

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2025-4-114-128>

УДК 556.06

Краткосрочное и среднесрочное прогнозирование уровней воды на реках России на основе статистических методов

**Ю.А. Симонов¹, А.В. Христофоров¹, Н.М. Юмина¹,
Н.К. Семенова¹, И.С. Волов¹, А.И. Шевченко²**

¹*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия;*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической
информации – Мировой центр данных, г. Обнинск, Россия
simonov@mecom.ru, khristoforov_a@mail.ru, ashevchenko@meteo.ru*

Предлагается набор методов краткосрочного и среднесрочного прогнозирования уровней воды на реках России. В методах используются данные наблюдений на речных гидрологических постах. Прогноз выражается в виде линейной зависимости от наблюдавшихся уровней воды и корректируется путем замены его экстремальных значений допустимым минимумом или максимумом.

В первом методе экстраполяции гидрографа учитываются только уровни воды, наблюдавшиеся в прогнозируемом створе. Во втором более общем методе дополнительно учитываются уровни воды, наблюдавшиеся в речном створе, расположенном выше по течению. В третьем еще более общем методе дополнительно учитываются уровни воды, наблюдавшиеся в створе, расположенном на притоке. Проверка методов на независимом материале показала, что каждый из них может давать удовлетворительные прогнозы для большого количества речных створов. Даны рекомендации по внедрению представленных методик в практику оперативных гидрологических прогнозов Росгидромета.

Ключевые слова: речной створ, уровень воды, краткосрочный и среднесрочный прогноз, качества прогноза, выбор метода

Short- and medium-range forecasting of water levels on Russian rivers based on statistical methods

**Yu.A. Simonov¹, A.V. Khristoforov¹, N.M. Yumina¹,
N.K. Semenova¹, I.S. Volov¹, A.I. Shevchenko²**

¹*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation,
Moscow, Russia;*

²*All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information –
World Data Center (RIHMI-WDC), Obninsk, Kaluzhsky region, Russia
simonov@mecom.ru, khristoforov_a@mail.ru, ashevchenko@meteo.ru*

A set of methods for short- and medium-range forecasting of water levels on Russian rivers is proposed. The methods utilize observation data from stream gages. The forecast is expressed as a linear function of observed water levels and is adjusted by replacing its extreme values with an acceptable minimum or maximum.

The first method of hydrograph extrapolation takes into account only water levels observed at the forecast gage. The second, more general method additionally takes into account water levels observed at an upstream gage. The third, even more general method additionally takes into account water levels observed at a tributary gauge. Validation of these methods using independent data showed that each can produce satisfactory forecasts for a great number of river gages. Recommendations for implementing the presented methods in Roshydromet's operational hydrological forecasting practices are provided.

Keywords: stream gage, water level, short- and medium-range forecast, forecast quality, choice of method

Введение

Увеличение точности и заблаговременности гидрологических прогнозов и расширение сферы их применения необходимо в целях повышения эффективности использования и охраны водных ресурсов и защиты населения и хозяйственных объектов от участвовавших в последние годы наводнений, вызванных интенсивным снеготаянием и дождевыми паводками [8, 17, 20].

Важная роль при этом отводится ежедневно выпускаемым краткосрочным и среднесрочным прогнозам расходов и уровней воды в речных створах с заблаговременностью от 1 до 5 суток и от 6 до 10 суток соответственно.

В настоящее время существует весьма обширный набор методов краткосрочного и среднесрочного прогнозирования речного стока. Эти методы в той или иной степени учитывают закономерности формирования стока на водосборе и движения воды в русловой сети. Они реализуются в виде физико-математических и концептуальных моделей или в виде статистических зависимостей прогнозируемой величины от известных к дате составления прогноза гидрологических и метеорологических характеристик [5, 8, 11, 16, 18].

Для разработки автоматизированной системы подготовки и выпуска прогнозов целесообразно использование максимально простого и универсального метода, который позволял бы устойчиво получать с достаточной точностью ежедневные прогнозы среднесуточных расходов и уровней воды в течение всего года. В связи с этим для получения краткосрочных и среднесрочных прогнозов речного стока в отделе речных гидрологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» разработан набор методов, основанных на использовании данных гидрологических наблюдений на реках и каналах наблюдательной сети Росгидромета.

