

Оригинальная статья

УДК 551.585

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-82-88



## УЧЕТ И ОЦЕНКА НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ РЕЧНОГО БАССЕЙНА

*Исмайлова Ирина Габилевна, заведующий лабораторией*

SPIN-код: 9179-2178, AuthorID: 1143835; igism37@mail.ru

*Исмайлов Габил Худуш оглы* ✉, *д-р техн. наук, профессор*

SPIN-код: 6765-8135, AuthorID: 135757; gabil-1937@mail.ru

*Мураценкова Наталья Владимировна, канд. техн. наук, доцент*

SPIN-код: 9411-3366, AuthorID: 604831; splain75@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127454, г. Москва, ул. Прянишникова, 19, Россия

**Аннотация.** Рассматривается обоснование учета и оценки нестационарности развития гидрологических процессов в бассейне р. Волги при определении параметров функционирования Волжской водохозяйственной системы. Основными целями исследований являются выявление нестационарности в формировании речного стока и разработка методов ее оценки. Решается задача построения динамико-стохастической модели, учитывающей нестационарность формирования речного стока в различное время. Произведено обобщение динамико-стохастического подхода для анализа и оценки многолетнего колебания притока речных вод р. Волги у г. Волгограда. Стохастическая связь между стоком смежных лет выражается функцией перехода, управляющей марковским процессом. Оценка стационарности (нестационарности) многолетнего колебания речного стока осуществлена по критерию Фишера (однородность выборочных дисперсий), по критерию Стьюдента (однородность выборочных средних), по критерию Колмогорова-Смирнова (однородность выборок) и парной корреляции (наличие тренда). Описание характера протекания гидрологических процессов представлено моделью, определяемой динамико-стохастическим подходом, при рассмотрении нестационарного процесса годового стока р. Волги. На основе применения концепции квазистационарности получены функции обеспеченности годового стока р. Волги, используемые для вероятностной оценки притока речных вод в бассейне Волги. Проведенный анализ многолетних колебаний годового стока р. Волги позволил выявить, что изменчивость речного стока исследуемого бассейна имеет две составляющие: детерминированную и случайную. Детерминированная составляющая проявляется в изменении во времени среднего значения стока р. Волги, а случайная составляющая наблюдается в нерегулярных ежегодных отклонениях величин стока от его среднего значения (нормы). Такой подход применяется при вероятностной оценке притока речных вод в бассейне р. Волги.

**Ключевые слова:** речной сток, стационарность, нестационарность, марковский процесс, стохастический процесс, тренд, детерминированная составляющая, обеспеченность, квазистационарность

**Формат цитирования:** Исмайлова И.Г., Исмайлов Г.Х., Мураценкова Н.В.

Учет и оценка нестационарности при управлении водными ресурсами речного бассейна // Природообустройство. 2023. № 1. С. 82-88. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-82-88.

© Исмайлова И.Г., Исмайлов Г.Х., Мураценкова Н.В., 2023

Original article

## ACCOUNTING AND ASSESSMENT OF NON-STATIONARITY IN THE MANAGEMENT OF RIVER BASIN WATER RESOURCES

*Ismailylova Irina Gabilovna* ✉, *head of the laboratory*

SPIN-код: 9179-2178, AuthorID: 1143835; igism37@mail.ru

*Ismayilov Gabil Khudush oglu, doctor of technical sciences, associate professor*

SPIN-код: 6765-8135, AuthorID: 135757; gabil-1937@mail.ru

**Murashchenkova Natalya Vladimirovna**, candidate of technical sciences, associate professor

SPIN-код: 9411-3366, AuthorID: 604831; splain75@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», 127454, Moscow, Pryanishnikova, 19, Russian Federation

