

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 55.556

doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99

**ЗАВИСИМОСТЬ ПИКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ ЦНЫ
ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**Анна Владимировна Семенова^{1✉}, Михаил Евгеньевич Буковский²^{1,2}Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г.Тамбов, Россия¹asv273@mail.ru✉, <http://orcid.org/0000-0002-9306-9861>, Scopus Author ID: 57213165123, SPIN-код: 5544-5277, Author ID: 1038258²mikezzz@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2773-3816>, Scopus Author ID: 57213156254, SPIN-код: 7774-1375, Author ID: 616890

Аннотация. Подъём воды в реках при достижении высоких и аномально высоких уровней может привести к катастрофическим последствиям для имущественного комплекса и даже к угрозе жизни людей. Как правило, в Европейской части России подобные уровни отмечаются во время высоких весенних половодий, имеющих случайную повторяемость и зависящих от сочетания нескольких факторов. Климатические изменения вносят существенные коррективы в ранее разработанные методики прогноза, в связи с чем их точность и оправдываемость резко снижаются. Поэтому разработка актуальных методик прогноза для малых и средних рек является важной научной задачей. В настоящей работе рассматриваются 17 климатических факторов, потенциально влияющих на формирование максимальных уровней весеннего половодья. При помощи корреляционно-регрессионного анализа определены факторы, влияние которых наиболее значимо. Анализ проводился по данным гидрологического поста «Кузьмино-Гать», который замыкает верхнее течение р. Цны (бассейн Оки) и метеостанции «Тамбов» за период с 1970 по 2020 г. Установлено, что в наибольшей степени вероятность наступления высоких половодий увеличивается при смещении дат начала снеготаяния к более поздним. Также вероятность высоких половодий возрастает с увеличением запасов воды в снеге, осеннего увлажнения почво-грунтов, более поздним переходом средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения. Результаты представленной работы внедряются в практику работы Тамбовского ЦГМС с целью верификации и используются для построения прогнозов максимального уровня половодья на гидропосту Кузьмино-Гать.

Ключевые слова: весеннее половодье, климатические факторы, равнинные реки, долгосрочный прогноз максимального уровня воды, корреляционно-регрессионный анализ

Для цитирования: Семенова А.В., Буковский М.Е. Зависимость пика весеннего половодья в верховьях реки Цны от климатических факторов // Географический вестник = Geographical bulletin. 2022. № 1(60). С. 87–99. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99.



HYDROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99

DEPENDENCE OF THE SPRING FLOOD PEAK IN THE UPSTREAM OF THE TSNA RIVER ON CLIMATIC FACTORS

Anna V. Semenova ^{1✉}, Mikhail E. Bukovskiy ²^{1,2} Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia¹asv273@mail.ru [✉], <http://orcid.org/0000-0002-9306-9861>, Scopus Author ID: 57213165123, SPIN-code: 5544-5277, Author ID: 1038258²mikezzz@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2773-3816>, Scopus Author ID: 57213156254, SPIN-code: 7774-1375, Author ID: 616890

Abstract. The rise of water in rivers when it reaches high and abnormally high levels can lead to catastrophic consequences for the property complex and even pose threat to human life. Generally, in the European part of Russia, such levels are observed during high spring floods, which are characterized by a random frequency and depend on a combination of several factors. Climatic changes necessitate significant adjustments to the previously developed forecasting methods, whose accuracy and justification are reducing sharply. Therefore, the development of relevant forecasting methods for small and medium rivers is an important scientific objective. This paper considers 17 climatic factors potentially influencing the formation of the maximum levels of spring floods. The factors whose influence is most significant were determined by the correlation-regression analysis. The analysis was carried out according to the data of the Kuzmino-Gat gauging station, located at the upper reaches of the Tsna River (the Oka River basin), and the Tambov weather station for the period from 1970 to 2020. We have established that the probability of high floods increases to the greatest extent when the starting dates of snowmelt shift to later ones. The probability of high floods also increases with a rise in snow water reserves, autumn soil moisture, and a later transition of the average daily air temperature through 0°C upwards. The results of this work are already being introduced into practice for verification and are used to make forecasts of the maximum flood level at the Kuzmino-Gat gauging station.

Keywords: spring flood, climatic factors, lowland rivers, long-term maximum water level forecast, correlation-regression analysis

For citation: Semenova, A.V. and Bukovskiy, M.E. (2022). Dependence of the spring flood peak in the upstream of the Tsna River on climatic factors. *Geographical Bulletin*. No. 1(60). Pp. 87–99. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99.

Введение

Речные наводнения представляют собой одно из самых разрушительных гидрологических явлений, охватывающих значительные территории по всему миру [27]. Многие исследователи отмечают, что огромный ущерб, вызванный природными катаклизмами, в том числе и наводнениями, обусловлен высокой обжитостью территории.

В соответствии с докладом Европейского агентства по окружающей среде с 1980 по 2017 г. в Европе ущерб от стихийных бедствий насчитывает порядка 557 млрд евро, из них доля гидрологических явлений составляет большую часть [28].

Половодье является одной из главных фаз водного режима рек, в течение которой реки пропускают основную часть годового стока. Именно в период половодья на Европейской части России, в том числе и на территории Тамбовской области, главным образом, происходят затопления и подтопления объектов инфраструктуры, наносящих значительный экономический и экологический ущерб.

На высоту и интенсивность наводнений влияют и климатические изменения. Эти изменения сказываются на речном стоке, в частности, на максимальных расходах воды во время весеннего половодья.

Гидрология
Семенова А.В., Буковский М.Е.

