

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 911.2

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВО ВРЕМЯ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕКАХ БАШКИРСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2016 г. А.М. Гареев, П.Н. Зайцев

*Башкирский государственный университет, Уфа, Россия
e-mail: hydroeco@mail.ru*

Поступила в редакцию 23.03.2015 г.

Проведено изучение временной и пространственной изменчивости максимальных расходов воды малых и средних рек Республики Башкортостан. Выявлены стокоформирующие факторы и их изменения за последние десятилетия. Разработана модель, позволяющая выполнять прогнозные расчеты стока, что позволит снизить негативное воздействие вод во время весеннего половодья.

Ключевые слова: Башкирское Предуралье, максимальные расходы воды, весеннее половодье, осенние влагозапасы в почвогрунтах, запасы воды в снежном покрове, глубина промерзания почвогрунтов, корреляция, регрессия, многолетняя изменчивость, экономический ущерб.

В различных регионах страны (на Северном Кавказе, Дальнем Востоке, в западных регионах, на Южном Урале), в том числе и на территории Республики Башкортостан в течение последних десятилетий периодически формируются наводнения, наносящие большой экономический и экологический ущерб. В связи с этим важно ком-

плексное и детальное изучение факторов, влияющих на формирование речного стока.

Нами проводятся исследования изменения стокоформирующих факторов и их влияния на условия формирования максимальных расходов воды во время весеннего половодья. Исследования проводятся с учетом бассейнового принципа,

Таблица. Морфометрические характеристики бассейнов рек в пределах Башкирского Предуралья и изученность речного стока

№	Река – пост	F , км ²	L , км	Количество лет наблюдений
1	р. Уршак – с. Ляхово	3130	152	49
2	р. Быстрый Таныш – д. Алтаево	4840	243	45
3	р. База – с. Рсаево	1590	123	39
4	р. Мелеуз – г. Мелеуз	346	35	30
5	р. Бирь – с. Малосухозово	1210	83	55
6	р. Юрюзань – д. Атияш	6930	372	74
7	р. Тюй – д. Гумбино	2180	183	70
8	р. Сарс – с. Султанбеково	1300	126	55
9	р. Дема – с. Бочкарево	12500	502	67
10	р. Ашкадар – д. Новофедоровка	2250	131	39
11	р. Ай – с. Лаклы	6440	283	70
12	р. Ай – с. Метели	14200	503	68
13	р. Сюнь – с. Миньярово	4140	171	50
14	р. Буй – с. Татарская Урада	2740	138	34
15	р. Ря – с. Рятамак	615	56	39
16	р. Воробьевка – водомерный пост	5.45	7	14