**Annotation.** This paper considers the rationale for taking into account and assessing the non-stationarity of the development of hydrological processes in the Volga River basin when determining the parameters of the functioning of the Volga water management system. The main purpose of the study is to identify non-stationarity in the formation of river runoff and develop methods for its assessment. The problem of constructing a dynamic-stochastic model is solved, which takes into account the non-stationarity of the formation of river runoff in different periods of time. A generalization of the dynamic-stochastic approach for the analysis and evaluation of long-term fluctuations in the inflow of river waters of the Volga River near the city of Volgograd is made. The stochastic relationship between the runoff of adjacent years is expressed by the transition function that controls the Markov process. Stationarity (non-stationarity) of long-term fluctuations in river runoff was assessed using the Fisher criterion (homogeneity of sample variances), Student's criterion (homogeneity of sample means), Kolmogorov-Smirnov criterion (homogeneity of samples) and pair correlation (presence of a trend). The description of the nature of the flow of hydrological processes is represented by a model determined by the dynamic-stochastic approach when considering the non-stationary process of the annual flow of the Volga River. Based on the application of the concept of quasi-stationarity, the functions of the availability of the annual flow of the Volga River are obtained, which are used for a probabilistic assessment of the inflow of river waters in the Volga basin. The analysis of long-term fluctuations of the annual runoff of the Volga River made it possible to reveal that the variability of the river runoff of the studied basin has two components – deterministic and random. The deterministic component manifests itself in the change in time of the average value of the flow of the Volga River, and the random component is observed in the irregular annual deviations of the flow from its average value (norm). This approach is used in the probabilistic assessment of the inflow of river waters in the Volga river basin.

**Keywords:** River runoff, stationarity, non-stationarity, Markov process, stochastic process, trend, deterministic component, supply, quasi-stationarity

**Format of citation:** Ismajlova I.G., Ismaiyllov G.H., Muraschenkova N.V. Accounting and assessment of non-stationarity in the management of river basin water resources // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 1. S. 82-88. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-82-88.

**Введение.** Одной из важнейших задач в общей системе управления водопользованием является задача количественного описания характера протекания гидрологических процессов. Гидрологические процессы относятся к разряду довольно сложных природных процессов. Условия их развития определяются действием многих факторов. Эти процессы содержат в себе как детерминированную, так и случайную составляющие.

Детерминированная составляющая порождается действием мощных геофизических и гелиофизических причин, приводящих к значительным изменениям климатических и погодных условий. В результате в гидрологических процессах проявляются крупные направленные изменения (длительные изменения, связанные с потеплением или похолоданием климата) или весьма существенные периодические колебания (сезонные колебания). Случайная же составляющая формируется под действием большого количества разносторонне направленных факторов.

В современных условиях описать в хронологическом порядке, и тем более спрогнозировать результат совместного действия многих

разносторонне направленных факторов, практически не представляется возможным. В силу этого кажущиеся беспорядочные флуктуации гидрологических элементов принято называть случайными колебаниями, и для их описания применяются методы математической статистики и теории вероятностей [1-9].

В существующей практике гидрологических расчетов оценка основных параметров развития гидрологических процессов хорошо изложена в работах С.Н. Крицкого, М.Ф. Менкеля, Е.Г. Блохинова, М.В. Болгова, Д.Я. Ратковича и А.В. Рождественского [2-4, 6, 7, 9]. Авторы этих работ исходили в основном из концепции стационарности протекания гидрометеорологических процессов. Однако, имеющиеся в настоящее время многолетние инструментальные наблюдения за речным стоком различных речных бассейнов ставят под сомнение дальнейшее применение концепции стационарности. Например, исследования, проведенные авторами Г.Х. Исмайловым и Н.В. Муращенко [10, 11], достаточно очевидно показали несостоятельность концепции стационарности формирования речного стока

на достаточно длительный период, в котором функционируют различные виды природных и хозяйственных факторов. Поэтому для решения проблемы управления водными ресурсами придется ставить под сомнение весь комплекс представлений, связанных с гипотезой о стационарности режима природных вод. Это обусловлено изменением элементов водного баланса и режима речных бассейнов как вследствие естественных флуктуаций гидрометеорологических условий под влиянием глобальных изменений климата, так и под воздействием антропогенных факторов.

