

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК: 004.8:91

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОСТИ РЕК КЫРГЫЗСТАНА И ЕЕ АПРОБАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЧУ

Статья поступила в редакцию 19.09.2017, в окончательном варианте – 10.01.2018.

Тен Иосиф Григорьевич, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66,
кандидат технических наук, профессор, e-mail: iosiften@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4806-5554
Мусина Индира Рафиковна, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: musina-indira@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0027-2618
Семененко Анатолий Сергеевич, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66,
старший преподаватель, e-mail: anatoliysemenenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6960-9178
Мусабаев Эмильбек Бахытжанович, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66,
старший преподаватель, аспирант, e-mail: emil.musabaev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1355-3192

Рассмотрены вопросы построения автоматизированной системы прогнозирования (АСП) водности рек Кыргызстана и апробации этой АСП на примере реки Чу, которая является одной из крупнейших в стране. Указаны основные факторы, влияющие на результаты прогнозирования: интенсивность солнечной инсоляции; атмосферные осадки; температура воздуха; движение подземных вод у рек. Приведены проблемы, затрудняющие составление гидропрогнозов для горных рек: недостаток исходных наблюдений (связанный, прежде всего, с труднодоступностью территорий, множеством впадин этих рек, сменой ими русел и т.д.); сложность учета всех факторов, влияющих на водность рек в условиях высокогорья. Для получения прогнозных значений водности реки в АСП предлагается применять статистические методы краткосрочного прогнозирования временных рядов, отражающих данные стока рек. Обоснована целесообразность использования при построении АСП алгоритма прогнозирования для структурно-изменяющихся временных рядов, основанного на принципе самоорганизации. Описана функциональность разработанной АСП, работающей на основе этого алгоритма. Обоснованы технические требования к оборудованию, предназначенному для использования АСП. Приведены результаты апробации АСП на примере прогнозирования водности реки Чу.

Ключевые слова: гидроресурсы Кыргызстана, прогнозирование водности рек, краткосрочное прогнозирование, прогнозирование структурно-изменяющихся временных рядов, алгоритм прогнозирования, предиктор, принцип самоорганизации, требования к системе прогнозирования, автоматизированная система прогнозирования, проектирование, применение диаграмм UML

DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM FOR SHORT-TERM FORECASTING OF KYRGYZSTAN RIVER WATER CONTENT AND ITS TESTING ON THE EXAMPLE OF THE CHU RIVER

The article was received by editorial board on 19.09.2017, in the final version – 10.01.2018.

Ten Iosif G., Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 66 Ch. Aytmatov Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic,
Cand. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: iosiften@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4806-5554>
Musina Indira R., Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 66 Ch. Aytmatov Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: musina-indira@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0027-2618
Semenenko Anatoliy S., Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 66 Ch. Aytmatov Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic,
Senior Lecturer, e-mail: anatoliysemenenko@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0002-6960-9178>
Musabaev Emilbek B., Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 66 Ch. Aytmatov Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic,
Senior Lecturer, post-graduate student, e-mail: emil.musabaev@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1355-3192>

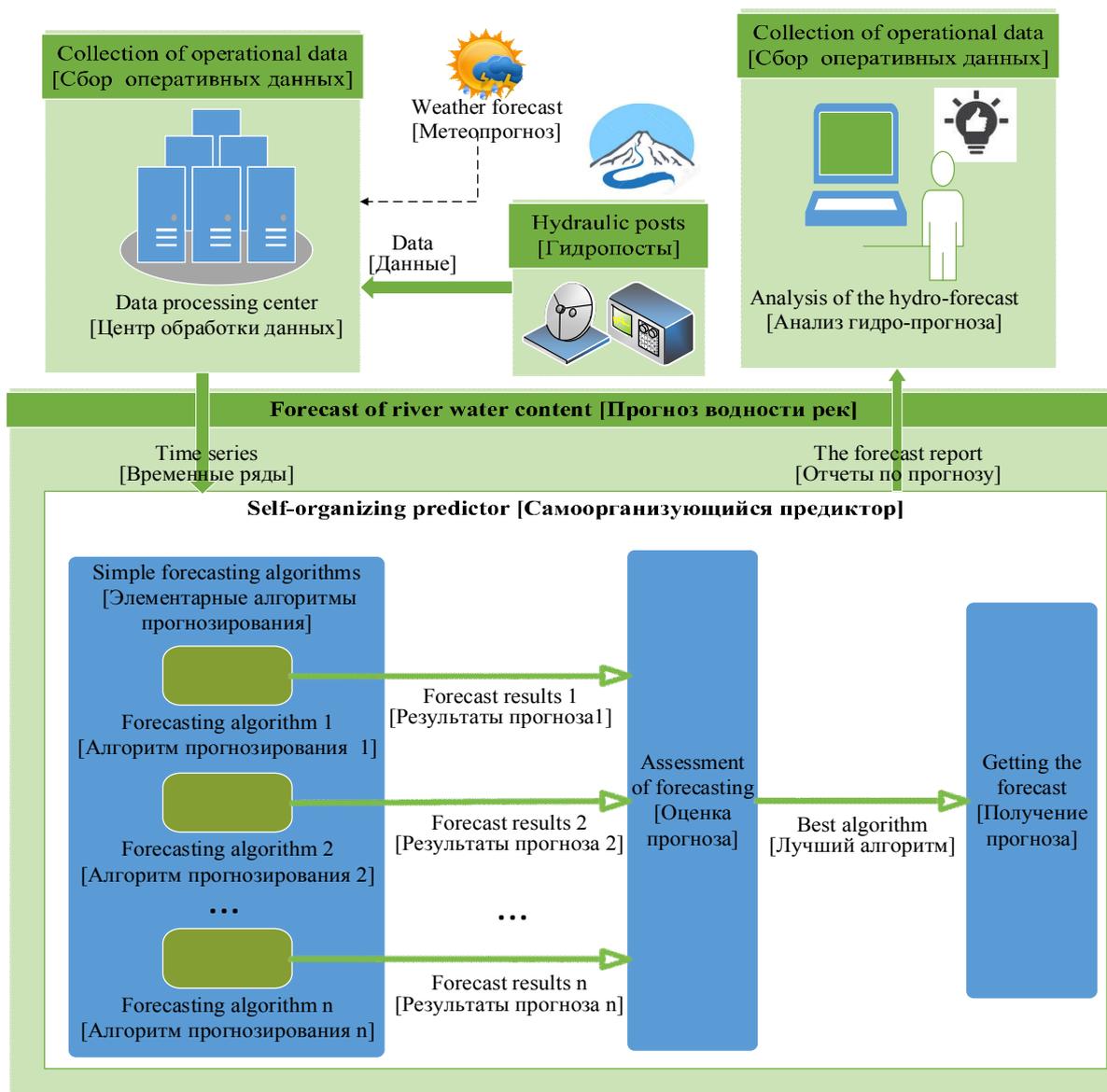
The aim of this project is to develop an automated forecasting system (AFS) for assessing water content of Kyrgyzstan rivers and its testing on the example of the Chu River, one of the largest rivers in the country. The main factors that influence the forecasting results are the intensity of solar insolation, amount of precipitation, air temperature, and groundwater movement near rivers. The problems that affect the results of hydrological forecasts for mountain rivers are lack of initial observations (due to the inaccessibility of territories and multiple ruggedness of these rivers, changes of the river beds, etc.) and also difficulties in considering all the factors which affect water content in high-mountain conditions. This article proposes to use statistical methods for short-term forecasting of the time series that represent river flow data to obtain predicted values of river water content. The paper justifies practicability of using the forecasting algorithm for structurally changing time series (based on the principle of self-organization) within the AFS development.

The functions of the AFS based on this algorithm are described, and the technical requirements for the AFS equipment are grounded.

The study is illustrated with the AFS testing results on the example of the Chu River.

