

Министерство образования и науки РФ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи
УДК 551.509.59 (075.8)

Фокичева Анна Алексеевна

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГЛАМЕНТА ПОГОДО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ
НА ПРИМЕРЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА ЕВРОПЕЙСКОЙ
ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

25.00.30 – Метеорология, Климатология, Агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2006

Диссертация выполнена в Российском Государственном Гидрометеорологическом университете (РГГМУ)

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор
Л.А. Хандожко

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
В.И. Воробьев
доктор географических наук
Н.В. Кобышева

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский
институт гидрометеорологической
информации – мировой центр данных
(ВНИИГМИ – МЦД)

Защита состоится 20 апреля 2006 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 при Российском Государственном Гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского Государственного Гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 17 марта 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



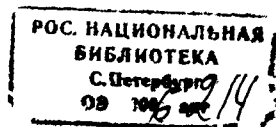
доктор физ.-мат. наук
проф. А.Д. Кузнецов

2006А
5346

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В условиях реализации стратегии устойчивого развития экономики России необходимо учитывать не только влияние экономики и общества на окружающую среду, но и рассматривать вопрос о влиянии, главным образом, гидрометеорологической среды на различные отрасли экономики и социальную сферу общества. В последние десятилетия наблюдается возрастающая зависимость всех отраслей экономики от гидрометеорологических и климатических условий. При этом особенно актуальна проблема негативного влияния гидрометеорологических факторов на хозяйственную деятельность человека, что все более заметно проявляется в экономических и социальных потерях. Снизить ущерб от опасных гидрометеорологических условий помогают знания об ожидаемом состоянии атмосферы. Прогностическая информация рассматривается как неисчерпаемый гидрометеорологический ресурс, использование которого позволяет подстроить хозяйственную деятельность человека под ожидаемые погодные условия.

Исследование экономической полезности гидрометеорологической информации представляет собой одно из основных направлений деятельности ВМО и является конечным результатом реализации ее программ. Однако сложившаяся в настоящее время практика использования прогнозов в альтернативной форме не позволяет достаточно полно реализовать экономический потенциал, заложенный в прогностической информации. Необходима разработка оптимального погодо-хозяйственного регламента, позволяющего потребителю минимизировать издержки, вызванные неблагоприятными гидрометеорологическими условиями.



Цель исследования. Основной целью диссертационного исследования является разработка комплексной модели оптимального использования метеорологических прогнозов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оценка качества прогностической информации (исследование ошибочности прогнозов в зависимости от природного фактора и технологии прогнозирования);
- оценка влияния погодных условий на хозяйственную деятельность потребителя;
- определение оптимального регламента погодо-хозяйственных решений;
- разработка многофазовой матрицы потерь в условиях адаптации потребителя к ожидаемой погоде;
- переход к матрице систематических потерь и выбор оптимального решения, отвечающего минимуму потерь;
- оценка экономической полезности прогнозов.

Методы исследования. Основным методом исследования является метеоролого-экономическое моделирование.

Разработка модели оптимального использования метеорологических прогнозов проводилась в рамках байесовского подхода, что позволяет реализовать их оперативной практике в различных отраслях экономики.

Научная новизна:

1. Исследована чувствительность многофазовых прогнозов к ошибкам прогнозирования.
2. На основании метеоролого-экономического моделирования проанализировано влияние качества прогностической информации на изменение показателей влияния погодных условий (ВПУ).
3. Предложена функциональная оценка потерь по метеорологическим причинам и выполнено моделирование

предотвращенных потерь потребителя в условиях различной интенсивности и продолжительности неблагоприятного явления погоды при достаточной заблаговременности прогноза.

4. Разработана модель оптимального погодо-хозяйственного регламента потребителя, раскрывающая выбор оптимальных погодо-хозяйственных решений, снижающих последствия опасных гидрометеорологических условий.

Научная и практическая ценность. Впервые разработана комплексная модель многофазового регламента погодо-хозяйственных решений на основе байесовского подхода. Практическое применение модели многофазового погодо-хозяйственного регламента открывает возможности более эффективного использования прогностической информации, обеспечивает процесс адаптации потребителя к неблагоприятным метеорологическим условиям, оптимизирует издержки, связанные с текущими условиями погоды.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обусловлена аргументированностью исходных положений, логической непротиворечивостью рассуждений, корректным использованием математического аппарата и подтверждается согласованностью полученных результатов с фундаментальными теоретическими положениями и с результатами других авторов.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались на:

- научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах - участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии, Санкт-Петербург, 23-26 апреля 2002 г.;

- итоговых сессиях Ученого Совета РГГМУ (2002, 2003, 2004, 2005, 2006 г.);

- на Международной научно-практической конференции в г. Перми, октябрь, 2002 г.

