

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Е.П. Истомин, А.А. Фокичева, А.А. Коршунов, Л.С. Слесарева

УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

E.P. Istomin, A.A. Fokicheva, A.A. Korshunov, L.S. Slesareva

THE MANAGEMENT OF HYDRO METEOROLOGICAL RISKS IN SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Влияние гидрометеорологических условий на социально-экономические системы представлено в виде случайного процесса и выделены различные категории рисков, вызываемых воздействием неблагоприятных условий погоды. Рассмотрены экономические и информационные аспекты управления гидрометеорологическими рисками.

Ключевые слова: социально-экономические системы, гидрометеорологические риски, случайный процесс, неблагоприятные гидрометеорологические условия.

Influence of meteorological conditions on the socio-economic system is represented as a random process. Different categories of risk caused by exposure to adverse weather conditions are highlighted. Economic and informational aspects of hydro-meteorological risk management are considered.

Keywords: socio-economic system, hydro-meteorological risks, stochastic process, adverse meteorological conditions.

В вопросах государственного и муниципального управления особая роль отводится проблемам устойчивого развития территорий, в том числе оценке экономической, социальной и экологической устойчивости регионов [1]. Принятие управленческих решений должно учитывать постоянную взаимосвязь экономической и социальной деятельности с природными, в том числе гидрометеорологическими, условиями. В то же время современная экономическая деятельность ведется в условиях неопределенности, поэтому ожидаемые доходы и расходы не могут быть рассчитаны однозначно. Поскольку отклонения плановых и фактических величин доходов и расходов имеет случайную природу, негативные последствия неопределенности результатов экономической деятельности принято характеризовать понятием риска. Риски экономической деятельности связаны, в том числе, с воздействием погоды и климата [4]. Гидрометеорологическая среда способна оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на социально-экономические системы: погодо-климатические условия выступают в роли природных ресурсов в сельскохозяйственном производстве, энергетике, лесном хозяйстве, водном хозяйстве и т.д. В то же время неблагоприятные

и опасные гидрометеорологические условия и явления погоды являются причиной возникновения экономических и социальных потерь, которые необходимо исследовать в пространственно-временном аспекте с учетом плотности распределения и видов производственной (экономической) деятельности на заданной территории.

По статистическим данным Федерального государственного учреждения «Все-российского научно исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»), наибольшее число воздействий с точки зрения экономических и социальных потерь несут жилищно-коммунальное хозяйство, энергетика, сельское хозяйство и автотранспорт [9].

Нарастающая гидрометеорологическая опасность рассматривалась и особо выделялась во многих исследованиях зарубежных и российских исследователей, в работах, публикуемых Всемирной метеорологической организацией (ВМО) [5, 12], неоднократно обсуждалась на международных и региональных конференциях. При этом во многих исследованиях отмечалось, что национальные метеорологические службы могли бы принести большую пользу сообществу, если бы в своей деятельности они проводили также сравнительный анализ сведений о негативных последствиях от воздействия экстремальных, неблагоприятных условий погоды и опасных гидрометеорологических явлениях и разрабатывали с их помощью уточненные методики для прогнозирования воздействия опасных явлений и погоды в целом на человека.

В работе [2] предложено выделять следующие группы рисков экономических систем, связанных с воздействием гидрометеорологической среды.

1. *Риски от ежедневных колебаний погодных условий* — погодозависимость экономической деятельности находит отражение в модели дополнительных издержек, связанных с отклонением ожидаемых погодных условий от наиболее благоприятных для реализации данного вида экономической деятельности.
2. *Катастрофические риски от экстремальных проявлений погоды и климата* — обуславливают проблему устойчивости экономической системы к воздействию гидрометеорологической среды.