Анализ условий формирования стока р. Волги со всей очевидностью свидетельствует о необходимости детального рассмотрения закономерностей динамики климатических и антропогенных факторов, воздействующих на сток р. Волги [12-15]. В связи с этим ставится и решается задача перехода от стационарности притока речных вод к нестационарности в их многолетних колебаниях.

#### Материалы и методы исследований.

В настоящее время в гидрологическом обосновании водохозяйственных мероприятий существует концепция о стохастической природе формирования речного стока [7, 9]. Согласно этой концепции принята гипотеза о стационарности колебания климатических и гидрологических характеристик. Для описания закономерностей колебания речного стока используется вероятностно-статистическая оценка изменения стока во времени [1-3, 7]. Выявленные закономерности в формировании речного стока распространяются и на будущий период [6].

Как отмечено выше, взгляд на используемую концепцию стационарности формирования гидрологических процессов за определенный период претерпел изменения в связи с наблюдающимися колебаниями глобального и регионального климата [11-18]. В связи с этим, основными целями данной работы являются исследования нестационарности в формировании речного стока и разработка методов их оценки. Соответственно цели исследования решаются такие задачи, как:

- ▶ выявление трендов в многолетних колебаниях гидрометеорологических процессов на основе статистического анализа;
- ▶ применение концепции нестационарности для оценки параметров функции распределения (вероятности превышения) характеристик речного стока на предстоящий период;
- ▶ построение динамико-стохастической модели, учитывающей нестационарность формирования речного стока в различные отрезки времени.

Таким образом, формулируется следующая постановка задачи: при заданных исходных временных стоковых рядах построить

динамико-стохастическую модель речного стока, которая позволяет учесть нестационарность климатических и гидрологических процессов, свойственных отдельным отрезкам времени [5].

Для решения поставленной задачи, то есть для построения динамико-стохастической модели речного стока, использованы данные о годовых значениях боковой приточности бассейна р. Волги у г. Волгограда за периоды с 1914/1915 по 2014/2015 гг. ( $n=102$  год) (первая версия) и период с 1881/1882 по 1994/1995 гг. ( $n = 114$  лет) (вторая версия).

Гидрологический цикл представляет собой заверченный процесс круговорота и перераспределения воды между атмосферой и сушей. Этот процесс непрерывно изменяет баланс между водами суши и атмосферы. Для каждого речного бассейна выполняется баланс массы между притоком воды, ее оттоком и изменением влагозапасов в пределах бассейна.

В методическом плане интересует динамическая реакция расхода воды  $X(t) = Q(t)$  бассейна на стохастическую функцию осадки (входной сигнал) в некоторые моменты времени:  $X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)$ . Суть моделирования притока речных вод заключается в том, что по имеющимся экспериментальным (наблюденным) данным определяются параметры и строится одномерная интегральная функция распределения случайной величины  $X$ :

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x) dx, \quad (1)$$

где  $F(X)$  – интегральная функция распределения случайной величины  $X$ ;  $f(x)$  – плотность вероятности распределения случайной величины  $X$ .

В гидрологии распределение стока представляется кривой обеспеченности  $P(x)$  [2, 4, 9]. Связь ординат кривой обеспеченности с обычно применяемой в теории вероятностей и математической статистике функцией распределения вероятностей выражается следующей зависимостью:

$$P(X) = 1 - F(x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(x) dx, \quad (2)$$

где  $P(X)$  – вероятность осуществления неравенства  $X \geq x$ , иначе называемая вероятностью превышения (обеспеченность).

Как видим из уравнений (1) и (2), приток речных вод является непрерывным стохастическим процессом [2, 4, 6, 7], однако для решения водохозяйственных задач его можно рассматривать как процесс Маркова с дискретным временем [3, 4]. Сначала учитывают наличие стохастической связи между стоками смежных лет, пренебрегая связью между стоками несмежных лет.