Keywords: water resources of Kyrgyzstan, forecasting of river water content, short-term forecasting, forecasting of structurally changing time series, forecasting algorithm, predictor, self-organization principle, requirements for the forecasting system, automated forecasting system, design, application of UML diagrams.

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Результаты краткосрочного прогнозирования стока рек могут быть важны для различных групп юридических и физических лиц. При этом необходимо решение двух основных задач: обеспечение точности прогнозов при наличии достаточно ограниченных объемов данных наблюдений; обеспечение оперативной доступности результатов прогнозирования для заинтересованных физических лиц и организаций.

Для краткосрочного прогнозирования стока рек могут использоваться различные подходы (методы). При этом для горных рек имеется значительная специфика построения прогнозов, связанная с особенностью источников питания рек, размерами и формой их водосборов и пр. В существующих разработках прогнозирующих систем эта специфика учтена недостаточно полно. Поэтому целями данной работы были следующие: создание автоматизированной системы краткосрочного (порядка одного месяца) прогнозирования стока горных рек; разработка средств обеспечения доступности прогнозов для различных категорий заинтересованных лиц; апробация этой системы на примере реки Чу в Кыргызстане.

Общая характеристика проблематики прогнозирования для водных ресурсов республики Кыргызстан. Кыргызстан - единственная страна в Центральной Азии, водные ресурсы которой полностью формируются на ее собственной территории. В этом состоит ее гидрологическая особенность и преимущество перед соседними странами. Гидроэнергетический потенциал рек Кыргызстана суммарно составляет около 174 млрд кВт*час, а мощность – 19,8 млн кВт. Огромные объемы водных ресурсов сконцентрированы в 6580 ледниках (около 760 млрд м³ [13]).

Водные ресурсы страны играют важную роль в обеспечении экологической и экономической стабильности всего региона Центральной Азии. Общий годовой объем стока рек Кыргызстана составляет 47–52 км³. Воды, формирующиеся на территории Кыргызстана, поступают в Узбекистан, Казахстан, Таджикистан и Китай [6]. Большая часть стока рек Кыргызстана формируется в горах, получая основную часть питания за счет таяния ледников и снежников, в меньшей степени – от атмосферных осадков и подземных вод. Режимы рек определяются высотным положением водосборов, их ориентацией, степенью увлажнения.

Территория Кыргызской Республики в значительной мере подвержена воздействию селевых и паводковых процессов. В среднем ежегодно в республике происходит около 70 чрезвычайных ситуаций, связанных с селями и паводками, что составляет до 29–30 % всех чрезвычайных ситуаций. Селепаводковым поражениям подвергаются многие населенные пункты (НП) республики, т.к. 95 % всех НП находятся на берегах рек (или конусах их выноса), на временных водотоках; транспортные коммуникации; сельхозугодья; гидротехнические, ирригационные сооружения и другие объекты. В то же время снижение уровня воды в реках в маловодные годы неблагоприятно сказывается на сельском хозяйстве и на гидроэнергетике [10].

Наличие заблаговременной и достаточно точной прогнозной информации позволяет рационально спланировать и провести превентивные мероприятия по недопущению, либо минимизации ущерба от наводнений, включая следующее: строительство защитных инженерных сооружений; рациональную застройку и планировку населенных пунктов, включая, при необходимости, подсыпку отдельных участков для защиты от подтопления; проведение берегоукрепительных работ; очистку русел рек, систем водоотведения и ирригации; организацию служб наблюдения и оповещения; лесомелиоративные мероприятия.

Заблаговременный прогноз снижения уровня воды в бассейнах рек позволяет своевременно принять решения по более экономному расходованию гидроресурсов. Для количественной оценки водности реки используют показатель «расход объема воды в секунду» (м³/с) или «значение стока» (км³) за определенный период.

Обоснование актуальности разработки. На сегодняшний день для прогнозирования водности/стоков рек используют различные модели, в которых имеются неизвестные параметры, зависящие от многих факторов. Прогностическое качество моделей меняется в зависимости от места расположения реки, источников ее питания, эффективности алгоритмов используемых в модели и пр. [2, 3]. При этом в целом ряде случаев на одном временном интервале динамику водности рек целесообразно описывать одной математической моделью, а на другом – другой моделью. Существенно, что при использовании регрессионных уравнений, систем дифференциальных уравнений и пр., часть влияющих на водность факторов не учитывается (или учитывается не в полном объеме) – за счет принимаемой формализации задач. Однако суммарное влияние внешних факторов (последствия их влияния) отражено в самом графике водности/стока, представленном в виде временного ряда (ВР). При таких условиях прогнозы могут строиться с использованием информации, имеющейся во ВР [18]. Это не исключает (но и не требует в обязательном порядке) использования иной информации, внешней по отношению к ВР. Особенно эффективным считается использование ВР при краткосрочных прогнозах. Под ними мы будем понимать прогнозы на 1–2 шага по времени вперед (продолжительностью примерно месяц). В то же время в данной статье мы не будем рассматривать сверхкраткосрочные прогнозы, соответствующие периоду в несколько суток, т.к. они могут сильно зависеть от ливневых осадков. При этом мы по умолчанию предполагаем, что ВР являются равномерными, т.е. промежутки по времени между отсчетами во ВР постоянны.

В данной статье мы для определенности рассматриваем апробацию предлагаемой методики прогнозирования (и реализующего ее программного средства, разработанного авторами) на примере реки Чу. Поэтому охарактеризуем ее подробнее.

Чу – главная река северного Кыргызстана. Она имеет общую длину 1030 км, из которых 260 км относится к территории Кыргызстана. Площадь бассейна р. Чу составляет 67,5 тыс. км², из них в пределах Кыргызстана 22 тыс. км². Средний многолетний расход воды, после слияния с р. Чон-Кемин составляет 53 м³/сек, а на границе с Казахстаном 71 м³/сек [12]. Бассейн р. Чу отличается наличием на его тер-

ритории множества горных впадин различного размера. Сток реки формируется в Кочкорской впадине от слияния рек Джуанарык и Кочкор. Рельеф верховий бассейна представлен глубокорасчлененными склонами хребтов Джумгол, Каракокты, Байдулы, Каракуджур, восточным окончанием Кыргызского хребта и западным окончанием хребта Терской-Алатоо. Минуя оз. Иссык-Куль и через узкое Боомское ущелье, р. Чу выходит в одноименную долину, где принимает ряд крупных и мелких притоков: Чон-Кемин (справа) и левые притоки Кызыл-Суу, Шамси, Кеgetы, Иссык-Ата, Аламедин, Ала-Арча, Ак-Суу, Сокулук, Кара-Балта, Чон-Каинды, Аспара и другие, которые стекают с северного склона Кыргызского хребта [16]. Всего в реку Чу впадает 19 горных рек (притоков).

По характеру режима (гидрографу стока) река Чу относится к Тянь-шаньскому типу с двумя ярко выраженными фазами: весенне-летнего половодья и осенне-зимней меженью. При этом в половодье отмечается два пика: весенний (апрель-июнь), связанный с периодом сезонного таяния снега в нижней части бассейна реки, и летний (июль-сентябрь) – он вызывается таянием ледников и вечных снегов высокогорья.

На формирование стока реки Чу (как, впрочем и на другие горные реки) влияют температура воздуха, солнечная инсоляция, интенсивность притока подземных вод, интенсивность атмосферных осадков и т.д.

Наблюдение за состоянием водности реки Чу ведется на 13-ти гидропостах. Метеорологические данные замеряются четыре раза в день. Гидрологические данные замеряются два раза в день (в 8:00 и в 20:00). Каждый гидропост отслеживает гидрологические и метеорологические показатели, которые передаются на ежедневной основе (оперативные данные) и по месяцам (режимные данные) на станции сбора информации.

Гидрометеоданные поступают на эти станции до 10:00 ч. Здесь они проверяются, шифруются, а затем передаются в центральный отдел коммуникации Агентства по гидрометеорологии при МЧС КР (Кыргызгидромет).

Отдел коммуникации расшифровывает их (при необходимости уточняет данные у станций) и вносит в централизованную базу данных.

