

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПОГОДОЗАВИСИМОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Анна Алексеевна ФОКИЧЕВА^{1,2}, к.г.н.

¹Кафедра метеорологии и охраны атмосферы

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
г. Пермь, Россия

²Лаборатория мониторинговых систем

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии»
Москва, Россия

Адрес для корреспонденции: 193230, Санкт-Петербург, ул. Евдокима Огнева, д.6, к.4, кв.5
Т.: +79052204995, e-mail: meteobenefit@yandex.ru

Аннотация

Анализ ценности гидрометеорологического обслуживания предусматривает изучение механизмов принятия индивидуальных решений на основе информации о погоде и климате. Предметом данного исследования являются особенности использования гидрометеорологической информации при осуществлении погодозависимой экономической деятельности. Цель исследования состоит в разработке комплексной унифицированной модели, отражающей последовательность использования гидрометеорологической информации в деятельности организации. Построена теоретическая модель выбора погодоориентированных решений. Этапы принятия погодоориентированных решений предложено рассматривать в привязке к оси времени, в соответствии с циклом Деминга. Выбор решения определяется наиболее вероятным состоянием погодных условий в заданный момент времени. Результат погодоориентированного решения имеет доходную и затратную составляющие, зависящих от степени соответствия ожидаемых и фактических условий погоды. Расхождение между плановыми и фактическими результатами погодоориентированных решений характеризует приобретенную ценность информации. Предложенная модель может использоваться при разработке системы учета издержек, обусловленных влиянием погоды и климата на деятельность организации, а также в целях управления погодно-климатическими рисками предприятия.

Ключевые слова

Погодозависимая деятельность, ценность гидрометеорологической информации, принятие погодоориентированных решений; влияние гидрометеорологических факторов

COMPLEX MODEL OF USING WEATHER AND CLIMATE INFORMATION IN ECONOMIC ACTIVITIES

Anna A. FOKICHEVA^{1,2}, Candidate of Sciences in Geography.

¹Department of Meteorology and Atmospheric Protection
Perm State University, Perm, Russia

²Laboratory of Monitoring Systems
Moscow State University of Geodesy and Cartography
Moscow, Russia

Address for correspondence: A.A. Fokicheva, 193230 St. Petersburg, Evdokima Ogneva str. 6
Tel.: +79052204995, e-mail: meteobenefit@yandex.ru

Abstract

The analysis of the value of hydrometeorological services involves the study of individual decision-making mechanisms based on weather and climate information. The subject of this study is the peculiarities of the use of hydrometeorological information in the implementation of weather-dependent economic activities. The purpose of the study is to develop a complex unified model reflecting the sequence of using hydrometeorological information in the activities of the firm. A theoretical model for choosing weather-related decisions is constructed. The stages of making weather-related decisions are proposed to be considered in relation to the time axis, in accordance with the Deming cycle. The choice of decision is determined by the most probable state of weather conditions at a given point in time. The result of a weather-related decision has income and cost components, depending on the degree of compliance of expected and actual weather conditions. The discrepancy between planned and actual results of weather-oriented decisions characterizes the acquired value of information. The proposed model can be used in the development of a system of accounting costs due to the impact of weather and climate on the activities of the firm, as well as for the purposes of managing weather and climate risks of the company.

Keywords

Weather-Dependent Activities, Value of Hydrometeorological Information, Weather-Based Decision Making; Weather and Climate Impact

Введение

Эффективное управление невозможно без использования информации о текущих и ожидаемых гидрометеорологических условиях. В последнее десятилетие наблюдается рост числа погодных сервисов, предоставляющих данные о состоянии гидрометеорологической среды, что подтверждает востребованность гидрометеорологической информации среди пользователей. Применение гидрометеорологической информации в экономической деятельности делает необходимым оценку полезности ее использования. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации [1],

определение ценности метеорологического обслуживания должно базироваться на том, как пользователи получают и интерпретируют информацию о погоде и климате и каким образом данная информация влияет на их решения и действия.

Исследуются различные аспекты, влияющие на эффективность принимаемых решений: визуальное представление информации об ожидаемой погоде и связанных с ней рисках [2]; создание систем быстрого реагирования [3; 4], влияние социальных коммуникаций на доверие к метеорологической информации [5]. Моделирование решений пользователя рассматривается как в контексте альтернативного регламента действий [6; 7; 8], так и в условиях использования множества решений, дифференцированных относительно ожидаемого состояния погоды [9; 10]. Разнородная методологическая база определения ценности использования гидрометеорологической информации связана не только с применением различных подходов к проведению оценок полезности (бенчмаркинг, методы нерыночных оценок, перенос выгод, моделирование экономических решений), но и с детализацией исследований ценности гидрометеорологического обслуживания как в соответствии с задачами, решаемыми пользователями, так и в зависимости от характеристик рассматриваемой гидрометеорологической информации (детерминированный или вероятностный прогноз, вид опасного явления, определенная глубина прогноза и т.п.).

Для проведения корректного сопоставительного анализа ценности метеорологической информации для различных видов экономической деятельности необходима разработка единого методологического инструментария, предназначенного для оценки результатов решений пользователей, чувствительных к влиянию погоды и климата. Цель данного исследования – построение унифицированной модели, отражающей отраслевые особенности использования гидрометеорологической информации.

