

О.К. АЛЬСОВА

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ПЕРИОДА-АНАЛОГА

Альсова О.К. Адаптивный алгоритм прогнозирования гидрологических временных рядов на основе выбора периода-аналога.

Аннотация. В работе предложен адаптивный алгоритм прогнозирования временного ряда на основе выбора периода-аналога. Особенностью алгоритма является использование обучающей выборки прогнозов для автоматического выбора оптимальных параметров его работы. Алгоритм применялся для прогнозирования гидрологических временных рядов притока воды в Новосибирское водохранилище (река Обь). Показана эффективность его применения (повышение точности прогнозирования) по сравнению с базовым алгоритмом.

Ключевые слова: прогнозирование, гидрологический временной ряд, период-аналог, мера близости, адаптивный алгоритм.

Alsova O.C. An Adaptive Algorithm for Hydrological Time Series Forecasting Based on the Selection of an Analogue-Period.

Abstract. In the paper, an adaptive algorithm for time series forecasting based on the selection of an analogue period is proposed. A distinctive feature of the algorithm is the use of training sample of forecasts for the automatic selection of optimal parameters of its work. The algorithm was employed for prediction of the hydrological time series of inflow to Novosibirsk Reservoir (the Ob River). The efficiency of its use (an increase in the accuracy of forecasts) is demonstrated compared with the basic algorithm.

Keywords: forecasting; hydrological time series; analogue-period; similarity measure; adaptive algorithm.

1. Введение. Исследование и прогнозирование гидрологических временных рядов, описывающих изменение характеристик водного режима рек (объемов притока, уровней воды) — одна из основных задач, которые решаются в гидрологии. В частности, в зависимости от прогнозного значения притока определяется тактика функционирования водохранилищ, созданных на реках. От этого показателя зависит объем сброса воды, поддерживающий динамическое равновесие между ее притоком и оттоком. Кроме того, прогноз притока служит основой для разработки оптимальной тактики расхода воды через гидросооружения, обеспечивающей максимальную выработку электроэнергии ГЭС.

Изменение во времени гидрологических характеристик рек и факторов, влияющих на их формирование, представляет собой сложный, многофакторный процесс, имеющий стохастическую природу. Поэтому, как один из основных, исторически сложился статистический подход к исследованию колебаний гидрологических характери-

стик рек, основанный на применении вероятностно-статистических моделей.

Проблемам изучения и прогнозирования гидрологических характеристик водного режима рек на основе статистического подхода посвящено много научных работ. Большой вклад в изучение этих вопросов внесли Крицкий С.Н. и Менкель М.Ф. (1981, 1982), Раткович Д.Я. (1976), Музылев С.В. (1982), Дружинин И.П. (1991), Иващенко А.Г. (1985), Голяндина Н.Э. (2004) и другие. Для исследования и прогнозирования временных рядов гидрологических характеристик рек используются разные классы вероятностно-статистических методов и моделей [1]. Однако задача идентификации и прогнозирования временных рядов гидрологических характеристик рек еще не решена с достаточной степенью точности и по-прежнему остается актуальной.

На кафедре вычислительной техники НГТУ на протяжении нескольких лет ведется исследовательская работа в области изучения закономерностей и прогнозирования притока воды в Новосибирское водохранилище. Разработаны и исследованы различные алгоритмы и модели прогнозирования притока разной дискретности (сутки, декада, квартал, год): модели с распределенным лагом, модели скользящего прогнозирования, модели на основе сингулярного спектрального анализа и моделетеки, а также метод последовательной идентификации составляющих временного ряда [2-4].

Одно из направлений работ связано с разработкой методов прогнозирования, основанных на выделении периода-аналога. Методы этого класса широко и эффективно используются в гидрологии для предсказания характеристик водного режима рек, уровней воды и объемов притока в водохранилища.