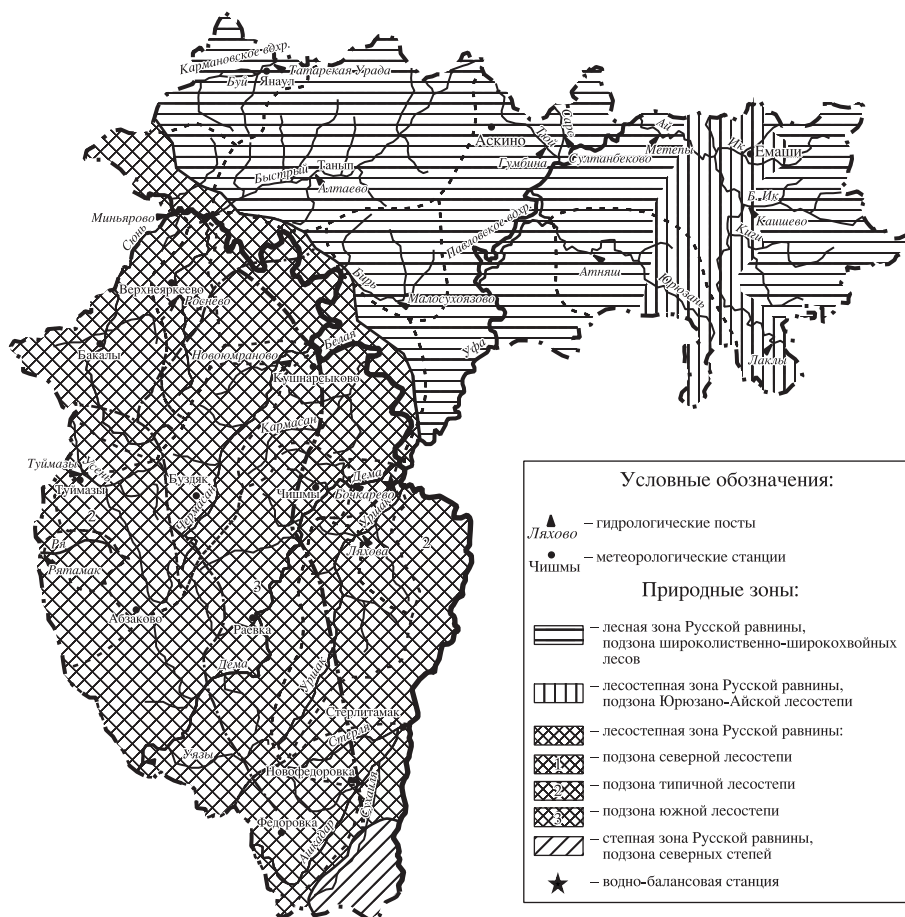


Рис. 1. Физико-географическое районирование изучаемой территории (по [1]).

в том числе оценки значимости водосбора в формировании водных ресурсов рек, основные положения которого раскрыты в работах [2–7, 9]. В качестве объектов исследования были выбраны 15 бассейнов малых и средних рек, расположенных в пределах Башкирского Предуралья. Их расположение и морфометрические характеристики отражены в таблице и на рис. 1.

Из таблицы видно, что количество лет наблюдений по изучаемым рекам составляет от 30 до 75, что с высокой степенью надежности позволяет проводить гидрологические расчеты. Исключение составляет лишь р. Воробьевка, начало наблюдений на которой в составе исследований по водно-балансовой станции ведется с 2002 г. В то же время количественный и качественный состав наблюдений за основными стокоформирующими факторами по бассейну указанной реки позволяет детально отслеживать происходящие изменения стока как в осенне-зимний, так и весенний периоды. Указанный бассейн нами принят в качестве экспериментального, позволяющего обосновать прогностические модели формирования макси-

мальных расходов воды во время весеннего половодья.

Как видно из рис. 1, бассейны указанных рек распределены по всей изучаемой территории равномерно, что в условиях наличия материалов многолетних наблюдений за основными стокоформирующими факторами позволяет с высокой надежностью выявлять имеющиеся закономерности в формировании максимальных расходов воды во время весеннего половодья.

Следует отметить, что гидрометеорологическая информация по водным ресурсам в пределах изучаемой территории в настоящее время не общедоступна. Поэтому было необходимо удлинять ряды наблюдений. В качестве исходной информации были использованы материалы гидрологических и метеорологических наблюдений за 1961–2010 гг. по 29 станциям и постам, в том числе по водно-балансовой станции, расположенной около с. Дмитриевка Уфимского района Республики Башкортостан. Как было показано ранее, на указанной станции ведется система наблюдений, в том числе и за основными факторами формирования максимальных расходов воды

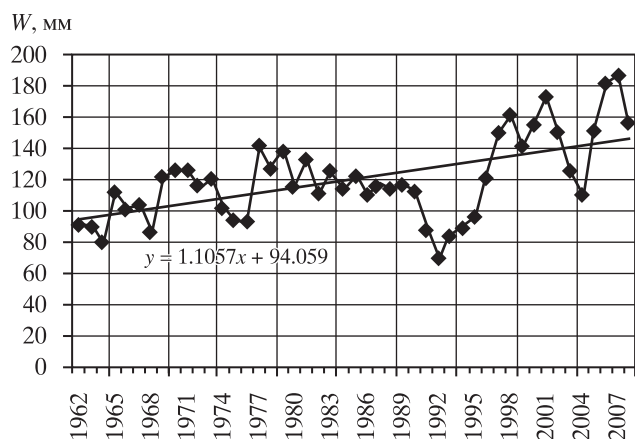


Рис. 2. График трехлетней скользящей осенних влагозапасов в почвогрунтах (МС Бакалы).