Для достижения поставленной цели автором были описаны условия и ограничения, накладываемые на модель, выделены основные этапы разработки, выбора и реализации решений, принимаемых с использованием информации о погоде и климате, формализована процедура оценки результатов принятых решений и показана возможность использования построенной модели при определении ценности гидрометеорологического, климатического, гидрологического и связанного с окружающей средой обслуживания.

В тексте статьи использованы следующие термины:

Погодозависимая деятельность – экономическая (хозяйственная) деятельность, результаты которой чувствительны к изменению погодных и климатических условий.

Погодоориентированное решение – решение, учитывающие влияние погоды на хозяйственную деятельность и принимаемое с использованием гидрометеорологической информации.

Пользователь гидрометеорологической информации – экономический субъект, использующий метеорологическую, климатическую, гидрологическую информацию при осуществлении хозяйственной деятельности.

Модель выбора погодоориентированных решений

Построение комплексной метеоролого-экономической модели, описывающей процесс принятия решений с использованием информации о погоде (климате), базировалось на использовании ряда предположений:

1. Из всего множества возможных состояний погоды пользователь гидрометеорологической информации выбирает для себя набор метеорологических элементов и их параметров, характеризующих интенсивность и продолжительность действия метеорологического фактора, которые оказывают влияние на результаты его хозяйственной деятельности;

2. Гидрометеорологическая информация представляет собой информационный ресурс, включение которого в процесс принятия решений позволяет улучшить финансово-экономические результаты погодозависимой хозяйственной деятельности, следовательно, пользователь стремится увеличить отдачу от использования ресурса, т.е. максимизировать полезность метеорологической информации;

3. Хозяйствующий субъект должен располагать технологическими и финансовыми возможностями реагировать на поступающую гидрометеорологическую информацию – подстраивать производственные процессы под ожидаемые погодные (климатические) условия;

4. Способность пользователя адаптироваться к влиянию гидрометеорологических условий находится на определенном (фиксированном) уровне в коротком периоде, но в длительном периоде может меняться.

Идеология модели состоит в применении процессного подхода при описании зависимости экономической (хозяйственной) деятельности от погоды и климата: из множества производственных процессов, выделяются такие, результаты которых зависят от гидрометеорологических условий. В отличие от подходов, изложенных в работах [8; 9], процесс принятия решений с использованием гидрометеорологической информации рассматривается в привязке к оси времени и основан на использовании цикла Деминга (PDCA): для того чтобы достигнуть цели, погодоориентированное решение проходит стадию планирования, стадию осуществления, стадию оценки и стадию корректировки,

если на предыдущем этапе выявлены расхождения между ожидаемыми и полученными результатами.

Задача пользователя гидрометеорологической информации состоит в том, чтобы принять решение (осуществить действие), наилучшим образом отвечающее условиям погоды, которые будут наблюдаться в определенный момент (период) производственного цикла: например, принять решение о необходимости и сроках проведении инсектицидных обработок сельскохозяйственных культур с учетом наблюдавшегося температурного режима и возможных осадков; выбрать режим работы отопительной системы в зависимости от температуры наружного воздуха; определить характеристики ограждающих конструкций зданий в зависимости от климатических условий региона.

Стадия планирования управленческого (погодоориентированного) решения включает в себя *момент выбора погодоориентированного* решения: для принятия решения используется прогностическая информация о состоянии метеорологических условий, которые будут наблюдаться в необходимый момент времени. Прогностическая информация должна поступить к пользователю заблаговременно. Лицо, принимающее решение, может использовать различные источники информации и иметь несколько предположений об ожидаемом состоянии погоды, но при принятии решения будет отдано предпочтение одному, наиболее вероятному с точки зрения пользователя, состоянию погоды, исходя из которого будет выбираться производственное решение, лучшим образом соответствующее ожидаемым условиям погоды. В работе [6] показано, что доверие к метеорологической информации лица, принимающего решения, основано на имеющемся опыте ее использования и может меняться с течением времени.

На стадии действия – реализации погодоориентированного управленческого решения – выделим момент времени (период) в котором пользователь осуществляет или игнорирует управляющие воздействия, связанные с ожидаемым влиянием метеорологической величины. Пользователь должен обладать знаниями о том, какие действия он будет предпринимать при каждом из ожидаемых значений метеорологической величины/состояний погодных условий, и иметь представление о хозяйственных (экономических) результатах этих действий. При этом пользователь осуществляет управляющее воздействие, только если ожидаемое значение метеорологической величины достигает некоторого порогового значения или находится в определенном диапазоне значений. Промежуток времени между моментом принятия решения

и выполнением действий, соответствующих этому решению, определяет требования пользователя к своевременности поступления метеорологической информации: у пользователя должно быть время на осуществление управляющих воздействий. К стадии реализации погодоориентированного решения также отнесем также ключевой момент времени для всей модели – момент проявления результата выбранного решения (осуществленных действий).

Стадия проверки содержит момент (период) количественной оценки результата принятого погодоориентированного решения. Результат рассматривается как функция выбранного погодоориентированного решения (ориентации на ожидаемое состояние погоды), осуществленных управляющих воздействий и фактической реализации погоды в заданный период времени. Временной лаг между моментом проявления результата и его количественной оценкой определяется спецификой зависимости производственных процессов от влияющих погодных или климатических условий: например, при выращивании сельскохозяйственных культур степень повреждения рассады можно оценить сразу после окончания заморозка, в то время как влияние недостатка или избытка почвенной влаги на урожайность сельскохозяйственной культуры оценивается в конце вегетационного периода.