Управление гидрометеорологическими рисками является условием обеспечения гидрометеорологической безопасности и должно осуществляться как на микро-, так и на макроэкономическом уровне. Прежде всего необходим анализ, направленный на выявление в экономической системе *субъектов риска* — погодозависимых элементов экономики — и определение для них видов потенциального ущерба, а также выявление *факторов риска* (определение пороговых значений метеорологических величин и условий погоды, реализация которых может привести к реализации риска для субъекта риска). Отметим, что любая социально-экономическая система обладает такими характеристиками, как *подверженность* и *уязвимость* к негативному влиянию гидрометеорологической среды [8]. Подверженность определяется особенностями воздействующего явления или условия погоды, зависит от масштабов экономических объектов, расположенных на заданной территории, и их плотности и является необходимым, но не достаточным детерминантом гидрометеорологического риска. Уязвимость рассматривается как восприимчивость подверженных гидрометеорологическому воздействию элементов социально-экономической системы неблагоприятным последствиям (экономическим и социальным потерям). Степень уязвимости

определяется возможностями данного элемента социально-экономической системы к защите от воздействия неблагоприятных гидрометеорологических условий или опасного явления погоды.

Исследуя зависимость результатов экономической деятельности от влияющего метеорологического фактора X , будем полагать, что ущерб U возможен, если реализованное значение X больше установленного порогового значения $X_{\text{пор}}$, определяемого спецификой экономической деятельности ($X > X_{\text{пор}} \rightarrow U > 0$), и ущерб является функцией значения метеорологического фактора $U = U(X)$. Реализация X в момент времени t является случайным событием, а изменение X во времени представляет собой случайный процесс $X(t)$ [3], как показано на рис. 1.

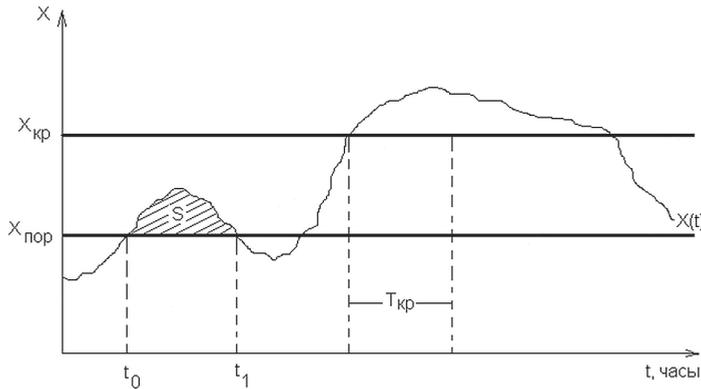


Рис. 1. Реализация метеорологического фактора во времени

Очевидно, что ущерб может рассматриваться как случайный процесс, который будет зависеть от длительности периода времени $t_1 - t_0$, в течение которого выполняется условие $X > X_{\text{пор}}$, и суммарной величины положительного отклонения $\Delta X = X - X_{\text{пор}}$ воздействующего метеорологического фактора, то есть площади S :

$$S = \int_{t_0}^{t_1} [X(t) - X_{\text{пор}}] dt. \quad (1)$$

Тогда оценка ущерба описывается следующим выражением:

$$U(X) = KAS, \quad (2)$$

где K — коэффициент пропорциональности, устанавливается эмпирическим путем; A — параметр, определяемый адаптационной способностью экономической системы к воздействию неблагоприятного гидрометеорологического фактора, $A \in [0, 1]$.

Если экономическая система не предпринимает мер для снижения ущерба ($A = 1$), тогда наблюдается максимально возможный ущерб $U_{\text{max}}(X)$:

$$U_{\text{max}}(X) = KS. \quad (3)$$

Если экономическая система обладает кардинальными мерами защиты от неблагоприятных проявлений погоды, то ущерб определяется только затратами на реализацию мер защиты ($A \rightarrow 0$).

Будем полагать, что экстремальные проявления погоды способны привести к нарушению устойчивости экономической системы, если ущерб от их проявлений $U(X)$ больше определенного уровня $U_{кр}(X)$.

Допускается, что при $A = 1$ катастрофический ущерб возможен, если метеорологический фактор X превышает установленное критическое значение $X_{кр}$ в течение периода времени t не менее $T_{кр}$. Применение мер защиты ($A < 1$) позволяет допускать увеличение интервала $T_{кр}$.