На рисунке 1 в виде графика (соответствующего данным в виде ВР) представлена динамика изменения стока реки Чу (в км³) по месяцам с декабря 2014 г. по март 2017 г. (данные – общедоступные, взяты в мае 2017 г. с сайта Кыргызгидромета). Таким образом, шаг по времени в этом ВР был взят равным первому месяцу, что позволило исключить влияние «сверхкраткосрочных факторов» типа ливневых осадков.

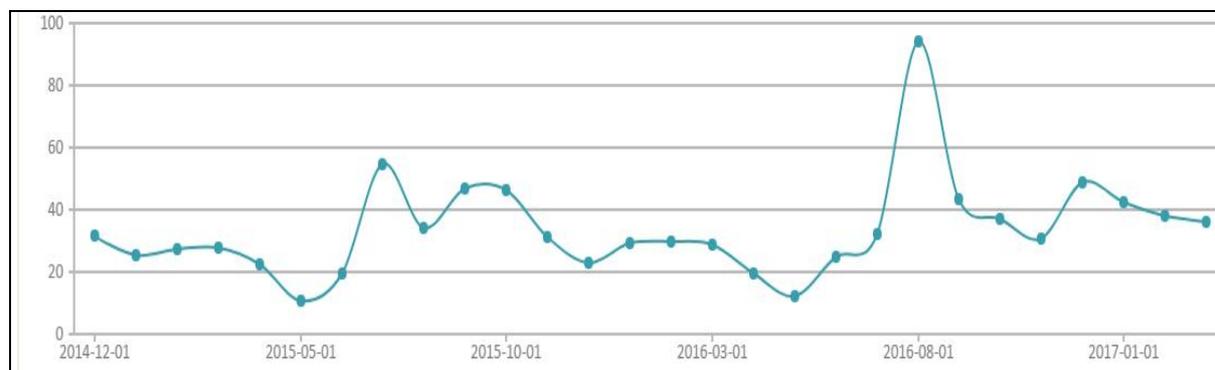


Рисунок 1 – Значения стока (в куб. километрах) реки Чу за первые дни каждого месяца с 12.2014–03.2017 гг.

Для рек Кыргызстана, как показывает анализ данных, характерна нестационарность среднего значения в многолетних рядах стоковых характеристик. Они очень часто выявляются «на глаз» в рядах месячных, квартальных и сезонных расходов по рекам Кыргызстана. В то же время такие нестационарности менее характерны для рек Таджикистана и для годовых расходов рек этих двух республик [1].

Из рисунка 1 видно, что характер изменения расхода воды в реке в зависимости от времени имеет такой вид, что трудно подобрать одну единственную функцию зависимости расхода от времени, которая бы адекватно описывала с одинаковой точностью эту зависимость на всем временном интервале. Поэтому для обеспечения одинаковой точности аппроксимации экспериментальной кривой целесообразно использовать различные функциональные зависимости расхода воды от времени на разных участках кривой.

Приведем определение структурно – изменяющейся функции [20]. Структурно-изменяющейся функцией $\varphi(t)$ определенной на заданном интервале вида $[t_0, t_1]$ по независимой переменной t , будем называть функцию, для которой существует такое ненулевое значение параметра δ при котором справедливо условие:

$$|f_i(t) - f_j(t)| > \delta \text{ для всех } t \in [t_0, t_1], \text{ если } i \neq j, \text{ где } i, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\left| f_i(t) - \varphi(t) \right| \ll \text{delta} \quad \text{для всех } t \in [t_0^i, t_1^i], \text{ где } i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^n (t_1^i - t_0^i) = t_1 - t_0,$$

где n – количество подинтервалов, на которые делится весь интервал $[t_0, t_1]$; $f_i(t)$ – элементарная функция, которая с погрешностью значительно меньшей величины delta описывает функцию $\varphi(t)$ на подинтервале $[t_0^i, t_1^i]$.

Иными словами, структурно-изменяющейся функцией будет называться любая функция, которая на интервале изменения независимой переменной может быть почти точно (в пределах положительной величины параметра delta) представлена в виде соединения (совокупности) кусков различных функций.

Временной ряд, который можно представить в виде структурно-изменяющейся функции, будем называть структурно-изменяющимся [15]. Использовать один и тот же метод (или модель) прогнозирования подобных ВР на любом интервале по времени нерационально, т.к. при этом будут большие погрешности. Эти погрешности возникают, например, если использовать один вид функции вида $\beta(x, t)$ с вектором настраиваемых параметров X . Чтобы расширить возможности приспособления функции $\beta(x, t)$ к потенциально возможным моделям, которыми будет точно описываться реальная функция $\varphi(t)$, потребуется достаточно сложная модель функции $\beta(x, t)$ с большим количеством настраиваемых параметров X . Такая параметрическая адаптация потребует больших временных (вычислительных) затрат и, самое главное, всегда имеются пределы для уменьшения погрешности из-за «жесткости» структуры функции $\beta(x, t)$; из-за неудачного выбора настраиваемой модели $\beta(x, t)$. Поэтому наше предложение заключается в применении совокупности простых моделей $f_i(t), i = 1, 2, \dots, n$, где параметр n может быть достаточно большим числом. При таком подходе вопросы, связанные с затратами времени на вычисления по более простой модели $f_i(t)$ могут быть резко снижены – за счет возможности применения параллельных вычислений для каждой элементарной модели. Самоорганизующийся алгоритм должен отслеживать то, какая из элементарных функций наилучшим образом подходит для описания фактической зависимости расхода потока от времени на данном временном отрезке; должен производить переключения на соответствующую элементарную (простую) функцию. Количество элементарных функций будет определяться требуемой точностью описания реальной структурно-изменяющейся функции. Параметр n может достигать очень больших значений. В силу этого такой алгоритм моделирования структурно-изменяющейся случайной функции для прогнозирования расхода потока целесообразно реализовывать с помощью компьютерных систем (программных средств).

Для получения достоверного прогноза водности реки представляется рациональной разработка автоматизированной системы краткосрочного прогнозирования (АСКП), основанной на применении адаптивных методов, которые позволят учитывать изменяющуюся структуру ВР.

Разрабатываемая АСКП для рассматриваемых ВР, позволит получать краткосрочный (в пределах одного-двух месяцев) прогноз водности/стока рек; вести учет фактических данных; рассчитывать ошибку прогнозирования; предоставлять пользователям (заинтересованным лицам) информацию в виде графиков и таблиц. Эта разработка будет являться отдельным программным модулем геоинформационной системы мониторинга водных ресурсов Кыргызской республики (КР) на web-платформе, которая будет доступна как для пользователей стационарных компьютеров, так и для тех лиц, которые используют мобильные устройства. Таким образом, круг потенциальных пользователей разработки достаточно широкий.

Используемый алгоритм прогнозирования. В настоящее время методы исследования и прогнозирования одномерных и многомерных ВР становятся все более популярными (востребованными). Это связано с тем, что получение, накопление и анализ данных в таких рядах очень важны для информационно-аналитической поддержки принятия решений, в том числе на основе прогнозов [4].

При создании АСКП необходимо, прежде всего, решить вопрос о выборе модели (и соответствующих ей алгоритмов) прогнозирования.

Многие модели прогнозирования содержат параметры, значения которых заранее неизвестны, а получение их в порядке калибровки моделей часто представляется весьма проблематичным. В частности, для регрессионных прогнозных уравнений часто нужно заранее знать порядок прогнозирующей модели (степень прогнозирующего полинома). В этих случаях необходимо иметь длинные ВР наблюдений (предысторию) для оценки этих параметров. В то же время на практике часто встречаются ряды, содержащие не более 30 точек.

К сожалению, для методов прогнозирования нет строгой процедуры оценки необходимой или достаточной длины ВР, а вопросы формализации априорных оценок точности прогнозов разработаны недостаточно полно. Поэтому вероятности получения недостоверных прогнозов в ряде случаев могут быть достаточно высокими.