Постановка задачи

В отделе речных гидрологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» на основе метода экстраполяции гидрографа разработана методика получения краткосрочных (с заблаговременностью 1–5 суток) и среднесрочных (с заблаговременностью 6–10 суток) прогнозов уровней

воды на реках России. Методика реализована для 2776 речных створов и используется в рамках автоматизированной системы подготовки и выпуска прогнозов и доведения прогностической продукции до всех заинтересованных потребителей [2, 3, 13]. Расположение прогнозируемых створов показано на рисунке.

Анализ результатов верификации прогнозов показал, что метод экстраполяции гидрографа, и реализующая его автоматизированная система, позволяет получать удовлетворительные прогнозы уровней воды для достаточно крупных рек с плавным изменением этих характеристик. Отнесение прогнозов к категории удовлетворительных выполнялось в соответствии с Наставлением [6]. В частности, удовлетворительные прогнозы с заблаговременностью 10 суток могут выпускаться более чем для 200 речных створов.

В табл. 1 приведено относительное число речных створов с удовлетворительными прогнозами различной заблаговременности.

Таблица 1. Относительное число речных створов с удовлетворительными прогнозами различной заблаговременности

Table 1. Relative number of river gauges with satisfactory forecasts of varying lead times

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное число створов, %	45	33	25	20	17	14	12	11	9	8

В методе экстраполяции гидрографа прогноз среднесуточного уровня воды выражается в виде линейной зависимости от среднесуточных уровней воды, относящихся к дате составления прогноза и к нескольким предыдущим суткам. В настоящей работе рассматривается возможность и целесообразность использования более сложных методов, в которых учитываются наблюдавшиеся уровни воды не только в прогнозируемом речном створе, но и в створе, расположенном выше по течению, а также в створе, расположенном на основном притоке. Данные методы являются усовершенствованным вариантом широко используемой модели ARX авторегрессии с внешним входом (Auto-Regressive with Exogenous input), которая использует идею фильтра Н. Винера, применяемого для экстраполяции случайных процессов [12, 14, 15, 19].

Усовершенствование модели ARX состоит в ограничении получаемых прогнозов допустимыми минимумами и максимумами и в гидрологическом обосновании состава и способа учета внешних факторов, в качестве которых используются уровни воды, наблюдавшиеся в речных створах, расположенных на главной реке выше по течению и на ее притоке.