Период половодья сопровождается также выходом реки из русла на пойму. Движущей силой для равнинных рек является активное снеготаяние, что обуславливает возникновение весеннего половодья, характеризующегося ежегодной повторяемостью в один и тот же сезон с разной интенсивностью и продолжительностью для рек одной климатической зоны [11].

Помимо высоких уровней весенних половодий отмечаются значения и низких, которых пойменная территория не затапливается, что также имеет негативные эффекты. В частности, наблюдаются аридизация территории, появление новых видов растений, не произрастающих на этой территории ранее. Главным последствием низких половодий является незаполняемость пойменных озер, что в дальнейшем приводит к их исчезновению и нарушению водного баланса территории. Наряду с этим появляется риск неполного заполнения прудов и водохранилищ [10].

На Европейской территории России отмечаются значительные трансформации во внутригодовом распределении стока многих рек уже со второй половины 70-х гг. XX в. Так, сдвиг меженного стока от нормы за последние двадцать лет прошлого века колеблется от 20 до 70%. Этот факт, как утверждает В.А. Хаустов, повлиял на увеличение годового стока рек на всей рассматриваемой территории, в то время как сток весеннего половодья в большинстве своем снизился [10; 25]. Такие же результаты были выявлены другими исследователями, которые анализировали данные за 1945–2015 гг. по рекам Европейской части России: отмечаются увеличение годового стока, увеличение неравномерности летней межени и уменьшение стока за половодье [21; 24].

Исходя из этого возникает необходимость разработки надежных гидрологических моделей, направленных на снижение ущерба и оценку рисков [29; 32]. Точный прогноз половодья дает нужную информацию для управления земельными ресурсами и оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации. Таким образом, задача системы прогнозирования – это моделирование образования стока, распространения половодья и затопления поймы. Однако прежде всего необходимо проанализировать факторы, влияющие на формирование максимальных уровней половодья.

Все факторы можно разделить на две категории. К первой относятся физико-географические, которые являются достаточно постоянными, а ко второй – колеблющиеся гидрометеорологические факторы, которые непосредственно зависят от погодных условий конкретного сезона. К этой переменной категории можно отнести снеготаяния, количество осадков и интенсивность их выпадения, температуру воздуха в приземном слое, теплообмен, определяющий интенсивность таяния снега и испарение, водопоглотительную способность грунтов бассейна и др. [30; 31].

Именно эти факторы и определяют количественную динамику стока, также иных характеристик половодья. Вместе с этим существует потребность не только в изучении колебаний этих факторов, но и оценке возможности их применения в качестве индикаторов в расчетах при составлении прогнозов талого стока.

Для моделирования системы также важно понимание характеристик половодья и взаимосвязи между уровнями воды вверх и вниз по течению от моделируемого створа.

Гидрологические модели подразделяют на две группы: стохастические и детерминистические. Результат детерминированной модели является определенным, когда входные параметры являются фиксированными, но менее информативными по сравнению со стохастической моделью. Стохастическая модель более значима для прогнозирования на основе вероятности исхода при различных обстоятельствах [23].

Детерминированные модели, в свою очередь, можно разделить на эмпирические, концептуальные и физико-математические.

В нашей стране одним из первых, кто занимался проблемой угрозы высоких половодий и необходимости разработки методики их прогноза, был А.И. Воейков [7].

В 1922 г. сотрудником Государственного гидрологического института (ГГИ) В.Н. Лебедевым была предложена формула для долгосрочного прогноза высоты половодья, включающая балловые оценки некоторых факторов, влияющих на формирование максимального уровня [16].

Позже, с середины 20-х и до середины 30-х гг., проводился ряд исследований по установлению эмпирических зависимостей между высотой половодья и его факторами: высотой снежного покрова, увлажнением бассейна и циклоничностью весны. (О.Т. Машкевич, А.В. Огиевский и др.). В результате работ был получен ряд способов прогноза высоты половодья и уточнена роль некоторых факторов половодья [1; 6].

Кроме того, в качестве основы для долгосрочного прогноза была установлена водобалансовая зависимость между объемом стока и факторами состояния водосбора перед снеготаянием [2; 3; 9].

В дальнейшем эти методы усовершенствовались и адаптировались гидрологами-прогнозистами местных управлений Гидрометслужбы. В частности, Тамбовский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС) использует методику 1950-х и 1970-х гг. для долгосрочного и краткосрочного прогнозирования стока и наивысших уровней воды в половодье [17; 18]. Однако анализ данных за последние 30 лет показал, что данная методика на сегодняшний день неэффективна. Поэтому существует острая необходимость в её модернизации с учетом происходящих изменений климата и гидрологического режима рек.

Настоящая работа является первым этапом построения эмпирической модели, для реализации которой будут использоваться статистические и математические методы.

Объект исследования – климатические факторы, которые влияют на максимальный уровень воды в верхнем течении р. Цны во время весеннего половодья. Предметом является степень влияния изучаемых факторов на пик весеннего половодья.

Ранее наши коллеги проводили исследования по изучению гидрологического режима, химического состава поверхностных вод и ледовых явлений рек региона, температурного режима и распределения атмосферных осадков по территории области [4; 13; 14; 26]. Однако при этом данные исследования не рассматривали взаимодействие гидрологических и климатических факторов.

На сегодняшний день Тамбовский ЦГМС занимается разработкой новой методики прогноза максимального уровня половодья и даты его наступления. Поэтому основная цель данного исследования – определение влияния климатических факторов на максимальный уровень половодья как первого этапа разработки актуальной методики прогноза.