В силу этого в АСКП предлагается использовать для прогнозирования алгоритм, построенный на принципе самоорганизации. Самоорганизация – это метод адаптивного синтеза (адаптации) сложных систем. Если априорная неопределенность относится лишь к параметрам системы при постоянной (например, заданной) структуре, то тогда можно применять известные алгоритмы адаптации и обучения [17]. Если же неопределенной является структура, то тогда требуются использование алгоритмов самоорганизации для структурной идентификации [5].

Использование алгоритма, основанного на принципе самоорганизации, позволяет получать достаточно точные прогнозы как на коротких, так и на длинных структурно-изменяющихся ВР [11, 19]. При этом такие алгоритмы не требуют знания значений тех параметров, которые заранее не определены. Краткосрочное прогнозирование, основанное на принципе самоорганизации, позволяет получать прогноз для структурно-изменяющихся ВР. Оно состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Формирование базового множества из известных методов (алгоритмов) сглаживания ВР и прогнозирования. На этом шаге формируется множество простых (элементарных) алгоритмов, которые будут использоваться при конструировании самоорганизующегося алгоритма. Под словом «алгоритм прогнозирования» в рамках данной статьи мы будем понимать реализацию какого-либо предиктора с заданием диапазонов (в которых будут изменяться его коэффициенты) и шага дискретизации. Алгоритмы, из которых формируется это множество, будем называть элементарными. В базовое множество (состоящее из элементарных алгоритмов) можно включить простые, но в тоже время, научно обоснованные статистические методы.

В отношении сглаживания ВР (с целью удаления из него «высокочастотных» помех) это может быть скользящее среднее [9]; простое экспоненциальное сглаживание нулевого, первого или второго порядков с различными значениями параметра сглаживания [9].

В то же время в число «элементарных» можно включить и методы, которые уже обладают свойствами адаптации, например, методы Брауна, Тригга – Лича [8].

Шаг 2. Выбор критерия оценки для отбора лучшего алгоритма прогнозирования. Качество прогнозирования оценивается по совокупности нескольких критериев: относительная (или абсолютная) ошибка прогнозирования, рассчитанная на экспериментальной выборке; средняя арифметическая ошибка; среднеквадратическое отклонение, количество «побед» – количество точек на выборке из фактических данных, где элементарный алгоритм показал наилучший результат по сравнению с другими алгоритмами. Как частный случай может быть взят один критерий.

Шаг 3. Обучающая стадия самоорганизующегося алгоритма прогнозирования. Проводится прогнозирование на обучающейся выборке, где известны фактические значения для прогнозируемых показателей. Прогнозирование проводится с помощью элементарных алгоритмов из конечного множества, сформированного на шаге 1.

Шаг 4. Оценивание качества работы алгоритмов. Производится оценка качества работы каждого из элементарных алгоритмов согласно критерию, выбранному на шаге 2.

Шаг 5. Прогнозирование на будущий момент времени. В качестве прогнозного значения берется расчетная величина, полученная по элементарному алгоритму, лучшему (шаг 4) по критерию, выбранному на шаге 2.

При разработке АСКП нами использовались элементарные алгоритмы, которые были построены на основе методов сглаживания ВР и методов прогнозирования.

Были выбраны следующие методы *сглаживания рядов*:

- метод простого экспоненциального сглаживания (МПЭС) по полиномиальной модели нулевого, первого и второго порядков [9];

- метод двойного сглаживания Брауна [9]

и методы прогнозирования:

- Модель Тригга – Лича и его модификация – модель Тригга – Лича – Шоуна [8];

- Метод эволюции (метод У. Чоу) [9].

Общие особенности выбранных методов: сравнительная простота; экономичность вычислений; возможность автоматического построения прогнозов.

Достоинства метода экспоненциального сглаживания: возможности учета весов для значений в исходной информации; простота реализации вычислительных операций; гибкость описания различных видов динамик процессов [8].

Как показывает практика [8], адаптивная модель Брауна для линейно-аддитивного тренда является эффективной для многих практических задач.

Модель Тригга – Лича и его модификация модель Тригга – Лича – Шоуна, которые используют следящий контрольный сигнал [9], обладают повышенной способностью к самообучению (они относятся к моделям с адаптивными параметрами адаптации).

Метод селекции [8] комбинирует экспоненциальное сглаживание с методом эволюционного планирования, предлагает процедуру адаптации параметра сглаживания к изменениям в динамике ряда.

Методы сглаживания более устойчивы к случайным ошибкам в данных измерений. Данные по расходам воды в реках получают сложным методом, который может «благоприятствовать» появлению ошибок. В рамках использования этого метода могут существовать неустраняемые ошибки измерений таких показателей как уровни воды, скорости потоков воды, геометрические характеристики измерительного створа сечения реки (который подвержен изменениям во времени) и т.д. Эти ошибки могут суммироваться и приводить к значительным погрешностям измерений расхода воды на гидропостах.

Методы прогнозирования обычно достаточно чувствительны к ошибкам в исходных данных. При этом ошибки прогнозов по величине могут быть больше ошибок в исходных данных, в т.ч. из-за нерационального выбора алгоритмов. Поэтому использование самоорганизующихся алгоритмов, позволяющих выбрать наилучший элементарный алгоритм для соответствующего участка ВР, представляется рациональным решением для рассматриваемых задач.

Требования к разрабатываемой АСКП. Разрабатываемое программное обеспечение должно выполнять следующие функции.

- Считывание данных (для прогнозирования) из внешней базы данных или их ввод в систему вручную.
- Предварительная подготовка данных для прогнозирования (при необходимости проводится интерполяция данных, если исходные значения известны на неравномерной сетке по времени).
- Предоставление пользователю возможности выбора диапазона исходных данных для выполнения прогноза (опорный участок ВР).
- Предоставление пользователю возможности настройки параметров методов, используемых для прогнозирования.
- Возможность выполнения сглаживания и собственно прогнозирования с помощью любого из следующих методов (возможность выбора метода).
 - Метод простого экспоненциального сглаживания.
 - Метод двойного сглаживания Брауна.
 - Метод Тригга – Лича.
 - Метод Тригга – Лича – Шоуна.
 - Метод Чоу.
 - Метод, основанный на принципе самоорганизации.
- Возможность выбора пользователем критерия оценки качества прогноза. По умолчанию в настоящее время система настроена на оценивание качества прогнозирования по величине относительной ошибки на фактических данных.
- Расчет значений критериев оценки полученных результатов для использованных методов (алгоритмов) прогнозирования.
- Настройка метода прогнозирования. По умолчанию АСКП настроена на метод, основанный на принципе самоорганизации (описанный выше), который автоматически переключает выполнение расчета на использование элементарного алгоритма прогнозирования, показавшего наилучший результат для выбранного критерия оценки качества прогноза.
- Учет и накопление в АСКП составленных (выполненных) прогнозов – в т.ч. для их последующего ретроспективного анализа.
- Построение графиков по фактическим и прогнозным данным (для обеспечения наглядности представления результатов – это очень важно для пользователей массовых категорий).
- Формирование отчетов по составленным прогнозам.

На рисунке 2 в графической форме представлены функциональные требования к АСКП в виде диаграммы USE CASE на языке UML [7].

В процессе разработки требований к создаваемой АСКП, были определены основные свойства, которыми должен обладать программный продукт.

- В системе должно быть предусмотрена возможность добавления других элементарных алгоритмов (методов), которые будут использоваться самостоятельно или в составе самоорганизующегося алгоритма (СА). Это могут быть, например, ARIMA [14], сезонные модели [8] и др., что позволит повысить точность прогноза.

- АСКП должна обеспечивать минимальные временные затраты для решения тех или иных задач пользователей.

- Система должна осуществлять обработку информации вводимой пользователем, обеспечивать вывод сообщений или другого вида оповещений для пользователей (с указанием на необходимость заполнения обязательных полей, а также соблюдения формата представления вводимых данных).
- Система должна быть кроссплатформенной, т.е. допускать использование на различных типах устройств.