В данной статье приводится описание и результаты исследования разработанного адаптивного алгоритма прогнозирования гидрологического временного ряда на основе выбора периода-аналога. Предложенный адаптивный алгоритм тестировался на гидрологических временных рядах объема притока воды в Новосибирское водохранилище (река Обь). Данные предоставлены Верхне-Обским бассейновым водным управлением Федерального агентства водных ресурсов (г. Новосибирск).

2. Постановка задачи. Основная идея метода прогнозирования на основе выбора периода-аналога (года-аналога) заключается в следующем предположении: если значения прогнозируемого показателя за некоторые периоды рассматриваемого года оказываются близкими к значениям показателя соответствующих периодов другого года (предыстории процесса), то и в последующие периоды значения показателей между годами будут отличаться статистически незначимо.

Если руководствоваться этим предположением, то с помощью выбора года-аналога можно осуществлять различные типы прогнозирования (краткосрочное, среднесрочное, долгосрочное). В основе метода — задание мер близости между периодами (годами) [5].

На практике, как правило, применяется простейший базовый алгоритм, основанный на выборе одного года-аналога с использованием заданной меры близости [5, 6]. Однако на формирование значений временных рядов гидрологических характеристик оказывает влияние комплекс случайных факторов, что приводит к их большой изменчивости от года к году и невозможности однозначного выбора единственного года-аналога. Поэтому перспективной представляется идея разработки алгоритма, основанного на использовании нескольких годов-аналогов.

Точность прогнозирования определяется заданными на входе значениями параметров работы алгоритма. В качестве параметров задаются длина периода предыстории или длина обучающей выборки, на основе которой выбирается год-аналог, количество выбираемых лет-аналогов, последний период из выборки исходных данных, который учитывается при выборе аналога. Каждый из этих параметров оказывает существенное влияние на точность прогнозирования, при этом содержательно обосновать выбор параметров алгоритма не представляется возможным.

В статье поставлена задача разработки и исследования адаптивного алгоритма, реализующего автоматический выбор оптимальных параметров его работы, на основе использования обучающей выборки прогнозов.

3. Математическое описание задачи прогнозирования временного ряда на основе выбора периода-аналога. Пусть задан временной ряд (ВР) $y(t)$ наблюдений $y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)$ анализируемого случайного процесса $Y(t)$, произведенных в последовательные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n :

$$y(t) = \{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}. \quad (1)$$

Необходим прогноз значений временного ряда $y(t)$ на один или несколько временных тактов вперед $\hat{y}(t_{n+m})$, где $m=1, 2, \dots$ — горизонт прогноза.

В качестве исходных данных для прогнозирования используются фрагменты исследуемого временного ряда $y(t)$ (предыстория процесса).

Фрагмент значений ВР, соответствующий i -ому периоду:

$$y_i(t) = \{y(t_{n-p-i}), y(t_{n-p-i-1}), \dots, y(t_{n-p-i-l+1})\}, \quad (2)$$

где i — номер фрагмента ВР, $i = \overline{0, k}$, k — количество рассматриваемых периодов-аналогов; l — длина периода предыстории, который используется для выбора периода-аналога; p — период ВР (период дискретности ВР). Для ВР среднесуточных значений период дискретности $p = 365$ (366) дней соответствует годовой периодичности в изменении значений ВР, для ВР среднедекадных значений — $p = 36$, для ВР среднемесячных значений — $p = 12$ и т.д.

Мера близости (сходства) между фрагментом значений ВР непосредственно предшествующим прогнозируемому периоду $y_0(t)$ и соответствующими значениями предполагаемых периодов-аналогов $y_i(t)$, $i = \overline{1, k}$ вычисляется на основе использования одной из мер расстояний либо ранговых коэффициентов корреляции. Реализованы следующие меры расстояния.