Материалы и методы

Тамбовская область, общая площадь которой насчитывает 34462 км², относится к умеренному климатическому поясу. Она расположена в самом центре Русской равнины, занимая большую часть Окско-Донской низменности, и входит в зону Центрально-Черноземного региона. Средняя высота Окско-Донской равнины составляет 139 м над уровнем моря.

Основные формы рельефа, преобладающие на территории области, – речные долины и их водоразделы, балки и овраги. Территория области находится в бассейнах таких рек, как Волга и Дон. Общее число рек и ручьев, протекающих по территории региона, составляет порядка 1400. С длиной менее 10 км их насчитывается более 1200, с длиной в 25 км – 132. По территории области протекает лишь 8, так называемых, средних рек, т.е., чья длина превышает 100 км.

Гидрология

Семенова А.В., Буковский М.Е.

В качестве исследуемой территории было выбрано верхнее течение р. Цны (бассейн Оки), замыкаемое гидрологическим постом у села Кузьмино-Гать. Водосбор является типичным для верховий равнинных рек Волго-Донского низменного водораздела на Окско-Донской равнине [12].

Река Цна – это левый приток р. Мокши (бассейн Оки). Она является самой длинной рекой, протекающей по территории Тамбовского региона – 446 км, из которых 330 км – в пределах области. Долина р. Цны хорошо развита, имеет широкую пойму и три-четыре надпойменных террасы. Площадь водосборного бассейна составляет примерно 21 500 км² (из них 14 200 км², или 42,8% в Тамбовской области). Она берет начало на высоте 186–190 м у самых юго-западных отрогов Приволжской возвышенности и течет на север, принимая несколько десятков средних и мелких притоков. Общее падение русла реки до северных границ области составляет 80–85 м, а уклон 23–25 м на 1 км течения [22].

Гидрологический пост, замыкающий верхнее течение р. Цны, расположен на северной окраине села Кузьмина Гать (Тамбовский район), в 100 м ниже устья р. Лесной Тамбов.

Прилегающая местность – преимущественно открытая наклонная равнина, сложена супесчаными грунтами, занята под сельскохозяйственные угодья.

Долина реки трапецидальная, шириной 3 км. Левый склон крутой, высотой 15 м, правый – пологий, поросший лесом. Пойма двухсторонняя луговая, частично заболоченная, местами распахана под огороды, изрезана ериками и котловинообразными понижениями, правобережная шириной 2–2,5 км, левобережная – 0,5 км; начинает затопляться при уровне воды 115 мБС.

Русло реки в районе с. Кузьмино-Гать прямолинейное, шириной 30–40 м, песчаное, с небольшим островами, образующимися в результате выноса донных отложений при попусках воды из водохранилища на р. Лесной Тамбов, зарастающее. Берега низкие, местами обрывистые, высотой 2–3 м, сложены супесчаными грунтами.

Норма годового стока у села Кузьмино-Гать равняется 13,2 м³/с. Весной во время половодья расходы могут возрастать до 1050 м³/с, а в сухие годы летом уменьшаться до 1,1 м³/с.

Расходы воды измеряются в паводок с высоководного моста в 6,02 км ниже поста, в меженный период измерялись в 100 м ниже поста на оборудованном низководном мосту, который в 2004 г. полностью разрушен.

В основу исследования вошли ежедневные гидрологические и климатические данные за 1970–2020 гг. по гидропосту «Кузьмино-Гать» и метеостанции «Тамбов», предоставленные Тамбовским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

На первом этапе нами были оцифрованы первичные материалы агроклиматических и гидрологических журналов и сформирована база данных, в которой были собраны значения оцифрованных параметров по каждому году.

Далее по методикам Росгидромета нами были определены даты начала снеготаяния, даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C, сроки половодья, а также посчитаны значения осеннего увлажнения почво-грунтов [17; 20]. Также были рассчитаны суммы температур и осадков за приведённые выше периоды.

Выбор климатических факторов и гидрологических параметров половодья для анализа осуществлён с учётом работ, выполненных другими исследователями [2; 5; 8; 15].

В итоге для анализа было выбрано 16 параметров (независимые переменные), которые в той или иной степени оказывают влияние на максимальный уровень половодья (зависимая переменная). Список анализируемых параметров приведён в таблице при описании результатов.

Гидрология
Семенова А.В., Буковский М.Е.

Затем, применяя метод попарной корреляции, при помощи рангового коэффициента корреляции Спирмена мы проанализировали степень связи максимального уровня половодья с каждым из приведённых факторов. Значимость ранговой корреляционной связи (при $p=0,05$) была проверена нами с помощью таблиц критических значений t-критерия Стьюдента. Для характеристики силы корреляционной связи использовалась шкала Чеддока.

На следующем этапе была проведена сортировка всех данных на периоды в зависимости от даты начала снеготаяния, так как именно этот параметр в наибольшей степени коррелировал с максимальным уровнем половодья. При сортировке мы разделили весь массив данных на три периода: ранний, в котором снеготаяние начиналось ранее 1 марта; средний, с началом снеготаяния в первой половине марта (1–15 марта), и поздний, в котором снеготаяние начиналось во второй половине марта (16–31 марта).

Далее была проведен анализ степени влияния оставшихся климатических факторов на пик половодья при помощи метода множественной регрессии. Дальнейший анализ значимости факторов, влияющих на формирование волны половодья, проводился уже в рамках этих периодов.

Результаты и обсуждение

В ходе корреляционного анализа параметров, влияющих на максимальный уровень половодья на гидропосте «Кузьмино-Гать», нами были выделены параметры, находящиеся в слабой и средней прямой связи с пиком половодья.