Таким образом, колебания годовых стоков здесь рассматриваются как простая цепь Маркова. Стохастическая связь между стоками смежных лет выражается функцией перехода  $F\left(\frac{k_{i+1}}{k_i}\right)$ , управляющей марковским процессом. Ее значения – суть условные вероятностные распределения  $k_{i+1}$  при заданных значениях  $k_i$  (модульный коэффициент стока), который описывается уравнением:

$$k_{i+1}(k_i) - \bar{k}_{i+1} = r \frac{\sigma_{k_{i+1}}}{\sigma_{k_i}} (k_i - \bar{k}_i), \quad (3)$$

где  $k_{i+1}(k_i)$  – условное математическое ожидание  $k_{i+1}$  при заданном  $k_i$ ;  $\sigma_{k_{i+1}}$  и  $\sigma_{k_i}$  – безусловные стандарты (средние квадратичные отклонения) годовых объемов стока;  $\bar{k}_i$  и  $\bar{k}_{i+1}$  – безусловные математические ожидания годовых объемов стока.

Поскольку рассматривается корреляция между стоками смежных лет, то есть исследуются связи членов некоторого ряда с членами того же ряда, смещенного на один год, то очевидно, что  $\sigma_{k_{i+1}} = \sigma_{k_i}$ ;  $\bar{k}_i = \bar{k}_{i+1} = 1$ . Тогда зависимость (3) примет следующий вид:

$$k_{i+1}(k_i) = 1 + r(k_i - 1), \quad (4)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции стока смежных лет.

Случайную составляющую уравнения (4)  $k_{i+1}$  при известном и коррелятивно с ней связанном значении  $k_i$  можно определить с помощью зависимости

$$k_{i+1} = 1 + r(k_i - 1) + \Phi_{i+1} C_v \sqrt{1 - r^2}, \quad (5)$$

где  $\Phi_{i+1}$  – распределение Фостера-Рыбкина;  $C_v$  – коэффициент вариации (изменчивости) речного стока.

Величина  $\Phi_{i+1}$  определяется по таблице Фостера-Рыбкина в зависимости от условного коэффициента асимметрии, вычисляемого по формуле:

$$C_{S_{\text{ysel}}}^{(i+1)} = \frac{2C_v \sqrt{1 - r^2}}{1 + r(k_i - 1)}, \quad (6)$$

где  $C_{S_{\text{ysel}}}^{(i+1)}$  – условный коэффициент асимметрии.

Если от модульных коэффициентов перейти к абсолютным величинам среднегодового объема притока воды  $W_i$  (или к среднегодовым расходам воды  $Q_i$ ), то формула (5) примет вид:

$$W_{i+1} = \bar{W} + r(W_i - \bar{W}) + \Phi_{i+1} \sigma_w \sqrt{1 - r^2}, \quad (7)$$

где  $W_{i+1}$  и  $W_i$  – среднегодовой объем притока воды в момент времени  $i$  и  $i+1$ ;  $\bar{W}$  – среднеегодовое значение притока воды;  $\sigma_w$  – среднеегодовое отклонение (стандарт).

Как следует из уравнения (5), приток речных вод  $W_{i+1}$  зависит от двух составляющих: зависимой  $1 + r(k_i - 1)$  и случайной  $\Phi_{i+1} \sigma_w \sqrt{1 - r^2}$ . Выявленные особенности уравнения регрессии (7) позволяют в водохозяйственных расчетах осуществить переход от нестационарного притока

речных вод  $W(t) = W_{i+1}$  к стационарным условиям  $Y(t)$  по формуле:

$$Y(t) = \frac{W(t) - \bar{W}(t)}{\sigma(t)} = \frac{W(t) - m(t)}{\sigma(t)}, \quad (8)$$

где  $Y(t)$  – приток речных вод;  $W(t)$  – среднегодовой объем притока;  $\bar{W}(t)$  – среднеегодовое значение притока;  $m(t)$  – математическое ожидание;  $\sigma(t)$  – среднеегодовое отклонение.

