

## ФОНОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

К.В. Шеманаев<sup>1</sup>, В.А. Кузьмин<sup>1,2</sup>, д-р. техн. наук, Е.С. Бородин<sup>1,2</sup>, М.А. Мамаева<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

## BACKGROUND RIVER RUNOFF FORECASTING AS A KEY ELEMENT OF WATER RESOURCES MANAGEMENT SYSTEMS

K.V. Shemanaev<sup>1</sup>, V.A. Kuzmin<sup>1,2</sup>, Dr. Sc., E.S. Borodin<sup>1,2</sup>, M.A. Mamaeva<sup>2</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*Фоновое прогнозирование речного стока - это качественное прогнозирование уровня опасности гидрологических явлений, осуществляемое в рутинном режиме для сравнительно крупных территорий, позволяющее оптимизировать использование имеющихся информационных, вычислительных, человеческих и иных ресурсов. При обнаружении возможного повышения уровня опасности гидрологического явления происходит перераспределение этих ресурсов (из зон с пониженным уровнем риска в зоны с повышенным уровнем риска), что, в свою очередь, позволяет повысить эффективность систем управления водными ресурсами и снизить уязвимость экономики и населения РФ по отношению к опасным гидрологическим явлениям.*

*Background forecasting of river run-off is a qualitative prediction of level of danger of hydrological hazards, carried out routinely for relatively large areas. It allows to optimize the use of available information, computing, human and other resources. When possible increase in level of danger of hydrological phenomenon is detected, these resources are redistributed (from zones of reduced risk level to zones of increased risk level). This makes it possible to increase the effectiveness of water management systems and reduce vulnerability of the economy and population of the Russian Federation to hydrological hazards.*

В Российской Федерации протекает более 2,5 миллионов водотоков, более 80% из которых относятся к неизученным и малоизученным в гидрометеорологическом отношении. На водосборах таких водотоков крайне мало или вообще нет постов и станций метеорологического и гидрологического наблюдения, что делает прогнозирование паводкового стока на таких водных объектах практически невозможным.

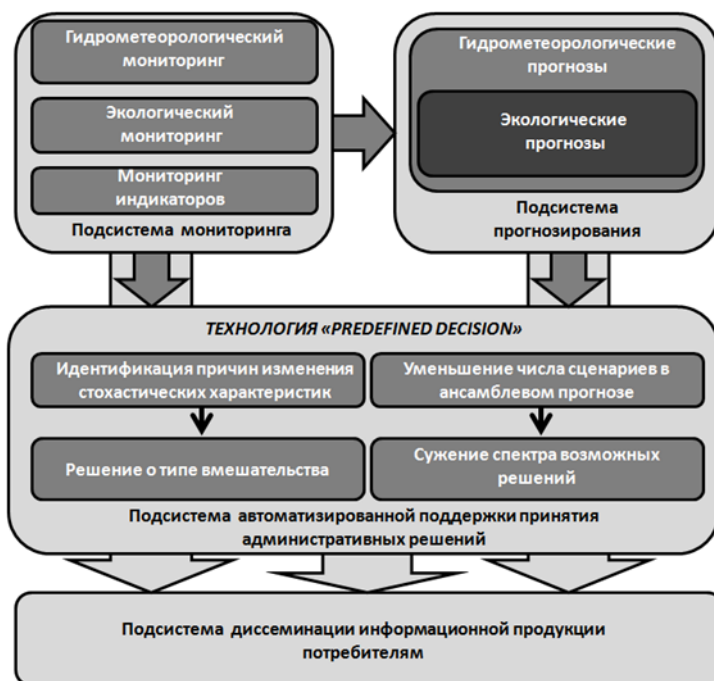
Своевременное автоматизированное прогнозирование опасных гидрологических явлений является одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед международным гидрологическим сообществом. Главенствующей стратегией развития является автоматизация систем как фонового (т. е. приближенного, качественного), так и уточненного прогнозирования стока. Также, идет тенденция к созданию автоматических интеллектуальных систем управления принятия решений, в которых предполагается интеграция гидрометеорологических блоков, ответственных за предупреждение опасных гидрологических явлений.