Рассчитанные значения коэффициентов корреляции Спирмена во всех случаях превысили критические значения из таблицы критических значений t-критерия Стьюдента на уровне значимости 0,05.

На рисунке приведены параметры, значения коэффициента корреляции которых были выше 0,4.

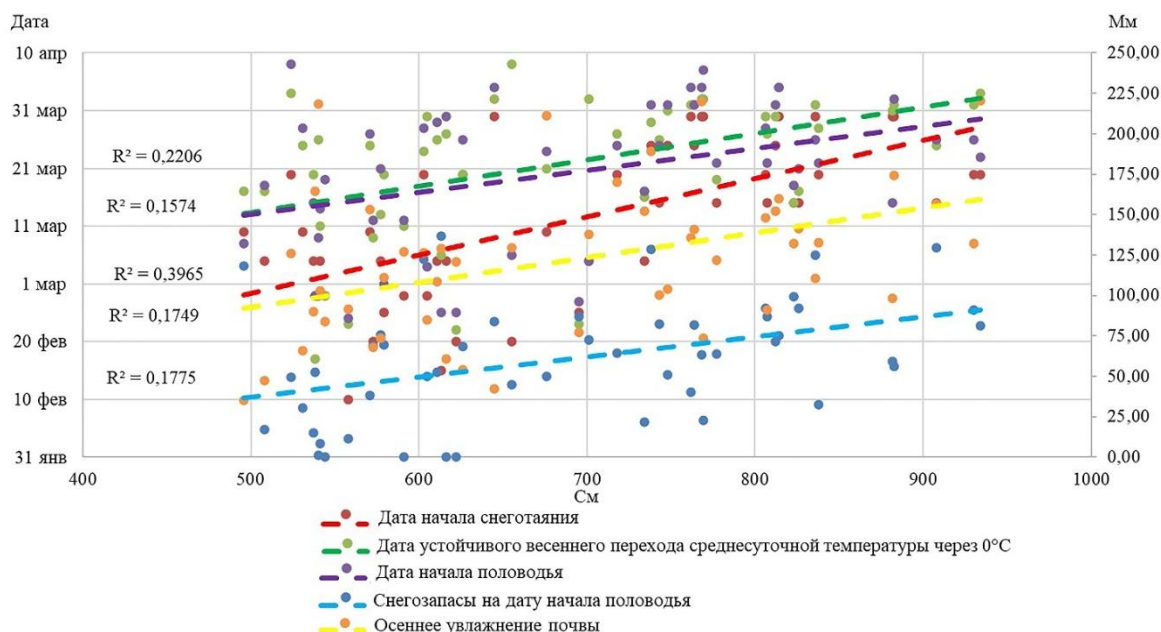


Рис. Результаты корреляционного анализа факторов, влияющих на пик половодья по гидропосту «Кузьмино-Гать»

Fig. Correlation analysis of the most significant factors affecting the flood peak for the Kuzmino-Gat gauging station

На рисунке видно, что максимальный уровень половодья из всех перечисленных выше климатических параметров находится в наибольшей связи с датой начала снеготаяния, датой начала половодья, датой устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через

Гидрология
Семенова А.В., Буковский М.Е.

0°C в сторону повышения, запасами воды в снежном покрове на дату начала половодья и осенним увлажнением почво-грунтов.

Корреляционная зависимость средней силы отмечена для даты начала снеготаяния ($r=0,63$). Для других 4 параметров коэффициент корреляции колеблется от 0,40 до 0,47.

Далее была проведена сортировка всего массива данных по наиболее значимому параметру – дате начала снеготаяния. Объединены в группы значения всех параметров, относящихся к годам с одинаковыми датами начала снеготаяния по следующим интервалам: 10–28 (29) февраля; 1–15 марта; 16–31 марта.

Согласно методическим рекомендациям ГГИ были проранжированы максимальные уровни половодья на низкие ($P < 33,3\%$), средние ($33,3\% \leq P \leq 66,7\%$) и высокие ($P > 66,7\%$) [19]. Таким образом, для данного поста низкими считаются половодья с максимальными уровнями менее 611 см, средними – от 611 до 764 см включительно, высокими – выше 764 см.

В ходе анализа распределения низких, средних и высоких половодий для данного гидропоста в зависимости от даты начала снеготаяния было установлено, что в случае начала таяния снега в феврале наблюдаются низкие и иногда средние по высоте половодья. А если дата начала снеготаяния приходится на первые две декады марта, могут наблюдаться низкие, средние и высокие половодья практически с равной вероятностью. Если же снеготаяние начинается в 3-й декаде марта, то наблюдаются только средние и высокие половодья. Такое распределение значений максимального уровня половодья в зависимости от даты начала снеготаяния позволяет давать предварительные качественные оценки предстоящего половодья, основываясь на этой дате.

На следующем этапе был проведён регрессионный анализ связи максимального уровня половодья с различными составляющими его формирования: суммой положительных температур, суммой осадков, глубиной промерзания почвы, запасами воды в снежном покрове в зависимости от даты начала снеготаяния, осенним увлажнением почво-грунтов при уровне надёжности 95 % (см. таблицу).

