

В.А. Кузьмин, С.В. Ерёмкина, И.С. Гаврилов, Н.А. Рошет, А.А. Полякова

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА
ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ**

V.A. Kuzmin, S.V. Eryomina, I.S. Gavrilov, N.A. Roshet, A.A. Polyakova

**AUTOMATED DECISION-MAKING SUPPORT BASED ON PROBABILISTIC
HYDROLOGICAL FORECASTS**

Рассмотрена новая технология автоматизированной поддержки принятия решений на основе вероятностных гидрологических прогнозов. Эта технология может быть использована в качестве замыкающего элемента автоматизированных систем специализированного гидрометеорологического обеспечения конкретных потребителей гидрометеорологической информации.

Ключевые слова: специализированное гидрометеорологическое обеспечение, технология автоматизированной поддержки принятия решений, вероятностные гидрологические прогнозы, снижение неопределенности.

A novel technology of the automated decision-support is considered. This technology is based on probabilistic hydrological forecasts and operates as can be used as a final element of the automated customer-oriented hydrometeorological support.

Keywords: customer-oriented hydrometeorological support, technology of the automated decision-support, probabilistic forecasts, decreasing uncertainty.

Специализированное гидрометеорологическое обеспечение (СГМО) конкретных потребителей гидрометеорологической информации является одним из наиболее действенных способов повышения экономической эффективности как национальных гидрометеорологических служб и агентств, так и частных компаний-аутсорсеров, выполняющих гидрометеорологическое обслуживание клиентов, не имеющих ни собственных гидрометеорологических подразделений, ни действующих контрактов с национальными гидрометслужбами [1-14].

В настоящее время в Российской Федерации сформировалась острая необходимость в разработке и внедрении технологий СГМО, обусловленная следующими факторами:

- неудовлетворённость российских и зарубежных компаний, действующих на территории РФ, составом и качеством информационной продукции, выпускаемой прогностическими подразделениями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета) [1, 2];
- широкое внедрение российскими и зарубежными компаниями, действующими на территории РФ, зарубежных технологий, предусматривающих использование высококачественной (точной и заблаговременной) гидрометеорологической информации, получение которой в настоящее время не представляется возможным [1, 2];

- низкий технологический уровень Росгидромета, препятствующий полному удовлетворению производственных потребностей потребителей гидрометеорологической информации [14];
- отсутствие российских технологий, товаров и услуг на международном гидрометеорологическом рынке; недостаточное присутствие РФ на рынке высокотехнологичной информационной продукции и т.д. [1-14].

Именно поэтому в Российском государственном гидрометеорологическом университете с 2008 г. осуществляется целенаправленная разработка как фундаментальных методов, так и современных информационных технологий, предназначенных для развития СГМО в нашей стране и ориентированных на внедрение прогностическими подразделениями Росгидромета, гидрометеорологическими и геофизическими службами крупных государственных и частных компаний и частными организациями-аутсорсерами [14]. В качестве примера можно привести автоматизированные системы СГМО (АС СГМО), разработанные при поддержке Министерства образования и науки РФ для ОАО «Российские железные дороги» и ОАО «Русгидро» [1-3].

Все разработанные АС СГМО имеют общую отличительную черту: их замыкающим элементом является подсистема автоматизированной поддержки принятия административных решений (АППР), которой и посвящена эта статья. Подсистема АППР, фактически, преобразует гидрометеорологические и экологические прогнозы в прогнозы принятия решений, которые, во-первых, более понятны лицам, ответственным за принятие решений, а во-вторых, отличаются меньшей неопределённостью, чем вероятностные гидрометеорологические прогнозы. Главным функциональным элементом подсистемы АППР является разработанная в РГГМУ технология «Predefined Decision», суть которой заключается в предопределении секторов многомерной матрицы возможных решений [1]. Подсистема АППР преобразует данные гидрометеорологического и экологического мониторинга в информационную продукцию для руководителей и других лиц, ответственных за принятие решение на основе полученных сведений.

В работе [1] рассмотрена возможность сужения спектра возможных решений на основе анализа и уменьшения числа сценариев ансамблевых прогнозов тех или иных гидрометеорологических переменных, полей или процессов, позволяющая добиться максимально возможной десубъективизации процесса принятия решений, что очень важно в стрессовых условиях природных катастроф или экологических чрезвычайных ситуаций.

Данная статья посвящена рассмотрению возможности сужения спектра возможных решений на основе вероятностных прогнозов, выпускаемых в виде распределений вероятности прогнозируемого гидрологического процесса в различные моменты времени.

На рис. 1 показан простой одномерный пример перехода от ансамблевого прогноза силы ветра к прогнозу возможной реакции администрации на то или иное значение в момент времени T_i : все спрогнозированные сценарии изменения силы ветра находятся в двух секторах (или кластерах) решений; в одном из них ничего предпринимать не нужно, а в другом рекомендуется повысить частоту выпуска или получения прогноза (или, например, радарных данных). В самом деле, менеджеру неважно, будет ли

скорость ветра равна 1 м/с или 1,5 м/с, ему интересно знать, к принятию каких мер он должен подготовиться [1]. По мере уменьшения неопределенности прогноза становится понятно, через какие кластеры может пройти пучок возможных траекторий, а через какие – нет. Это позволяет заранее исключить из рассмотрения все меры или решения, через кластеры которых не проходит ни один сценарий, что позволяет, в конце концов, принять одно наиболее эффективное решение до наступления или в момент наступления прогнозируемого события.