Обратный переход к нестационарным условиям, учитывающим временную изменчивость притока речных вод и их флуктуационную структуру, может быть осуществлен по выражению:

$$W(t, p) = m(t) + Y(p) \sigma(t), \quad (9)$$

где  $W(t, p)$  – среднегодовой объем притока воды;  $m(t)$  – математическое ожидание;  $Y(p)$  – вероятностный процесс речного стока;  $\sigma(t)$  – среднеегодовое отклонение.

Следует отметить, что уравнение (9) по оценке нестационарности в развитии гидрологических процессов относится к естественным условиям. Между тем нестационарность может обуславливаться и антропогенными факторами. Вполне понятно, что влияние хозяйственной деятельности на условия формирования водных ресурсов также должно учитываться в расчетах.

Таким образом, процедуру учета нестационарности притока речных вод с использованием уравнений (7)-(9) можно описать как  $W(t) = m(t) + \Delta W(t)$ , а распределение его значений в каждый момент времени можно представить в виде:  $W(t, p) = m(t) + \Delta W(p)$ .

Как видим, задача получения вероятностных оценок нестационарного притока речных вод сводится к динамико-стохастической задаче (1)-(9). При этом необходимо, во-первых, определить условия изменения во времени детерминированной составляющей  $m(t)$ , во-вторых – установить характер колебаний случайной составляющей  $\Delta W(p)$ .

**Результаты и их обсуждение.** В качестве примера, иллюстрирующего возможности использования указанных выше подходов для решения задач оценки явления нестационарности в развитии гидрологических процессов, рассмотрим вероятностную оценку притока речных вод р. Волги у г. Волгограда.

С использованием имеющейся информации по многолетним рядам наблюдений различной длины оценивались статистические параметры стока, исследовалась степень их изменения в зависимости от длительности периода. Результаты этих исследований приведены в таблице 1. Как следует из таблицы, выявляются два различных периода, отличающиеся по своей водности: длительный маловодный период – 1881-1975; многоводный – 1976-1994 гг., или соответственно 1914-1976 и 1977-2014 гг.

Таблица 1. Статистические характеристики годового стока бассейна реки Волги в замыкающем створе (г. Волгоград) за выбранные периоды времени

Table 1. Statistical characteristics of the annual flow of the Volga River basin in the closing alignment (Volgograd) for the selected time periods

Период <i>Period</i>	Средний годовой сток, км <sup>3</sup> <i>Average annual runoff, km<sup>3</sup></i>	Среднеквадратическое отклонение, км <sup>3</sup> <i>Standard deviation, km<sup>3</sup></i>	Коэффициент вариации, C <sub>v</sub> <i>Coefficient of variation</i>	Коэффициент асимметрии C <sub>s</sub> <i>Assymetry factor</i>	Коэффициент автокорреляции, [r] <i>Autocorrelation coefficient</i>
<b>Условно-естественный сток / Conditionally natural runoff</b>					
1881-1994 гг.	257	45.1	0.18	0.36	0.43
1881-1975 гг.	251	43.3	0.17	0.34	0.38
1976-1994 гг.	287	42.8	0.15	0.30	0.21
1914-2014 гг.	257	43.0	0.17	0.34	0.42
1914-1976 гг.	250	43.2	0.17	0.34	0.40
1977-2014 гг.	276	31.1	0.13	0.26	0.25
<b>Наблюдаемый сток / Recorded runoff</b>					
1881-1994 гг.	248	44.0	0.18	0.36	0.40
1881-1975 гг.	243	43.3	0.18	0.36	0.38
1976-1994 гг.	265	44.6	0.17	0.34	0.04
1914-2014 гг.	247	45.7	0.18	0.36	0.52
1914-1976 гг.	233	45.2	0.19	0.38	0.44
1977-2014 гг.	272	35.5	0.13	0.26	0.22

Статистические параметры этих периодов различаются. Выявленные различия объясняется тем, что на формирование стока р. Волги определяющее влияние оказывают климатические факторы.