Разница между моментом принятия решения и моментом проявления результата регламентирует глубину прогноза, а следовательно, вид используемой гидрометеорологической информации (прогнозы различной заблаговременности, климатическая информация, фактическая погода за выбранный интервал времени).

На стадии корректировки пользователь устраняет расхождение между планируемым и фактическим результатом управленческого решения, принятого с использованием гидрометеорологической информации. Отклонение планируемого результата от фактического может быть обусловлено как несоответствием ожидаемых и фактических условий погоды, так и несовершенством реализации управляющих воздействий, принятых в ожидании заданного состояния погоды.

Для следующего этапа производственного цикла, в котором необходимо учитывать влияние погодных условий, процесс выбора и реализации погодоориентированного решения повторяется в хронологическом порядке.

На рисунке 1 изображен единичный процесс принятия решения с использованием гидрометеорологической информации.

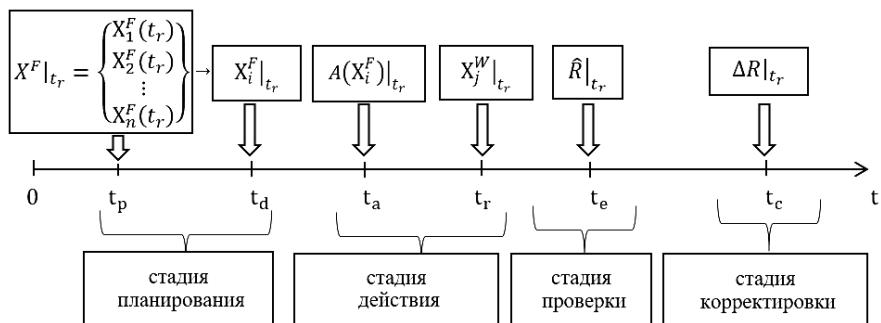


Рисунок 1 – Цикл использования гидрометеорологической информации при осуществлении погодозависимой деятельности

Обозначения: t – время, t_r – момент (период) производственного процесса, в который на результаты деятельности оказывают влияния гидрометеорологические условия; t_p – момент поступления гидрометеорологической информации к пользователю; t_d – момент принятия погодоориентированного решения (момент использования гидрометеорологической информации); t_a – момент (период) осуществления управляющих воздействий – действий пользователя, связанных с ожидаемым влиянием метеорологических условий на хозяйственную деятельность; t_e – момент оценки результата принятого погодоориентированного решения (осуществленных действий); t_c – момент осуществления корректирующих действий, направленных на устранение отклонений; X – параметры метеорологических условий, учитываемые при ведении данной хозяйственной деятельности (отдельные метеорологические величины либо их сочетание, характеризующееся определенными значениями интенсивности и продолжительности действия); F – индекс, указывающий на использование ожидаемого (прогностического) значения метеорологической величины (условий погоды); W – индекс, характеризующий фактически наблюдавшееся значение метеорологической величины (условий погоды); n – число состояний погоды, возможных в момент времени t_r ; j – индекс характеризующий фактические условия погоды, наблюдавшиеся в момент времени t_r ; i – индекс, указывающий на ожидаемое состояние погодных условий, выбранное из множества состояний погоды, возможных в момент времени t_r ; A – действия, осуществленные пользователем в момент времени t_a и ориентированные на наиболее вероятные условия погоды, ожидаемые момент в момент времени t_r ; \hat{R} – стоимостная оценка результата выбранного погодоориентированного решения; ΔR – отклонения между плановым и фактическим значением результата погодоориентированного решения

Модель, описывающая цикл использования гидрометеорологической информации, разработана автором в рамках реализации Контракта № NHMP2/2/C.2.c «Оценка экономической эффективности использования гидрометеорологической информации в погодозависимых отраслях экономики»,

Проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета – 2», Заем № 8291-RU.

Разработка управленческих решений, в том числе погодоориентированных, включает в себя стандартные этапы: диагностика проблемы и постановка цели; определение критериев; разработка и анализ альтернатив действий; выбор лучшего решения; оценка эффективности управленческих решений. При построении метеоролого-экономической модели использования гидрометеорологической информации в хозяйственной деятельности этапы распознавания проблемы, определения цели и критериев, а также и исследования альтернатив вынесены за рамки цикла, изображенного на рисунке 1. Гидрометеорологические условия, не требующие внесения изменений в производственный процесс, пользователь воспринимает как благоприятные, способствующие достижению лучших результатов финансово-хозяйственной деятельности. Параметры благоприятных условий погоды устанавливаются пользователем индивидуально, в соответствии со спецификой производственного процесса:

$$X_{\text{благ}}|_{t_{r_i}} \in (X_l \dots X_m)|_{t_{r_i}}, (1)$$

где i – индекс, указывающий на привязку погодных условий к текущему моменту производственного цикла.

Выход параметров погодных условий за пределы интервала, определяемого выражением (1), приводит к ухудшению экономических результатов производственных процессов и требует от пользователя осуществления действий, способствующих исправлению ситуации и дифференцированных в зависимости от интенсивности и продолжительности влияющего метеорологического фактора.