Расстояние Евклида:

$$d_e \{y_0(t), y_i(t)\} = \sqrt{\sum_{j=0}^{l-1} (y(t_{n-j}) - y(t_{n-p+i-j}))^2}. \quad (3)$$

Расстояние Чебышева:

$$d_{ch} \{y_0(t), y_i(t)\} = \max_{0 \leq j \leq l-1} (|y(t_{n-j}) - y(t_{n-p+i-j})|). \quad (4)$$

Ранговый коэффициент корреляции Спирмена:

$$\tau_s \{y_0(t), y_i(t)\} = 1 - \frac{6}{(l-1)^3 - (l-1)} \sum_{j=0}^{l-1} (y(t_{n-j}) - y(t_{n-p+i-j}))^2. \quad (5)$$

Наиболее близким к прогнозируемому году принимается период-аналог, которому соответствует минимальное значение меры расстояния, либо максимальное значение коэффициента корреляции.

Например, для меры расстояния Евклида:

$$d_e^{(analog)} = \min_{1 \leq i \leq k} \{d_e \{y_0(t), y_i(t)\}\}. \quad (6)$$

В общем случае год-аналог выбирается по нескольким показателям, например, помимо ВР объема притока в предшествующие периоды рассматриваются ВР метеорологических показателей (температура воздуха, количество осадков). В этом случае используется мера расстояния, позволяющая находить год-аналог по совокупности показателей:

$$d_{i(mul)} = \sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{j=0}^{l-1} \frac{(y^{(r)}(t_{n-j}) - y^{(r)}(t_{n-p-i-j}))^2}{\bar{y}_j^{(r)}}}, \quad (7)$$

где R — количество ВР показателей, участвующих в выборе периода-аналога; $\bar{y}_j^{(r)}$ — среднее значение r -го показателя за j -ый период.

Исходные показатели имеют разную размерность и не могут сравниваться по вкладу, вносимому в определение года-аналога. Поэтому используется усреднение в (7) для приведения значений показателей к безразмерному виду.

В общем случае может быть выбрано несколько периодов-аналогов a с минимальными (максимальными) значениями меры близости.

4. Адаптивный алгоритм прогнозирования временного ряда на основе выбора периода-аналога. Для работы алгоритма прогнозирования на основе выбора периода-аналога необходимо задать следующие исходные данные:

- ВР значений показателей;
- тип прогнозируемого периода, зависимый период (сутки, декада, месяц, квартал, год) и его номер (например, 15 декада или 2 квартал);
- количество тактов прогнозирования (глубина прогноза) — m и входные параметры:

- количество рассматриваемых периодов-аналогов — k ;
 - количество выбираемых периодов-аналогов — a ;
 - длина периода предыстории для выбора периода-аналога — l ;
 - номер последнего периода, участвующего в выборе аналога — s .
- Например, если требуется прогноз на 9-ую декаду года, можно в обучающую выборку включить последнее значение показателя за 8-ую или 7-ую декады и т.д.;
- мера расстояния.

В алгоритме периоды-аналоги для прогнозируемого года выбираются на основе использования выбранной меры близости (3-5, 7). За прогнозную оценку значений исследуемого временного ряда $y(t)$ принимаются соответствующие значения, усредненные по периодам-аналогам с учетом нормализованных весов:

$$\hat{y}(t_{n+m}) = \sum_{i=1}^k w_{norm} \cdot y_i(t_{n+m-p-i}) \cdot f_i, m = 1, 2, \dots, \quad (8)$$

где $f_i = 1$, если i — период выбран в качестве периода-аналога и $f_i = 0$ — в противном случае; W_{inorm} — нормализованный вес года-аналога.

Нормализованный вес года-аналога рассчитывается по формуле:

$$W_{inorm} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^k W_i \cdot f_i}, \quad (9)$$

где W_i — вес года-аналога определяется по формуле:

$$W_i = \frac{d_{\min}}{d_i}, \quad (10)$$

где d_i — значение меры расстояния для i -го года, d_{\min} — значение меры расстояния для наиболее близкого года.

Каждый из заданных входных параметров алгоритма влияет на точность прогнозирования. При этом исследователь, как правило, не может содержательно обосновать выбор параметров алгоритма. Поэтому для повышения качества прогнозов целесообразным представляется реализация в алгоритме автоматического выбора оптимальных значений параметров, которые обеспечили бы максимальную точность прогнозов и уменьшили дисперсию прогнозной ошибки. Исходя из этого, было предложено реализовать в алгоритме автоматическую настройку параметров алгоритма в зависимости от исходных данных (временного ряда предыстории процесса), тем самым и обеспечить его адаптивность.

