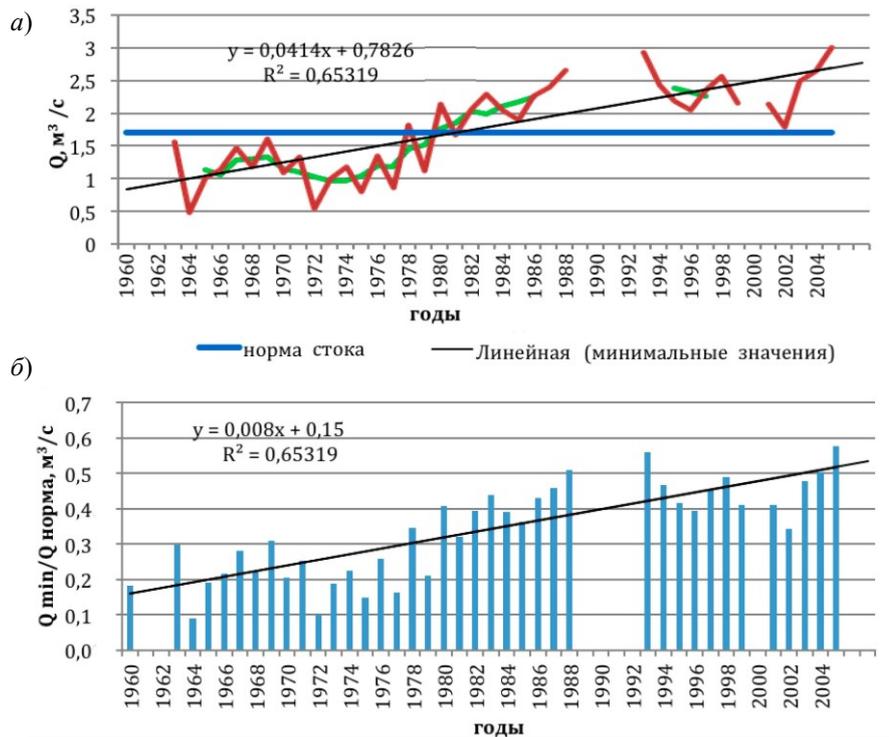


Рис. 4. Минимальный сток за летне-осенний период (а), нормированное отклонение минимальных значений стока летне-осеннего периода (б) р. Девица / с. Девица

Таким образом, что для большинства анализируемых рек общее сокращение площади пашни составило 6–14%, что могло в некоторой мере способствовать уменьшению доли поверхностного стока в период снеготаяния и росту меженных расходов в летнее время. Но, вероятно, на фоне влияния климатических изменений, смена в системе землепользования внесла незначительный вклад в выявленные изменения внутригодового перераспределения стока воды в бассейнах малых рек. В то же время значительное (27.4%) сокращение площади пашни в бассейне р. Свяги, безусловно, должно было привести к более выраженному по сравнению с другими бассейнами росту доли меженного стока в летний период, так как хорошо известно о существенно более низком значении коэффициента поверхностного стока воды под лесом и на лугу по сравнению с пашней [10]. Однако, напротив, минимальный сток р. Свяги практически не изменился после 1976 г. (рис. 2, б) и даже несколько сократился, как и годовой. Отчасти данное сокращение обусловлено, видимо, общим снижением годового количества осадков. Тем не менее более значимый вклад, очевидно, внесли потери влаги на испарение как собственно снега, так и почвенной влаги в связи с высокой расчленённостью рельефа данного бассейна. В любом случае данный пример показывает, что изменения климата оказывали прежде всего значимое воздействие на изменение соотношения поверхностного и подземного стоков малых рек южной половины ЕТР в пользу последнего. Соответственно, существенное сокращение поверхностного стока в период снеготаяния должно было способствовать сокращению весеннего смыва с пашни.