При описании проблем, связанных с влиянием гидрометеорологических условий на деятельность предприятия (хозяйствующего субъекта), необходимо различать влияние погодных условий на технологию производства работ (на определенном этапе производственного цикла технология производства работ меняется, если параметры погодных условий попадают в заданный интервал или превышают пороговые значения) и влияние опасной погоды – «severe weather» (производственный процесс затрудняется или останавливается при достижении метеорологическими величинами определенных критериев, хозяйственная инфраструктура подвергается риску физического разрушения). В обоих случаях необходимо установить критические значения метеорологических величин и периоды, в которые данные условия погоды оказывают влияние на деятельность пользователя:

$$X_{\text{опас}k} |_{t_{ri}} \in (X_{\text{min}k} \dots X_{\text{max}k}) |_{t_{ri}}, \quad (2)$$

где k – порядковый номер состояний условий погоды, способных оказывать воздействие на производственный процесс в момент (период) времени t_{ri} .

Целью принятия погодоориентированных решений является улучшение финансово-экономических результатов погодозависимой деятельности за счет своевременного учета погодных условий при осуществлении производственного цикла. Исследование альтернатив предполагает, что пользователь разрабатывает регламент действий на случай реализации критических значений метеорологических параметров в определенный период производственного цикла, исходя из собственных финансовых и технологических возможностей и оценки рисков, связанных с воздействием опасной погоды. Выбор лучшего погодоориентированного решения и оценка его эффективности в предложенной модели рассматривается в цикле использования поступающей гидрометеорологической информации. В зависимости от уровня проработки проблемы влияния гидрометеорологических условий на производственную деятельность пользователь может выбирать лучшее решение, используя эвристические подходы или применяя аналитические методы. Выбор решения целесообразно осуществлять на основании оценки условной вероятности реализации каждого возможного состояния погодных условий [6; 8–10]. Включение в процесс принятия решений полностью вероятностных прогнозов погоды предпочтительнее использования детерминированного прогноза, поскольку позволяет более полно оценить риски, связанные с неопределенностью реализации текста прогноза [11].

Оценка результатов управленческих решений, принятых с использованием гидрометеорологической информации

В общем случае результат управленческого решения, принятого с использованием гидрометеорологической информации, определяется с учетом специфики производственной деятельности пользователя и зависит от ожидаемых условий погоды, эффективности управляющих воздействий, имеющихся в распоряжении пользователя, и фактических условий погоды:

$$\hat{R} |_{t_r} = f(A(X_i^F), X_j^W) |_q, \quad (3)$$

где q – специфика производственной деятельности пользователя.

Выражение (3) отражает реакцию пользователя на воздействия гидрометеорологической среды и характеризует уязвимость хозяйственной деятельности от влияния погодных/климатических условий.

Эффективность управленческих решений, принимаемых с использованием информации о погоде, определяется отклонением фактического результата решения от его планового значения и зависит как от технологических и финансовых возможностей конкретного пользователя реагировать на имеющуюся гидрометеорологическую информацию (способности адаптироваться к влияющим погодным условиям), так и от степени соответствия ожидаемых и фактически осуществившихся условий погоды.

Поскольку адаптация представляет собой сложный экономический механизм подстройки хозяйственной деятельности под ожидаемую погоду на различных отрезках времени, уровень адаптации производственных процессов к влияющим гидрометеорологическим условиям прием неизменным в течение рассматриваемого периода. Тогда отклонение в плановых и фактических результатах погодоориентированных решений будет обусловлено расхождением ожидаемых и фактически наблюдавшихся условий погоды в заданный момент времени.

Под плановым результатом погодоориентированного решения будем понимать результат, определяемый исходя из ожидаемого на заданный момент времени состояния погодных условий и планируемых управляющих воздействий, соответствующих этому состоянию погоды:

$$\left(R^p |_{t_{ri}}\right)_{t_{di}} = f \left[\left(X_i^F |_{t_{ri}}\right)_{t_{di}}, \left(A_i |_{t_{ai}}\right)_{t_{di}} \right]. \quad (4)$$

В выражении (4) индекс внизу вертикальной черты означает момент производственного цикла, к которому относится величина, а индекс внизу круглой скобки означает момент производственного цикла, когда определяется значение величины.

Под фактическим результатом погодоориентированного решения будем понимать результат, определяемый исходя из эффективности реализованных управляющих воздействий и фактической погоды в заданный момент времени:

$$\left(R^a |_{t_{ri}}\right)_{t_{ei}} = f \left[\left(X_j^W |_{t_{ri}}\right)_{t_{ri}}, \left(A_i |_{t_{ai}}\right)_{t_{ai}} \right]. \quad (5)$$

Определим возможные ситуации, характеризующие результат погодоориентированного решения в зависимости от степени соответствия ожидаемых и фактических условий погоды:

1. Ожидаемые условия погоды соответствуют фактическим в заданный момент времени – правильный прогноз погодных условий.

Соответствие ожидаемых и фактических условий погоды интерпретируется как попадание прогнозируемых и фактических значений метеорологической величины в один заданный диапазон:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F \in (X_b \dots X_k) \\ X_j^W \in (X_b \dots X_k) \end{array} \right\} \rightarrow \left(X_i^F |_{t_r} \equiv X_j^W |_{t_r} \right)_{\theta}, \quad (6)$$

где θ – индекс, обозначающий ситуацию правильного прогноза погодных условий.

Если и ожидаемое, и фактическое значение метеорологической величины попадает в интервал значений, определяемых выражением (1), имеет место ситуация правильного прогноза благоприятных условий погоды:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F |_{t_{ri}} \in (X_l \dots X_m) |_{t_{ri}} \\ X_j^W |_{t_{ri}} \in (X_l \dots X_m) |_{t_{ri}} \end{array} \right\} \rightarrow \left(X_i^F |_{t_r} \equiv X_j^W |_{t_r} \right)_{\theta_{\text{благ}}}, \quad (7)$$

где $\theta_{\text{благ}}$ – индекс, обозначающий ситуацию правильного прогноза благоприятных условий погоды.

