

УДК 502/504:556.16

**Г. Х. ИСМАЙЛОВ, Г. А. ВАГАНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## ОЦЕНКА ПРИТОКА ВОДЫ К ГИДРОУЗЛАМ КАМСКОГО КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ

*Анализируются закономерности пространственной и временной изменчивости стока реки Камы за период с 1914/1915 по 2010/2011 годы. Определено влияние физико-географических и антропогенных факторов на внутригодовое распределение стока частных водосборов реки Камы. Построены расчетные гидрографы 75%-й обеспеченности притока для Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ по методу компоновки.*

*Речной сток, внутригодовое распределение, площадь частного водосбора.*

*The article analyzes the patterns of spatial and temporal variability of the river Kama flow in the period from 1914/1915 to 2010/2011. The influence of physical-geographical and anthropogenic factors on the flow distribution of private water catchments of the river Kama within a year is determined. The rated hydrographs of the 75% provision of the inflow for the Kama, Votkinsk and Nizhnekamsk water reservoirs are built according to the assembling method.*

*River flow, distribution within a year, the area of private water catchment.*

При анализе закономерностей динамики стока речного бассейна обычно используют два подхода. При первом, традиционном, подходе речной бассейн рассматривается как единый индикативный объект. В этом случае выявляются и анализируются закономерности межгодовой и внутригодовой изменчивости речного стока. Основой для такого анализа являются многолетние временные стокосые ряды, а в качестве аппарата исследований используются статистические методы анализа временных рядов. При этом считается, что процессы формирования стока носят в определенной степени вероятностный характер, а сами значения стока являются случайными величинами [1].

При втором подходе речной бассейн рассматривается как совокупность различных естественных и измененных ландшафтов, каждый из которых вносит свой качественный и количественный вклад в формирование стока. При различных режимах увлажнения и антропогенных нагрузок на ландшафт происходит перестройка структуры водного

баланса территории. В свою очередь, закономерное сочетание ландшафтных комплексов определяет общий характер влагооборота в бассейне. Различное сочетание климатических и неклиматических факторов, включая и антропогенные, и определяет многообразие реакции речных водосборов на одни и те же осадки [2]. Поэтому при рассмотрении пространственной изменчивости стока в первую очередь выделяются однородные по структуре и многолетней динамике стока районы. Формальной основой такого районирования может служить матрица взаимной корреляции временных рядов стока принятых к рассмотрению частных водосборов. В данной работе были использованы оба подхода.

Для анализа и оценки закономерностей внутригодового распределения стока бассейна реки Камы авторы использовали ряды наблюдений за сезонным и годовым стоками трех частных водосборов водохранилищ Камского каскада за период 1914/1915–2010/2011 годов ( $n = 97$  лет).

Внутригодовое распределение стока

во многом зависит от климатических, физико-географических и антропогенных факторов [3]. Внутригодовое распределение стока для какого-либо пункта реки не остается постоянным, оно изменяется из года в год весьма значительно.

Из существующих методик оценки внутригодового распределения речного стока стоит отметить методы водного баланса, компоновки, реального года.

На начальном этапе исследований были проанализированы площади частных водосборов, годовой, весенний, летне-осенний и зимний стоки. Анализ показал следующее.

Наибольшие площади частных водосборов у Камского и Нижнекамского водохранилищ 167,2 и 188,5 тыс. км<sup>2</sup> соответственно. Площадь Воткинского водосбора на порядок меньше и составляет 14,3 тыс. км<sup>2</sup>, что соответствует 4 % общей площади. Наибольший годовой сток формируется на Камском частном водосборе, который занимает 45 % общей территории бассейна и дает 57 % общего стока. Весеннее половодье играет значительную роль в формировании стока бассейна Камы – основной весенний сток формируется на частном водосборе Камского водохранилища и дает те же 57 %.

Наибольший сток за летне-осеннюю межень также дают частные водосборы Камского и Нижнекамского водохранилищ – 61 и 36 % соответственно. Подобную картину видим и в сезон зимней межени – частные водосборы Камского и Нижнекамского водохранилищ дают 51 и 44 % соответственно.

