

## ЗАВИСИМОСТЬ СТОКА РЕКИ АКТАЙ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Ю.В. Горбунова, *мл. науч. сотр.*

О.Н. Урбанова, *ст. науч. сотр.*

А.Т. Горшкова, *канд. географ. наук, заведующая лабораторией гидрологии*

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

(Россия, г. Казань)

DOI:10.24411/2500-1000-2019-11407

**Аннотация.** Математическое моделирование в гидрологии в последние годы находит все большее применение. Оперирование входными данными поста гидрологических наблюдений Каравая, расположенного на реке Актай, явившейся объектом исследования, и метеорологическими данными трех метеостанций, расположенных вблизи бассейна, позволило отразить зависимость величины стока от метеорологических элементов, в частности от температуры воздуха. Моделирование было проведено с помощью специализированной программы «Гидрограф», представляющей собой математическую модель, описывающую процессы формирования стока в бассейнах рек с различными физико-географическими характеристиками.

**Ключевые слова:** моделирование, гидрограф, сток, температура воздуха, бассейн реки Актай.

Процесс формирования речного стока обусловлен влиянием целого комплекса физико-географических условий бассейна, основное место среди которых занимает климат. Метеорологические элементы воздействуют на величину речного стока как непосредственно, так и через другие природные факторы (географическое положение бассейна, площадь водосбора, геологическое строение, рельеф, почва, растительность). Влияние всех этих факторов, находящихся в постоянном взаимодействии, более заметно проявляется на стоке малых рек, имеющих небольшие размеры водосборного бассейна.

Ключевым гидрологическим параметром, зависящим от величины площади водосбора и являющимся индикатором обеспечения водными ресурсами бассейна, является средняя многолетняя величина (норма) годового стока. Выявлению возможных изменений нормы стока под влиянием климатических вариаций и хозяйственной деятельности в последние десятилетия уделяется серьезное внимание.

Найти пути решения данного вопроса помогает метод математического моделирования, все чаще применяемый в гидрологических расчетах и прогнозах. Опериро-

вание входными параметрами позволяет уточнить величину нормы стока в бассейне, в зависимости от чего спрогнозировать и скорректировать хозяйственную деятельность на водосборе.

Для моделирования процессов формирования речного стока под влиянием климатических и ландшафтных условий разработано большое число программ, среди которых следует отметить специализированную программу «Гидрограф», представляющую собой математическую систему с распределенными параметрами, описывающую процессы формирования стока в бассейнах рек с различными физико-географическими характеристиками [1]. «Гидрограф» был разработан под руководством профессора Ю.Б. Виноградова в Государственном гидрологическом институте г. Санкт-Петербурга [2].

Программный комплекс «Гидрограф» является универсальным, так как дает возможность в рамках целостной системы и стандартизируемого информационного подхода моделировать все процессы формирования стока в различных типах бассейнов независимо от размера водосбора, типа подстилающей поверхности и климатических условий [3].

В качестве объекта моделирования выбран бассейн реки Актай, расположенный в пределах Алькеевского и Алексеевского муниципальных районов Республики Татарстан.

#### **Материалы и методы**

Выбор бассейна р. Актай в качестве модельной территории связан с наличием необходимой гидрометеорологической информации, собранной и систематизированной в формате нужном для ввода и работы программного комплекса «Гидрограф». Гидрологическую информацию составляют данные поста Караваево, расположенного на 38 км от устья реки с замыкающей площадью 690 км<sup>2</sup> [4, 5]. Из совокупного ряда наблюдений была сделана выборка данных за период с 1981 по 2013 годы, соответствующая по времени рядам наблюдений за метеорологическими характеристиками. Выборка представляет собой ежедневные расходы воды, подготовлены в виде текстовых файлов, каждый из которых содержит 365 (366 в високосный год) значений.

Метеорологическую информацию составляют данные метеостанций Тетюши, Чистополь, Чулпаново, расположенные в непосредственной близости от бассейна. Используются суточные значения температуры, относительной влажности воздуха, количества осадков и продолжительности их выпадения, количество дней с осадками 1 мм и более, общая облачность, прямая солнечная радиация при ясном небе и с учетом облачности, значения температуры почвы на глубине более 1 м.

Река Актай, длина которой составляет 75,3 км, является притоком Куйбышевского водохранилища. Водосбор реки – волнистая равнина, умеренно пересеченная долинами притоков, оврагов и балок, сложенная глинистыми и песчаными грунтами. Гидрологический режим реки характерен для рек данной географической зоны – короткое высокое половодье и продолжительная низкая межень. В модели «Гидрограф» речной бассейн представлен набором регулярных репрезентативных точек, расположенных в пределах водораздельного контура и упорядоченных в виде гексагональной сетки. Каждой репрезента-

тивной точке приписывается тяготеющая к ней площадь, в пределах которой определяются географические координаты, высота, ориентация, уклон и расстояние по речевой сети до замыкающего створа.