Рис. 1. Иллюстрация ограничения спектра возможных решений на основе ансамблевых прогнозов.

В случае если вероятностный прогноз представлен в виде группы статистик (например, {нижняя граница, верхняя граница, среднее} = $f(t)$, или {нижняя граница, верхняя граница, мода} = $f(t)$, или {нижняя граница, верхняя граница, среднее, мода} = $f(t)$), как это показано на рис. 2, или распределения вероятности (непрерывного или дискретного), исключение кластеров производится несколько иначе.

Если размах (расстояние между верхней и нижней границей) прогнозируемого распределения относительно невелик, исключение кластеров и сужение спектра возможных решений выполняется таким же образом, как это делается при ансамблевом прогнозировании. Если же прогнозируемое распределение вероятности отличается «тяжёлыми хвостами» или чрезмерно широким размахом, исключение кластеров маловероятных решений происходит значительно медленнее.

Для ускорения процесса уменьшения числа кластеров возможных решений целесообразно исследовать эффективность применения следующих процедур:

1. Определение вероятностной нагрузки каждого из выделенных кластеров. Например, весь «хвост» прогнозируемого распределения может оказаться в одном кластере, в этом случае при принятии решения будут учтены даже маловероятные значения прогнозируемых переменных. Если «хвост» проходит через несколько

кластеров, целесообразно либо объединить их, либо выбрать пороговые значения для вероятности прогнозируемого процесса для каждого кластера, а затем выбрать только те кластеры, для которых установлено превышение порогового значения.

а) Ансамблевое прогнозирование



б) Вероятностное прогнозирование (размаха и математического ожидания)



Рис. 2. Отличие вероятностного прогноза, выпускаемого в виде ансамбля траекторий (ансамблевого прогноза) от вероятностного прогноза, выпускаемого в виде значений нижней и верхней границ вероятности прогнозируемого процесса, а также его математического ожидания.

2. Корректировка прогнозируемого распределения вероятности на основе учёта данных наблюдений за предшествующий период. В частности, может быть полезной процедура приведения моды прогнозируемого распределения к фактическим (наблюденным) значениям.
3. Выбор в качестве окончательного кластера, через который проходит мода прогнозируемого процесса (этот шаг целесообразно сочетать с предыдущим).

В последующих публикациях будут представлены результаты тестирования программного обеспечения, в котором будет использован предлагаемый способ автоматизированной поддержки принятия решений на основе вероятностных прогнозов, отличных от ансамблевых, то есть выпускаемых в виде группы статистик или распределения вероятности (непрерывного или дискретного).

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.5 Федеральной Целевой Программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение №14.В37.21.1977 от 14 ноября 2012 года).

Литература

1. *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.
2. *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, с. 11-24.
3. *Кузьмин В.А., Ушаков А.Г., Ватулин Я.С., Дикинис А.В., Шилов Д.В.* Мониторинг и прогнозирование гидрометеорологических условий работы высокоскоростного железнодорожного транспорта. Транспорт Российской Федерации, Экология. № 5(42), 2012.
4. *Кузьмин В.А.* Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков. // Метеорология и гидрология, 2009, № 7, с. 74-85.
5. *Кузьмин В.А., Ванкевич Р.Е., Шеманаев К.В.* Оценка увлажненности водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 22, с. 45-57.
6. *Кузьмин В.А., Дикинис А.В.* Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 22, с. 16-27.
7. *Кузьмин В.А., Заман А.* Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем. // Метеорология и гидрология, 2009, № 8, с. 80-90.
8. *Кузьмин В.А., Коротыгина У.Е., Гаврилов И.С., Сурков А.Г., Сергеенко С.Ю.* О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 16, с.22-27.
9. *Кузьмин В.А., Коротыгина У.Е., Макин И.С., Сергеенко С.Ю., Румянцев Д.Ю.* Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 22, с. 38-44.
10. *Кузьмин В.А.* Краткосрочное прогнозирование катастрофических половодий и паводков. // Метеорология и гидрология, 2001, № 6, с. 89-95.
11. *Кузьмин В.А.* Отбор и параметризация прогностических моделей речного стока. // Метеорология и гидрология, 2001, № 3, с. 85-90.
12. *Кузьмин В.А.* Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков. // Метеорология и гидрология, 2009, № 6, с. 92-104.
13. *Кузьмин В.А., Сурков А.Г., Шеманаев К.В.* Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 22, с. 28-37.
14. Guide to Hydrological Practices, Volume I, Hydrology – From Measurement to Hydrological Information, WMO-No. 168, Sixth edition, 2008.