Идея адаптивного алгоритма прогнозирования заключается в формировании и последующем использовании обучающей выборки прогнозов. Выборка формируется из прогнозов, составленных для аналогичных исследуемому году периодов предыдущих лет с известными реальными значениями признаков при различных входных параметрах работы алгоритма.

При составлении выборки варьируются следующие параметры:

- количество выбираемых периодов-аналогов — $a_i, i = \overline{1, I}$;
- длина периода предыстории или длина обучающей выборки — $l_j, j = \overline{1, J}$;
- номер последнего учитываемого периода — $s_z, z = \overline{1, Z}$.

На первом этапе для каждого года составляется выборка, которая содержит в себе наборы параметров алгоритма, прогнозную оценку значений исследуемого временного ряда $y(t)$ на обучающей выборке.

ке и значения относительных ошибок для прогнозов, запущенных с этими параметрами. Общее количество прогнозов в выборке для одного года равно $Q = I \cdot J \cdot Z$, то есть она содержит все возможные комбинации параметров (полный перебор).

Относительная ошибка прогнозирования для h -года при задании q -ых параметров алгоритма определяется по формуле:

$$\varepsilon_{hq} = \frac{|y(t) - \hat{y}_{hq}(t)|}{y(t)}, q = \overline{1, Q}, h = \overline{1, H}, \quad (11)$$

где $y(t)$ — наблюдаемое (реальное) значение ВР; $\hat{y}_{hq}(t)$ — прогнозное значение ВР при выборе q -ых параметров алгоритма для h -года, H — количество лет в обучающей выборке.

На втором этапе определяются оптимальные параметры алгоритма, обеспечивающие минимальную суммарную относительную ошибку прогнозирования по совокупности лет:

$$\varepsilon = \min_{1 \leq q \leq Q} \sum_{h=1}^H \varepsilon_{hq}. \quad (12)$$

Таким образом, в алгоритме выполняется адаптация по следующим параметрам: длина обучающей выборки, на основе которой выбирается год-аналог, количество выбираемых лет-аналогов, последний период из выборки исходных данных, который учитывается при выборе аналога.

На третьем этапе выбирается несколько наиболее близких годов-аналогов к прогнозируемому году на основе использования выбранной меры близости (3-5,7) при задании оптимальных параметров работы алгоритма, определенных на предыдущем (втором) этапе.

На последнем этапе усредняется значение прогнозируемого показателя за период (сутки, декада, месяц) в выбранных годах-аналогах с учетом нормализованных весов. Это значение $\hat{y}(t_{n+m})$ принимается за прогноз показателя (8).

Адаптивный алгоритм может применяться как в случае использования в качестве исходных данных одного показателя, так и нескольких.

Программная реализация алгоритма была выполнена в среде *IDE NetBeans 8.0.2* на языке программирования *Java*.

Очевидно, что использование алгоритмов прогнозирования, базирующихся на выборе периода-аналога, возможно только для временных рядов, имеющих четко выраженную периодическую (сезонную) составляющую, обусловленную зависимостью изменения его значений от времени. Во временных рядах гидрологических характеристик рек — это

составляющая годового цикла, связанная с вращением Земли вокруг Солнца. Подобная периодическая закономерность имеет ясное происхождение и характерна для водного режима любой реки.

Кроме того, эффективность работы алгоритма во многом зависит от объема выборки исходных данных. Чем длиннее исследуемый временной ряд, описывающий предысторию процесса, тем вероятнее нахождение наиболее близкого года-аналога для прогнозируемого года и тем точнее определяются оптимальные параметры работы адаптивного алгоритма. Также следует отметить, что алгоритмы, основанные на выборе периода-аналога, пригодны для предсказания средних по водности лет с типичным распределением объема воды по периодам года и имеют низкую точность при прогнозировании аномальных лет, для которых не существует близких аналогов в выборке исходных данных.