На выходе из модели получаются непрерывные гидрографы стока в замыкающем створе, и в любой части исследуемого бассейна, расчетный интервал которых сутки или менее.

#### **Результаты исследования**

Для бассейна р. Актай по наблюдаемым данным за выбранный период был проведен процесс моделирования, результатом которого стали суточные гидрографы стока. Эффективность расчетов показал критерий качества Нэша-Сатклиффа (NS), используемый в гидрологическом моделировании для оценки сходимости рассчитанных и наблюдаемых рядов стока [6]. Согласно этому критерию моделирование признается удовлетворительным при значениях  $NS > 0.5$ . Наилучшее совпадение рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока отмечалось с 1999 по 2001 годы. Максимальные значения критерия NS достигают 0.88, 0.75 и 0.72 для 1999, 2000 и 2001 годов соответственно.

Самые низкие значения критерия NS наблюдались в 2009, 2010 и 2011 годах и составляли -1.8, -3.2 и -8.6 соответственно. Самое большое несовпадение наблюдалась в 2010 и 2011 годах (около 90%). Можно предположить, что такая большая разница получилась из-за засухи в 2010 году, которая не была спрогнозирована в виду того, что большие запасы воды в снежном покрове, скопившиеся зимой 2009-2010 года, должны были сформировать высокое половодье в бассейне.

Поскольку бассейн р. Актай расположен в области умеренного увлажнения, то на величину годового стока заметное влияние оказывает изменение климатических условий данной территории, в большинстве случаев являющееся решающим фактором, определяющим водный режим реки. Спрогнозировать влияние отдельных метеорологических элементов на формирование стока позволяет математическое моделирование. В качестве такого элемента выбрана средняя суточная температура

воздуха, которая была увеличена на  $+2\text{C}^\circ$  во входных данных модели «Гидрограф» по всем трем метеостанциям. Поскольку наилучшее совпадение рассчитанных и наблюдаемых гидрографов стока наблю-

дилось с 1999 по 2001 годы, то по этим годам и было сделано моделирование с изменением входящих данных. Результаты моделирования приведены на рисунке 1.

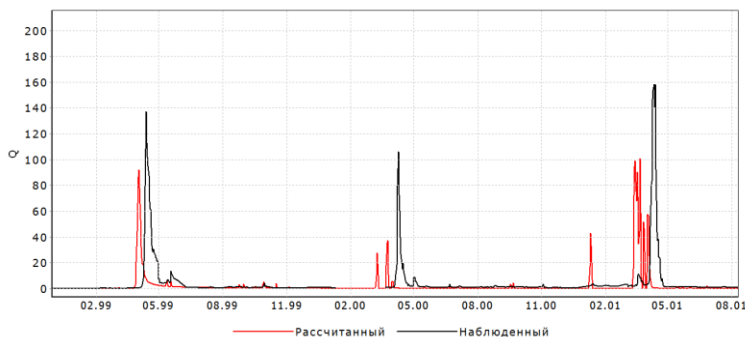


Рис. 1. Рассчитанные и наблюдаемые гидрографы стока воды с измененной температурой воздуха

На гидрографе стока отчетливо видно существенное изменение, особенно в период половодья. Изменились как абсолютные значения стока, так и время их наступления. Если на р. Актай половодье 1999-2001 гг. начиналось в первой декаде апреля, было одновершинным и достигало  $105-158 \text{ м}^3/\text{сек}$ , то при увеличении температуры воздуха на  $+2\text{C}^\circ$  его начало сдвигается на март, а его величина колеблется от 40 до  $100 \text{ м}^3/\text{сек}$ , и в 2001 году отмечено несколько пиков половодья.

Процесс прохождения весеннего половодья чрезвычайно сложен и зависит от большого числа факторов. Формируясь ежегодно в одних и тех же физико-географических условиях, весеннее половодье, тем не менее, протекает в бассейне даже одной и той же реки по-разному. Размеры его колеблются из года в год, да-

же при одинаковых снегозапасах. Интересен тот факт, что при малых запасах воды в снеге половодье может быть очень высоким, а при больших запасах довольно низким (что наблюдалось в 2010 году). Это во многом зависит от хода температуры воздуха, повышение которой на  $+2\text{C}^\circ$  в процессе моделирования показало, что в бассейне р. Актай снежный покров начал таять раньше обычного, что способствовало сдвигу начала половодья с апреля на март.

Рассмотрим этот процесс более подробно на примере первой половины 2001 года, когда по моделированным данным отмечено несколько пиков половодья. Температура в январе и марте этого года повышается до положительных значений, в результате чего происходит таяние снега, и на гидрографах отражено увеличение расхода воды (рис. 2).