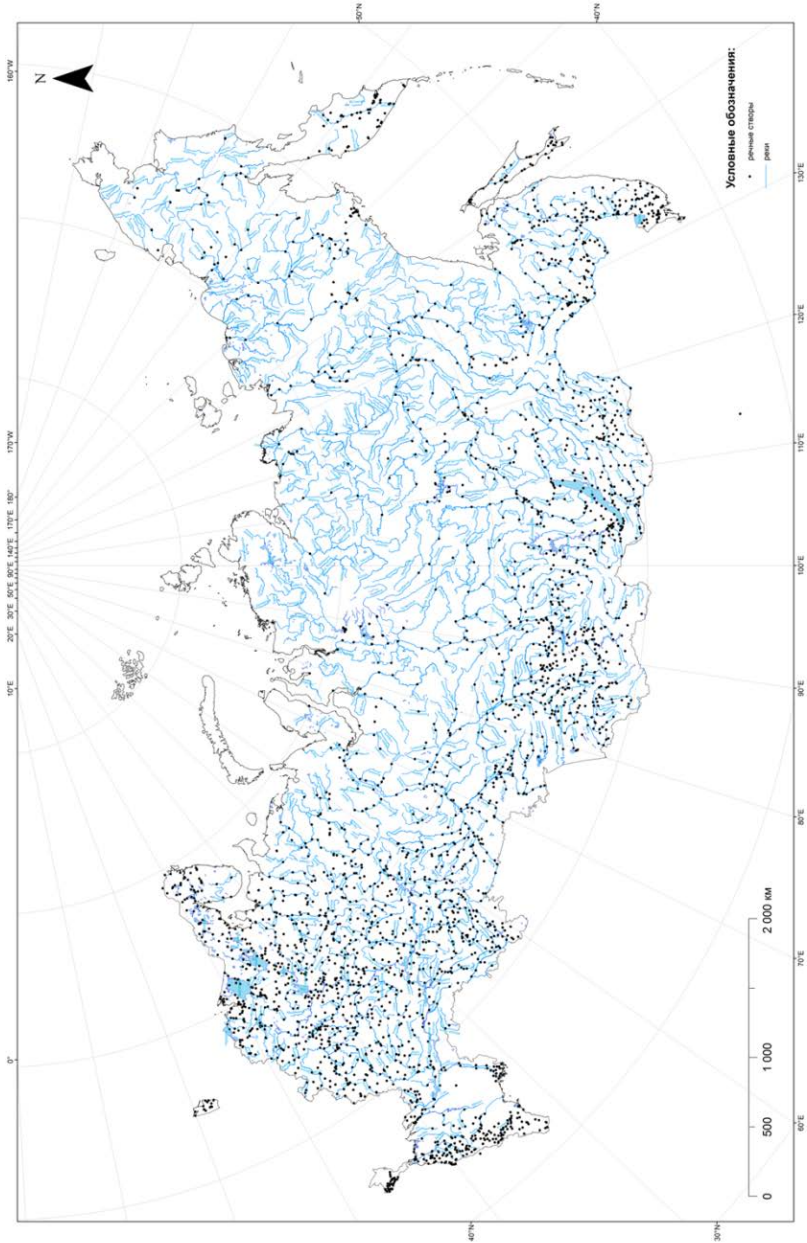


Рис. 1. Расположение прогнозируемых речных створов.
Fig. 1. Location of forecast gauges.

Исходные данные

Для разработки методов прогнозирования использованы данные, накопленные в Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (ЕГФД). Первичные данные наблюдений хранятся в ЕГФД в формате, соответствующем отраслевому стандарту. Для подготовки массивов среднесуточных уровней воды использованы данные срочных наблюдений, полученных традиционным способом, при помощи наблюдателя, и данные учащенных измерений, полученных при помощи автоматических гидрологических комплексов. Автоматизированная обработка данных наблюдений выполнена в соответствии с действующим руководящим документом определения гидрологических характеристик [9] при помощи программного обеспечения для обработки режимной гидрологической информации по рекам и каналам РЕКИ-РЕЖИМ [4, 10].

Гидрологические основы рассматриваемых вариантов прогнозирования

Метод экстраполяции гидрографа основан на том, что характерный для достаточно крупных равнинных рек плавный ход ежедневных уровней воды дает возможность его экстраполяции на несколько суток вперед и определения прогноза с заблаговременностью Δt от 1 до 10 суток в виде обобщенного полинома. Оценка $k+1$ параметров этого полинома по известным к дате составления прогноза t среднесуточным уровням воды $H(t)$, $H(t-1)$, ..., $H(t-k)$ приводит к тому, что получаемый путем такой экстраполяции прогноз определяется формулой:

$$\hat{H}_{\text{ЭГ}}(t + \Delta t) = \sum_{i=0}^k a_i(\Delta t)H(t-i) + b(\Delta t). \quad (1)$$

Параметры формулы (1) и оптимальное значение k зависят от заблаговременности прогноза Δt и подлежат оценке методом наименьших квадратов по данным гидрологических наблюдений в прогнозируемом створе [2].

Метод соответственных уровней для бесприточных участков реки учитывает уровень воды H_B в оборудованном гидрологическим постом речном створе, расположенном выше прогнозируемого. Прогноз на дату t определяется формулой:

$$\hat{H}(t) = bH_B(t - \tau_B) + c, \quad (2)$$

где τ_B – среднее время руслового добегания воды от верхнего створа до прогнозируемого. Время τ_B суток определяет заблаговременность прогноза, то есть $\Delta t = \tau_B$. Как правило, время τ_B убывает с ростом уровня

воды H_B в верхнем створе, так как при этом увеличивается скорость течения реки [7].

Использование метода соответственных уровней в рамках автоматизированной системы подготовки и выпуска краткосрочных и среднесрочных прогнозов уровней воды сопряжено с жесткой привязкой заблаговременности прогноза Δt к времени руслового добега τ_B и нетривиальной зависимостью этого времени от уровня воды в верхнем створе.

Устранить этот недостаток и тем самым модифицировать метод соответственных уровней позволяет использование метода экстраполяции гидрографа и для верхнего створа. В этом случае прогноз определяется формулой:

$$\hat{H}_{CV}(t + \Delta t) = \sum_{j=0}^l b_j(\Delta t) H_B(t - j) + c(\Delta t), \quad (3)$$

где число l должно превышать максимально возможное для данного участка реки время руслового добега τ_B .