Оценка гидрометеорологических рисков сводится к оценке двух составляющих — оценки опасности (вероятности возникновения неблагоприятных гидрометеорологических условий) и оценки уязвимости (оценки возможного ущерба при реализации неблагоприятных гидрометеорологических условий). Особенно важно правильно учесть степень воздействия неблагоприятных гидрометеорологических условий на этапе принятия стратегических решений при планировании развития территорий.

Исследуя возможные реализации случайного процесса $X(t)$ на данной территории за достаточный период времени, можно определить наиболее характерные сценарии процесса. Климатические изменения будут приводить к отклонениям от типовых сценариев и потребуют совершенствования мер защиты.

На основании накопленной информации о возможных реализациях случайного процесса и их экономических последствий можно дать климатическую оценку риска R [4]:

$$R = Q[X(t) > X_{пор}]U(X), \quad (4)$$

где $Q[X(t) > X_{пор}]$ — вероятность превышения порогового значения метеорологического фактора $X_{пор}$ случайной функцией $X(t)$, описывающей поведение этого фактора во времени.

При условии стационарности исследуемого процесса на временном интервале τ в качестве оценки риска $Q[X(t_k) > X_{пор}]$ в момент времени t_k может быть использована прогнозная оценка вида [3]:

$$Q[X(t_k) > X_{пор}] = \left(1 - \Phi \left\{ \frac{X_{пор} - m_X - r_X(\tau)[X_i - m_X]}{\sigma_X \sqrt{1 - r_X^2(\tau)}} \right\} \right), \quad (5)$$

где $\Phi\{\dots\}$ — функция Лапласа; m_X — математическое ожидание случайного процесса $X(t)$; $r_X(\tau)$ — автокорреляционная функция; σ_X — среднеквадратическое отклонение; X_i — текущее (фактическое) значение метеорологического фактора в момент времени t_i ; $X(t_k)$ — ожидаемое значение метеорологического фактора в момент времени t_k ; τ — ширина временного интервала:

$$\tau = t_k - t_i, \quad (6)$$

где $i < k$.

В общем случае, гидрометеорологические риски связаны не только с наступлением неблагоприятных условий погоды, но и с их ожиданием. Использование прогнозов погоды позволяет снизить риск появления ущерба по гидрометеорологическим причинам относительно климатических оценок, но не избежать его полностью — возникают *риски менеджмента*, которые обусловлены проблемой выбора оптимального управленческого решения в соответствии с принципом максимизации ожидаемой полезности, учитывающим неопределенность реализации прогноза состояния гидрометеорологической среды.

Управление гидрометеорологическими рисками осуществляется в системе «территория – экономика – природная среда» [10, 11], при этом важную роль играет процесс адаптации (приспособления) экономической деятельности к возможным неблагоприятным проявлениям гидрометеорологической среды. В процессе адаптации выделяют этапы [7]:

- *разработки защитных мероприятий*, дифференцированных в зависимости от интенсивности I ($I \sim \Delta X$) и продолжительности T воздействующего метеорологического фактора;
- *реализации защитных мероприятий* при ожидании неблагоприятной погоды.

Задача оперативного управления рисками ущерба от неблагоприятных гидрометеорологических условий представляет собой циклически повторяющийся процесс принятия решения на основании информации об ожидаемом состоянии погодных условий. Решение данной задачи сводится к разработке алгоритма действий лица, принимающего решения, по управлению процессом адаптации к неблагоприятным условиям погоды, направлено на минимизацию ущерба по гидрометеорологическим причинам и содержит следующие последовательные этапы:

- определения уровня воздействия метеорологического фактора X на заданный момент времени t_k : если ожидается, что значение метеорологического фактора превысит пороговое значение $X(t_k) > X_{\text{пор}}$, то определяются процессы, направленные на уменьшение последствий данного воздействия до заданного (минимального) уровня $U_{\text{min}}(X)$ — выбор функции управления;
- реализации функции управления — выполнение запланированных работ, направленных на снижение воздействия неблагоприятной погоды. Реализация мер защиты требует заблаговременности, на момент наступления неблагоприятной погоды t_k меры защиты должны быть реализованы;
- в момент времени t_k сбор информации о фактическом состоянии метеорологических параметров и контроль результатов, получившихся в ходе реализации защитных мер на основе количественных показателей; выявления и анализа отклонений фактических результатов от запланированных, установление причин отклонений;
- принятия мер по устранению причин отклонений, изменения в планировании и распределении ресурсов на следующий момент времени t_{k+1} с учетом реализации фактической погоды и уточненного прогноза.

Таким образом, для эффективного управления гидрометеорологическими рисками необходимо создание информационных систем поддержки принимаемых решений [6], включающих: а) базы данных корреляции прогнозируемой и фактической

погоды по времени и пространству; б) информацию о возможных экономических последствиях управленческих решений, обусловленных влиянием погоды на соответствующей территории.

Такой подход к управлению рисками позволит оптимизировать процесс выбора решения, удовлетворяющего целевой функции — снижению экономического ущерба, наносимого неблагоприятными гидрометеорологическими условиями на исследуемой территории, и будет способствовать достижению устойчивых результатов финансово-хозяйственной деятельности региона.

Развитие предложенной модели оценки влияния отдельного метеорологического фактора на экономическую систему предполагается проводить в направлении учета рисков при воздействии вектора погодных факторов

Литература

1. *Истомин Е.П., Фокичева А.А.* О некоторых вопросах управления территорией с учетом нестабильности климатической системы // Информ. технол. и сист.: управление, экономика, транспорт, право. 2014. № 3 (14). — С. 62–66.
2. *Истомин Е.П., Соколов А.Г., Фокичева А.А.* О некоторых вопросах управления гидрометеорологическими рисками // Мат-лы 9-й меж. науч.-пр. конф. «Анализ, прогноз и упр. природ. рисками в совр-м мире, ГЕОРИСК-2015». — М.: РУДН, 2015. Т. 2. — С. 170–176.
3. *Истомин Е.П., Слесарева Л.С.* Применение стохастических моделей для прогнозирования рисков в геосистемах // Учен. зап. РГГМУ. 2011. № 17. — С. 145–149.
4. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М.* Управление энвироментальными и экологическими рисками. — СПб.: РГГМУ, 2006. — 332 с.
5. Повышение защищенности от экстремальных метеорологических и климатических явлений // Женева, Швейцария. 2002. ВМО. № 936. — 36 с.
6. *Фокичева А.А., Рыбанова А.Ю., Коршунов А.А.* Обеспечение гидрометеорологической безопасности в нестабильных климатических условиях на примере адаптации автотранспортной системы к неблагоприятной погоде // Метеорология и гидрология. 2014. № 11. — С. 36–44.
7. *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.
8. *Хандожко Л.А., Коршунов А.А., Фокичева А.А.* К вопросу о гидрометеорологической уязвимости России // Учен. зап. РГГМУ. 2006. № 3. — С. 152–163.
9. Чрезвычайные ситуации в России, обусловленные погодными условиями [Электронный ресурс]. — URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/150-chs-v-rosii>
10. *Istomin E.P., Sokolov A.G., Abramov V.M., Gogoberidze G.G., Popov N.N.* Geoinformation management as a modern approach to the management of spatially-distributed systems and territories // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, June 18–24, 2015, book 2, vol. 1, p. 607–614. — DOI:10.5593/SGEM2015/B21/S8.076.
11. *Istomin E.P., Sokolov A.G., Abramov V.M., Gogoberidze G.G., Fokicheva A.A.* Methods for external factors assessing within geoinformation management of territories // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, June 18–24, 2015, book 2, vol. 1, p. 729–736. — DOI:10.5593/SGEM2015/B21/S8.092.
12. Valuing Weather and Climate: Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services (WMO-No. 1153). — World Meteorological Organization, 2015. — 286 p.