5. Прогнозирование гидрологических временных рядов притока воды к створу Новосибирской ГЭС. Разработанный адаптивный алгоритм применялся для прогнозирования гидрологических временных рядов притока. В качестве исходных данных использовался ВР декадного объема притока воды (в м³/с) к створу Новосибирской ГЭС за период с 1985 по 2015 гг.

Для исследования эффективности алгоритма был выбран 2015 год. Прогнозировался объем притока за декады года (всего 36 декад). Таким образом, период с 1985 по 2014 гг. выступал в качестве обучающей выборки, а тестировался алгоритм на данных 2015 г.

Было выполнено прогнозирование с помощью базового алгоритма с выбором одного года-аналога. В качестве меры близости использовалось расстояние Евклида, период предыстории для выбора года-аналога составлял 35 предыдущих прогнозируемому периодов (декад).

Также было выполнено прогнозирование с помощью адаптивного алгоритма. В качестве меры близости использовалось расстояние Евклида, период предыстории рассматривался от 3 до 35 предыдущих прогнозируемому периоду декад, количество годов-аналогов изменялось от 1 до 5.

В таблице 1 приведены характеристики точности прогнозирования, а именно: — средняя относительная ошибка прогноза, σ_ε — среднеквадратическое отклонение ошибки прогноза, $\varepsilon_{cp, \min}$ и $\varepsilon_{cp, \max}$ — минимальная и максимальная относительные ошибки прогноза и процент оправдываемости прогнозов. В качестве оценки оправдываемости прогноза использовалась допустимая погрешность (ошибка) δ_{don} —

предельное значение погрешности (ошибки) прогноза, при котором последний считается оправдавшимся, принятая в гидрологии [7]:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \cdot \sigma, \quad (13)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение прогнозируемой величины от ее среднего значения за период наблюдения.

Таблица 1. Характеристики точности прогнозирования

| Алгоритм | Характеристики точности | | | | |
|------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| | $\varepsilon_{cp.}$ | σ_{ε} | $\varepsilon_{cp.min}$ | $\varepsilon_{cp.max}$ | % оправдываемости |
| Базовый | 0,25 | 632,5 | 0 | 0,88 | 61% |
| Адаптивный | 0,14 | 414,3 | 0 | 0,48 | 78% |

На рисунке 1 приведены фактический (реально наблюдаемый) и модельные (рассчитанные по базовому алгоритму и адаптивному алгоритмам) гидрографы декадного притока воды в Новосибирское водохранилище за 2015 г.

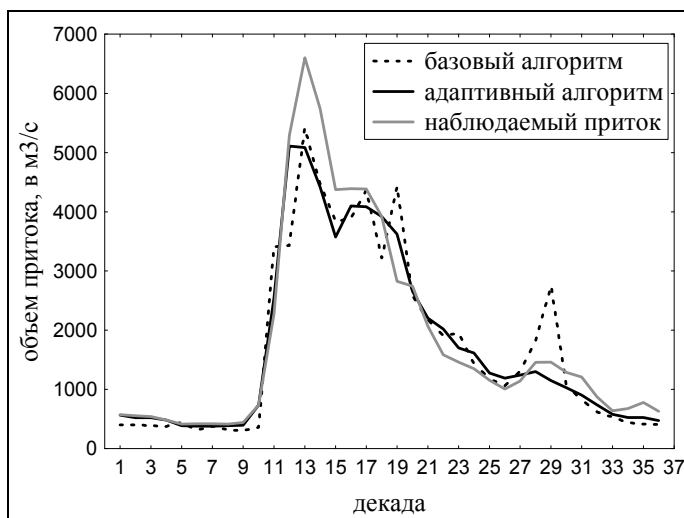


Рис. 1. Фактический и модельные гидрографы декадного притока воды в Новосибирское водохранилище за 2015 год

Результаты проведенного исследования показали, что характеристики точности прогнозирования у адаптивного алгоритма лучше, чем у базового (см. таблицу 1). Средняя относительная ошибка прогноза и дисперсия прогнозной ошибки ниже при использовании адаптивного алгоритма и равны, соответственно, 0,14 и 414,3, тогда как у

базового алгоритма аналогичные характеристики — 0,25 и 632,5. Применение адаптивного алгоритма обеспечило 78% оправдываемости прогнозов, тогда как базовый алгоритм позволил спрогнозировать декадный объем притока только с 61% оправдываемостью.