Исследуемые временные ряды наблюдений за речным стоком р. Волги за рассматриваемые периоды были подвергнуты проверке на однородность. Оценка однородности изучаемых статистических характеристик временных рядов речного стока р. Волги выполнена на основе критериев Стьюдента, Фишера, Дурбина-Ватсона, Андерсона, Бартлетта. Оценка однородности дисперсий временных рядов с использованием критерия Фишера показала, что при 1%-ном уровне значимости критерия сток р. Волги за выделенные периоды относится к категории однородных по дисперсии. Гипотеза однородности выборочных дисперсий в этой проверке не отвергается, поскольку определяемая по сопоставляемым рядам статистика Фишера  $F_{расч.} = 1,03$  оказывается менее значимой по сравнению с критической ее величиной для рассматриваемых условий  $F_{кр} = 2,42$ .

Проверка по критерию Стьюдента выявила обратную картину. Оценка однородности средних значений рассматриваемых рядов стока р. Волги показала, что при 1%-ном уровне значимости критерия годовой сток р. Волги за выбранные периоды неоднороден во времени. Расчетное значение критерия Стьюдента превышает его критическое значение ( $t_{расч.} = 4,0$ ;  $t_{кр} = 3,50$ ). Поскольку критерий Стьюдента является более информативным, то в целом сравниваемые ряды следует считать статистически неоднородными.

В подобных условиях объединение всех имеющихся материалов наблюдений за стоком р. Волги у г. Волгограда в один ряд не может считаться корректным. Получаемые на такой основе статистические решения не будут отличаться высокой устойчивостью. В этом случае необходимо применять иные подходы для нахождения надежных статистических оценок. Наиболее приемлемым способом получения решений здесь может явиться переход к использованию концепции квазистационарности протекания гидрологических процессов, то есть концепции об устойчивом их протекании лишь на довольно ограниченных отрезках времени.

Для реализации указанного подхода имеющиеся натурные данные в рассматриваемом примере, как отмечено выше, были подразделены на две группы. Одна группа относилась к относительно маловодному периоду, закончившемуся в 1976 г., другая – к сравнительно многоводному периоду, начавшемуся с 1977 г. Для статистических характеристик этих периодов по имеющимся материалам наблюдений были определены ординаты отдельной функции обеспеченности годового притока речных вод реки Волги у г. Волгограда (табл. 2). Как следует из таблицы 2, приведенные ординаты этих функций различаются между собой. Расхождения в оценках по ним, особенно в зоне больших обеспеченностей, достигают 20-32%.

Полученные функции обеспеченности могут быть использованы для выполнения вероятностных оценок притока речных вод р. Волги. При реализации такой схемы расчетов, естественно, возникает вопрос о возможностях распространения

**Таблица 2. Оценка годового стока реки Волги (в створе – г. Волгоград) различной обеспеченности для маловодного и многоводного периодов**

**Table 2. Assessment of the annual runoff of the Volga River (in the alignment – city of Volgograd) of different provision for low water and high water periods**

Обеспеченность, % Water provision	Годовой сток, км <sup>3</sup> /год / Annual runoff, km <sup>3</sup> /year		Расхождения в оценках / Discrepancies in assessments	
	Маловодный период (1914-1976 гг.) Low water period	Многоводный период (1977-2014 гг.) Highwater period	км <sup>3</sup> /год km <sup>3</sup> /year	%
1%	348	362	14	4
3%	323	343	20	6
5%	310	333	23	7
10%	291	318	27	8
25%	261	294	33	11
50%	230	270	40	15
75%	201	247	46	19
80%	195	242	47	19
85%	188	236	48	20
90%	178	228	50	22
95%	166	217	51	23
97%	157	213	56	26
99%	143	197	54	27
99,9%	120	177	57	32