Таблица

Результаты регрессионного анализа факторов, влияющих на пик половодья для гидропоста «Кузьмино-Гать»
Regression analysis of climatic factors affecting the flood peak for the Kuzmino-Gat gauging station

<i>Климатические факторы</i>	<i>Коэффициент регрессии</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>
Дата начала снеготаяния	8,322	2,675	0,012
Дата перехода через 0°C	-7,220	-1,823	0,077
Дата начала половодья	2,583	0,592	0,558
Запас воды в снеге на дату начала снеготаяния	0,538	0,476	0,637
Запас воды в снеге на дату перехода через 0°C	-0,517	-0,615	0,543
Запас воды в снеге на дату начала половодья	0,707	0,733	0,469
Сумма положительных температур от начала снеготаяния до пика половодья	1,921	0,411	0,684
Сумма положительных температур от начала половодья до пика половодья	1,987	0,481	0,633
Сумма положительных температур от перехода через 0°C до пика половодья	-4,513	-0,855	0,399
Сумма осадков от перехода через 0°C до пика половодья	-0,950	-0,511	0,613
Сумма осадков от начала снеготаяния до пика половодья	0,217	0,096	0,924
Сумма осадков от начала половодья до пика	2,205	0,879	0,386
Глубина промерзания почвы на дату начала снеготаяния	2,815	0,987	0,331
Глубина промерзания почвы на дату перехода через 0°C	-5,989	-1,804	0,080
Глубина промерзания почвы на дату начала половодья	4,096	1,698	0,099
Осеннее увлажнение почво-грунтов	0,696	2,052	0,048

Коэффициент множественной корреляции составил 0,84.

Гидрология
Семенова А.В., Буковский М.Е.

Из данных таблицы видно, что высокие коэффициенты в регрессионном уравнении имеют лишь несколько факторов: дата начала снеготаяния, дата начала половодья, сумма осадков от начала до пика половодья, глубина промерзания почвы. Отдельно стоит отметить осеннее увлажнение почво-грунтов.

Однако значения *t*-статистики показывают, что статистически значимыми при таком наборе анализируемых факторов можно считать лишь коэффициенты по двум параметрам – дата начала снеготаяния и осеннее увлажнение почво-грунтов.

Заключение

В результате анализа влияния климатических факторов на формирование максимальных уровней половодья в верхнем течении р. Цны нами выделен ряд факторов, которые находятся с ними в наиболее тесной связи. Результаты анализа позволяют выделить наиболее значимые факторы для дальнейшего их использования в прогностической модели. В настоящей работе сделана попытка установления факторов, влияющих на максимальный уровень половодья при помощи статистического подхода исходя из того, что в большинстве работ, посвящённых прогнозу половодья, изначально делается попытка прогноза слоя талого стока и уже затем попытка связать этот параметр с максимальным уровнем половодья. Эти работы, по сути, основаны на методиках Росгидромета разных лет, которые направлены на прогнозирование объёма стока за половодье. Иная постановка задачи в настоящей работе обусловила и подбор параметров для корреляционного анализа.

В результате попарного корреляционного анализа установлено, что максимальный уровень половодья находится в наибольшей связи с датой начала снеготаяния, датой начала половодья, датой устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения, запасами воды в снежном покрове на дату начала половодья и осенним увлажнением почво-грунтов.

Корреляционная зависимость средней силы отмечена для даты начала снеготаяния ($r=0,63$). Для других 4 параметров коэффициент корреляции колеблется от 0,40 до 0,47.

Исследование факторов, оказывающих влияние на максимальный уровень половодья, показало наибольшую зависимость максимального уровня половодья от даты начала таяния снега, что позволяет использовать этот параметр для предварительной качественной оценки предстоящего половодья.

В результате анализа распределения максимальных уровней половодья для гидропоста Кузьмино-Гать в зависимости от даты начала снеготаяния было установлено, что в случае раннего начала снеготаяния (до 1 марта) наблюдаются низкие и, иногда, средние по высоте половодья. В случае, когда дата начала снеготаяния приходится на первые две декады марта, могут наблюдаться низкие, средние и высокие половодья практически с равной вероятностью. В случае позднего начала снеготаяния (после 20 марта) наблюдаются только средние и высокие половодья.

Утверждения о связи максимальных уровней с датами начала снеготаяния, половодья, перехода средней суточной температуры к положительным значениям встречались в научной литературе и ранее. Расчёт конкретных дат, позволяющих ориентировочно исключить или, напротив, предположить вероятность высоких уровней половодья, нами в работах других авторов не встречен, а для верховий р. Цны такой расчёт произведён впервые. Остальные параметры, установленные нами как значимые, также признаются значимыми в работах большинства исследователей.

С помощью метода множественной регрессии была проанализирована степень взаимосвязи между 17 климатическими факторами и максимальным уровнем половодья на гидропосте «Кузьмино-Гать».

Гидрология

Семенова А.В., Буковский М.Е.

Высокие коэффициенты в регрессионном уравнении имеют несколько факторов. Однако значения t-статистики показывают, что статистически значимыми при таком наборе анализируемых факторов можно считать лишь коэффициенты по двум параметрам – дата начала снеготаяния и осеннее увлажнение почво-грунтов.

Ряд исследователей также считает значимыми, помимо перечисленных в настоящей работе, такие параметры, как количество осадков от даты начала снеготаяния до пика половодья или его окончания, глубину промерзания почвы, различные характеристики увлажнения почво-грунтов. Также весьма важной представляется роль температуры воздуха либо производного от неё параметра, однако характер влияния температуры воздуха на максимальный уровень половодья в каждый конкретный сезон весьма сложнопрогнозируемый. В настоящей работе корреляция максимального уровня половодья с перечисленными параметрами не являлась статистически значимой.

В дальнейшем результаты анализа будут использоваться для построения новой, актуальной прогностической модели и последующей передачи ее в Тамбовский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В перспективе авторы планируют применить подобную схему анализа для других гидропостов региона.