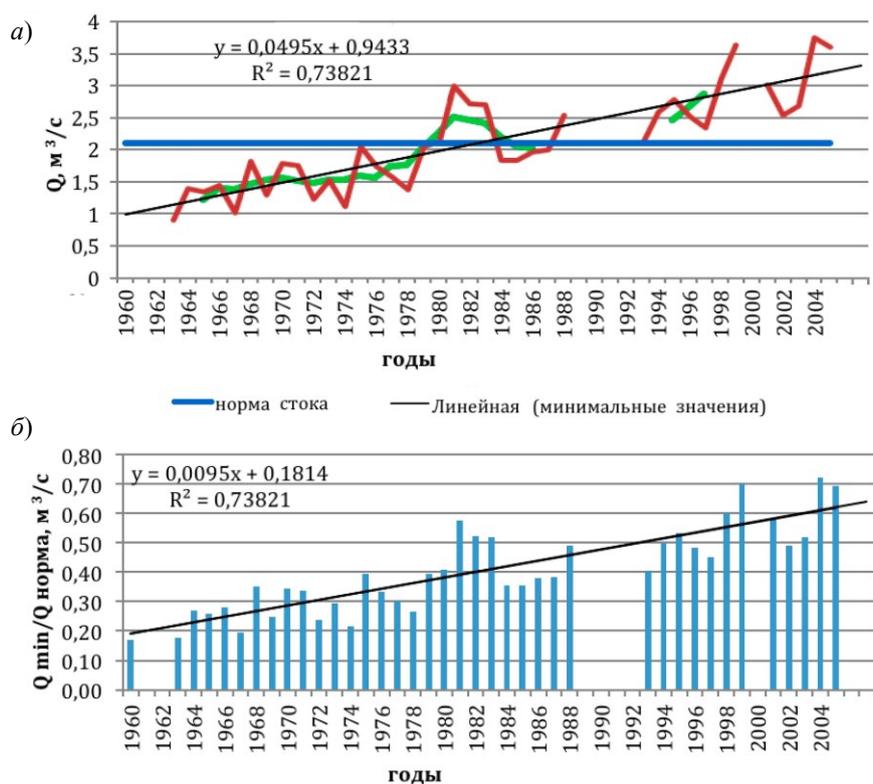


Рис. 5. Сток за зимнюю межень (а), нормированное отклонение минимальных значений стока за зимнюю межень (б) р. Девица / с. Девица

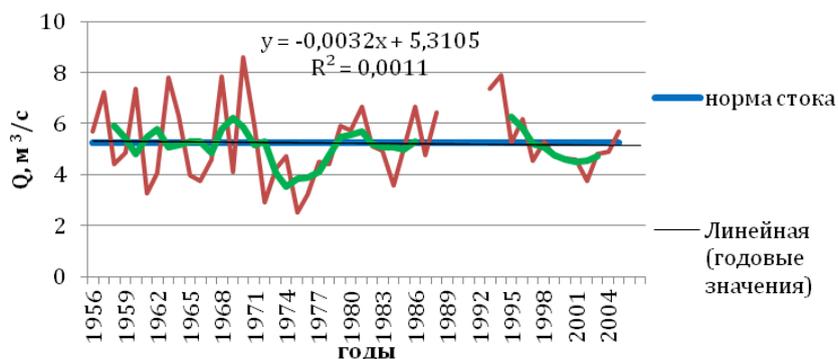


Рис. 6. Годовой сток р. Девица / с. Девица

Табл. 2

Изменения в структуре землепользования (%) в некоторых исследуемых бассейнах за период 1985–2015 гг. [21]

Категория земель	Бассейн р. Дон	Бассейн р. Свяги	Бассейн р. Улемы
Лес	20.1	44.7	40.2
Луг	23.6	26.3	-3.0
Пашня	-9.6	-27.4	-6.5
Водоемы	-27.4	-11.2	8.0
Населенные пункты	13.3	17.2	22.1

Аналогичные результаты были получены при изучении современной динамики изменения стока весеннего половодья рек бассейнов Курской области [22]. Было установлено, что наблюдающееся в настоящее время уменьшение слоя стока за период половодья вызвано преимущественно климатическими факторами. При этом наибольшее значение коэффициента, характеризующего относительное изменение слоя стока, соотносится с общим повышением температурного фона и учащением оттепелей. В связи с этим слой стока рек сократился в среднем на 15–25%. Уменьшение слоя стока весеннего половодья, вызванное сокращением количества воды, поступающей в реки с междуречных пространств речных бассейнов, составило около 4–10%.