Отдельное место в системах помощи принятия решений занимает фоновое прогнозирование стока. Оно дает возможность давать в виде прогноза качественную оценку для принятия решения. Это позволяет осуществлять прогноз при меньшем количестве входных данных на малоизученных в гидрологическом смысле водосборах. А при необходимости получения конкретных значений, можно переходить к уточненному прогнозу. Такое двухуровневое моделирование позволяет оптимизировать сам процесс прикладного прогнозирования стока.

Для принятия решений по предупреждению или снижению ущерба от ожидаемых опасных гидрометеорологических явлений можно использовать несколько стратегий, наиболее популярных в мире. Некоторые из них подразумевают использование детерминистических прогнозов, выпускаемых в виде некоего однозначного сценария развития рассматриваемого опасного явления, в то время как другие изначально учитывают их стохастическую природу и базируются на использовании вероятностных прогнозов, выпускаемых либо в виде возможных ансамблей опасных явлений, либо в виде эволюции распределения их вероятности, либо, в простейшем случае, в виде только их граничных и средних (или модальных) сценариев. Ансамблевые прогнозы являются наиболее предпочтительными, поскольку для их выпуска не

требуется какое-либо специальное программное обеспечение, при этом они весьма эффективно отражают возможные источники неопределённости прогноза.

Необходимо заметить, что нами широко использован теоретический задел, технологии «Predefined Decision», которая заключается в предварительном моделировании возможных сценариев, определении возможных решений для каждого из них, составлении первичных кластеров матрицы возможных решений, методичном объединении кластеров, соответствующих одинаковым решениям.



При возникновении риска формирования опасного гидрологического явления выполняется прогнозирование параметров кластера, для которого уже существует готовое решение, либо принятое экспертами в спокойной обстановке, либо сгенерированное автоматически и затем прошедшее процедуру экспертной валидации.

Заметим, что принятие решений экспертами или руководителями целесообразно при сравнительно небольшом количестве учитываемых факторов, определяющих размерность массива кластеров. При его большой размерности рекомендуется автоматизированное генерирование решений, минимизирующее возможное негативное влияние «человеческого фактора».

Основными элементами метода автоматизированной поддержки решений по предупреждению ОГЯ в крупных речных системах, недостаточно освещённых гидрометеорологическими наблюдениями являются: построение массива кластеров решений; примеры определения решений; объединение первичных кластеров во вторичные; определение окончательного решения.

При наличии большего объёма информации, геоинформационного программного обеспечения и достаточных вычислительных ресурсов массив кластеров строится в следующем порядке:

- при помощи ГИС-технологий определяются пороговые значения уровня воды, соответствующие началу затопления отдельных населенных пунктов, предприятий и объектов инфраструктуры;
- определяется численность населения и стоимость материальных ценностей в каждой  $i$ -той полосе между пороговыми значениями уровня воды;
- определяются ресурсы, необходимые для эвакуации из каждой  $i$ -той полосы между пороговыми значениями уровня воды населения и материальных ценностей, а также стоимость эвакуационных процедур;
- исходя из соотношения имеющихся ресурсов и ценностей, подвергшихся риску затопления, рассчитываются сценарии применения этих ресурсов для случаев затопления только 1-ой

(ближайшей к реке) полосы, только 1-ой и 2-ой, с 1-ой по 3-ю и так далее вплоть до полного затопления рассматриваемой территории.

В результате получаем полный комплект возможных решений, заранее определенных для вторичных кластеров, границы между которыми соответствуют пороговым значениям уровня воды. Нетрудно заметить, что при любом количестве и качестве имеющейся информации целью является прогнозирование или оценивание – с той или иной степенью достоверности – ожидаемого уровня воды и его эволюции во времени и пространстве.

Порядок определения решений заполнения матрицы решений выполняется следующим образом.