Список источников

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов: учебник для гидрометеорол. ин-тов и геогр. фак. ун-тов. М.: Гидрометеоздат, 1974. 422 с.
2. Аржаков А.Н., Кусатов К.И. Результаты испытания методики прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья на реках Якутии за 2004–2006 гг. // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрологических прогнозов. 2009. № 36. С. 86–87.
3. Беляев Б.М., Варенцова Н.А. Разработка долгосрочных гидрологических прогнозов характеристик весеннего половодья на основе современной гидрометеорологической информации и методов её обработки // Третьи Виноградовские чтения «Грани гидрологии». 2018. С. 698–703.
4. Буковский М.Е., Дудник С.Н., Колкова К.С., Сурувикина И.В., Чернова М.А. Динамика ледовых явлений на реках донского бассейна в пределах территории Тамбовской области // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 393–398.
5. Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Гордеев И.Н. Результаты испытания физико-статистического метода долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрологических прогнозов. 2012. № 39. С. 121–126.
6. Варенцова Н.А., Киреева М.Б., Фролова Н.Л., Харламов М.А., Илич В.И., Сазонов А.А. Прогноз притока воды к цимлянскому водохранилищу в период половодья в современных климатических условиях: проблемы и воспроизводимость // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 694–709. doi: 10.31857/s0321059620060152.
7. Воейков А.И. К вопросу о половодье 1908 года и предсказание уровня рек // Метеорологический вестник. 1908. № 7. 17 с.
8. Гареев А.М., Зайцев П.Н., Комиссаров А.В. Некоторые особенности изменчивости максимальных расходов воды весеннего половодья в зависимости от влияния стокоформирующих факторов (на примере бассейнов рек Башкирского Предуралья) // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 2. С. 478–485.
9. Георгиевский В.Ю., Ежов А.В., Шалыгин А.Л. и др. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек бывшего СССР // Метеорология и гидрология. 1996. № 11, С. 89–99.
10. Дмитриева В.А. Аномалии весеннего половодья в Донском бассейне и их водохозяйственные и гидроэкологические последствия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42. № 2. С. 181–190.

Гидрология

Семенова А.В., Буковский М.Е.

11. Дмитриева В.А., Григорьевская А.Я. Современные природные процессы на речных водосборах Верхнего Дона // Современная экология: образование, наука, практика. 2017. С. 427–430.
12. Дудник Н.И. Природные ресурсы и ландшафты Тамбовской области: учеб. пособие для студентов и учителей географии. Тамбов: ТГПИ, 1980. 144 с.
13. Дудник С.Н., Буковский М.Е., Можаров А.В., Колкова К.С., Чернова М.А., Сурувикина И.В. Динамика гидротермического режима в реках Донского бассейна на территории Тамбовской // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1404–1409.
14. Дудник С.Н., Буковский М.Е., Шалагина А.Г. Динамика количества атмосферных осадков на территории Тамбовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2012. № 2. С. 22–26.
15. Кумани М.В., Апухтин А.В. Прогнозирование основных элементов весеннего стока в рамках реализации системы мониторинга и прогнозирования // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9. № 4. С. 68–74.
16. Лебедев В.Н. Методы предсказания высоты весеннего половодья рек. // Известия РГИ. 1924. №11.
17. Методика долгосрочного прогноза стока и максимальных уровней весеннего половодья на р. Цне у с. Кузьмино-Гать и г. Тамбова. Курск, 1973. 12 с.
18. Методика краткосрочного прогнозирования наивысшего уровня весеннего половодья р. Цна у г. Тамбова и с. Кузьмино-Гать. Курск, 1951. 8 с.
19. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб., 2009. 193 с.
20. Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации: РД 52.33.725 – 2010: [утв. Росгидрометом, 24.02.2010: взамен РД 52.33.224-1987] / [разраб.: В.Г. Сиротенко, Р.Ю. Рябова]. Изд. 5-е, перераб. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2010. 141 с.
21. Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации / под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб.: ООО "РИАЛ", 2021. 190 с.
22. Реки Тамбовской области Каталог / под ред. Н. И. Дудника. Тамбов, 1991. 47 с.
23. Старков И.А., Рангулов Р.А. О статистическом прогнозировании характеристик речного стока // Географический вестник. 2008. № 2(8). С. 139–142.
24. Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Харламов М.А., Самсонов Т.Е., Энтин А.Л., Лурье И.К. Картографирование современного состояния и трансформации водного режима рек Европейской территории России // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 7. С. 14–26.
25. Хаустов В.А. К методике сценарных оценок вероятностных характеристик слоя стока весеннего половодья // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 32. С. 28–35.
26. Чернова М.А., Кузьмин К.А. Уточнение количества и параметров поверхностных водотоков в бассейне реки Битюг // Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития. 2018. С. 685–687.
27. De Groeve T., Thielen-del Pozo J., Brakenridge R., Adler R., Alfieri L., Kull D., Lindsay F., Imperiali O., Pappenberger F., Rudari R., Salamon P., Villars N., Wyjad K. Joining Forces in a Global Flood Partnership // Bulletin of the American Meteorological Society, 2015. Vol. 96. pp. ES97–ES100. doi: 10.1175/bams-d-14-00147.1.
28. European Environment Agency, 2019. Economic losses from climate-related extremes in Europe. EEA, Copenhagen. Denmark. pp. 1–29.
29. Gerl T., Kreibich, H., Franco, G., Marechal D., Schröter K. A review of flood loss models as basis for harmonization and benchmarking // PLOS ONE, 2016. Vol. 11. P. e0159791. doi: 10.1371/journal.pone.0159791.

Гидрология

Семенова А.В., Буковский М.Е.