Независимым свидетельством сокращения стока и смыва с пахотных земель в последние 30 лет является изменение темпов аккумуляции наносов в днищах балок с полностью распахиваемых склонов междуречий, расположенных в различных частях южной половины ЕТР. Темпы аккумуляции определялись за два интервала времени (1963–1986 гг. и после 1986 г.) с использованием изотопа цезия-137 (^{137}Cs) в качестве хрономаркера [23]. В днищах балок, расположенных в бассейне р. Меши (юг лесной зоны Республика Татарстан), этот показатель сократился более чем в 4 раза [24], а в бассейне р. Ведуги (запад лесостепной зоны, Воронежская область) – практически в 2 раза [25, 26]. Подобное снижение однозначно связано с сокращением темпов смыва с пашни, так как именно материал, поступающий с распахиваемых склонов водосборов, является доминирующим источником наносов в бассейнах рек с высокой долей пахотных земель. Учитывая, что площади пашни на данных водосборах остаются неизменными в последние 60 лет и составляют более 85%, можно предположить, что основной причиной значительного сокращения темпов эрозивно-аккумулятивных процессов является, на наш взгляд, изменение гидрометеорологических условий в регионах. За последние более чем полвека здесь отмечается устойчивая тенденция повышения температуры атмосферного воздуха в зимний период, что привело, очевидно, к снижению глубин промерзания почвы и, как следствие, к сокращению поверхностного стока воды и наносов в период весеннего снеготаяния. Одновременно участвовавшие зимние оттепели привели к уменьшению запасов воды в снеге на период снеготаяния [20]. Другим подтверждением снижения уровней половодий и смыва с пахотных земель является резкое сокращение темпов аккумуляции на поймах малых рек Среднерусской возвышенности в последние 30 лет [27, 28].

Заключение

Анализ изменений максимального, минимального и годового стоков малых рек южной половины ЕТР показал, что происходящие с середины 70-х годов XX в. изменения климата привели к существенным трансформациям их водного режима. Произошло перераспределение внутригодового стока в сторону увеличения вклада подземного стока при синхронном сокращении доли поверхностной составляющей речного стока. При этом перераспределение стока между фазами водного режима не оказывает существенного влияния на годовой сток, который остается относительно постоянным или незначительно увеличивается вследствие некоторого роста атмосферных осадков. Снижение поверхностного

стока, прежде всего, с пашни способствует уменьшению интенсивности склонового смыва, что косвенно подтверждается резким снижением темпов аккумуляции наносов в днищах долин первого порядка на водосборах с высокой долей пахотных земель. Уменьшение максимальных расходов в период половодья наряду с сокращением бассейновой эрозии привело к резкому сокращению темпов аккумуляции наносов на поймах малых рек в последние 30 лет.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15-17-20006).

Литература

1. VI Всерос. гидролог. съезд: Тез. докл. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. – 141 с.
2. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. // Учён. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2015. – Т. 157, кн. 3. – С. 8–19.
3. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А.* Региональные проявления современного потепления климата в тропо-стратосфере Северного полушария // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2005. – № 6. – С. 6–16.
4. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.
5. *Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Нестеренко Д.П., Повалишников Е.С.* Естественная зарегулированность стока рек бассейна Волги в условиях меняющегося климата // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 6. – С. 32–49.
6. *Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игонина М.И.* Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 3–12.
7. *Водогрецкий В.Е.* Антропогенное изменение стока малых рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 176 с.
8. *Зайков Б.Д.* Средний сток и его распределение в году на территории СССР. – Л.; М.: Гидрометеиздат, 1946. – 148 с.
9. Причины и механизм пересыхания малых рек / Науч. ред. Г.П. Бутаков. – Казань: ГранДан, 1996. – 109 с.
10. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М.: Наука, 1990. – 203 с.
11. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Бугров А.А.* Особенности формирования современных ресурсов подземных вод Европейской части России // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42, № 5. – С. 457–466. – doi: 10.7868/S0321059615050065.
12. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.
13. *Крышнякова О.С., Малинин В.Н.* Особенности потепления климата Европейской территории России в современных условиях // Общество. Среда. Развитие. – 2008. – № 2. – С. 115–124.
14. *Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишников Е.С.* Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – № 4. – С. 4–20.