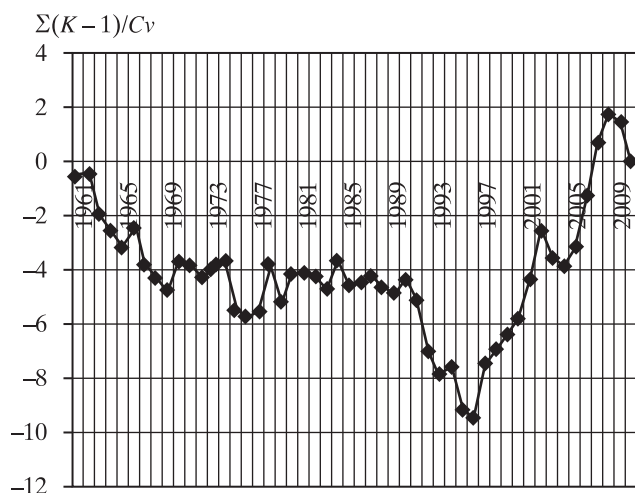


Рис. 3. Разностная интегральная кривая осенних влагозапасов в почвогрунтах (МС Бакалы).

р. Воробьевка. Из большой совокупности факторов, участвующих в формировании максимальных расходов воды (Q_{\max}), в качестве основных нами были приняты следующие: величина осенних (предзимних) влагозапасов в почвогрунтах (W), влагозапасы в снежном покрове перед началом весеннего снеготаяния (H), глубина промерзания почвогрунтов (R) и интенсивность нарастания положительных среднесуточных температур воздуха за период снеготаяния (Δt). При обосновании методических положений по оценке влияния указанных факторов на максимальные расходы воды нами была использована общая зависимость вида:

$$Q_{\max} = f(W, H, R, \Delta t).$$

Осенние влагозапасы в почвогрунтах имеют важное значение при формировании максимальных расходов воды весеннего половодья, особенно

для бассейнов малых и средних рек. С одной стороны, они являются источником поступления дополнительного количества воды весной, а с другой — участвуют в формировании коэффициента стока и влагопроницаемости почв. Данный фактор характеризуется значительной изменчивостью во времени (рис. 2, 3). На примере метеостанции (МС) Бакалы показаны графики трехлетней скользящей и разностной интегральной кривой за период 1961–2010 гг.

Как видно из рис. 2, 3, осенние влагозапасы в почвогрунтах в течение последних десятилетий характеризуются устойчивой тенденцией к увеличению. На основании анализа посредством построения суммарной интегральной кривой нами было определено его увеличение по сравнению со среднегодовым значением на 40 мм.

Глубина промерзания почвогрунтов находится в тесной связи как с осенними влагозапасами в них, так и с величиной снежного покрова. Она также является одним из важных факторов, участвующих в формировании максимальных расходов воды во время весеннего половодья. На рис. 4, 5 представлены графики трехлетней скользящей и разностной интегральной кривой этого фактора.

Как видно из рис. 4, 5, глубины промерзания почвогрунтов в течение последних десятилетий характеризуются устойчивой тенденцией к уменьшению. Это главным образом зависит от нарастания среднегодовых значений температуры воздуха, а также от уменьшения суммы отрицательных температур зимой. Кроме того, непосредственное влияние оказывает мощность накопленного снежного покрова. В целом среднегодовое уменьшение глубин промерзания почвогрунтов с 1961 по 2010 г. составило 50 см, а среднегодовые абсолютные показатели составляют 84 см.

Как известно, **запасы воды в снежном покрове** перед началом весеннего снеготаяния являются одним из ведущих факторов формирования водности реки в целом, в том числе во время весеннего половодья. Накопление снега в пределах изучаемой территории происходит в течение всего зимнего периода, достигая максимума к первой декаде марта. Следует указать на то, что влияние наблюдаемых в течение последних лет непродолжительных оттепелей несущественно, так как при этом не происходит формирования поверхностного стока. Оттепели отражаются лишь на некоторой трансформации мощности снежного покрова. Тенденции к изменению указанного фактора во времени отражены на рис. 6, 7.