- научном семинаре «Состояние и развитие работ в области экономической метеорологии», Обнинск, 5 – 7 июля 2005 г.

На защиту выносятся

1. Формализация погодозависимости потребителя и его адаптивности к ОЯ и неблагоприятным условиям погоды на Европейской территории России.

2. Разработка численной модели оценки предотвращенных потерь в условиях различной интенсивности и продолжительности неблагоприятных условий погоды.

3. Выбор оптимального числа решений (действий потребителя) в рамках байесовского подхода на примере некоторых отраслей на Европейской территории России.

4. Выбор оптимального регламента потребителя основанного на дифференциации степени опасности ожидаемых гидрометеорологических условий (на примере невыходов наводнений).

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем работы составляет 241 страницы. Текст содержит 50 рисунков и 41 таблицу. Список использованных источников содержит 114 наименования.

Содержание диссертационной работы

Во введении обосновывается актуальность темы, излагаются цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе раскрывается роль метеорологической информации в экономических и социальных интересах общества, подчеркивается

особое значение прогностических данных о состоянии атмосферы в хозяйственной практике потребителей гидрометеорологической продукции.

Экономическая полезность использования прогностической информации в конкретной области производства определяется как достоверностью этой информации, так и способностью потребителя эффективно использовать полученные прогностические данные.

Для оценки успешности прогнозирования используется ряд критериев, которые позволяют дать количественную оценку степени соответствия прогнозируемого Π_j и фактического Φ_j значений метеорологической величины. В основу такого рода оценок положено обобщение прогностической и фактической информации в виде матриц сопряженности $\|n_{ij}\|$.

На основании данных критериев, широко используемых в отечественных и зарубежных научных разработках, проведена оценка успешности краткосрочных альтернативных прогнозов скорости ветра (при $v \geq 12$ м/с) по трассе Санкт-Петербург – Калининград. Выполненные оценки успешности позволили установить преимущество методических прогнозов относительно инерционных.

Выполнено моделирование ошибочности альтернативных прогнозов и рассмотрено влияние изменения ошибочности прогнозов на успешность прогнозирования (на примере критериев v и t).

Используя многофазовые матрицы сопряженности прогнозов скорости ветра для Новгорода за период с 1989 по 1993 гг. и района Мурманск – Архангельск за период с 1982 по 1989 гг., была исследована зависимость успешности прогнозирования от размерности матрицы сопряженности (дискретности прогнозов). Выявленная тенденция снижения успешности прогнозирования с увеличением числа градаций объясняется увеличением вероятности ошибочного прогноза при уменьшении ширины градации; при этом важную роль в динамике

изменения успешности прогнозирования играет взаимное распределение частот матриц сопряженности, т.е. исходная ошибочность прогнозов. Таким образом, в целом можно утверждать, что при альтернативной форме прогнозов успешность завышается.

На примере матриц сопряженности методических прогнозов скорости ветра в районе Мурманск – Архангельск за период с 1982 по 1989 гг. выполнено моделирование ошибочности прогнозов различной дискретности (2×2 – 5×5) и проанализировано изменение успешности прогнозирования в зависимости от ошибочности при различной дискретности прогнозов. С увеличением числа градаций прогноза чувствительность к ошибкам прогнозирования меняется. Показано, что при определенном распределении ошибок возможен рост успешности прогнозов с увеличением дискретности (по отдельным критериям).

Во второй главе рассматривается влияние погодных условий на хозяйственную деятельность потребителя.

Зависимость от гидрометеорологической среды большинство потребителей ощущают через потери, вызванные неблагоприятными погодными условиями.

В течение последних десятилетий наблюдается рост ущерба, наносимыми опасными явлениями погоды. Показано, что неблагоприятные условия погоды при неточных погодо-хозяйственных решениях (хозяйственное решение, учитывающее влияние гидрометеорологических условий на производственный процесс) также способны принести значительный ущерб национальной экономике.