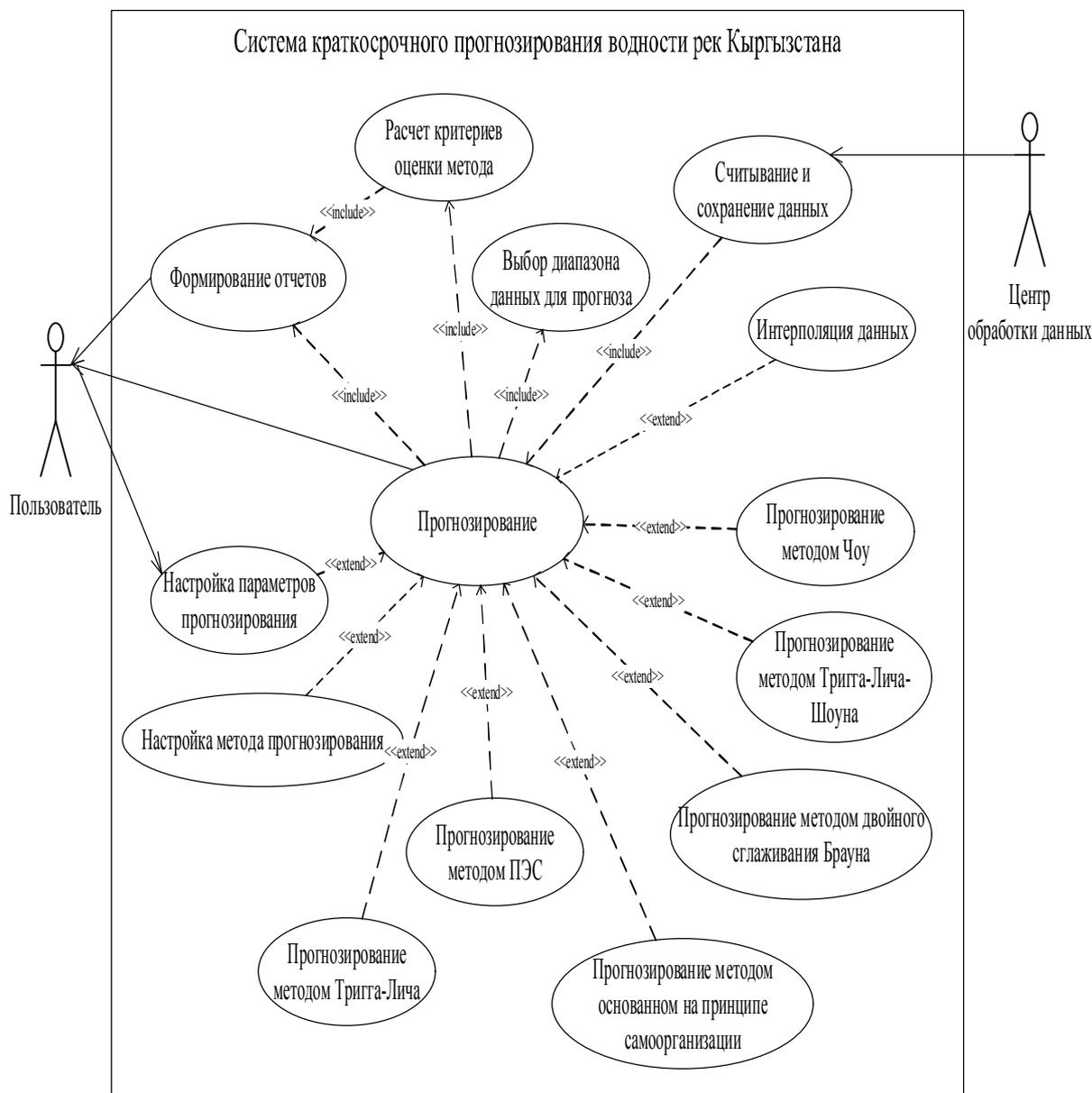


Рисунок 2 – Совокупность функциональных требований к АСП

Для реализации поставленной задачи необходимо средство, которое позволит разработать удобную и мощную АСКП; модифицируемую; отвечающую современным требованиям к программному обеспечению.

Поэтому было принято решение, что АСКП будет построена по технологии «клиент – сервер» и будет доступна пользователям как персональных компьютеров, так и мобильных устройств.

Ниже приведены нефункциональные требования к разрабатываемой АСКП.

Минимальные технические требования для сервера, на котором будет установлена АСКП, включают следующее:

- процессор: как минимум частотой 1 ГГц или SoC (System on a Chip, т.е. однокристальные системы) или выше;
- оперативная память: 1 ГБ (для 32-разрядных систем) или 2 ГБ (для 64-разрядных систем);
- дисковое пространство: 1 GB;

- необходимое стороннее программное обеспечение (ПО):

- ОС: CentOS7, Debian 9и Ubuntu 12.04.

- Apache-2.4, PHP-5.6, MySQL-5.5.

Минимальные технические требования для ПЭВМ, на котором будет использоваться АСП, включают следующее:

- ОС: MS Windows 7/8/10, Mac OS X, Ubuntu 12.04;

- браузеры с поддержкой JavaScript (Chrome, Mozilla, Opera, Internet Explorer и др.).

Минимальные технические требования для мобильных устройств, на которых будет использоваться АСКП, включают следующее:

- ОС: Android 4+, iOS 7+, Windows Phone 7.0+;

- браузеры для мобильных устройств с поддержкой JavaScript (Safari для iOS 7+, Android browser 4+, Chrome, Firefox, Internet Explorer 9+ для Windows Phone устройств).

На основе перечисленных выше требований был создан прототип АСКП, описываемый в следующем разделе.

Результаты разработки и апробации АСКП. Для разработки был использован язык PHP в комбинации с СУБД MySQL. В качестве инструментального средства разработки был выбран PhpStormIDE.

На рисунке 3 представлена главная страница закладки «Прогнозирование» этой веб-ориентированной АСКП, а на рисунке 4 – форма для настройки алгоритма, основанного на принципе самоорганизации (на этой форме он называется «метод самоорганизации»). По умолчанию, при формировании прогноза по этому алгоритму используются все элементарные алгоритмы согласно тому, что сказано выше.

Рисунок 3 – Главная страница закладки «Прогнозирование»

Рисунок 4 – Таблица с результатами прогнозирования

В качестве оценки критерия качества прогноза (если пользователь системы не выбрал его самостоятельно) используется относительная ошибка (погрешность), которая является безразмерной величиной.

Относительная ошибка прогнозирования рассчитывается для каждого полученного значения прогноза (для каждого месяца) по формуле

$$Er_i = \frac{|f_i - p_i|}{|f_i|},$$

где Er_i – относительная ошибка прогнозирования, рассчитанная в i -ый месяц; f_i – фактическое значение стока реки (км^3) в i -ый месяц; p_i – прогнозное значение стока (км^3) в i -ый месяц, полученное по выбранному элементарному алгоритму.

Было также проведено предварительное исследование работы системы прогнозирования на данных по значениям водности реки Чу с декабря 2014 г. по март 2017 г. (29 значений, т.е. точек ВР). На рисунке 5 приведены результаты прогнозирования, выдаваемые АСКП, на основе применяемого в системе СА. При этом фактические и прогнозные значения стока показаны в кубических километрах.



Рисунок 5 – График с результатами прогнозирования стока реки Чу

При построении прогнозов на основе СА использовались пять элементарных алгоритмов: метод простого экспоненциального сглаживания (ПЭС), метод двойного экспоненциального сглаживания (ДЭС), метод Чоу, метод Тригга – Лича, метод Тригга – Лича – Шоуна.

На рисунке 6 представлен график, отражающий ряды фактических значений, прогнозных значений, полученных по алгоритму, построенному по принципу самоорганизации (СА), и по методу двойного экспоненциального сглаживания (ДЭС) с коэффициентом 0,9.