Сочетание метода экстраполяции и обобщенного метода соответственных уровней для бесприточных участков реки приводит к следующей формуле выпуска прогноза:

$$\hat{H}_{эCV}(t + \Delta t) = \sum_{i=0}^k a_i(\Delta t) H(t - i) + \sum_{j=0}^l b_j(\Delta t) H_B(t - j) + c(\Delta t). \quad (4)$$

Параметры формулы (4) и оптимальные значения k и l зависят от заблаговременности прогноза Δt и подлежат оценке методом наименьших квадратов по данным гидрологических наблюдений в прогнозируемом и расположенном выше створе.

Метод соответственных уровней при наличии бокового притока учитывает уровни воды H_B и H_{II} в верхнем створе и в оборудованном гидрологическим постом речном створе, расположенном на боковом притоке. Прогноз на дату t определяется формулой:

$$\hat{H}(t) = bH_B(t - \tau_B) + cH_{II}(t - \tau_{II}) + d, \quad (5)$$

где τ_{II} – среднее время руслового добега воды от створа на боковом притоке до прогнозируемого. Наименьшая из двух величин τ_B и τ_{II} суток определяет заблаговременность прогноза. Как правило, время τ_{II} убывает с ростом уровня воды H_{II} в створе на боковом притоке, так как при этом увеличивается скорость течения реки [7].

Использование такого метода соответственных уровней в рамках автоматизированной системы подготовки и выпуска краткосрочных и среднесрочных прогнозов уровней воды также сопряжено с жесткой привязкой

заблаговременности прогноза к значениям τ_B , τ_{II} и их нетривиальной зависимостью от величин H_B и H_{II} .

Устранить этот недостаток и тем самым модифицировать метод соответственных уровней позволяет использование метода экстраполяции гидрографа и для верхнего створа и для створа на боковом притоке. В этом случае прогноз определяется формулой:

$$\hat{H}_{сВП}(t + \Delta t) = \sum_{j=0}^l b_j(\Delta t) H_B(t - j) + \sum_{j=0}^m c_j(\Delta t) H_{II}(t - j) + d(\Delta t), \quad (6)$$

где число m должно превышать максимально возможное для данного участка реки и ее бокового притока время руслового добегания τ_{II} .

Сочетание метода экстраполяции и обобщенного метода соответственных уровней для приточных участков реки приводит к следующей формуле выпуска прогноза:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{эсВП}(t + \Delta t) = & \sum_{i=0}^k a_i(\Delta t) H(t - i) + \sum_{j=0}^l b_j(\Delta t) H_B(t - j) + \\ & + \sum_{j=0}^m c_j(\Delta t) H_{II}(t - j) + d(\Delta t). \end{aligned} \quad (7)$$

Параметры формулы (7) и оптимальные значения k , l и m зависят от заблаговременности прогноза Δt и подлежат оценке методом наименьших квадратов по данным гидрологических наблюдений в прогнозируемом и расположенных выше створах на основной реке и на боковом притоке.

Сравниваемые методы прогнозирования

Параметры формул (1), (4) и (7) оценивались методом наименьших квадратов по данным гидрологических наблюдений за период с 01.01. 2006 по 31.12. 2015. В качестве оптимальных были приняты значения $k = 5$ и $l = m = 8$. В результате были получены три метода краткосрочного и среднесрочного прогнозирования уровней воды.

1. Предварительный прогноз по первому методу определяется формулой:

$$\hat{H}_1(t + \Delta t) = \sum_{i=0}^5 a_i(\Delta t) H(t - i) + b(\Delta t). \quad (8)$$

Все семь параметров формулы (8) для каждого значения $\Delta t = 1, 2, \dots, 10$ оценивались методом наименьших квадратов по данным ежедневных значений уровней воды в прогнозируемом створе за период с 2006 по 2015 год.

2. Предварительный прогноз по второму методу определяется формулой:

$$\hat{H}_2(t+\Delta t) = \sum_{i=0}^5 a_i(\Delta t)H(t-i) + \sum_{j=0}^8 b_j(\Delta t)H_B(t-j) + c(\Delta t). \quad (9)$$

Все 16 параметров формулы (9) для каждого значения $\Delta t = 1, 2, \dots, 10$ оценивались методом наименьших квадратов по данным ежедневных значений уровней воды в прогнозируемом створе и в вышерасположенном створе за период с 2006 по 2015 год.