6. Заключение. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об эффективности использования адаптивного алгоритма для прогнозирования гидрологических временных рядов. Адаптивный алгоритм обеспечивает более высокую точность прогнозирования по сравнению с базовым; уменьшается средняя относительная ошибка прогноза, уменьшается дисперсия прогнозной ошибки, повышается оправдываемость прогнозов.

В дальнейшем планируется использовать описанный адаптивный алгоритм прогнозирования на основе выбора периода-аналога в комплексе с другими методами, предложенными ранее [2-4] и разработать соответствующую методику прогнозирования. Исследования показали [2, 3], что комплексное использование для прогнозирования набора взаимодополняющих и уточняющих друг друга моделей позволяет повысить качество прогнозов, а именно повысить их точность, оправдываемость и увеличить заблаговременность.

Литература

1. Привальский В.Е., Панченко В.А., Асарина Е.Ю. Модели временных рядов с приложениями в гидрологии // СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 226 с.
2. Альсова О.К., Губарев В.В. Решение задач управления Новосибирским водохранилищем на основе прогнозирования притока воды к створу ГЭС // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. 2014. С. 3148–3158.
3. Губарев В.В., Альсова О.К. Прогнозирование временных рядов в гидрологических задачах на основе вариативного моделирования // Автометрия. 2006. Вып. 42. № 6. С.45–52.
4. Абалов Н.В., Губарев В.В., Альсова О.К. Использование методов сингулярного спектрального анализа и моделетеки при идентификации временных рядов // Труды СПИИРАН. 2014. № 4(35). С. 49–63.
5. Crochet P. Probabilistic daily streamflow forecast using an analogue sorting method // Icelanding Meteorological Office. 2013. 39 p.
6. Урбанова О.Н., Семанов Д.А. Методика расчета наполнения прудов для прогнозирования безопасного пропуска весеннего половодья // География и природные ресурсы. 2010. С. 144–148.
7. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуски 1-3 // Л.: Гидрометеиздат, 1989. 254 с.

References

1. Privalsky V.E., Panchenko V.A., Asarin E.Y. *Modeli vremennyh ryadov s prilozheniyami v gidrologii* [Time series models with applications in hydrology]. SPb.: Gidrometeoizdat. 1992. 226 p. (In Russ.).
2. Alsova O.K., Gubarev V.V. [Solution of control problems of Novosibirsk reservoir based on the prediction of water inflow to the alignment of HES] *XII Vserossiyskoe soveshhanie po problemam upravleniya VSPU-2014* [XII All-Russian Conference on Control Problems VSPU-2014]. 2014. pp.3148–3158. (In Russ.).

3. Gubarev V.V., Alsova O.K. [Forecasting of time series of hydrological problems based on variant modeling]. *Avtometrija – Avtometriya*. 2006. no. 42. pp. 45–52. (In Russ.).
4. Abalov N.V., Gubarev V.V., Alsova O.K. [Use of Methods of Singular Spectral Analysis and Modeletka for the Identification of Time Series]. *Trudy SPPIRAN – SPPIRAS Proceedings*. 2014. no. 4(35). pp. 49–63. (In Russ.).
5. *Crochet P.* Probabilistic daily stream flow forecast using an analogue sorting method. *Icelanding Meteorological Office*. 2013. 39 p.
6. Urbanova O.N., Semanov D.A. [Methods of calculating the filling of ponds to predict the safe passage of spring flood] *Geografija i prirodnye resursy – Geography and Natural resources*. 2010. pp. 144–148. (In Russ.).
7. *Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam* [Guide to Hydrological]. Ussue 1-3. L.: Gidrometeoizdat. 1989. 254 p. (In Russ.).