Как видно из рисунка 6, прогнозные значения, полученные по СА ближе к фактическим, чем значения, полученные по ДЭС, который входит в базовое множество, на котором основано использование СА.

Проведенное исследование показало, что прогнозирование по методу СА дает меньшую погрешность, чем по любому методу из базового множества элементарных алгоритмов, используемых при построении СА (за счет выбора лучшего из них для каждого участка).

На рисунке 7 представлена диаграмма, отображающая работу алгоритма СА на исследуемом нами ВР в 29 точек. Здесь показан процесс переключения с одного метода прогнозирования из базового множества на другой согласно алгоритму, приведенному выше (шаги 1–5).

По вертикальной оси отложены методы, используемые в качестве базовых при формировании СА: 1 – метод простого экспоненциального сглаживания, 2 – метод двойного сглаживания Брауна, 3 – метод Чоу, 4 – Метод Тригга – Лича, 5 – метод Тригга – Лича – Шоуна.

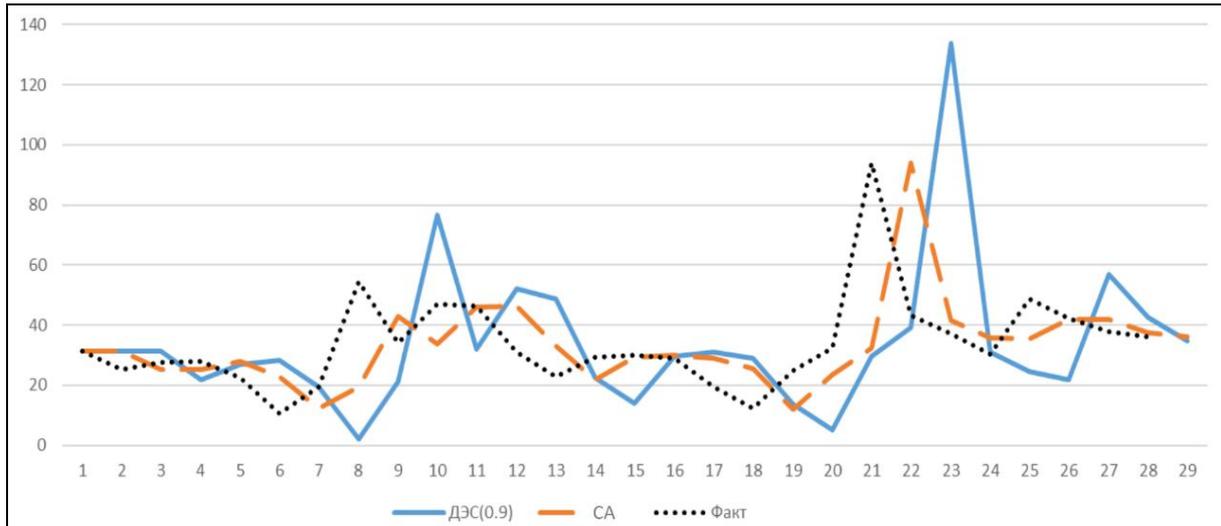


Рисунок 6 – Прогнозные значения стоков реки Чу на период с 12.2014 по 03.2017 г.

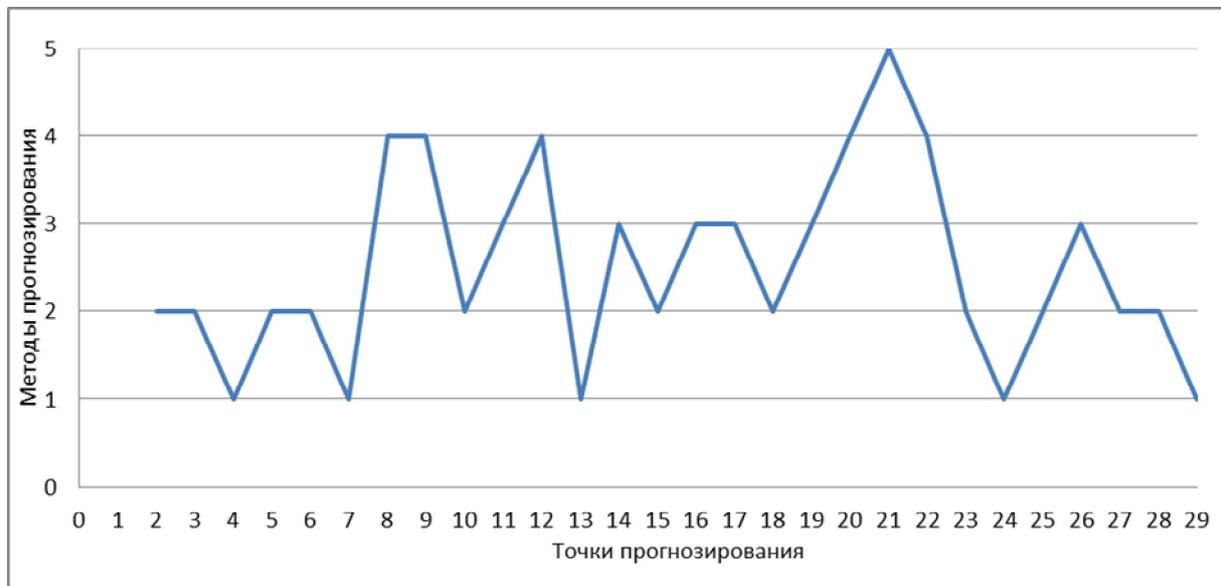


Рисунок 7 – Диаграмма переключений между методами прогнозирования по ходу обработки ВР с использованием СА

Будущее (прогнозное) значение ВР, отражающего сток реки, вычисляется по каждому из пяти перечисленных методов прогнозирования. В качестве результата (прогноза) выступает значение, полученное по тому методу из базового множества элементарных алгоритмов, который «победил» (показал наилучшее прогнозное значение) на известных предыдущих (фактических) данных. К примеру, в точке 3 «побеждает» метод 2, поэтому для точки «4» выдается прогнозное значение, полученное по этому методу (методу № 2).

Таким образом, (повторим это) в зависимости от динамики ВР на том или ином участке, которая отражает определенную структуру, СА переключается от одного элементарного метода прогнозирования к другому. Как видно из рисунка 7, на участках с небольшими скачками (изменениями) значений стока (точки 3–5, 14–16, 26–28) СА чаще переключается на методы сглаживания, а на участках со значительными скачками в динамике ВР - на методы с повышенной степенью адаптации (Тригга – Лича, Тригга – Лича – Шоуна, Чоу). Отметим, что на участках с большими скачками (точки 8, 21, 22) имеются значительные расхождения прогнозных и фактических значений показателей расхода. Это свидетельствует о целесообразности введения в базовое множество новых методов (алгоритмов) прогнозирования, отражающих подобные структуры, а также проведения дополнительных исследований СА на более длинных ВР.

Мы предполагаем, что с увеличением длины исторической выборки (т.е. длины ВР) разработанный алгоритм улучшает свои прогностические свойства по сравнению с простыми (элементарными) алгоритмами, которые находятся в его основе.

Выводы по результатам проведенных исследований.

• Погрешность прогноза, полученного по СА, меньше чем для прогнозов, полученных по элементарным алгоритмам, входящим в его базовый набор, за счет того, что *параллельно* запускаются (используются) все пять методов прогнозирования и СА сам выбирает тот метод, который дает минимальную погрешность.

• Алгоритм СА всегда «выигрывает» независимо от длины временного ряда. Количество его «побед» варьируется от 25 до 53 % (для проведенных нами исследований). Под количеством «побед» мы понимаем количество точек (значений величин стока) на выборке фактических значений (в процентном соотношении), в которых алгоритм демонстрирует лучшее прогнозное значение по сравнению с другими элементарными алгоритмами, используемыми в системе. Для доказательства этого факта в систему целесообразно будет ввести расчет интегральной ошибки прогнозирования по ВР.