Если и ожидаемое, и фактическое значение метеорологической величины попадает в интервал, описываемый выражением (2), имеет место ситуация *правильного прогноза неблагоприятных условий погоды*:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F |_{t_{ri}} \in (X_{\text{min}k} \dots X_{\text{max}k}) |_{t_{ri}} \\ X_j^W |_{t_{ri}} \in (X_{\text{min}k} \dots X_{\text{max}k}) |_{t_{ri}} \end{array} \right\} \rightarrow \left(X_i^F |_{t_r} \equiv X_j^W |_{t_r} \right)_{\theta_{\text{опас}}}, \quad (8)$$

где $\theta_{\text{опас}}$ – индекс, обозначающий ситуацию *правильного прогноза неблагоприятных условий погоды*.

Результатом использования метеорологической информации в ситуации правильного прогноза неблагоприятных условий погоды ($R_{\theta_{\text{опас}}}$) является снижение возможных потерь по метеорологическим причинам, а в ситуации правильного прогноза благоприятных условий погоды ($R_{\theta_{\text{благ}}}$) – возможность выполнять производственные операции в обычном режиме, соответствующем благоприятной погоде, и отсутствие любых дополнительных издержек, связанных с ожиданием и реализацией погодных условий.

В условиях эффективного управления (при отсутствии ошибок менеджмента) при идентичности ожидаемых и фактически наблюдавшихся условий погоды в заданный момент времени плановый результат погодоориентированного решения совпадает с фактическим – имеет место максимальная полезность метеорологической информации.

2. Фактические условия погоды оказались более неблагоприятными, чем ожидаемые в заданный момент времени, – ситуация ошибочного прогноза – пропуска опасных условий погоды.

Ожидаемое состояние погоды характеризуется значением метеорологических параметров, более благоприятных для пользователя, чем фактические условия погоды, наблюдавшиеся в заданный момент производственного цикла:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F |_{t_{r_i}} \in (X_{min_s} \dots X_{max_s}) \\ X_j^W |_{t_{r_i}} \in (X_{min_k} \dots X_{max_k}) \end{array} \right|_{s < k} \rightarrow (X_i^F |_{t_r} < X_j^W |_{t_r})_{\gamma}, \quad (9)$$

где s – индекс, характеризующий меньшую опасность диапазона метеорологических параметров для пользователя, k – индекс, характеризующий большую опасность диапазона метеорологических параметров для пользователя; γ – индекс, обозначающий ситуацию *пропуска опасных условий погоды*.

Если условия погоды, ожидаемые пользователем в заданный момент времени, попадают в диапазон значений метеорологических параметров, определяемых выражением (1), а фактически наблюдавшиеся условия погоды попадают в интервал значений метеорологических параметров, указанных в выражении (2), то имеет место ситуация чистой ошибки – пропуска опасных условий погоды:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F |_{t_{r_i}} \in (X_l \dots X_m) |_{t_{r_i}} \\ X_j^W |_{t_{r_i}} \in (X_{min_k} \dots X_{max_k}) |_{t_{r_i}} \end{array} \right\} \rightarrow (X_i^F |_{t_r} < X_j^W |_{t_r})_{\gamma_p}, \quad (10)$$

где γ_p – индекс, обозначающий ситуацию чистой ошибки – пропуска опасных условий погоды.

Результатом использования метеорологической информации в ситуации пропуска неблагоприятных условий погоды (R_{γ} , R_{γ_p}) являются потери по метеорологическим причинам, обусловленные несоответствием управляющих воздействий, необходимых при наблюдавшихся погодных условиях, и реализованных пользователем в ожидании иных условий погоды.

Результат погодоориентированного решения в случае ошибочного прогноза более благоприятных условий погоды, чем наблюдались в заданный момент времени, зависит как от величины отклонения фактических условий погоды от ожидаемых, так и от специфики реализованных управляющих воздействий.

3. Фактические условия погоды оказались более благоприятными, чем ожидаемые в заданный момент времени, – ситуация ошибочного прогноза

неблагоприятной погоды. Ожидаемое состояние погоды характеризуется значением метеорологических параметров, более неблагоприятных для пользователя, чем фактические условия погоды, наблюдавшиеся в заданный момент производственного цикла:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F|_{t_{ri}} \in (X_{min_k} \dots X_{max_k}) \\ X_j^W|_{t_{ri}} \in (X_{min_s} \dots X_{max_s}) \end{array} \right|_{s < k} \rightarrow (X_i^F|_{t_r} > X_j^W|_{t_r})_{\beta}, \quad (11)$$

где s – индекс, характеризующий меньшую опасность диапазона метеорологических параметров для пользователя, k – индекс, характеризующий большую опасность диапазона метеорологических параметров для пользователя; β – индекс, обозначающий ситуацию *ошибочного прогноза неблагоприятных условий погоды*.

Если условия погоды, ожидаемые пользователем в заданный момент времени, попадают в диапазон значений метеорологических параметров, определяемых выражением (2), а фактически наблюдавшиеся условия погоды попадают в интервал значений метеорологических параметров, указанных в выражении (1), то имеет место ситуация чистой ошибки – страховки:

$$\left. \begin{array}{l} X_i^F|_{t_{ri}} \in (X_{min_k} \dots X_{max_k})|_{t_{ri}} \\ X_j^W|_{t_{ri}} \in (X_l \dots X_m)|_{t_{ri}} \end{array} \right\} \rightarrow (X_i^F|_{t_r} > X_j^W|_{t_r})_{\beta_p}, \quad (12)$$

где β_p – индекс, обозначающий ситуацию чистой ошибки – страховки опасных условий погоды.