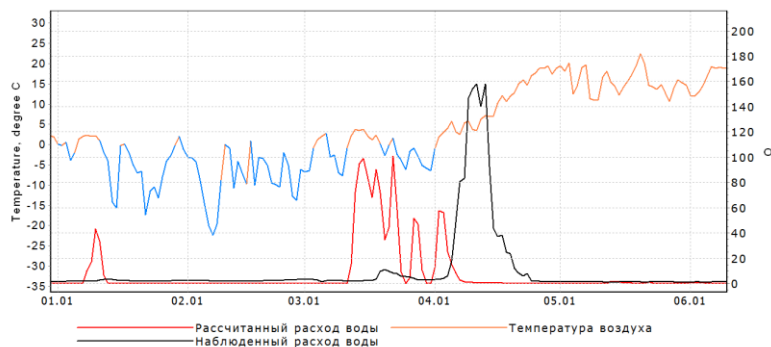


Рис. 2. Рассчитанные и наблюдаемые гидрографы стока воды в 2001 году с измененной температурой воздуха

По наблюдаемым данным увеличение расходов наблюдается только в апреле месяце, когда температура воздуха полностью становится положительной. По рассчитанным же данным половодье имеет несколько пиков, вершины которых четко следуют за изменением температуры воздуха. Рассчитанное половодье растянуто во времени и меньше по величине.

Рассматривая изменение гидрографов стока под влияние температуры воздуха, следует иметь в виду, что ее влияние на сток опосредовано. Проявляется оно через состояние поверхности водосбора (осеннее увлажнение, промерзаемость, физические особенности почвы, влияющие на величину испарения и фильтрацию), через количество осадков, сформировавших снежный покров, через интенсивность снеготаяния, которая при повышении температуры воздуха на один градус увеличивает подачу воды на водосбор на 5-6 мм/сут, и через другие природные факторы.

#### **Заключение**

Объектом математического моделирования явилась малая река Актай, бассейн которой расположен на территории Республики Татарстан.

Собранная и систематизированная в формате, необходимом для работы специализированной программы «Гидрограф», гидрометеорологическая информация, позволила выделить период времени (сделать выборку из генеральной совокупности данных), получить расчетный гидрограф стока, и сравнить его с гидрографом, построенным по наблюдаемым данным. Эти гидрографы оказались сопоставимы, особенно в период 1999-2001 гг., что позволило смоделировать влияние климатических характеристик, в частности температуры воздуха, на сток.

Моделирование заключалось в изменении входящих данных по средней суточной температуре воздуха, которая была увеличена на  $+2^{\circ}$ . Результат моделирования показал, что половодье в бассейне стало многовершинным, с пиками, четко следующими за изменением температуры воздуха. Рассчитанное половодье оказалось растянуто во времени и меньше по величине. Повышение температуры воздуха на  $+2^{\circ}$  в процессе моделирования показало, что в бассейне р. Актай снежный покров начинает таять раньше обычного, что способствовало сдвигу начала половодья с апреля на март.

#### **Библиографический список**

1. Макарьева О. М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619084 «Комплексная программа распределенной гидрологической модели «Гидрограф». Дата регистрации: 30.07.2018.
2. *Hydrograph model* – Модель «Гидрограф» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.hydrograph-model.ru/index.php?menu=2/>, свободный. – Дата обращения: 30.09.2017.
3. Семенова, О. М. Анализ и моделирование процессов формирования стока в малоизученных бассейнах (на примере бассейна р. Лены): автореф. дис. на соискание ученой степени канд. технич. наук / Семенова Ольга Михайловна. – СПб.: Гос. гидролог. ин-т., 2008. – 29 с.
4. *Автоматизированная* информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/>, свободный. – Дата обращения: 18.11.2017.
5. *Ежегодные* данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Том 1. – Ч. I. – Вып. 24. – Куйбышев: Приволжское территориальное управление по гидрометеорологии и контролю окружающей среды, 1981-2007.
6. Nash, J.E. River flow forecasting through conceptual models: 1 A discussion of principles / J. E. Nash, J. V. Sutcliffe // *Journal of Hydrology*. – 1970. – V. 10. – Pp. 282-290.

**THE DEPENDENCE OF THE FLOW OF THE RIVER AKTAI FROM CHANGES IN AIR TEMPERATURE**

**Y.V. Gorbunova**, *Researcher*

**O.N. Urbanova**, *Senior Researcher*

**A.T. Gorshkova**, *Candidate of Geographical Sciences, Head of Department of Hydrology*

**Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences**

**(Russia, Kazan)**

***Abstract.** Mathematical modeling in hydrology has been increasingly applied in recent years. The operation of the input data of the Karavaevo hydrological observation post, located on the river Aktay, which was the object of the study, and meteorological data of three weather stations located near the basin, allowed to reflect the dependence of the flow value on meteorological elements, in particular on the air temperature. The simulation was carried out with the help of a specialized program "Hydrograph", which is a mathematical system describing the processes of flow formation in river basins with different physical and geographical characteristics.*

***Keywords:** modeling, hydrograph, runoff, air temperature, Aktay river basin.*