• Для повышения точности прогноза необходимо в набор элементарных алгоритмов, на основании которых работает СА, включить методы, более точно прогнозирующие сезонные тренды. Набор этих методов будет определяться только требуемой точностью прогноза.

• Набор количество элементарных методов не является критичным в отношении вычислительной производительности компьютерной системы, поскольку общие временные затраты могут быть уменьшены за счет распараллеливания процесса расчета по каждому элементарному методу прогноза.

Заключение

1. Разработан прототип АСКП водности реки.
2. В АСКП использован алгоритм, основанный на принципе самоорганизации, который обеспечивает для пользователя возможность получать краткосрочный прогноз для структурно-изменяющихся ВР.
3. Описанный прототип АСКП позволяет в автоматическом режиме обрабатывать такие ВР, в которых нельзя раз и навсегда выбрать какую-либо одну определенную структуру модели (алгоритм прогнозирования).
4. Разработанная система может быть использована в качестве дополнительного модуля к геоинформационной системе мониторинга водных ресурсов, реализованной на web-платформе.

Список литературы

1. Агентство по гидрометеорологии при МЧС КР (Кыргызгидромет). Руководящий документ. Наставление по службе прогнозов в Кыргызстане. – Бишкек, 2015. – 35 с.
2. Белякова П. А. Краткосрочное прогнозирование стока рек Черноморского побережья Кавказа / П. А. Белякова, С. В. Борщ, А. В. Христофоров, Н. М. Юмина // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 349. – С. 122–141.
3. Борщ С. В. Оперативная система краткосрочных гидрологических прогнозов расхода воды на реках бассейна Кубани / С. В. Борщ, Ю. А. Симонов // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 349. – С. 63–87.
4. Брумштейн Ю. М. Одно- и многомерные временные ряды: анализ возможных методов оптимизации отсчетов и оценки характеристик / Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 4. – С. 35–44 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4\(20\)/35-45.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4(20)/35-45.pdf)).
5. Ивахненко А. Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А. Г. Ивахненко, И. А. Мюллер. – Киев : Техника; Берлин : Фоб Ферлагтехник, 1984. – 219 с.
6. Итибаев З. С. Прогнозирование, предупреждение и их использование в управлении деятельностью по уменьшению опасности бедствий / З. С. Итибаев. – Режим доступа: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/flood/ffgs/carffg/documents/presentations/turkey/day1/Kirg-turkey-opt.pdf> (дата обращения 01.09.2017), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Леоненков А. В. Самоучитель UML / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ, 2007. – 304 с.
8. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Ю. П. Лукашин. – Москва : Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
9. Льюис К. Д. Методы прогнозирования экономических показателей / К. Д. Льюис. – Москва : Финансы и статистика, 1986. – 134 с.
10. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. – 14-е изд. с изм. и доп. – Бишкек : МЧС КР, 2017. – Режим доступа: mes.kg/upload/Kniga_2017.pdf (дата обращения 01.09.2017), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
11. Мусина И. Р. Проектирование системы краткосрочного прогнозирования временных рядов / И. Р. Мусина // Известия КГТУ. – 2014. – № 32 (ч. 1). – С. 51–55.
12. Обзор ситуации и предварительные рекомендации по деятельности, направленной на адаптацию к изменениям климата в Чу-Таласском бассейне // Проект ПРООН-ИЭЖ ООН «Развитие сотрудничества по адаптации к изменению климата в Чу-Таласском бассейне» (Казахстан и Кыргызстан), 2011. – Режим доступа: www.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/chu_talas_rus.pdf (дата обращения 01.09.2017), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Официальный сайт департамента водного хозяйства и мелиорации КР. – Режим доступа: <http://www.water.kg/index.php/ru/o-departamente/vodnye-resursy-i-vodokhozyajstvennaya-infrastruktura-kyrgyzstana> (дата обращения 15.05.2017), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Пилюгина А. В. Использование моделей АRIMA для прогнозирования валютного курса / А. В. Пилюгина, А. А. Бойко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 249–267 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4\(32\)/249-267.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4(32)/249-267.pdf)).

15. Тен И. Г. Метод синтеза систем управления с изменяющейся организацией / И. Г. Тен // Проблемы автоматизации и процессов управления. – Бишкек : Илим, 1994. – С. 78–94.
16. Усупаев Ш. Э. Типизация рисков бедствий в бассейне реки Чу Кыргызстана / Ш. Э. Усупаев, Д. П. Клименко // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. – Бишкек : МЧС КР, 2015. – Режим доступа: mes.kg/upload/kniga_2015/book_rus023.html (дата обращения 01.09.2017), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я. З. Цыпкин. – Москва : Наука, 1968. – 399 с.
18. Эрлих А. А. Технический анализ товарных и финансовых рынков / А. А. Эрлих. – Москва : Инфра-М, 1996. – 106 с.
19. Musina I. R. Investigation of Self-organizing forecasting algorithm for dynamic processes / I. R. Musina, I. G. Ten // IKECCO'2004. International Conference on Electronics and Computer in Kyrgyzstan (2 April 2004). – Bishkek. – P. 25–28.
20. Ten I. G. Synthesis of Optimal Control Under Interval Uncertainty in Models / I. G. Ten // Proceeding of the International Conference “Interval'92”, Journal: “Interval Computations”. – September 22–25, 1992. – № 4 (6) Special Issue. – P. 100–106.