По этим графикам можно заметить то, что запасы воды в снежном покрове подвержены заметным циклическим колебаниям. В то же время

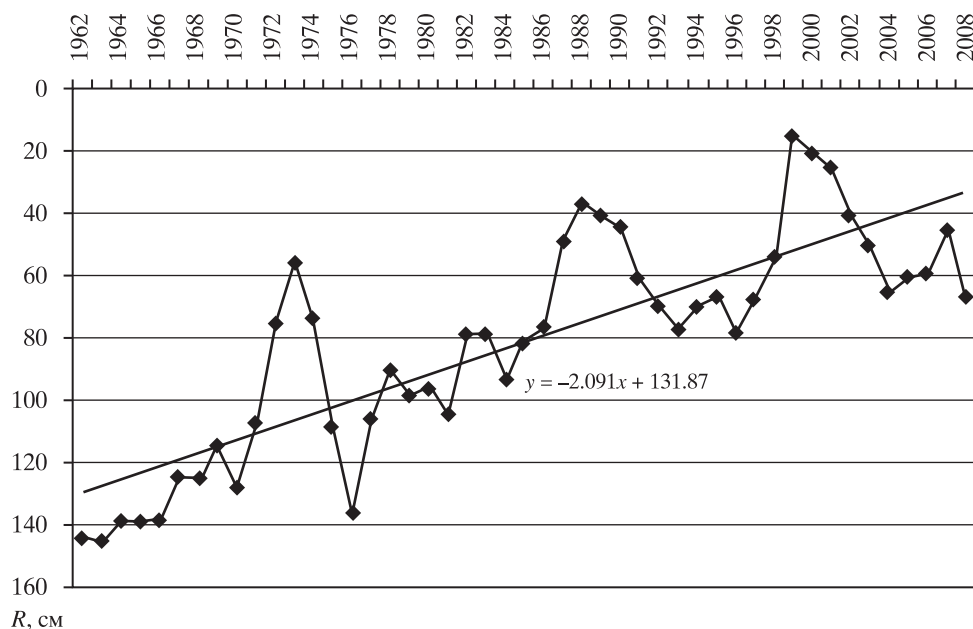


Рис. 4. График трехлетней скользящей глубин промерзания почвогрунтов (МС Бакалы).

в многолетнем разрезе наблюдается устойчивая тенденция к их увеличению.

Интенсивность нарастания среднесуточных положительных температур за период весеннего снеготаяния влияет на формирование дружности снеготаяния на водосборе, соответственно, и на показатели максимальных расходов воды в реках. При этом известно то, что чем быстрее нарастание среднесуточных положительных температур, тем интенсивнее происходит таяние снега, а в последующем и формирование водоотдачи на водосборе, склонового и речного стока. Исходная информация об особенностях изменения указанного фактора была получена на основании анализа многолетних наблюдений по всем имеющимся метеорологическим постам. За начало была принята дата, когда среднесуточная температура воздуха установилась выше 0°C , за конец — дата схода снежного покрова. Интенсивность нарастания определялась как отношение суммы положительных среднесуточных температур ($\sum t^{\circ}\text{C}$) за период весеннего снеготаяния к продолжительности (n) указанного периода.

Как видно из рис. 8, 9, в исследуемый период наблюдается устойчивая тенденция к увеличению этой характеристики. Основной причиной происходящих изменений является то, что в пределах Южного Урала и Предуралья в течение последних десятилетий произошел заметный сдвиг в сроках начала снеготаяния. Это выражается в его переносе на более поздние сроки, после чего происходит довольно быстрое нарастание температуры воздуха, вызывающее интенсивное таяние снега

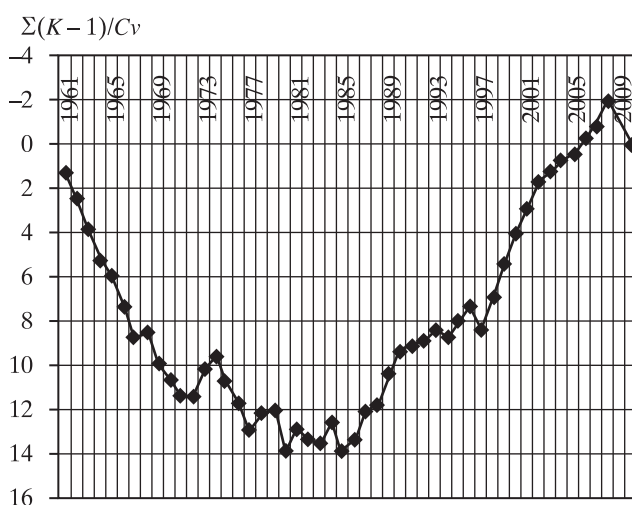


Рис. 5. Разностная интегральная кривая глубин промерзания почвогрунтов (МС Бакалы).