Результатом использования метеорологической информации в ситуациях ошибочного прогноза неблагоприятных условий погоды (R_{β} , R_{β_p}) являются дополнительные издержки пользователя на реализацию управляющих воздействий, необходимость в которых при погодных условиях, наблюдавшихся в заданный момент времени, отсутствовала.

Величина результата погодоориентированного решения в случае ошибочного прогноза неблагоприятных условий погоды зависит от степени расхождения между ожидаемыми и фактическими условиями погоды.

Результаты управленческих решений, принимаемых с использованием гидрометеорологической информации, можно интерпретировать в натуральных показателях или в их стоимостном эквиваленте.

В стоимостном выражении результата принятого погодоориентированного решения (осуществлении производственных действий, соответствующих ожидаемому состоянию погоды), выделим доходную и затратную составляющую:

$$\hat{R}|_{t_{ri}} = \hat{R}^B|_{t_{ri}} - \hat{R}^C|_{t_{ri}}, \quad (13)$$

где: $\hat{R}|_{t_{ri}}$ – стоимостная оценка результата погодоориентированного решения, имевшего место в заданный момент времени, выраженная в денежных единицах; $\hat{R}^B|_{t_{ri}}$ – стоимостная оценка доходной части результата погодоориентированного решения, выраженная в денежных единицах; $\hat{R}^C|_{t_{ri}}$ – стоимостная оценка затратной части результата погодоориентированного решения, выраженная в денежных единицах.

Стоимостная оценка затратной и доходной части результата погодоориентированного решения выполняется с учетом степени соответствия ожидаемых и фактически наблюдавшихся условий погоды:

$$\hat{R}^B|_{t_{ri}} = \begin{cases} \hat{R}_\theta^B|_{t_{ri}}, & \text{если } X_i^F|_{t_{ri}} = X_j^W|_{t_{ri}} \\ \hat{R}_\gamma^B|_{t_{ri}}, & \text{если } X_i^F|_{t_{ri}} < X_j^W|_{t_{ri}}, \\ \hat{R}_\beta^B|_{t_{ri}}, & \text{если } X_i^F|_{t_{ri}} > X_j^W|_{t_{ri}} \end{cases} \quad (14)$$

где $\hat{R}_\theta^B|_{t_{ri}}$ – доход, получаемый пользователем в случае соответствия ожидаемого и фактического состояния погодных условий в заданный момент времени; $\hat{R}_\gamma^B|_{t_{ri}}$ – доход, получаемый пользователем в случае, если фактические условия погоды, наблюдавшиеся в заданный момент времени, оказались более неблагоприятными, чем ожидалось; $\hat{R}_\beta^B|_{t_{ri}}$ – доход, получаемый пользователем в случае, если фактические условия погоды, наблюдавшиеся в заданный момент времени, оказались более благоприятными, чем ожидалось.

$$\hat{R}^C|_{t_{ri}} = \begin{cases} \hat{R}_\theta^C|_{t_{ri}}, & \text{если } X_i^F|_{t_{ri}} = X_j^W|_{t_{ri}} \\ \hat{R}_\gamma^C|_{t_{ri}}, & \text{если } X_i^F|_{t_{ri}} < X_j^W|_{t_{ri}}, \\ \hat{R}_\beta^C|_{t_{ri}}, & \text{если } X_i^F|_{t_{ri}} > X_j^W|_{t_{ri}} \end{cases} \quad (15)$$

где $\hat{R}_\theta^C|_{t_{ri}}$ – затраты, понесенные пользователем для получения результата погодоориентированного решений в случае соответствия ожидаемых и условий погоды в заданный момент времени; $\hat{R}_\gamma^C|_{t_{ri}}$ – затраты, понесенные пользователем для получения результата погодоориентированного решений в случае, если фактические условия погоды, наблюдавшиеся в заданный момент времени, оказались более неблагоприятными, чем ожидалось; $\hat{R}_\beta^C|_{t_{ri}}$ – затраты,

понесенные пользователем для получения результата погодоориентированного решения в случае, если фактические условия погоды, наблюдавшиеся в заданный момент времени, оказались более благоприятными, чем ожидалось.

Наличие доходной и затратной составляющей в результатах погодоориентированных решений будет определяться особенностями влияния погодных условий на хозяйственную деятельность пользователя.

Полный производственный цикл может содержать несколько решений, принимаемых с использованием гидрометеорологической информации. При этом расположение на оси времени моментов, соответствующих различным стадиям принятия решений, как и характеристики необходимой для этого информации, определяются особенностями технологических процессов. Пользователь имеет возможность выбирать период, за который проводится оценка результатов погодоориентированных решений; данный период должен включать как минимум один цикл использования гидрометеорологической информации (см. рис.1). Отметим, что на стадии планирования решения пользователь не только определяет состояние погоды, на которое он будет ориентироваться при осуществлении хозяйственной деятельности, но и выполняет стоимостную оценку ожидаемого результата в соответствии с выражениями (13)–(15), в предположении, что фактические условия погоды в требуемый момент времени совпадут с ожидаемыми.