30. Jeelani G., Feddema J.J., Veen C.J., Stearns L. Role of snow and glacier melt in controlling river hydrology in Liddar watershed (western Himalaya) under current and future climate // *Water Resources*, 2012. Vol. 48. pp. 1–12. doi: 10.1029/2011WR011590.

31. Khadka D., Babel M.S., Shrestha S., Tripathi N.K. Climate change impact on glacier and snow melt and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region // *Journal of Hydrology*, 2014. Vol. 511. pp. 49–60. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.01.005.

32. Merz B., Kreibich H., Lall U. Multi-variate flood damage assessment: A tree-based data-mining approach // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2013. Vol. 13. pp. 53–64. doi: 10.5194/nhess-13-53-2013.

References

1. Apollov, B.A., Kalinin, G.P., Komarov, V.D. (1974), *Kurs gidrologicheskikh prognozov*, Uchebnik dlya gidrometeorol. in-tov i geogr. fak. un-tov, Gidrometeoizdat, Moscow.

2. Arzhakov, A.N., Kusatov, K.I. (2009), Rezul'taty ispytaniya metodiki prognoza maksimal'nykh urovney vody vesennego polovod'ya na rekakh Yakutii za 2004–2006 gg, *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologiy, modeley i metodov gidrologicheskikh prognozov*, no. 36, pp. 86–97.

3. Belyayev, B.M., Varentsova, N.A. (2018), Razrabotka dolgosrochnykh gidrologicheskikh prognozov kharakteristik vesennego polovod'ya na osnove sovremennoy gidrometeorologicheskoy informatsii i metodov yeyo obrabotki, *Tret'i Vinogradovskiye Chteniya «Grani gidrologii»*, pp. 698–703.

4. Bukovskiy, M.Ye., Dudnik, S.N., Kolkova, K.S., Surovikina, I.V., Chernova, M.A. (2014), Dinamika ledovykh yavleniy na rekakh donskogo basseyna v predelakh territorii Tambovskoy oblasti, *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, vol. 10, no 1, pp. 393–398.

5. Burakov, D.A., Kosmakova, V.F., Gordeyev, I.N. (2012), Rezul'taty ispytaniya fiziko-statisticheskogo metoda dolgosrochnogo prognoza maksimal'nykh urovney vody vesennego polovod'ya r. Yenisey u g. Kyzyl, *Rezul'taty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologiy, modeley i metodov gidrologicheskikh prognozov*, no. 39, pp. 121–126.

6. Varentsova, N.A., Kireyeva, M.B., Frolova, N.L., Kharlamov, M.A., Ilich, V.I., Sazonov, A.A. (2020), Prognoz pritoka vody k tsimlyanskomu vodokhranilishchu v period polovod'ya v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh: problemy i vosproizvodimost', *Vodnyye resursy*, vol. 47, no. 6, pp. 694–709. doi: 10.31857/s0321059620060152.

7. Voyeykov, A.I. (1908), *K voprosu o polovod'ye 1908 goda i predskazaniye urovnya rek*, *Meteorologicheskii vestnik*, no. 7.

8. Gareyev, A.M., Zaytsev, P.N., Komissarov, A.V. (2015), Nekotoryye osobennosti izmenchivosti maksimal'nykh kharakteristik vody vesennego polovod'ya v zavisimosti ot vliyaniya stokoformiruyushchikh faktorov (na primere basseynov rek Bashkirskogo Predural'ya), *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, vol. 20, no. 2, pp. 478–485.

9. Georgiyevskiy, V.Yu., Yezhov, A.V., Shalygin, A.L. et. al. (1996), Otsenka vliyaniya vozmozhnykh izmeneniy klimata na gidrologicheskiiy rezhim i vodnyye resursy rek byvshego SSSR, *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 11, pp. 89–99.

10. Dmitriyeva, V.A. (2018), Anomalii vesennego polovod'ya v Donskom basseyne I ikh vodokhozyaystvennyye i gidroekologicheskkiye posledstviya, *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki*, vol. 42, no. 2, pp. 181–190.

11. Dmitriyeva, V.A., Grigor'yevskaya, A.Ya. (2017), Sovremennyye prirodnyye protsessy na rechnykh vodosborakh Verkhnego Dona, *Sovremennaya ekologiya: obrazovaniye, nauka, praktika*, pp. 427–430.

12. Dudnik, N.I. (1980), *Prirodnyye resursy i landshafty Tambovskoy oblasti: Ucheb. posobiye dlya studentov i uchiteley geografii*, Tambov: TGPI.

Гидрология

Семенова А.В., Буковский М.Е.