3. Предварительный прогноз по третьему методу определяется формулой:

$$\begin{aligned} \hat{H}_3(t+\Delta t) = & \sum_{i=0}^5 a_i(\Delta t)H(t-i) + \sum_{j=0}^8 b_j(\Delta t)H_B(t-j) + \\ & + \sum_{j=0}^8 c_j(\Delta t)H_B(t-j) + d(\Delta t). \end{aligned} \quad (10)$$

Все 25 параметров формулы (10) для каждого значения $\Delta t = 1, 2, \dots, 10$ оценивались методом наименьших квадратов по данным ежедневных значений уровней воды в прогнозируемом створе в вышерасположенном створе и в створе бокового притока за период с 2006 по 2015 год.

Во избежание необоснованно низких и высоких значений прогноза результаты применения формул (8), (9) и (10) корректировались путем замены экстремальных значений прогноза допустимым минимумом $\min H$ или максимумом $\max H$. Для каждого из трех методов с номерами $i = 1, 2, 3$ окончательный прогноз определяется формулой:

$$\tilde{H}_i(t+\Delta t) = \begin{cases} \min H, & \text{если } \hat{H}_i(t+\Delta t) < \min H; \\ \hat{H}_i(t+\Delta t), & \text{если } \min H \leq \hat{H}_i(t+\Delta t) \leq \max H; \\ \max H, & \text{если } \hat{H}_i(t+\Delta t) > \max H. \end{cases} \quad (11)$$

где $\min H$ – минимальный уровень воды в прогнозируемом створе за период с 2006 по 2015 год; $\max H$ – максимальный уровень воды в прогнозируемом створе за период с 2006 по 2015 год.

Проверка и сравнение методов

Проверка на независимом материале всех трех методов выполнена по данным за период с 01.01.2016 по 31.12.2024 продолжительностью $N = 3288$ суток.

Если обозначить через $H(t)$ фактическое значение уровня воды за сутки t , а через $\tilde{H}(t)$ ее прогноз по одному из трех методов, то среднеквадратическая погрешность прогноза определяется формулой:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [H(t) - \tilde{H}(t)]^2}. \quad (12)$$

Для каждого значения заблаговременности прогноза Δt суток вычислялась разность

$$d(t) = H(t) - H(t - \Delta t). \quad (13)$$

Погрешность альтернативного инерционного прогноза рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [d(i) - \bar{d}]^2}, \quad (14)$$

где \bar{d} вычисляется как среднее арифметическое ряда $d(1), \dots, d(N)$, образованного N значениями $d(i)$ в формуле (14).

В качестве другого показателя качества прогнозирования использована оправдываемость прогноза P , то есть частота случаев, когда абсолютные значения ошибок прогноза не превышали допустимую ошибку, равную $0,674 \sigma_{\Delta}$.

Согласно Наставлению [6] метод прогнозирования относится к категории удовлетворительных, если показатель S/σ_{Δ} не превышает 0,80, а оправдываемость P не ниже 60 % [1].

Первый и второй методы сравнивались для 833 прогнозируемых створов, для которых могли использоваться данные гидрологических наблюдений не только в прогнозируемом, но и в створе, расположенном выше по течению. При этом на участке между верхним и прогнозируемым створом значительная боковая приточность отсутствовала. Среднее расстояние между верхним и прогнозируемым створом составляет 139 км.

Оправдываемость прогнозов P , получаемых с помощью сравниваемых методов оказалась достаточно высокой. Значения P в среднем составляют 81 % для первого метода и 83 % для второго.

Более высокой оправдываемости второго метода соответствуют и его более низкие значения среднеквадратической погрешности. Преимущество второго метода характеризует показатель

$$f_{1,2} = \frac{(S_1 - S_2)}{S_2} 100\%. \quad (15)$$

Средние для всех 833 прогнозируемых створов значения показателя $f_{1,2}$ при различной заблаговременности прогноза $\Delta t = 1, 2, \dots, 10$ суток приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средние значения показателя $f_{1,2}$ преимущества второго метода

Table 2. Average values of the indicator $f_{1,2}$ showing advantages of the second method

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{1,2}, \%$	8,9	11,2	10,8	9,8	8,8	8,0	7,4	6,8	6,4	6,0

Показатель $f_{1,2}$ варьирует от 6,0 до 11,2 % и в среднем равен 7,7 %. В табл. 3 для сравниваемых методов приведено относительное в долях от 833 число речных створов с удовлетворительными прогнозами различной заблаговременности с показателем $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,80$.