Совокупный результат использования гидрометеорологической информации, определяемый за период времени, устанавливаемый пользователем, включает результаты погодоориентированных решений, принятых в течение выбранного отрезка времени, учитываемых со знаком минус, в случае если затратная часть результата решения превышает доходную:

$$\hat{R}|_T = \sum_1^T \hat{R}|_{t_{r_i}} = \sum_1^n \hat{R}_\theta|_{t_{r_i}} + \sum_1^m \hat{R}_\gamma|_{t_{r_i}} + \sum_1^l \hat{R}_\beta|_{t_{r_i}}, \quad (16)$$

где T – период времени, за который оценивается результат погодоориентированных решений; n – число случаев, когда в заданный момент времени ожидаемые погодные условия соответствуют фактическим; m – число случаев, когда в заданный момент времени фактические условия погоды оказались более неблагоприятными, чем ожидаемые; l – число случаев, фактические условия погоды оказались более благоприятными, чем ожидаемые.

Определение полезности использования метеорологической информации

Результаты исследования могут быть использованы для определения ценности гидрометеорологического обслуживания.

Поскольку и ожидаемые, и фактические погодные условия влияют на результаты финансово-хозяйственной деятельности организации, можно выделить гидрометеорологическую составляющую в прибыли, получаемой организацией:

$$\pi^p|_T = \hat{R}^p|_T = \hat{R}^{Bp}|_T - \hat{R}^{Cp}|_T, (17)$$

$$\pi^a|_T = \hat{R}^a|_T = \hat{R}^{Ba}|_T - \hat{R}^{Ca}|_T, (18)$$

$$\Delta\pi|_T = \hat{R}^p|_T - \hat{R}^a|_T. (19)$$

Отклонение между плановой прибылью от ведения погодозависимой деятельности и ее фактическим значением за выбранный период времени, обусловленное изменением доходов и затрат за счет неопределенности реализации ожидаемого состояния погодных условий, характеризует добавленную ценность гидрометеорологической информации.

Модельные расчеты, выполненные в соответствии с выражениями (17) – (19) для организации, осуществляющей деятельность по транспортной обработке грузов, показали, что отклонение фактической прибыли от ее планового значения, рассчитанного без учета повторяемости градаций скорости ветра, влияющих на производство работ (что равнозначно предположению о постоянной реализации благоприятных условий погоды), составляет: «-» 47,5 % при условии ориентации на состояние атмосферы, имеющее место в момент принятия решения; «-» 41,9 % при условии использования прогнозов, предоставляемых гидрометеорологической службой и «->» 14,6 % при условии использования идеальных прогнозов. Учет данных о климатической повторяемости неблагоприятных условий погоды, позволяет организации избежать завышения ожидаемой прибыли на 7,4 %; при этом расхождение между планируемой и фактической прибылью составит «->» 43,3 %, «->» 37,2 % и «->» 7,9 %, соответственно. Получаемые результаты чувствительны как к изменению технико-экономических параметров деятельности организации, так и к изменению характеристик используемой метеорологической информации.

В общем случае точность гидрометеорологических прогнозов зависит от глубины прогноза, массива исходных данных, используемой технологии прогнозирования и естественным образом ограничена. Для более эффективного распределения ресурсов организации планирование прибыли от осуществления погодозависимой деятельности целесообразно выполнять с учетом ретроспективных данных о повторяемости условий погоды, оказывающих

влияние на производственные процессы, а также учитывать сценарии климатических изменений для будущих периодов.

Выводы

В данной работе рассматривается проблематика, связанная с учетом погодных и климатических условий, влияющих на ведение экономической деятельности. Использование гидрометеорологической информации рассматривается как циклический процесс, позволяющий улучшить результаты финансово-хозяйственной деятельности организации при условии обеспечения финансовой и технологической поддержки принимаемых погодоориентированных решений. Предложенная модель принятия решений позволяет структурировать использование гидрометеорологической информации в соответствии с особенностями влияния погодных и климатических условий на хозяйственные объекты и выполняемые производственные процессы. Подход, использованный для формального описания результатов погодоориентированных решений, отражает как экономические аспекты погодозависимой деятельности, так и неопределенность, связанную с ожиданием и реализацией погодных условий.

Выделены основные типы расхождений между ожидаемыми и фактическими значениями метеорологических факторов и показана зависимость результатов погодоориентированных решений от степени соответствия ожидаемых и фактических условий погоды. Выбор погодоориентированного решения основан на степени доверия пользователя к источнику гидрометеорологической информации. Модель позволяет выполнять количественную оценку результатов использования любых видов гидрометеорологической информации, дифференцированных по форме представления, продолжительности действия (глубине прогноза), назначению, охвату территории. Результаты исследования могут использоваться при разработке системы учета издержек, обусловленных влиянием погоды и климата на деятельность организации, а также в целях управления погодно-климатическими рисками предприятия.

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания №FSFE 2022-0002 Минобрнауки России.

Список источников

1. Оценивая погоду и климат: экономическая оценка метеорологического и гидрологического обслуживания// ВМО-№ 1153. – 2015. – 361 с.
2. **Gerst M.D., Kenney M.A., Baer A. E., Speciale A., Wolfinger J. F., Gottschalek J., Handel S., Rosencrans M., and Dewitt D.** Using

Visualization Science to Improve Expert and Public Understanding of Probabilistic Temperature and Precipitation Outlooks // *Weather, Climate and Society*. Vol. 12. January 2020. Pp. 117–133. DOI: 10.1175/WCAS-D-18-0094.1.