Нарастающий технологический прогресс усугубляет зависимость всех отраслей экономики от влияния гидрометеорологических условий, однако на основании данных о потерях, вызванных неблагоприятными гидрометеорологическими условиями, установлено, что наиболее открыты к внешней среде сельское хозяйство, энергетика, строительство, транспорт и коммунальное хозяйство. Приводится характеристика этих отраслей

экономики с точки зрения воздействия на них метеорологических условий.

В общем случае издержки потребителя описываются через функцию потерь, связанную с метеорологическими условиями $s = s(d, \Phi)$. В настоящее время в практических целях широко используется табличная форма представления функции потерь – матрица потерь $\|s_{ij}\|$.

Для количественного описания зависимости потребителя от гидрометеорологической среды применялись показатели влияния погодных условий (ВПУ), определяемые на основании элементов матрицы потерь: отношение затрат на предупредительные меры к предотвращенным потерям B , доля затрат на предупредительные меры относительно общих издержек при некардинальных мерах защиты D , отношение общих издержек к прямым потерям E и доля непредотвращенных потерь в общих издержках F .

На основе метеоролого-экономического моделирования исследовалось поведение потребителя, использующего прогностическую информацию в альтернативной форме. Для описания потребителя применялись его производственные характеристики – коэффициент непредотвращенных потерь ε , определяющий остаточные потери потребителя, и отношение C/L , показывающее, какую часть составляет стоимость защитных мер C относительно максимально возможных потерь L .

Исследовалась зависимость показателей ВПУ от отношения C/L и коэффициента непредотвращенных потерь ε . Показано, что потребитель должен корректировать значения производственных характеристик с учетом качества прогностической информации, поступающей от поставщика. Установлено, что значения показателей ВПУ, рассчитанные при суммарной оценке, учитывающей использование потребителем

прогностической информации, отличаются от значений, получаемых при условии наличия у потребителя идеальных прогнозов.

Исследовалось влияние качества прогностической информации на изменение показателей ВПУ при различных значениях коэффициента непредотвращенных потерь ε (для идеального и среднего потребителей принимались значения ε равными соответственно 0 и 0.4) и отношения C/L .

Качество прогностической информации моделировалось на основании следующих параметров: $\sigma = \frac{n_{12}}{n_{21}}$ – смещенность прогнозов – соотношение ошибок-пропусков и ошибок-страховок; $p_{10} = \frac{n_{10}}{N}$ – повторяемость неблагоприятного условия погоды; $q^* = \frac{n_{11}}{n_{10}}$ – предупреденность неблагоприятного условия погоды.

Показано, что влияние качества прогностической информации на изменение показателей ВПУ увеличивается с ростом значений коэффициента непредотвращенных потерь ε и отношения C/L .

В третьей главе приводится описание существующих подходов к построению функции потерь потребителя. Показано, что непредотвращенные потери потребителя в результате воздействия неблагоприятных метеорологических условий зависят от нескольких факторов. В общем случае они определяются спецификой производственной деятельности θ и степенью воздействия опасных условий погоды, их интенсивностью I и продолжительностью μ . Это, в конечном счете, определяет величину максимально возможных потерь L_{\max} . Вместе с тем, потери по метеоусловиям связаны с ошибками прогнозов ΔP и выбором стоимости защитных мер C , эффективность которых характеризуется коэффициентом непредотвращенных потерь ε .

Общая формализация такой зависимости может быть представлена в виде $L_n = f(\theta, I, \mu, \Delta\Pi, C, \varepsilon)$.

Рассмотрена задача численной оценки коэффициента непредотвращенных потерь ε и выполнено исследование изменений значений ε для различных потребителей в условиях использования прогнозов различной успешности.

В качестве показателя адаптации исследуется величина G^* , которая характеризует долю предотвращенных потерь L_{np} в общих издержках потребителя. В качестве дополнительной характеристики адаптационных возможностей потребителя предлагается отношение $\gamma = \frac{L_{np}}{L_{\max}}$.

Предложено аналитическое выражение для определения величины предотвращенных потерь:

$$L_{np} = L_{\max} \cdot \left\{ 1 - \exp(-(1-\varepsilon)) \cdot \left[\frac{\exp(-(1-\varepsilon)) - \exp(-1)}{1 - \exp(-1)} \right] \right\} \cdot \left(1 - \frac{C}{L} \right) \quad (1)$$

Данная формализация показывает возможности самого потребителя к снижению неблагоприятного влияния погодных условий на хозяйственную деятельность. Приведена номограмма, позволяющая смоделировать поведение потребителя в условиях ожидаемой интенсивности I и продолжительности μ неблагоприятного явления погоды в целях выбора возможных предотвращенных потерь L_{np} (рис. 1).