Авторами рассмотрены закономерности

пространственной изменчивости стока. Формальной основой этого может служить матрица взаимной корреляции временных рядов наблюдений за стоком рассматриваемых частных водосборов. За рассматриваемые периоды – весеннего половодья (IV–VI), летне-осеннюю (VII–XI) и зимнюю межень (XI–III) – в качестве критерия однородности принята величина коэффициента взаимной корреляции временных рядов больше или равная 0,70. Взаимосвязи между рядами не выявлено. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что дробность обусловлена значительной территориальной дифференциацией климатических и физико-географических факторов, оказывающих влияние на формирование речного стока в бассейне Камы.

Исследования касались анализа временных закономерностей. Для выявления стохастических свойств временных рядов стока были получены выборочные оценки среднего, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции, из которых видно, что среднемноголетняя величина годового стока в бассейне изменяется от 3,49 (водосбор Воткинского водохранилища) до 54,1 (водосбор Камского водохранилища) км<sup>3</sup>. Коэффициент вариации величин стока находится в пределах от 0,20 до 0,49. Коэффициент асимметрии находится в пределах от 0,04 до 0,88.

Построены графики автокорреляционных функций. Камскому каскаду водохранилищ свойственна достаточно высокая автокорреляция во временных рядах годового стока (рис. 1а). Коэффициент автокорреляции колеблется от 0,40 до 0,49.

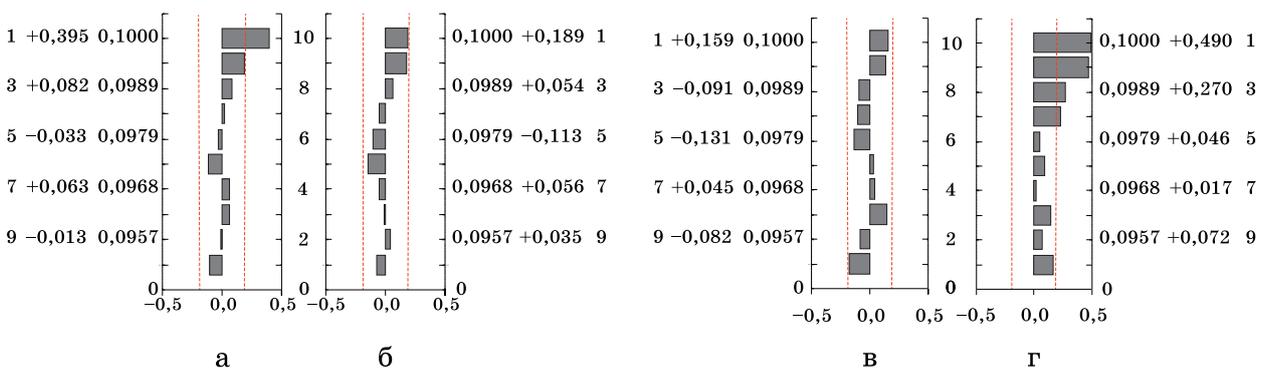


Рис. 1. Графики автокорреляционной функции реки Камы в створе Камского гидроузла: а – год; б – весна; в – лето–осень; г – зима

Величина **весеннего стока** в бассейне изменяется от 2,14 (водосбор Воткинского водохранилища) до 32,3 (водосбор Камского водохранилища) км<sup>3</sup>. Коэффициент вариации величин стока колеблется от 0,21 до 0,54. Коэффициент асимметрии находится в пределах от 0,36 до 1,11.

Временным рядам стока **весеннего половодья**, основных водосборов Камского каскада свойственна невысокая степень автокорреляции, не превышающая 0,26 (рис. 16). Это позволяет считать ряды стока весеннего половодья последовательностью независимых случайных величин.

Среднеголетняя величина **летне-осеннего стока** в бассейне изменяется от 0,86 (водосбор Воткинского водохранилища) до 16,4 (водосбор Камского водохранилища) км<sup>3</sup>. Коэффициент вариации величин стока – 0,35...0,48. Коэффициент асимметрии – 0,57...1,59.