15. *Блужина А.С.* Оценка экологического состояния водосборной территории р. Калаус в пределах Ставропольского края // Изв. ДГПУ. Естеств. и точные науки. – 2014. – № 4. – С. 67–70.
16. *Герашенко И.Н.* Особенности гидрографии и гидрологии Северного Кавказа // Тавр. науч. обозреватель. – 2017. – № 3. – С. 106–113.
17. *Park H., Sherstiukov A.B., Fedorov A.N., Polyakov I.V., Walsh J.E.* An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // Environ. Res. Lett. – 2014. – V. 9, No 6. – Art. 064026, P. 1–7. – doi: 10.1088/1748-9326/9/6/064.
18. *Калюжный И.Л., Лавров С.А.* Гидрофизические процессы на водосборе. – СПб.: Нестор-История, 2012. – 616 с.
19. *Калюжный И.Л., Лавров С.А.* Основные физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях потепления климата // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 1. – С. 68–81.
20. *Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., Kiryukhina Z.* Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: Methodology and initial results // Proc. IAHS. – 2017. – V. 375. – P. 23–27. – doi: 10.5194/piahs-375-23-2017.
21. *Иванов М.А., Прищепов А.В., Голосов В.Н., Залялиев Р.Р., Ефимов К.В., Кондратьева А.А., Киняшова А.Д., Ионова Ю.К.* Оценка изменения площади пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 гг. // Современные методы дистанционного зондирования Земли. – 2017. – Т. 14. № 5. – С. 161–171.
22. *Аптухин А.В., Кумани М.В.* Современные изменения условий формирования слоя стока весеннего половодья рек Курской области // Учен. зап. Электрон. науч. журн. Курск. гос. ун-та. – 2012. – Вып. 1. – С. 300–311.
23. *Голосов В.Н.* Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология. – 2000. – № 2. – С. 26–33.
24. *Шарифуллин А.Г.* Аккумуляция наносов в днище балок (на примере балок в бассейнах р. Ведуга и р. Меша) // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): Сб. ст. – Н. Новгород: Мининский ун-т, 2016. – С. 259–267.
25. *Голосов В.Н., Гусаров А.В., Иванова Н.Н., Шарифуллин А.Г.* Современная аккумуляция наносов в днищах балок лесостепной зоны Среднерусской возвышенности // Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфол. комиссии РАН / Отв. ред. М.Е. Кладовщикова, С.В. Токарев. – Симферополь, 2016. – Т. 2. – С. 176–180.
26. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Гусаров А.В., Шарифуллин А.Г.* Оценка тренда деградации пахотных почв на основе изучения темпов формирования стратоземов с использованием ^{137}Cs в качестве хрономаркера // Почвоведение. – 2017. – № 10. – С. 1238–1252. – doi: 10.7868/S0032180X17100033.
27. *Маркелов М.В., Голосов В.Н., Беляев В.Р.* Изменение темпа аккумуляции наносов на поймах малых рек в центре Русской равнины // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. – 2012. – № 5. – С. 70–76.
28. *Мамихин С.В., Голосов В.Н., Парамонова Т.А., Шамигурина Е.Н., Иванов М.М.* Вертикальное распределение ^{137}Cs в аллювиальных почвах поймы р. Локна (Гульская область) в отдаленный период после аварии на ЧАЭС и его моделирование // Почвоведение. – 2016. – № 12. – С. 1521–1533. – doi: 10.7868/S0032180X16120108.

Сафина Гузель Рашитовна, кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: *Safina27@mail.ru*

Голосов Валентин Николаевич, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия
E-mail: *gollossov@gmail.com*

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2018, vol. 160, no. 1, pp. 111–125

The Effect of Climate Change on the Annual Flow Distribution of Small Rivers in the Southern Half of the European Territory of Russia

G.R. Safina^{a}, V.N. Golosov^{a,b**}*

^a*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

^b*Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

E-mail: * *Safina27@mail.ru*, ** *gollossov@gmail.com*

Received May 31, 2017

Abstract

The ongoing climate changes lead to the transformation of the water regime of rivers. The analysis of the flow of small rivers in the southern half of the European territory of Russia has shown that, it has been characterized by intra-annual redistribution since the middle of 1970s: an increase in the underground component and a decrease in the surface component, mostly during the flood period, have been observed. Some decrease in the area of arable lands within the southern forest, forest-steppe, and steppe landscapes after 1991 has had little effect on the change in the ratio of underground and surface water runoff.

The redistribution of the annual flow has a significant impact on the reduction of erosion rates, because it is the surface flow during the snowmelt period that is an important factor in their development. The surface flow from arable lands contributes to the formation of maximum water flow during the snow melt period, because the depth of soil freezing is generally lower under the forest and meadow conditions, while the water permeability of these soils is higher than on arable lands.

Keywords: small rivers, arable lands, river flow, annual variability, maximum flow, minimum flow, erosion, accumulation

Acknowledgments. This study was supported by the Russian Science Foundation (project no. 15-17-20006).