Таблица 3. Относительное число речных створов с удовлетворительными прогнозами для сравниваемых методов

Table 3. Relative number of river gauges with satisfactory forecasts for the compared methods

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное число створов, % <i>Первый метод</i>	40	34	28	24	20	18	16	15	14	13
Относительное число створов, % <i>Второй метод</i>	59	52	47	41	36	32	30	28	27	26

Приведенные в табл. 3 данные показывают, что при любой заблаговременности Δt число удовлетворительных прогнозов, полученных вторым методом, больше, чем первым.

Таким образом, для 833 рассматриваемых речных створов второй метод, использующий гидрологические наблюдения в прогнозируемом створе и в расположенном выше по течению, имеет небольшое, но статистически достоверное преимущество перед первым методом экстраполяции гидрографа в прогнозируемом створе.

Все три метода сравнивались для 197 прогнозируемых створов, для которых могли использоваться данные гидрологических наблюдений не только в прогнозируемом, но и в створе, расположенном выше по течению и на главном боковом притоке. При этом на участке между верхним и прогнозируемым створом имеется значительный приток с расположенным на нем гидрологическим постом. Среднее расстояние между верхним и прогнозируемым створом составляет 148 км. Среднее расстояние между гидрологическим постом на притоке и прогнозируемым створом составляет 126 км.

Оправдываемость прогнозов P , получаемых с помощью сравниваемых методов оказалась достаточно высокой. Значения P в среднем составляют 83 % для первого метода, 85 % для второго и 86 % для третьего метода. Более высокой оправдываемости сравниваемого метода соответствуют и его более низкие значения среднеквадратической погрешности. Преимущество второго метода перед первым характеризует показатель $f_{1,2}$, определяемый формулой (15). Преимущество третьего метода перед первым

и перед вторым характеризуют показатели $f_{1,3}$ и $f_{2,3}$, определяемые аналогично формуле (15).

Средние для всех 197 прогнозируемых створов значения этих показателей при различной заблаговременности прогноза $\Delta t = 1, 2, \dots, 10$ суток приведены в табл. 4.

Таблица 4. Средние значения показателей преимущества
Table 4. Average values of indicators showing advantage of a method

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{1,2}, \%$	9	14	16	15	14	13	12	11	10	9
$f_{1,3}, \%$	11	18	20	20	19	18	16	15	14	13
$f_{2,3}, \%$	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4

Среднее значение показателя $f_{1,2}$ равно 12 %, то есть в целом второй метод дает на 12 % более точные прогнозы, чем первый.

Среднее значение показателя $f_{1,3}$ равно 16 %, то есть в целом третий метод дает на 16 % более точные прогнозы, чем первый.

Среднее значение показателя $f_{2,3}$ равно 4 %, то есть в целом третий метод дает на 4 % более точные прогнозы, чем второй.

В табл. 5 для сравниваемых методов приведено относительное в долях от 197 число речных створов с удовлетворительными прогнозами различной заблаговременности с показателем $S/\sigma_{\Delta} \leq 0,80$.

Таблица 5. Относительное число речных створов с удовлетворительными прогнозами для сравниваемых методов

Table 5. Relative number of river gauges with satisfactory forecasts for the compared methods

Заблаговременность прогноза, сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное число створов, % <i>Первый метод</i>	74	62	52	49	43	37	33	32	29	29
Относительное число створов, % <i>Второй метод</i>	86	82	77	70	65	61	56	51	49	47
Относительное число створов, % <i>Третий метод</i>	87	85	83	79	73	70	65	61	58	56%

Приведенные в табл. 5 данные демонстрируют преимущество третьего метода при любой заблаговременности прогноза $\Delta t = 1, 2, \dots, 10$ суток.

Таким образом, для 197 рассматриваемых речных створов третий метод, использующий гидрологические наблюдения в прогнозируемом створе, в расположенном выше по течению створе и в створе на боковом притоке, имеет небольшое, но статистически достоверное преимущество перед первыми двумя методами.

Заключение

Сравнивались три метода краткосрочного и среднесрочного прогнозирования уровней воды на реках России, разработанные в отделе речных гидрологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России». Во всех трех методах прогноз среднесуточного уровня воды выражается в виде линейной зависимости от наблюдавшихся уровней воды. Прогноз корректируется путем замены его экстремальных значений допустимым минимумом или максимумом.

В первом методе экстраполяции гидрографа учитываются только уровни воды, наблюдавшиеся в прогнозируемом створе.

Во втором более общем методе дополнительно учитываются уровни воды, наблюдавшиеся в речном створе, расположенном выше по течению.