сферы действия функции обеспеченности многоводного периода на более длительный период. Становится очевидным, что решение подобного рода вопроса должно опираться на основу выявления причинно-следственных связей в системе формирования гидрологических процессов и прогнозирования тенденций их развития. Задача получения вероятностных оценок в рассматриваемом примере может быть решена с использованием вышеуказанного способа, то есть динамико-стохастического уравнения  $W(t, p) = m(t) + \Delta W(p)$ .

### Выводы

1. Исследования показали, что в исходных временных рядах годовых величин притока речных вод р. Волги у г. Волгограда (1914/1915-2014/2015 гг. и 1881/1882-1994/1995 гг.) имеются периоды разной длительности, статистические характеристики которых выходят за пределы доверительных интервалов.

2. На основании полученных результатов исследований полагаем, что величины годовых объемов притока речных вод р. Волги не являются чисто случайными величинами. Отсюда следует, что развитие гидрологических процессов в бассейне р. Волги можно определить как процессы,

в которых детерминированные изменения элементов сочетаются со случайными колебаниями.

3. Для отражения характера развития гидрологических процессов в бассейне р. Волги рекомендуется применять динамико-стохастическую модель изменения речного стока бассейна р. Волги. Модель будет учитывать детерминированную составляющую, жестко привязанную ко времени. Стохастическая составляющая данной модели представляет собой случайное отклонение элементов в каждый конкретный момент времени от их математического ожидания.

4. Определение детерминированной составляющей выполняется на базе изучения закономерностей развития природных процессов, и прежде всего – особенностей формирования климата и речного стока. Что же касается случайных колебаний водности, то для описания их характера могут быть использованы натурные данные гидрологических наблюдений.

5. Вместе с существующей в настоящее время концепцией стационарности в многолетних колебаниях речного стока выступает альтернативная концепция нестационарности, связанная с антропогенно-обусловленным глобальным потеплением климата.

### Список использованных источников

1. Алексеевский Н.И. Закономерности гидрологических процессов. М.: Изд-во ГЕОС, 2012. 733 с.
2. Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. М.: Наука, 1974. 69 с.
3. Болгов М.В., Сарманов И.О., Сарманов О.В. Марковские процессы в гидрологии. М.: Институт водных проблем РАН. 2009. 210 с.

### References

1. Alekseevskij N.I. Zakonomernosti gidrologicheskikh protsessov. M.: Izdatelstvo GEOS, 2012. 733 s.
2. Blyuhinov E.G. Raspredeleniya veroyatnostej velichin rechnogo stoka. M.: Nauka, 1974. 169 s.
3. Bolgov M.V., Sarmanov I.O., Sarmanov O.V. Markovskie protsessy v gidrologii. M.: Institut vodnyh problem RAN, 2009. 210 s.

4. **Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.** Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
5. **Кучмент Л.С., Гельфан А.Н.** Динамико-стохастические модели формирования речного стока. М.: Наука, 1993. 103 с.
6. **Музылев С.В., Привальский В.Е., Раткович Д.Я.** Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 84 с.
7. **Раткович Д.Я.** Многолетние колебания речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 255 с.
8. **Раткович Л.Д.** Моделирование взаимозависимых гидрологических рядов // Природобустройство. 2012. № 2. С. 55-59.
9. **Рождественский А.В., Чеботарев А.И.** Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.
10. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка изменения и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги в условиях изменения климата // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 5. С. 4-17.
11. Водные ресурсы России и их использование. / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
12. **Исмайылова И.Г., Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Методика оценки сложноформируемых элементов водного баланса (суммарного испарения и влагозапасов) речного бассейна // Природобустройство. 2020. № 5. С. 88-95.
13. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** К теории и методологии формирования элементов водного баланса речного бассейна в условиях меняющегося климата // Экология. Экономика. Информатика: сборник статей: В 2 т. Т. 1. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Ростов н/Д: Изд-во ЮИЦ РАН, 2016. С. 615-628.
14. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка динамики водных ресурсов бассейна реки Оки в современных климатических условиях // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». Севастополь, 2019. С. 704-708.
15. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Анализ и оценка поверхностных водных ресурсов бассейна реки Оки // Природобустройство. 2019. № 5. С. 85-90.
16. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна реки Дон // Природобустройство. 2012. № 1. С. 52-56.
17. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка изменчивости элементов водного баланса половодья и межени бассейна реки Волги // Природобустройство. 2012. № 3. С. 64-69.
18. **Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В.** Оценка речного стока в бассейне р. Волги // Природобустройство. 2014. № 2. С. 65-69.