Figure Captions

Fig. 1. The general map of the study area and the location of stream gauges on the rivers under investigation (shown with numbers): 1 – Kazanka River / city of Arsk, 2 – Myosha River / village of Pestretsy, 3 – Ulema River / village of Narmonka, 4 – Sviyaga River / village of Vyrypaevka, 5 – Buzuluk River / village of Perevoznikovo, 6 – Vorona River / village of Chutanovka, 7 – Bityug River / city of Bobrov, 8 – Bityug River / urban-type settlement of Mordovo, 9 – Devitsa River /

- village of Devitsa, 10 – Kalaus River / village of Sergievka, 11 – Kuma River / village of Bekeshevskaya, Kuma River / village of Aleksandriiskaya.
- Fig. 2. Maximum runoff (*a*), standardized deviation of maximum flow values (*b*) in Devitsa River / village of Devitsa for the study period.
- Fig. 3. Changes in the annual and intra-annual flow of rivers for various periods: *a* – maximum flow, *b* – minimum summer flow, *c* – minimum winter flow, *d* – annual flow.
- Fig. 4. Minimum flow values for the summer-autumn period (*a*), standardized deviation of minimum flow values for the summer-autumn period (*b*) in Devitsa River / village of Devitsa River.
- Fig. 5. Winter flow low (*a*), standardized deviation of minimum winter flow low values (*b*) in Devitsa River / village of Devitsa River.
- Fig. 6. The annual flow of Devitsa River / village of Devitsa River.

References

1. *VI Vseros. godrol. s'ezd: Tez. dosl.* [All-Russian Hydrological Congress. Abstracts of Reports]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 2004. 141 p. (In Russian)
2. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M. Changes in the near-surface air temperature of the Northern Hemisphere during the period of 1850–2014. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2015, vol. 157, no. 3, pp. 8–19. (In Russian)
3. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Naumov E.P., Shantalinsky K.M. Regional manifestations of the modern climate warming in the Northern Hemisphere troposphere and stratosphere. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2005, no. 6, pp. 6–16. (In Russian)
4. Shiklomanov I.A. (Ed.) *Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie* [Water Resources of Russia and Their Use]. St. Petersburg, GGI, 2008. 600 p. (In Russian)
5. Frolova N.L., Agafonova S.A., Nesterenko D.P., Povalishnikova E.S. Natural regulation of the Volga basin rivers runoff in the changing climate conditions. *Vodn. Khoz. Ross.: Probl., Tekhnol., Upr.*, 2013, no. 6, pp. 32–49. (In Russian)
6. Alekseevskii N.I., Frolova N.L., Antonova M.M., Igonina M.I. Climate changes impact on the regime and runoff of Volga basin rivers. *Voda: Khim. Ekol.*, 2013, no. 4, pp. 3–12. (In Russian)
7. Vodogretskii V.E. *Antropogennoe izmenenie stoka malyykh rek* [Anthropogenic Changes in the Flow of Small Rivers]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990. 176 p. (In Russian)
8. Zaikov B.D. *Srednii stok i ego raspredelenie v godu na territorii SSSR* [Average Runoff and Its Subannual Distribution on the Territory of the USSR]. Leningrad, Moscow, Gidrometeoizdat, 1946. 148 p. (In Russian)
9. *Prichiny i mechanism peresykhaniya malyykh rek* [Causes and Mechanism of Drying of Small Rivers]. Butakov G.P. (Ed.). Kazan, GranDan, 1996. 109 p. (In Russian)
10. Koronkevich N.I. *Vodnyi balans Russkoi ravniny i ego antropogennye izmeneniya* [The Water Balance of the Russian Plain and Its Anthropogenic Changes]. Moscow, Nauka, 1990. 203 p. (In Russian)
11. Dzhamaalov R.G., Frolova N.L., Rets E.P., Bugrov A.A. Formation of current groundwater resources in European Russia. *Water Resour.*, 2015, vol. 42, no. 5, pp. 563–571. doi: 10.1134/S009780781505005X.
12. Perevedentsev Yu.P. *Teoriya klimata* [Theory of Climate]. Kazan, Kazan. Gos. Univ., 2009. 504 p. (In Russian)
13. Kryshnyakova O.S., Malinin V.N. Characteristics of climate warming in European Russia in modern conditions. *O-vo. Sreda. Razvit.*, 2008, no. 2, pp. 115–124. (In Russian)
14. Frolova N.L., Kireeva M.B., Agafonova S.A., Evstigneev V.M., Efremova N.A., Povalishnikova E.S. Annual distribution of the discharge of plain rivers in the European territory and its changes. *Vodn. Khoz. Ross.: Probl., Tekhnol., Upr.*, 2015, no. 4, pp. 4–20. (In Russian)
15. Bluzhina A. S. The ecological status assessment of the catchment area of the Kalaus River in Stavropol region. *Izv. DGPU. Estestv. Tochn. Nauki*, 2014, no. 4, pp. 67–70. (In Russian)
16. Gerashchenko I.N. Characteristics of hydrography and hydrology of the North Caucasus. *Tavr. Nauchn. Obozrevatel'*, 2017, no. 3, pp. 106–113. (In Russian)
17. Park H., Sherstiukov A.B., Fedorov A.N., Polyakov I.V., Walsh J.E. An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia. *Environ. Res. Lett.*, 2014, vol. 9, no. 6, pp. 1–7. doi: 10.1088/1748-9326/9/6/064.

18. Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A. *Gidrofizicheskie protsessy na vodosbore* [Hydrophysical Processes in the Catchment Area]. St. Petersburg, Nestor-Ist., 2012, 616 p. (In Russian)
19. Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A. Basic physical processes and regularities of winter and spring river runoff under climate warming conditions. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2012, vol. 37, no. 1, pp. 47–56. doi: 10.3103/S1068373912010074.
20. Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., Kiryukhina Z. Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian plain: Methodology and initial results. *Proc. IAHS*, 2017, pp. 23–27. doi: 10.5194/piahs-375-23-2017.
21. Ivanov M.A., Prishchepov A.V., Golosov V.N., Zalyaliev R.R., Efimov K.V., Kondrat'eva A.A., Kinyashova A.D., Ionova Yu.K. Estimation of the changes in the area of arable lands in the basins of rivers of the European territory of Russia for the period of 1985–2015. *Sovrem. Metody Distantionogo Zondirovaniya Zemli*, 2017, vol. 14, no. 5, pp. 161–171. (In Russian)
22. Aptukhin A.V., Kumani M.V. Modern changes in the conditions for formation of a runoff layer of spring high waters of rivers in Kursk region. *Uch. Zap. Elektron. Nauchn. Zh. Kursk. Gos. Univ.*, 2012, no. 1, pp. 300–311. (In Russian)
23. Golosov V.N. Use of radioisotopes in studying erosion-accumulation processes. *Geomorfologiya*, no. 2, 2000, pp. 26–33. (In Russian)
24. Sharifullin A.G. Sedimentation in ravine bottoms (based on the basins of the Veduga and Myosha Rivers). In: *Eroziionnye, ruslovye i ust'evye protsessy (issledovaniya molodykh uchenykh universitetov)* [Erosion, Riverbed and Mouth Processes: Studies of Young University Scientists]. Nizhny Novgorod, Mininsk. Univ., 2016, pp. 259–267. (In Russian)
25. Golosov V.N., Gusarov A.V., Ivanova N.N., Sharifullin A.G. Modern accumulation of sediments in the ravine bottoms of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland. *Teoriya i metody sovremennoi geomorfologii: Materialy XXXV Plenuma Geomorfol. komissii RAN* [Theory and Methods of Modern Geomorphology: Proc. XXXV Meeting of Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences]. Vol. 2. Kladovshchikova M.E., Tokarev S.V. (Eds.). Simferopol, 2016, pp. 176–180. (In Russian)
26. Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusarov A.V., Sharifullin A.G. Assessment of the trend of degradation of arable soils on the basis of data on the rate of stratozem development obtained with the use of ^{137}Cs as a chronomarker. *Eurasian Soil Sci.*, 2017, vol. 50, no. 10, pp. 1195–1208. doi: 10.1134/S1064229317100039.
27. Markelov M.V., Golosov V.N., Belyaev V.R. Changes in the sedimentation rates on the floodplains of small rivers in the central Russian Plain. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2012, no. 5, pp. 70–76. (In Russian)
28. Mamikhin S.V., Golosov V.N., Paramonova T.A., Shamshurina Ye.N., Ivanov M.M. Vertical distribution of ^{137}Cs in alluvial soils of the Lokna river floodplain (Tula oblast) long after the Chernobyl accident and its simulation. *Eurasian Soil Sci.*, 2016, vol. 49, no. 12, pp. 1432–1442. doi: 10.1134/S1064229316120103.

Для цитирования: Сафина Г.Р., Голосов В.Н. Влияние изменений климата на внутригодовое распределение стока малых рек южной половины Европейской территории России // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 1. – С. 111–125.

For citation: Safina G.R., Golosov V.N. The effect of climate change on the annual flow distribution of small rivers in the southern half of the European territory of Russia. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 1, pp. 111–125. (In Russian)