3. **Lazo J. K., Hosterman H. R., Sprague-Hilderbrand J. M., and Adkins J. E.** Impact-Based Decision Support Services and the Socioeconomic Impacts of Winter Storms // *Bulletin of the American Meteorological Society* (2020) 101 (5): E626 – E639. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0153.1>.
4. **Uccellini L. W. and. Ten Hoeve J. E.** Evolving the National Weather Service to Build a Weather-Ready Nation// *Bulletin of the American Meteorological Society*, October 2019: I923–I942. DOI:10.1175/BAMS-D-18-0159.1.
5. **Mulvey G. J., Deleon K., and Sowder B.** Social Media Ethics for the Meteorologist // *Bulletin of the American Meteorological Society*, October 2019: 723–725. DOI:10.1175/BAMS-D-19-0226.1.
6. **Shafiee-Jood M., Deryugina T., and Cai X.** Modeling Users’ Trust in Drought Forecasts// *Weather, Climate and Society*. Vol. 13. July 2021. Pp 649–664. DOI: 10.1175/WCAS-D-20-0081.1.
7. **Von Gruenigen S., Willemse S., and Frei T.** Economic Value of Meteorological Services to Switzerland’s Airlines: The Case of TAF at Zurich Airport// *Weather, Climate, and Society*, Volume 6: Issue 2. Apr 2014, pp. 264–272. DOI: 10.1175/WCAS-D-12-00042.1.
8. **Lee K.-K., Lee J.-W.** The Economic Value of Weather Forecasts for Decision-Making Problems in the Profit/Loss Situation// *Meteorological Applications* 14: Pp. 455–463 (2007). DOI: 10.1002/met.
9. **Хандожко Л.А., Коршунов А.А., Фокичева А.А.** Выбор оптимального погодо-хозяйственного решения на основе прогноза опасных гидрометеорологических условий. // *Метеорология и гидрология*. – 2003. – № 1. – С. 5–17.
10. **Cobon D. H., Darbyshire R., Crean J., Kodur S., Simpson M., and Jarvis C.** Valuing Seasonal Climate Forecasts in the Northern Australia Beef Industry // *Weather, Climate and Society*. Volume 12. January 2020. Pp.3–14. DOI: 10.1175/WCAS-D-19-0018.1.
11. **Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию**// *ВМО-№ 1091*. – 2012. – 37 с.

References

1. **Ocenivaya pogodu i klimat: ekonomicheskaya ocenka meteorologicheskogo i gidrologicheskogo obsluzhivaniya**// *WMO-№ 1153*. – 2015. – 361 s.
2. **Gerst M.D., Kenney M.A., Baer A. E., Speciale A., Wolfinger J. F., Gottschalek J., Handel S., Rosencrans M., and Dewitt D.** Using Visualization Science to Improve Expert and Public Understanding of Probabilistic Temperature and Precipitation Outlooks // *Weather, Climate and*

- Society. Vol. 12. January 2020. Pp. 117-133. DOI: 10.1175/WCAS-D-18-0094.1.
3. **Lazo J. K., Hosterman H. R., Sprague-Hilderbrand J. M., and Adkins J. E.** Impact-Based Decision Support Services and the Socioeconomic Impacts of Winter Storms. // *Bulletin of the American Meteorological Society* (2020) 101 (5): E626 – E639. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0153.1>.
 4. **Uccellini L. W. and. Ten Hoeve J. E.** Evolving the National Weather Service to Build a Weather-Ready Nation// *Bulletin of the American Meteorological Society*, October 2019: 1923–1942. DOI:10.1175/BAMS-D-18-0159.1.
 5. **Mulvey G. J., Deleon K., and Sowder B.** Social Media Ethics for the Meteorologist // *Bulletin of the American Meteorological Society*, October 2019: 723–725. DOI:10.1175/BAMS-D-19-0226.1.
 6. **Shafiee-Jood M., Deryugina T., and Cai X.** Modeling Users’ Trust in Drought Forecasts// *Weather, Climate and Society*. Vol. 13. July 2021. Pp. 649-664. DOI: 10.1175/WCAS-D-20-0081.1.
 7. **Von Gruenigen S., Willemse S., and Frei T.** Economic Value of Meteorological Services to Switzerland’s Airlines: The Case of TAF at Zurich Airport// *Weather, Climate, and Society*, Volume 6: Issue 2 Apr.. 2014, pp. 264–272 DOI: 10.1175/WCAS-D-12-00042.1.
 8. **Lee K.-K., Lee J.-W.** The Economic Value of Weather Forecasts for Decision-Making Problems in the Profit/Loss Situation// *Meteorological Applications* 14: pp. 455–463 (2007). DOI: 10.1002/met.
 9. **Xandozhko L.A., Korshunov A.A., Fokicheva A.A.** Vybór optimalnogo pogodo-xozyajstvennogo resheniya na osnove prognoza opasnyh gidrometeorologicheskikh uslovij. // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2003. – № 1. – S. 5–17.
 10. **Cobon D. H., Darbyshire R., Crean J., Kodur S., Simpson M., and Jarvis C.** Valuing Seasonal Climate Forecasts in the Northern Australia Beef Industry. // *Weather, Climate and Society*. Volume 12. January 2020. Pp.3–14. DOI: 10.1175/WCAS-D-19-0018.1.
 11. **Rukovodyashhie ukazaniya po sistemam ansamblevogo prognozirovaniya i prognozirovaniyu**// WMO-№ 1091. – 2012. – 37 s.