13. Dudnik, S.N., Bukovskiy, M.Ye., Mozharov, A.V., Kolkova, K.S., Chernova, M.A., Surovikina, I.V. (2014), Dinamika gidrotermicheskogo rezhima v rekakh Donskogo basseyna na territorii Tambovskoy, *Vestnik Tambovskogo universiteta, Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, vol. 19, no. 5, pp. 1404–1409.
14. Dudnik, S.N., Bukovskiy, M.Ye., Shalagina, A.G. (2012), Dinamika kolichestva atmosferykh osadkov na territorii Tambovskoy oblasti, *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, no 2, pp. 22–26.
15. Kumani, M.V., Apukhtin, A.V. (2012), Prognozirovaniye osnovnykh elementov vesennego stoka v ramkakh realizatsii sistemy monitoringa i prognozirovaniya, *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*, vol. 9, no. 4, pp. 68–74.
16. Lebedev, V.N. (1924), Metody predskazaniya vysoty vesennego polovod'ya rek, *Izvestiya RGI*, № 11.
17. *Metodika dolgosrochnogo prognoza stoka i maksimal'nykh urovney vesennego polovod'ya na r. Tsne u s. Kuz'mino-Gat' i g. Tambova* (1973), Kursk.
18. *Metodika kratkosrochnogo prognozirovaniya naivysshego urovnya vesennego polovod'ya r. Tsna u g. Tambova i s. Kuz'mino-Gat'* (1951), Kursk.
19. *Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik pri otsutstvii dannykh gidrometricheskikh nablyudeniy* (2009), S-Pb.
20. *Metodicheskiye ukazaniya po sostavleniyu agrometeorologicheskogo yezhegodnika dlya zemledel'cheskoy zony Rossiyskoy Federatsii: RD 52.33.725 – 2010: [utv. Rosgidrometom, 24.02.2010 : vzamen RD 52.33.224-1987], [razrab.: V.G. Sirotenko, R.Yu. Ryabova]* (2010), Izd. 5-ye, pererab. Obninsk: VNIIGMI-MTSD.
21. *Nauchno-prikladnoy spravochnik: Mnogoletniye kolebaniya i izmenchivost' vodnykh resursov i osnovnykh kharakteristik stoka rek Rossiyskoy Federatsii* (2021), pod red. V.Yu. Georgiyevskogo. SPb.: OOO "RIAL".
22. *Reki Tambovskoy oblasti* (1991), [Katalog].
23. Starkov, I.A., Rangulov R.A. (2008), O statisticheskom prognozirovanii kharakteristik rechnogo stoka, *Geograficheskiy vestnik*, no. 2, pp. 139–142.
24. Frolova, N.L., Kireyeva, M.B., Kharlamov, M.A., Samsonov, T.Ye., Entin, A.L., Lur'ye, I.K. (2020), Kartografirovaniye sovremennogo sostoyaniya i transformatsii vodnogo rezhima rek Yevropeyskoy territorii Rossii, *Geodeziya i kartografiya*, vol. 81, no. 7, pp. 14–26.
25. Khaustov, V.A. (2013), K metodike stsenarnykh otsenok veroyatnostnykh kharakteristik sloya stoka vesennego polovod'ya, *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, no. 32, pp. 28–35.
26. Chernova, M.A., Kuz'min, K.A. (2018), Utochneniye kolichestva i parametrov poverkhnostnykh vodotokov v basseyne reki Bituyug, *Gidrometeorologiya i ekologiya: nauchnyye dostizheniya i perspektivy razvitiya*, pp. 685–687.
27. De Groeve, T., Thielen-del Pozo, J., Brakenridge, R., Adler, R., Alfieri, L., Kull, D., Lindsay, F., Imperiali, O., Pappenberger, F., Rudari, R., Salamon, P., Villars, N., Wyjad, K. (2015), *Joining Forces in a Global Flood Partnership*, Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 96, pp. ES97–ES100. doi: 10.1175/bams-d-14-00147.1.
28. European Environment Agency (2019), *Economic losses from climate-related extremes in Europe*, EEA, Copenhagen, Denmark, pp. 1–29.
29. Gerl, T., Kreibich, H., Franco, G., Marechal, D., Schröter, K. (2016), *A review of flood loss models as basis for harmonization and benchmarking*, PLOS ONE, vol. 11, P. e0159791. doi: 10.1371/journal.pone.0159791.
30. Jeelani, G., Feddema, J.J., Veen, C.J., Stearns, L. (2012), *Role of snow and glacier melt in controlling river hydrology in Liddar watershed (western Himalaya) under current and future climate*, Water Resources, vol. 48, pp. 1–12. doi: 10.1029/2011WR011590.

Гидрология

Семенова А.В., Буковский М.Е.

31. Khadka, D., Babel, M.S., Shrestha, S., Tripathi, N.K. (2014) *Climate change impact on glacier and snow melt and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region*, Journal of Hydrology, vol. 511, pp. 49–60. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.01.005.

32. Merz, B., Kreibich, H., Lall, U. (2013), *Multi-variate flood damage assessment: A tree-based data-mining approach*, Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 13, pp. 53–64. doi: 10.5194/nhess-13-53-2013.

Статья поступила в редакцию: 24.11.21; одобрена после рецензирования: 09.02.2021; принята к опубликованию: 09.03.2022.

The article was submitted: 24 November 2021; approved after review: 09 February 2021; accepted for publication: 9 March 2022.

Информация об авторах

Information about the authors

Анна Владимировна Семенова

магистрант, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина; 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33

Anna V. Semenova

Master's Student, Derzhavin Tambov State University; 33, Internatsional'naya st., Tambov, 392000, Russia

e-mail: asv273@mail.ru

Михаил Евгеньевич Буковский

к.г.н., доцент кафедры экологии и природопользования, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина; 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33

Mikhail E. Bukovskiy

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Management, Derzhavin Tambov State University; 33, Internatsional'naya st., Tambov, 392000, Russia

e-mail: mikezzz@mail.ru

Вклад авторов

Семенова А.В. – подготовка материалов, сбор и анализ данных, создание рисунка и таблицы.

Буковский М.Е. – регрессионно-корреляционный анализ и написание первого варианта рукописи. Оба автора прокомментировали предыдущие версии рукописи, прочитали и одобрили окончательную рукопись.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Semenova A.V. – preparation of the materials; data collection and analysis; creation of the figure and the table.

Bukovskiy M.E. – regression-correlation analysis; writing the first draft of the manuscript.

Both authors commented on the previous versions of the manuscript, read and approved the final manuscript

The authors declare no conflict of interest.