#### Критерии авторства

Исмайылова И.Г., Исмайылов Г.Х., Муращенко Н.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 12.12.2022

Одобрена после рецензирования 09.01.2023

Принята к публикации 12.01.2023

4. **Kritskij S.N., Menkel M.F.** Hidrologicheskie osnovy upravleniya rechnym stokom. M.: Nauka, 1981. 255 s.

5. **Kuchment L.S., Gelfan, A.N.** Dinamika-stohasticheskie modeli formirovaniya rechnogo stoka. M.: Nauka, 1993. 103 s.

6. **Muzylev S.V., Privalskij V.E., Ratkovich D.Ya.** Stohasticheskie modeli v inzhenernoj gidrologii. M.: Nauka, 1982. 184 s.

7. **Ratkovich D.Ya.** Mnogoletnie kolebaniya rechnogo stoka. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 255 s.

8. **Ratkovich L.D.** Modelirovanie vzaimozavisimyh gidrologicheskikh ryadov // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 2. S. 55-59.

9. **Rozhdestvenskij A.V., Chebotarev A.I.** Statisticheskie metody v gidrologii. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 424 s.

10. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka izmeneniya i vzaimosvyaz elementov vodnogo balansa bassejna reki Volgi v usloviyah izmeneniya klimata // Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2015. № 5. S. 4-17.

11. Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovanie / Pod redaktsiej I.A. Shiklomanova. SPb.: Gosudarstvennyj gidrologicheskij institut, 2008. 600 s.

12. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V., Ismajylova I.G.** Metodika otsenki slozhnoformiruemykh elementov vodnogo balansa (summarnogo isparenija i vlagozapaso) rechnogo bassejna // Prirodoobustrojstvo. 2020. № 5. S. 88-95.

13. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** K teorii i metodologii formirovaniya elementov vodnogo balansa rechnogo bassejna v usloviyah menyayushchegosya klimata // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Sb. statej: v 2-h t. T. 1: Sistemnyj analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem. Vyp. 1. Rostov n/D: Izd-vo YUNTS RAN. 2016. S. 615-628.

14. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka dinamiki vodnykh resursov bassejna reki Oki v sovremennykh klimaticheskikh usloviyah // Sbornik statej po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' 2019». Sevastopol. S. 704-708.

15. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Analiz i otsenka poverhnostnykh vodnykh resursov bassejna reki Oki // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 5. S. 85-90.

16. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Mezhgodovaya izmenchivost elementov vodnogo balansa bassejna reki Don // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 1. S. 52-56.

17. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka izmenchivosti elementov vodnogo balansa polovodija i mezheni bassejna reki Volgi // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 3. S. 64-69.

18. **Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V.** Otsenka rechnogo stoka v bassejne r. Volgi // Prirodoobustrojstvo. 2014. № 2. S. 65-69.

#### Criteria of authorship

Ismajylova I.G., Ismajylov G.H., Murashchenkova N.V. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

#### Contributions of the authors.

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 12.12.2022

Approved after reviewing 09.01.2023

Accepted for publication 12.01.2023