Имеющаяся в распоряжении потребителя технология защиты (параметр ε) определяет размер остаточных потерь $L_{ост}$, которые ему не удается предотвратить. Для выбранного значения ε существует семейство прямых C/L , показывающих долю затрат на защитные меры относительно максимально возможных потерь. Величина предотвращенных потерь L_{np} определяется для любого потребителя в интервале значений C/L .

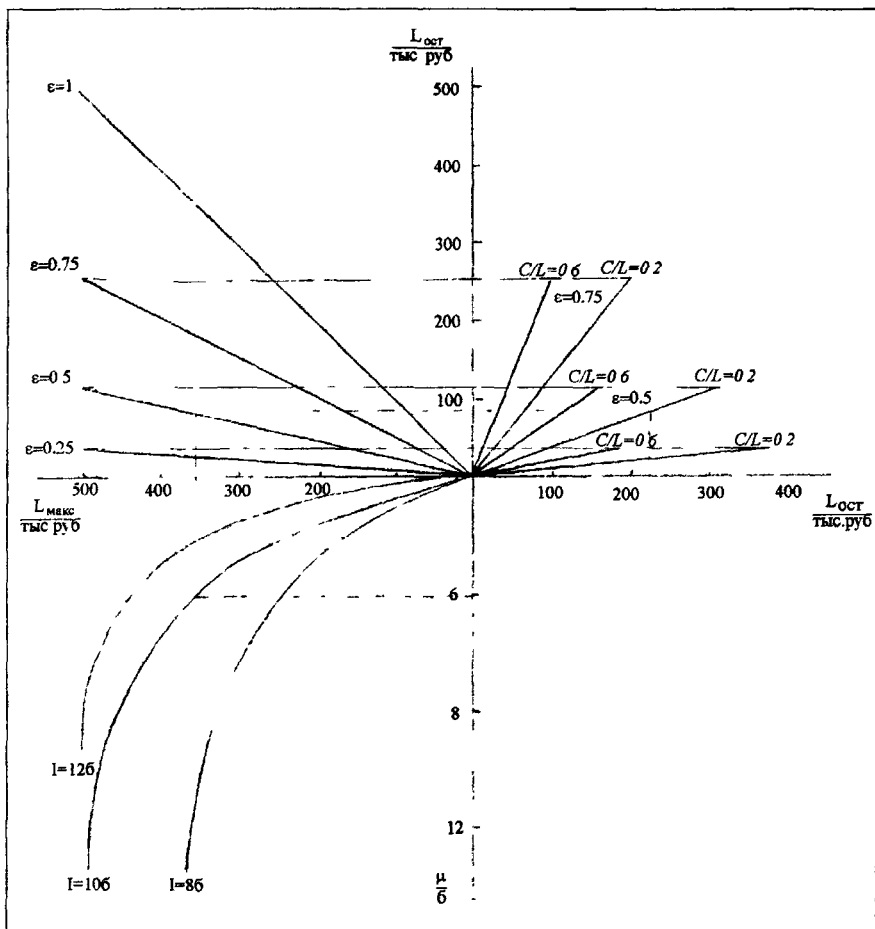


Рис. 1 Номограмма для определения предотвращенных потерь потребителя $L_{пр}$ в условиях различной интенсивности I и продолжительности μ неблагоприятного явления погоды

В четвертой главе рассматриваются вопросы оптимизации действий потребителя, требующих учета прогностической информации. На основе величины средних (в статистическом смысле) потерь, выбранной в качестве критерия оптимальности, потребителем решается задача выбора стратегии использования прогностической информации. Выбор числа

(набора) погодо-хозяйственных решений d с позиции специфики производственной деятельности и запросов потребителя определяется влияющим метеорологическим условием, дискретность которого может быть выражена в альтернативной или многофазовой форме. Этой задаче отвечала и численная оценка оптимального числа градаций m прогностической информации в соответствии с известными соотношениями, используемыми при статистическом анализе данных. Показано, что для решения задачи выбора оптимального числа градаций погодо-хозяйственного регламента недостаточно только метеорологических сведений, необходимо учитывать степень воздействия метеорологического фактора.