на водосборе. Оно и обуславливает в ряде случаев увеличение максимальных расходов воды в малых и средних реках.

Закономерности формирования максимальных расходов воды нами изучались по всем 15 бассейнам рек. При этом для каждого из бассейнов были выявлены тяготеющие пункты метеорологических наблюдений. Типичность показателей по ним определялась посредством проведения корреляционного анализа между оцениваемыми факторами и максимальными расходами воды. В последующем относительно центра бассейна реки оценивались средневзвешенные показатели,

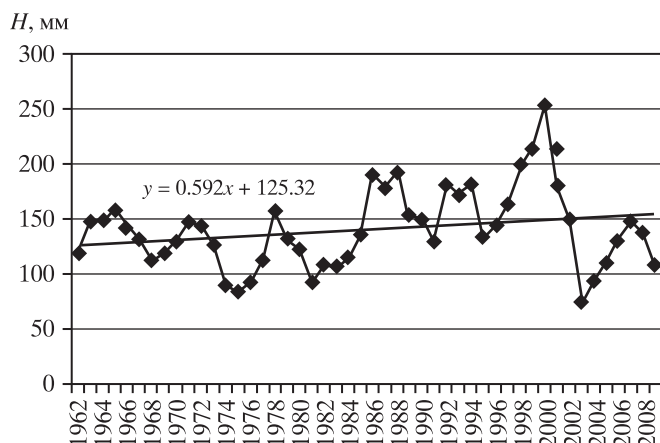


Рис. 6. График трехлетней скользящей запасов воды в снежном покрове (МС Бакалы).

которые были использованы для построения множественных линейных регрессий. Зависимость Q_{\max} от стокоформирующих факторов выражалась в виде:

$$Q_{\max} = W \cdot x_1 + R x_2 + H x_3 + \Delta t x_4 + b,$$

где W — осенние (предзимние) влагозапасы в почвогрунтах; R — запасы воды в снежном покрове перед началом снеготаяния; H — глубина промерзания почвогрунтов перед началом весеннего снеготаяния; Δt — интенсивность нарастания положительных температур за период весеннего снеготаяния; x_1, x_2, x_3, x_4 — коэффициенты; b — поправка к значениям ординат.

Для проверки полученных закономерностей первоначально расчеты проводились по бассейну р. Воробьевка (см. табл.). Выбор этого бассейна для выполнения расчетов определялся его не-

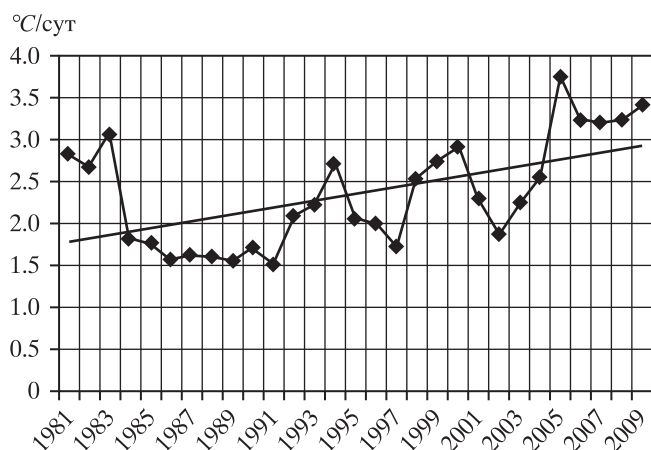


Рис. 8. График трехлетней скользящей интенсивности нарастания среднесуточных положительных температур воздуха за период весеннего снеготаяния (МС Бакалы, °C/сут).