В рядах **летне-осенней межени** также наблюдается некоторый разброс коэффициентов автокорреляции (рис. 1в). Низкая автокорреляция наблю-

дается у Камского водохранилища – 0,16. Остальным рядам летне-осенней межени свойственна высокая автокорреляция – 0,56 и 0,46 соответственно у Воткинского и Нижнекамского водохранилищ.

Среднеголетняя величина **зимнего стока** в бассейне изменяется от 0,48 (водосбор Воткинского водохранилища) до 5,43 (водосбор Камского водохранилища) км<sup>3</sup>. Коэффициент вариации величин стока находится в пределах от 0,33 до 0,70. Коэффициент асимметрии находится в пределах от 0,73 до 5,07.

Временным рядам **зимней межени** также свойственна высокая автокорреляция – от 0,43 до 0,66 (рис. 1г).

Все это доказывает, что для сезонного стока не всегда свойственна слабая автокорреляция между смежными годами.

Интерес представляет визуальный анализ изменения гидрографа притока к водохранилищам (рис. 2). Из рисунка видно наличие некоторой цикличности и соответствие синхронного колебания годового стока весеннему стоку.

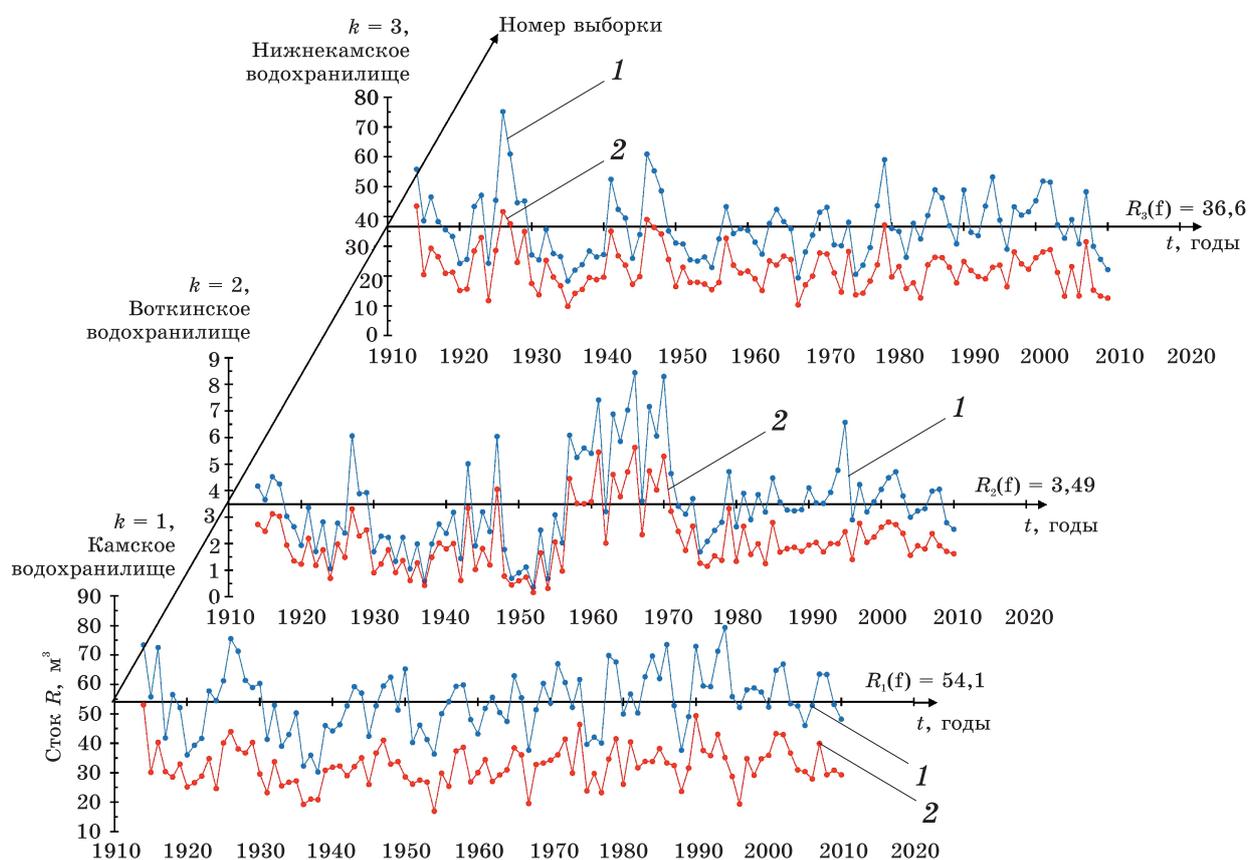


Рис. 2. Выборочная функция годового и весеннего стоков: 1 – год; 2 – весна