References

1. Agentstvo po gidrometeorologii pri MChS KR (Kyrgyzgidromet). Rukovodyashiy document. Nastavlenie po sluzhbe prognozov v Kyrgyzstane [Agency for Hydrometeorology under the Ministry of Emergency Situations of the Kyrgyz Republic (Kyrgyzhydromet). Guidance document. Manual on forecasting services in Kyrgyzstan], Bishkek, 2015. 35p.
2. Belyakova P. A., Borshch S. V., Khristoforov A. V., Yumina N. M. Kratkosrochnoye prognozirovaniye stoka rek Chernomorskogo poberezhya Kavkaza [Short-term forecasting of runoff of the rivers of the Caucasus Black Sea coast]. *Trudy Gidrometsentra Rossii* [Proceedings of the Russian Hydrometeorological Center], 2013, issue 349, pp. 122–141.
3. Borshch S. V., Simonov Y. A. Operativnaya sistema kratkosrochnykh gidrologicheskikh prognozov raskhoda vody na rekakh basseyna Kubani [Operative system of short-term hydrological forecasts of water discharge on the rivers of the Kuban basin]. *Trudy Gidrometsentra Rossii* [Proceedings of the Russian Hydrometeorological Center], 2013, issue 349, pp. 63–87.
4. Brumshteyn Yu. M. Odno- i mnogomernye vremennye ryady: analiz vozmozhnykh metodov optimizatsii otchetov i otsenki kharakteristik [Single- and multi-dimensional time series: an analysis of possible methods for optimizing readout and characteristic estimation]. *Prikaspyiskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2012, no. 4, pp. 35–44 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4\(20\)/35-45.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4(20)/35-45.pdf)).
5. Ivakhnenko A. G., Muller I. A. *Samoorganizatsiya prognoziruushchikh modeley* [Self-organization of predictive models], Kiev, Tekhnika Publ., Berlin, Verlagtekhnik Publ., 1984. 219 p.
6. Itibaev Z. S. *Prognozirovane, preduprezhdeniye i ikh ispolzovanie v upravlenii deyatelnostiyo po umensheniyu opasnosti bedstviy* [Forecasting, prevention and their use in managing disaster risk reduction activities]. Available at: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrf/flood/ffgs/carffg/documents/presentations/turkey/day1/Kirg-turkey-opt.pdf> (accessed 01.09.2016).
7. Leonenkov A. V. *Samouchitel UML* [UML tutorial], Saint-Petersburg, BKHV Publ., 2007. 304 p.
8. Lukashin Yu. P. *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov* [Adaptive methods of short-term forecasting of time series], Moscow, Finansy i statistika Publ., 2003. 416 p.
9. Lewis C. D. *Metody prognozirovaniya ekonomicheskikh pokazateley* (transl.) [Industrial and Business Forecasting Methods], Moscow, Finansy i statistika Publ., 134 p.
10. *Monitoring, prognozirovanie opasnykh protsessov i yavleniy na territorii KR* [Monitoring, forecasting of dangerous processes and phenomena in the territory of the Kyrgyz Republic]. 14th ed. with amendment and add. Bishkek, MCHS KR Publ. House, 2017. Available at: mes.kg/upload/kniga_2017.pdf (accessed 01.09.2016).
11. Musina I. R. Proektirovanie sistemy kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov [Design of short-term forecasting system for time series]. *Izvestiya KGTU* [Proceedings of the KSTU], 2014, no. 32 (part 1), pp. 51–55.
12. Obzor sitatsii i predvaritelnye rekomendatsii po deyatelnosti napravlennoy na adaptatsiu k izmeneniyam klimata v Chu-Talasskom basseyne [Situation overview and preliminary recommendations on activities aimed for adapting to climate change in the Chu-Talas basin]. *Proekt UNDP – UNECE «Razvitie sotrudichestva po adaptatsii k izmeneniyu klimata v Chu-Talasskom basseine» (Kazahstan i Kyrgyzstan), 2011* [UNDP – UNECE Project “Development of cooperation on adaptation to climate change in the Chu-Talas basin” (Kazakhstan and Kyrgyzstan), 2011]. Available at: www.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/chu_talas_rus.pdf (accessed at 01.09.2017).
13. *Ofitsialnyy sayt departamenta vodnogo khozyaystva i melioratsii KR* [Official website of the Department of Water Resources and Land Reclamation of KR]. Available at: <http://www.water.kg/index.php/ru/o-departamente/vodnye-resursy-i-vodokhozyajstvennaya-infrastruktura-kyrgyzstana> (accessed 01.09.2016).
14. Pilyugina A. V., Boyko A. A. Ispolzovanie modeley ARIMA dlya prognozirovaniya valyutnogo kursa [Using ARIMA models for forecasting of exchange rate]. *Prikaspyiskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2012, no. 4, pp. 249–267 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4\(32\)/249-267.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/4(32)/249-267.pdf)).
15. Ten I. G. *Metod sinteza sistem upravleniya s izmenyayushheysya organizatsiey* [The method of synthesis of control systems with a changing organization], Bishkek, Ilim Publ., 1994, pp. 78–94.
16. Usupaev Sh. E., Klimenko D. P. Tipizatsiya riskov bedstviy v bassejne reki Chu Кыргызстана [Disaster Risk Typing of the Chu River Basin in Kyrgyzstan]. *Monitoring, prognozirovanie opasnykh protsessov i yavleniy na territorii KR* [Monitoring, Forecasting of Hazardous Processes and Phenomenons in Kyrgyzstan], Bishkek, MES of Kyrgyzstan Publ., 2015. Available at: mes.kg/upload/kniga_2015/book_rus023.html (accessed 01.09.2017).

17. Tsyarkin Ya. Z. *Adaptatsiya i obuchenie v avtomaticheskikh sistemakh* [Adaptation and training in automatic systems], Moscow, Nauka Publ., 1968 399p.

18. Erlikh A. A. *Tekhnicheskij analiz tovarnykh i finansovykh rynkov* [Technical analysis of commodity and financial markets], Moscow, Infra Publ., 1996. 106p.

19. Musina I. R., Ten I. G. Investigation of Self-organizing forecasting algorithm for dynamic processes. *Works of IKECCO'2004 – International Conference on Electronics and Computer in Kyrgyzstan (2 April 2004)*, Bishkek, pp. 25–28.

20. Ten I. G. Synthesis of Optimal Control Under Interval Uncertainty in Models. *Proceeding of the International Conference "Interval'92", Journal: "Interval Computations"*, September 22–25, 1992, no. 4 (6) Special Issue, pp. 100–106.

РЕДАКЦИОННЫЙ КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ

Задачи краткосрочного прогнозирования на основании данных, представленных во временных рядах (ВР) исследуются уже достаточно давно, при этом применяются различные методы. Однако работ, посвященных прогнозированию стока именно горных рек в русскоязычной периодике почти нет. Таким образом, статья имеет определенную новизну с точки зрения объекта исследований. В целом в работе охват материала достаточно полный и включает в себя следующие направления: подробную гидрологическую характеристику объекта исследований (в т.ч. рек Кыргызстана, реки Чу и ее бассейна); характеристику некоторых существующих методов сглаживания ВР и прогнозирования на основе ВР; описание разработанного прототипа кроссплатформенной автоматизированной системы краткосрочного прогнозирования (АСКП); результаты апробации этой системы на примере стока реки Чу.

Однако по публикуемой работе необходимо сделать ряд замечаний.

1. При построении прогнозов авторы основываются исключительно на ВР по стоку реки – исходя из того, что в нем есть вся необходимая информация. Однако с учетом специфики формирования стока горных рек Кыргызстана представляется, что стоило бы дополнительно использовать при построении прогнозов и метеопрогнозы на ближайший месяц – включая оценки предполагаемых температур воздуха, солнечной инсоляции, величин осадков. Причина – эти факторы могут существенно «корректировать» прогнозы, полученные на основе только ВР.

2. Следовало бы более четко указать, к какому именно створу реки Чу относятся приводимые данные и результаты прогнозирования. Также можно было бы сравнить «качество» прогнозов для разных створов.

3. В работе не обосновывается целесообразность использования шага по времени во ВР в 1 месяц, хотя (как это следует из материала статьи) отсчеты на гидропостах снимаются значительно чаще.

4. В ряде фрагментов статьи смешиваются понятия «сглаживания» ВР и «прогнозирования» на основе ВР. Между тем с позиций пользователей АСКП важно только прогнозирование «вперед по времени», а сглаживание ВР может использоваться лишь как вспомогательный прием, позволяющий убрать «высокочастотные шумы» в экспериментальных данных. Можно ли вообще использовать «сглаживание» при шаге по времени в 1 месяц – этот вопрос, вероятно, следует считать дискуссионным.

5. Представляется, что «алгоритм самоорганизации», на который авторы все время ссылаются, стоило бы представить на примерах более детально. В частности показать размеры «опорных участков» (количества точек во ВР), используемых для построения «прогноза вперед».

6. В работе никак не используется информация об усредненных значениях расходов воды по отдельным месяцам за ряд предшествующих лет. Между тем такая «усредненная годовая зависимость» могла бы быть весьма полезной для прогнозирования – особенно при ее «масштабировании» на водность конкретного года. Последнюю можно оценить, например, по уже имеющимся точкам во ВР за тот год, для которого осуществляется прогнозирование.

7. Целесообразность представления «диаграммы переключений» между методами на рис. 7 в виде графика (ломаной линии) вызывает серьезные сомнения. Причина – переключения происходят «скачкообразно» и никаких «промежуточных точек» (соответствующих наклонным участкам ломаной линии) просто не может быть.

8. Перечень дополнительных методов прогнозирования, которые авторы предполагают включить в АСКП, выглядит достаточно кратким. Кроме того, целесообразность использования именно этих методов в статье фактически никак не обосновывается.

УДК 004.056.5

ОТСЛЕЖИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ О СОБЫТИЯХ

Статья поступила в редакцию 09.02.2018, в окончательном варианте – 18.02.2018.

Умницын Михаил Юрьевич, Волгоградский государственный университет, 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100,

старший преподаватель, e-mail: umnitsyn@volsu.ru

Михальченко Светлана Владимировна, Волгоградский государственный университет, 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100,

студент, e-mail: infsec@volsu.ru

Для обеспечения полноценной защиты информационной системы (ИС) требуется систематически анализировать события, происходящие в ней. Результаты такого анализа позволяют, в частности, обнаруживать переход ИС из защищенного состояния в состояние нарушения защищенности. Интеллектуальный анализ (ИА) событий ИС (СИС)