В третьем еще более общем методе дополнительно учитываются уровни воды, наблюдавшиеся в створе, расположенном на притоке.

Входящие в формулу выпуска прогноза параметры оценивались по данным гидрологических наблюдений за период с 01.01.2006 по 31.12. 2015.

Проверка на независимом материале всех трех методов выполнена по данным гидрологических наблюдений за период с 01.01.2016 по 31.12.2024.

Первый и второй методы сравнивались для 833 речных створов, для которых могли использоваться данные гидрологических наблюдений не только в прогнозируемом, но и в расположенном выше по течению створе при отсутствии значительной боковой приточности на участке между верхним и прогнозируемым створом. Сравнение показало, что второй метод имеет небольшое, но статистически достоверное преимущество перед первым.

Все три метода сравнивались для 197 речных створов, для которых могли использоваться данные гидрологических наблюдений не только в прогнозируемом, но и в расположенном выше по течению створе при наличии значительного притока на участке между верхним и прогнозируемым створами. Сравнение показало, что третий метод имеет небольшое, но статистически достоверное преимущество перед остальными.

На основании полученных результатов рекомендуется:

– использовать третий метод для указанных 197 прогнозируемых створов;

- использовать второй метода для указанных 833 прогнозируемых створов;
- использовать первый метод для оставшихся 1746 прогнозируемых створов.

Для рассмотренных методик выполнены оперативные испытания, оценены их параметры и качество проверочных прогнозов. Рекомендуется их реализация в виде программного обеспечения в рамках системы мониторинга и прогнозирования ГИС «Гидрология» и использование оперативно-прогностическими учреждениями Росгидромета в практике выпуска гидрологических прогнозов и штормовых предупреждений.

Список литературы

1. *Борщ С.В., Христофоров А.В.* Оценка качества прогнозов речного стока // Труды Гидрометцентра России. 2015. Спец. вып. 355. 198 с.
2. *Борщ С.В., Колий В.М., Семенова Н.К., Симонов Ю.А., Христофоров А.В.* Прогнозирование стока рек России методом экстраполяции гидрографа // Гидрологические исследования и прогнозы. 2021. № 2 (380). С. 77-94.
3. *Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В.* Прогнозирование стока рек России. М.: Изд-во ФГБУ «Гидрометцентр России», 2023. 200 с.
4. *Готовченкова И.Л., Шевченко А.И.* Сбор, обработка и получение информационной продукции в системе обработки режимной гидрологической информации по рекам и каналам "РЕКИ-РЕЖИМ" // Труды Государственного океанографического института. 2013. № 214. С. 291-298.
5. *Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г.* Формирование речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 216 с.
6. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Прогнозы режима вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 193 с.
7. *Руководство по гидрологическим прогнозам.* Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 356 с.
8. *Симонов Ю.А.* Оперативная гидрология в деятельности Всемирной метеорологической организации // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2025. № 2 (396). С. 121-140.
9. РД 52.19.924–2022. Определение гидрологических характеристик по рекам и каналам в условиях автоматизированной обработки информации для получения материалов водного кадастра
10. *Шевченко А.И., Готовченкова И.Л., Сомова С.М.* Развитие технологий сбора и обработки режимной гидрологической информации по рекам и каналам в условиях модернизации наблюдательной гидрологической сети и новой концепции водного кадастра // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. № 177. С. 87-94.
11. *Adams T.E., Pagano T.C.* Flood Forecasting – A Global Perspective. Academic Press, 2016. 480 p.
12. *Andreou E., Ghysels E., Kourtellos A.* Regression models with mixed sampling frequencies // Journal of Econometrics. 2010. № 58. P. 246-261.
13. *Borsch S., Simonov Y., Khrstoforov A., Semenova N., Koliy V., Ryseva E., Krovotyntsev V., Derugina V.* Russian Rivers Streamflow Forecasting Using Hydrograph Extrapolation Method // Hydrology. 2022. Vol. 9, no. 1. P. 1-14.
14. *Box G.E., Jenkins P., Gwilym M., Reinsel G.C., Ljung G.M.* Time series analysis: forecasting and control. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated, 2016. 53 p.
15. *Cogley T., Nason J.M.* Effects of the Hodrick-Prescott Filter on Trend and Difference Stationary Time Series Implications for Business Cycle Research // Journal of Economic Dynamics and Control. 1995. Vol. 19, no 1-2. P. 253-278.