Для исследования однородности выборочных временных рядов целесообразно применять существующие критерии однородности. Это является предметом дальнейших исследований.

После проведенных исследований по анализу и оценке пространственно-временной изменчивости годового и сезонного стоков бассейна реки Камы на трех частных водосборах авторами построены расчетные гидрографы 75%-й обеспеченности притока для Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ по методу компоновки (рис. 3).

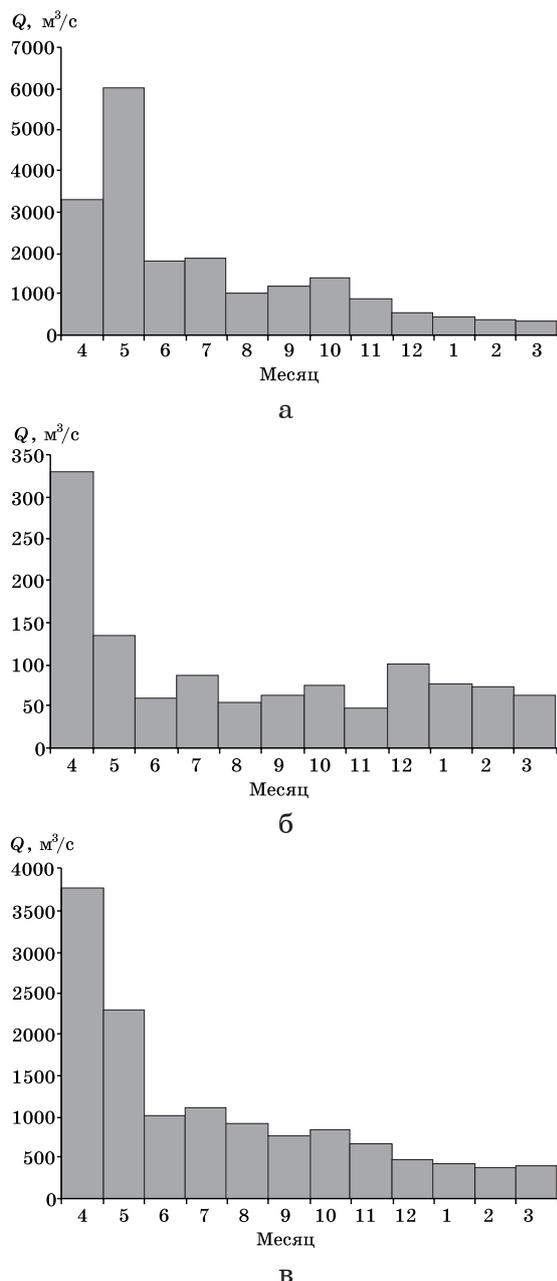


Рис. 3. Расчетные гидрографы реки Камы при  $p = 75\%$ , построенные методом компоновки: а – в створе Камского гидроузла; б – в створе Воткинского гидроузла; в – в створе Нижнекамского гидроузла

В створе Камского водохранилища пик весеннего половодья приходится на май, на Воткинском и Нижнекамском водохранилищах пик половодья наступает уже в апреле. Это объясняется удаленностью створов – Камское водохранилище расположено намного севернее. Поскольку физико-географические факторы играют существенную роль в формировании стока, к расчету таких сложных гидротехнических систем необходимо подходить очень осторожно. Расчетная обеспеченность стока водохранилищ должна определяться не только целями и схемой использования стока, но и географией расположения отдельного водохранилища.