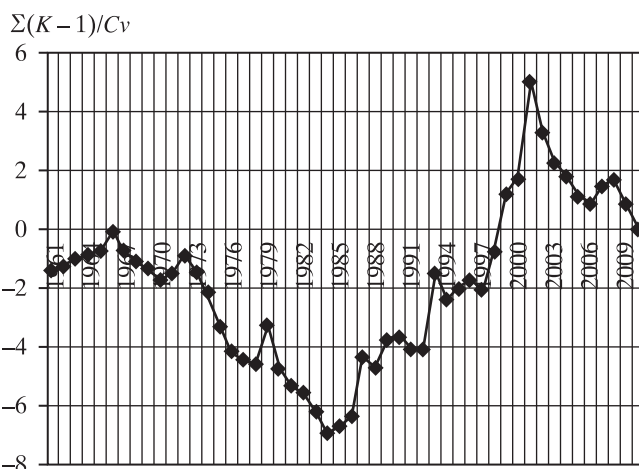


Рис. 7. Разностная интегральная кривая запасов воды в снежном покрове (МС Бакалы).

большой площадью, а также тесной сопряженностью стока со стокоформирующими факторами. Наблюдения за ними ведутся на воднобалансовой станции, расположенной в центральной части бассейна реки. Это позволило получить уравнение:

$$Q_{\max} = 0.00028W + 0.00038R + 0.0036H - 0.0186\Delta t + 0.1369,$$

позволяющее рассчитать прогнозные показатели максимальных расходов воды за время половодья в конкретном году, располагая значениями стокоформирующих факторов по реальным предшествующим наблюдениям. Соотношения вычисленных и фактических (измеренных) значений максимальных расходов воды по р. Воробьевка отражены на рис. 10.

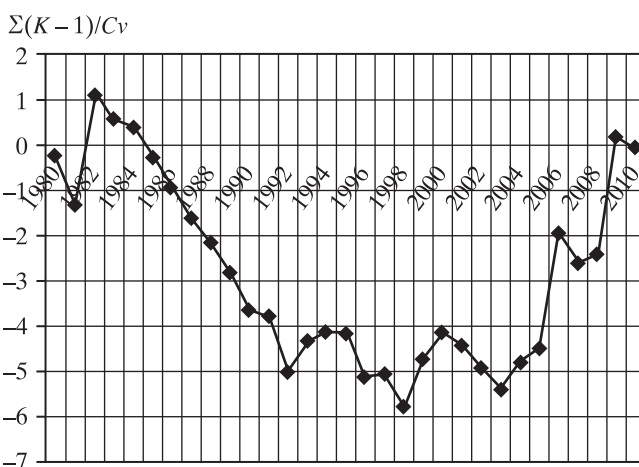


Рис. 9. Разностная интегральная кривая интенсивности нарастания среднесуточных положительных температур воздуха за период весеннего снеготаяния (МС Бакалы).

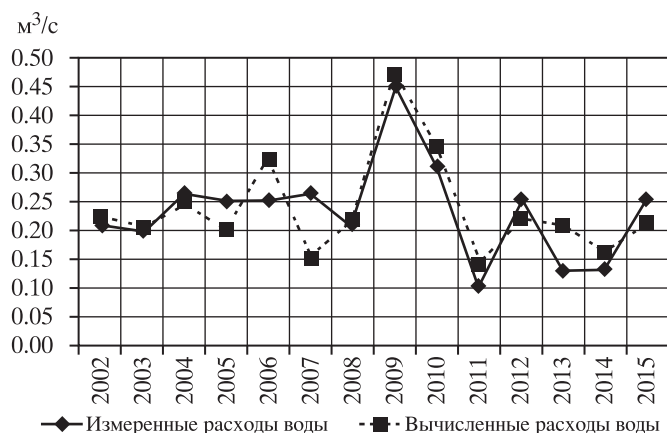


Рис. 10. Совмещенный график значений измеренных и вычисленных максимальных расходов воды р. Воробьевка (м³/с) за время наблюдений.

Как видно из рис. 10, между фактическими и расчетными значениями максимальных расходов воды весеннего половодья наблюдается хорошая сходимость (коэффициент регрессии составил 0.76, стандартная ошибка – 0.09). Однако в величинах расходов воды в некоторые годы (2005, 2010) обнаруживаются расхождения, превышающие 20%. Это происходит из-за искусственного зарегулирования стока указанной реки двумя прудами. Так, попуски воды в нижний бьеф, осуществляемые через шахтный водосброс, формируют относительно стабильный уровень водной поверхности в прудах, как летом–осенью, так и зимой. В свою очередь поверхность прудов способствует свободному перемещению волны половодья весной. Ограниченность площадей паводково-пойменных комплексов является причиной формирования более высоких фактических расходов воды по сравнению с расчетными.