Альсова Ольга Константиновна — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедры вычислительной техники, ФГБОУ ВПО Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). Область научных интересов: исследование и разработка методов и средств прогнозирования временных рядов, компьютерное моделирование систем, интеллектуальный анализ данных. Число научных публикаций — 50. alsowa@mail.ru; пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630073; п.т.: 89134627927.

Alsova Olga Constantinovna — Ph.D., associate professor, associate professor of computer sciences department, Novosibirsk State Technical University (NSTU). Research interests: research and development of methods and means of time series forecasting, computer modeling of systems, intellectual data analysis. The number of publications — 50. alsowa@mail.ru; 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia; office phone: 89134627927.

РЕФЕРАТ

Альсова О.К. **Адаптивный алгоритм прогнозирования гидрологических временных рядов на основе выбора периода-аналога.**

В гидрологии широко и эффективно используются методы, основанные на выборе периода-аналога для предсказания значений гидрологических характеристик рек (уровней воды, объемов притока в водохранилища).

Базовый алгоритм предполагает выбор одного периода-аналога с использованием заданной меры близости. Однако на практике не всегда можно однозначно выбрать единственный год-аналог вследствие большой изменчивости значений гидрологических характеристик, формирующихся под влиянием комплекса случайных факторов.

К тому же точность прогнозирования во многом определяется заданными параметрами работы алгоритма, выбор которых невозможно содержательно обосновать.

В статье предлагается адаптивный алгоритм, предполагающий выбор и взвешенный учет при прогнозировании нескольких периодов аналогов. Оптимальные параметры работы алгоритма настраиваются автоматически на основе использования обучающей выборки прогнозов.

Предложенный алгоритм применялся для прогнозирования гидрологических временных рядов притока. В качестве исходных данных использовался ВР декадного объема притока в Новосибирское водохранилище за период с 1985 по 2015 гг. Прогнозировался объем притока на декады 2015 года (36 декад) по базовому алгоритму и адаптивному алгоритмам.

Результаты исследования подтвердили эффективность использования адаптивного алгоритма для прогнозирования гидрологических временных рядов. Адаптивный алгоритм обеспечивает более высокую точность прогнозирования по сравнению с базовым алгоритмом, а именно уменьшается средняя относительная ошибка прогнозирования, уменьшается дисперсия прогнозной ошибки, повышается оправдываемость прогнозов.

SUMMARY

Alsova O.C. **An Adaptive Algorithm for Hydrological Time Series Forecasting Based on the Selection of an Analogue-Period.**

The methods based on the selection of analogue period are widely and effectively used in hydrology for forecasting the hydrological characteristics of rivers (water level, inflow to reservoir).

The basic algorithm assumes selection of one analogue period using a predetermined similarity measure. However, in practice it is not always possible to select uniquely a single year because of the large variability of the hydrological characteristic values formed under the influence of random factors.

In addition, forecast accuracy depends on the algorithm parameters, selection of which cannot be meaningfully substantiated.

In the paper, the adaptive algorithm for forecasting based on the selection and normalized account in prediction of some analogue periods is proposed. The optimal parameters of the algorithm are automatically defined based on the use of training sample of forecasts.

The proposed adaptive algorithm was employed for forecasting of hydrological time series of river inflow. The initial data are a decade inflow to Novosibirsk Reservoir for the period from 1985 to 2015. The inflow for the decades of 2015 year (36 decades) was predicted with use of basic and adaptive algorithms.

The results of the research confirmed the efficiency of the adaptive algorithm for forecasting of hydrological time series.

Adaptive algorithm provides higher prediction accuracy compared with the basic algorithm, i.e. it reduces a mean relative prediction error and a variance of forecast error as well as improves accuracy of forecasts.