Форма гидрографа притока к этим водохранилищам, полученным по методу компоновки, близка к форме гидрографа притока, наблюдаемого в естественных условиях.

В качестве основных результатов исследования особенностей формирования внутригодового стока реки Камы можно выделить следующие:

Проанализированы площади частных водосборов, годовой, весенний, летне-осенний и зимний стоки. Установлены основные частные водосборы, которые играют существенную роль в формировании сезонного и годового стока реки Камы.

Получены выборочные оценки среднего, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции для выявления стохастических свойств временных рядов стока бассейна реки Камы.

Установлены внутрирядные и междурядные закономерности сезонных колебаний стока.

Дана оценка бокового притока к гидроузлам камских водохранилищ.

1. Железняков Г. В., Овчаров Е. Е. Инженерная гидрология и регулирование стока. – М.: Колос, 1993. – 464 с.

2. Раткович Д. Я., Болгов М. В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. – М.: ИВД РАН, 1997. – С. 37–47.

3. Иванов Е. Г.; Исмаилов Г. Х. Оценка влияния водности года на внутригодовое распределение стока в бассейне реки Волги: Роль природоустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК: материалы Международной научно-практической

конференции. – М.: МГУП, 2007. – Ч. 1. – С. 237–241.

Материал поступил в редакцию 08.09.14.

**Исмайылов Габил Худуш Оглы**, доктор технических наук, профессор, заведующий

кафедрой «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока»

Тел. 8 (495) 976 – 23-68

E-mail: gabil-1937@mail.ru

**Ваганов Георгий Андреевич**, аспирант

УДК 502/504:551.48:626.81:627.81

**Г. Х. ИСМАЙЫЛОВ, В. И. КЛЕПОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ «РАЦИОНАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ОБВОДНИТЕЛЬНЫХ ПОПУСКОВ» В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ**

*Проведена систематизация и дана подробная классификация всех видов попусков, которые осуществляются при регулировании речного стока водохранилищами: обводнительные, природоохранные, санитарные, энергетические, транспортные, сельскохозяйственные (в том числе для нужд орошения), рыбохозяйственные, хозяйственно-бытовые (включая водоснабженческие), лесосплавные и комплексные (например, энергетическо-транспортные, сельскохозяйственно-рыбохозяйственные, ирригационно-транспортные и др.).*

*Речной сток, водохранилище, система водохранилищ, водообеспечение, Московский регион.*

*Systematization is carried out and there is given a detailed classification of all kinds of releases which are fulfilled when regulating a river flow by reservoirs: irrigation, environmental, sanitary, energy, transport, agricultural (including for irrigation), fishery, domestic uses (including water supply), timber floating and complex ones, for example: energy-transport, agricultural – fishery, irrigation-transport and other combinations.*

*River flow, reservoir, system of reservoirs, water supply, the Moscow region.*

Анализ многочисленных проектных материалов и литературных источников показывает, что в настоящее время не существует единых методических подходов к оценке допустимых объемов обводнительных попусков в водные объекты, в том числе в нижние бьефы водохранилищ гидроузлов, отсутствует также единообразие в терминах. Нет единого толкования характеристик стока, оставляемых ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Используемый в практике водохозяйственного проектирования подход к определению минимально допустимых (санитарных) расходов воды, принимаемых по минимальным расходам воды

года 95%-й обеспеченности, экологически не обоснован и уже привел к существенным изменениям состояния водных экосистем.

Для водохранилищ Московского региона как объектов, создающихся с целью управления поверхностным стоком, изменение водных режимов имеет принципиальное значение в формировании гидрологического режима и функционирования экосистемы. Функционирование экосистем водохранилищ и с ним тесно связанное качество воды в них во многом определяется как стратегическими параметрами (размерами гидроузлов и водохранилищ, высотой плотины и т. д.), так