Изучение тенденций к изменению основных стокоформирующих факторов во времени показало, что они не только подвержены циклическим колебаниям, но и характеризуются наличием четко выраженных трендов, позволяющих оценивать происходящие изменения. В то же время, как было показано выше, наличие продолжительных наблюдений по метеорологическим и гидрологическим постам позволяет проводить расчеты и по остальным бассейнам рек. Так, по бассейну р. Сюнь (с. Миньярово) нами была получена зависимость:

$$Q_{\max} = -1.388W + 0.494R + 0.187H + 36.095\Delta t + 412.654.$$

Фактические и вычисленные значения максимальных расходов по указанной реке также показали довольно высокую сходимость. По остальным бассейнам изучаемых рек предполагается установление зависимостей в ближайшее время.

На основании анализа изложенного следует констатировать, что приведенные методические положения позволяют проводить расчеты и прогнозные оценки максимальных расходов воды весеннего половодья в бассейнах малых и средних рек с высокой надежностью не только по бассейнам малых и средних рек Южного Урала и Предуралья, но и по рекам других регионов России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап, 2005. 419 с.
2. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии: учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: ИЦ “Академия”, 2010. 304 с.
3. Водогрецкий В.Е. Антропогенное изменение стока малых рек. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 176 с.
4. Гареев А.М. Реки, озера и болотные комплексы Республики Башкортостан. Уфа: Гилем, 2012. 248 с.
5. Гареев А.М., Галимова Р.Г., Миннегалиев А.О. Некоторые характеристики изменения стокоформирующих факторов на фоне глобальных изменений климатических условий // Вестн. Башкирского гос. ун-та. 2013. Т. 18. № 4. С. 1095–1098.
6. Гареев А.М., Зайцев П.Н. Особенности влияния пространственно-временной изменчивости основных стокоформирующих факторов на формирование максимальных расходов воды малых и средних рек в пределах Башкирского Предуралья // Сб. науч. тр. SWorld. 2014. Т. 31. № 3. С. 52–53.
7. Гареев А.М., Хабибуллин И.Л. Естественные и антропогенные факторы активизации развития эрозионных процессов. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010.
8. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 280 с.
9. Коронкевич Н.И. Вопросы формирования стока и влияния на него хозяйственной деятельности // Вопросы географии. Сб. 102. Ландшафт и воды. М.: Мысль, 1976. С. 29–46.

Long-Term Variability of Formation Conditions of Maximum Water Flow during Spring Floods on Small and Medium Rivers of Bashkir Pre-Urals

A.M. Gareev, P.N. Zaitsev

*Bashkir State University, Ufa, Russia
e-mail: hydroeco@mail.ru*

Study of temporal and spatial variability of maximum water flow is of particular relevance in connection with the increasing incidence of flooding on the territory of the Russian Federation, including on individual rivers of the Republic of Bashkortostan. In this regard, there is an urgent need for a full-scale study flow-forming factors that influence the conditions of formation and variability of maximum water flow. Specified with high reliability allows to perform predictive calculations and to carry out early evaluation of possible scenarios. This will reduce the extent of the negative economic and environmental impacts of water during spring flood. To allow a detailed analysis of the dependence of maximum flow of spring floods from major flow-forming factors within the study area were selected 15 basins of small and medium rivers. It should be noted that the location of meteorological stations to these river basins are not bound. In line with this, we carried out spatial interpolation factors for 14 meteorological stations. With respect to each of the river basins were identified gravitating points, typical indicators, which have been determined by conducting a correlation analysis between the studied factors and maximum water flow by closing sections of the rivers. In the following, relative to the center of the basin progressively defined a weighted average of the basic factors that were used to build regression models describing the dependence of the maximum water flow from them.

Keywords: Bashkir Pre-Urals, maximum flows, spring floods, the autumn moisture reserves in the soil, water storage in the snow cover, the depth of frozen soil, correlation, regression, long-term variability, flow-forming factors, variability, economic damage.

doi:10.15356/0373-2444-2016-3-110-116