16. Greco M., Cravetta A., Della Morte R. River flow. London: Taylor and Francis Group, 2004. 1024 p.
17. WMO-No. 168. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. World Meteorological Organization, 2009. 302 p.
18. WMO-No. 1072. Manual on Flood Forecasting and Warning. World Meteorological Organization, 2011. 138 p.
19. Wiener N. The Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series; MIT Press: Cambridge, MA, USA. John Wiley: Hoboken, NJ, USA, 1964. 171 p.
20. WMO-No. 1293. Assessment Guidelines for End-to-End Flood Forecasting and Early Warning Systems. World Meteorological Organization, 2022. 61 p.

References

1. Borsch S.V., Khristoforov A.V. Hydrologic flow forecast verification. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*. 2015, vol. 355, 198 p. [in Russ.].
2. Borsch S.V., Koliy V.M., Semenova N.K., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. Forecasting the flow of Russian rivers by hydrograph extrapolation. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*. 2021, vol. 380, no. 2, pp. 77-94 [in Russ.].
3. Borsch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. Prognozirovanie stoka rek Rossii. Moscow, FGBU «Gidrometcentr Rossii», 2023, 200 p. [in Russ.].
4. Gotovchenkova I.L., Shevchenko A.I. Gathering, Processing and obtaining of information production in system of processing of the regime hydrological information on the Rivers and Channels «Reki-Regim». *Trudy GOIN [Proceedings of N.N. Zubov State Oceanographic Institute]*. 2013, vol. 214, pp. 291-298 [in Russ.].
5. Kuchment L.S., Demidov V.N., Motovilov Yu.G. Formirovanie rechnogo stoka. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1983, 216 p. [in Russ.].
6. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3. Part 1. Prognozy rezhima vod sushi. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1962, 193 p. [in Russ.].
7. Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. Vyp. 1. Dolgosrochnye prognozy elementov vodnogo rezhima rek i vodohranilishch. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1989, 356 p. [in Russ.].
8. Simonov Yu.A. Activities of the World Meteorological Organization in the field of operational hydrology. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*. 2025, vol. 396, no. 2, pp. 121-140 [in Russ.].
9. RD 52.19.924–2022. Opredelenie gidrologicheskikh harakteristik po rekam i kanalam v usloviyah avtomatizirovannoy obrabotki informacii dlya polucheniya materialov vodnogo kadastra [in Russ.].
10. Shevchenko A.I., Gotovchenkova I.L., Somova S.M. Development software of collection, processing and archiving hydrological information on rivers and canals emerged due in the modernization of hydrological network and a new concept water-resources inventory. *Trudy VNIIGMI-MTSD*. 2014, vol. 177, pp. 87-94 [in Russ.].
11. Adams T.E., Pagano T.C. Flood Forecasting – A Global Perspective. Academic Press, 2016, 480 p.
12. Andreou E., Ghysels E., Kourtellos A. Regression models with mixed sampling frequencies. *Journal of Econometrics*. 2010, no. 58, pp. 246-261.
13. Borsch S., Simonov Y., Khristoforov A., Semenova N., Koliy V., Ryseva E., Krovotyntsev V., Derugina V. Russian Rivers Streamflow Forecasting Using Hydrograph Extrapolation Method. *Hydrology*. 2022, vol. 9, no. 1, pp. 1-14.
14. Box G.E., Jenkins P., Gwilym M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time series analysis: forecasting and control. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated, 2016, 53 p.

15. Cogley T., Nason J.M. Effects of the Hodrick-Prescott Filter on Trend and Difference Stationary Time Series Implications for Business Cycle Research. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 1995, vol. 19, no 1-2, pp. 253-278.

16. Greco M., Cravetta A., Della Morte R. River flow. London: Taylor and Francis Group, 2004, 1024 p.

17. WMO-No. 168. Guide to Hydrological Practices. Vol. II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. WMO, Geneva, 2009, 302 p.

18. WMO-No. 1072. Manual on Flood Forecasting and Warning. WMO, Geneva, Switzerland, 2011, 138 p.

19. Wiener N. The Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series; MIT Press: Cambridge, MA, USA. John Wiley: Hoboken, NJ, USA, 1964. 171 p.

20. WMO-No. 1293. Assessment Guidelines for End-to-End Flood Forecasting and Early Warning Systems. WMO, Geneva, Switzerland, 2022, 61 p.

*Поступила 15.10.2025; принята в печать 26.11.2025.
Submitted 15.10.2025; accepted for publication 26.11.2025.*