Для каждого  $i$ -ого фактора-причины определяются нижняя и верхняя границы ( $X_{(i,inf)}$  и  $X_{(i,sup)}$ ). Затем полученный диапазон разбивается на отдельные интервалы (путём определения их границ – неких пороговых значений). Если определить точные значения нижней и верхней границы не представляется возможным, достаточно указать наибольшее и наименьшее пороговые значения, а области слева от наименьшего и справа от наибольшего задать при помощи символов «меньше» и «больше», соответственно. Пороговые значения могут быть заданы на основе рекомендаций или требований нормативной литературы или на основе экспертных оценок. В некоторых случаях они задаются естественным образом. Например, если принимается решение об эвакуации персонала, то пороговые значения будут соответствовать пассажироместимости целого числа имеющихся транспортных средств. В результате выполнения этой процедуры получают первичные секторы (кластеры), каждому из которых соответствует то или иное административное решение.

Для снижения числа возможных решений необходимо выполнить объединение первичных кластеров (построенных с фиксированной дискретностью для каждого из факторов, влияющих на принятие решения) во вторичные, которые далее будут использованы для вынесения конкретного решения из их сравнительно ограниченного набора. Каждому из них соответствует одно и то же решение и которые соприкасаются гранями, можно объединять в группы; в этом случае объединённые однотипные первичные кластеры образуют вторичные (окончательные) кластеры решений, каждому из которых соответствует некое фиксированное решение (например, категория опасности, присваиваемая наводнению, или число транспортных средств – самосвалов с песком, катеров или вертолётов).

В случае, если единичный сценарий формирующегося наводнения, получаемый при детерминистическом прогнозировании, или же ансамбль сценариев, получаемый при вероятностном прогнозировании, проходит через 2 или более вторичных кластеров, можно определить интервалы возможных параметров потенциального решения. Например, уровень опасности – не ниже жёлтого, но и не выше оранжевого; число катеров для эвакуации населения и материальных ценностей – не менее 10, но и не более 18 и т.д. Разумеется, наибольший интерес представляют отметки затопления – уровень, который гарантированно будет превышен, и уровень, который гарантированно превышен не будет, поскольку у большинства спасательных служб мира есть собственные методики принятия решения, основанные исключительно на этих данных.

По мере приближения события, его неопределенность уменьшается, и в некоторый момент времени единичный сценарий или ансамбль сценариев начинают проходить через один и тот же вторичный кластер. В этот момент сужаются интервалы возможных параметров потенциального решения и, наконец, делается вывод и целесообразности вынесения соответствующего решения.

В данной статье представлен вновь разработанный метод автоматизированной поддержки решений по предупреждению опасных гидрологических явлений в крупных речных системах, недостаточно освещённых гидрометеорологическими наблюдениями, который может быть использован для любого крупного речного бассейна для фоновое прогнозирования стока. Рассмотрены источники и виды гидрометеорологической информации, используемой для принятия решений по предупреждению опасных гидрологических явлений, представлены порядок определения решений, принципы объединения первичных кластеров во вторичные и определение окончательного решения при снижении неопределенности имеющихся прогнозов рассматриваемого явления.

## **Литература**

1. Карлин Л.Н., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Шилов Д.В. Мониторинг и прогнозирование опасных гидрометеорологических явлений на основе комплексного использования данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений. СПб, СПб ВМИ, Сборник научных трудов СПб ВМИ, 2012, №2, стр. 17–27.
2. Дикинис А.В., Кузьмин В.А., Галкин И.А., Сурков А.Г., Шилов Д.В. Автоматизированная поддержка принятия решений на основе ансамблевых гидрометеорологических прогнозов. СПб, ОАО ГНИНГИ, Навигация и гидрография, 2012, № 34.
3. Илларионов А.В., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Галкин И.А., Шилов Д.В. Автоматизированное прогнозирование уровня режима водотоков у железнодорожных насыпей и мостовых переходов. СПб, СПб ВМИ, Сборник научных трудов СПб ВМИ, 2012, №3, стр. 11-24.
4. Кузьмин В.А., Сурков А.Г., Шеманаев К.В. Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // СПб. Ученые записки РГГМУ 2012 №22. – С. 28-38.
5. Кузьмин В.А., Гаврилов И.С., Ерёмина С.В., Шеманаев К.В. Оценивание влияния антропогенных и климатических изменений на формирование стока // Ученые записки РГГМУ 2013 №29. – С. 36-43.