Решение задачи выбора оптимального числа погодо-хозяйственных решений может быть сведено к определению средних потерь потребителя при различной дискретности прогностической информации. В условиях использования потребителем прогнозов различной дискретности ($2 \times 2 - 5 \times 5$) была исследована зависимость вида $\bar{R} = f(d)$.

Поскольку разработка даже альтернативной матрицы потерь – задача очень сложная для потребителя, для построения многофазовых матриц потерь потребителя использовался алгоритм разложения альтернативной матрицы потерь на многофазовую. В основу данного алгоритма положено предположение о том, что градации альтернативной матрицы потерь будут граничными градациями многофазовой матрицы потерь, т.е. альтернативная матрица потерь является обобщением многофазовой.

На основании матриц потерь $\|s_y\|$ и матриц сопряженности прогнозов $\|n_y\|$ для каждого уровня дискретности была разработана матрица систематических потерь, элементы которой \bar{R}_y представляют собой средние потери потребителя, при условии, что потребитель вправе выбрать ориентацию d_k на любую иную погоду, получив текст прогноза P_j :

$$\bar{R}_{ik} = \sum_{j=1}^m s_{ik} \cdot q_{ij}, \quad (2)$$

где $q_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{0j}}$ – условные вероятности, отражающие вероятностную природу осуществления текстов прогнозов различных фаз погоды в условиях ее синоптической интерпретации.

Средние потери потребителя при использовании прогнозов погоды (\bar{R}), которые широко используются в качестве критерия оптимальности при решении ряда задач, посвященных оптимизации погодо-хозяйственных решений, определялись как

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^m p_{0j} \min \bar{R}_k(\Pi_j). \quad (3)$$

Установлено, что при достижении определенного значения уровня дискретности k_{opt} дальнейшее снижение величины средних потерь с увеличением числа градаций прогнозов выражено незначительно. Это условие и будет определять оптимальное число погодо-хозяйственных решений потребителя d , поскольку дальнейшее расширение погодо-хозяйственного регламента не будет приводить к существенному снижению потерь потребителя.

Общая метеоролого-экономическая модель оптимизации использования прогностической информации включает в себя исследование зависимости средних потерь потребителя от дискретности ошибок прогнозов.

Моделирование ошибочности многофазовых прогнозов осуществлялось по следующим сценариям: СН-I – «Служба прогнозов», предусматривающего изменение ошибок-пропусков $n_{i>j}$ и ошибок-страховок $n_{i<j}$ при неизменной повторяемости опасных условий погоды ($n_{i0} = const$) по двум вариантам:

Вариант 1

$$\left. \begin{matrix} n_{i<j} \\ n_{i>j} \end{matrix} \right\} = f[\gamma = \pm (0.25; 0.50; 0.75; 1)]$$

Вариант 2

$$\left. \begin{matrix} n_{i>j} \\ n_{i<j} \end{matrix} \right\} = f\left[\gamma = \begin{cases} +(0.25; 0.50; 0.75; 1) \\ -(0.25; 0.50; 0.75; 1) \end{cases} \text{ или } \begin{cases} -(0.25; 0.50; 0.75; 1) \\ +(0.25; 0.50; 0.75; 1) \end{cases} \right]$$

и сценарию СН-II – «Погода», раскрывающего ошибочность за счет частоты проявления опасных и не опасных фаз погодных условий (Φ)

$$\left. \begin{matrix} n_{i<j} \\ n_{i>j} \end{matrix} \right\} = f(n_{i0}).$$

В общем случае, при реализации сценария СН-I «Служба прогнозов», зависимость величины средних потерь \bar{R} от изменения ошибочности прогноза γ в условиях заданной дискретности прогностической информации $k=const$ носит линейный характер и может быть описана уравнением вида $y = a \cdot x + b$, где a – тангенс угла наклона прямой, $a > 0$, x – величина изменения ошибочности прогнозов, b – величина средних потерь R на оси ординат y . Параметры a и b зависят от выбранной дискретности прогнозов k .

Значения параметров a и b , характеризующих изменение величины средних потерь в зависимости от выбранного сценария и дискретности прогнозов приведены в табл. 1.

Графическая интерпретация результатов расчета средних потерь потребителя \bar{R} в условиях различной дискретности и ошибочности прогнозов приведена на рис. 2 – 4.

Расчеты показывают, что с увеличением дискретности решений значения средних потерь \bar{R} потребителя уменьшаются, при этом использование прогнозов более высокой дискретности не означает снижения требований к их качеству – тенденция изменения величины \bar{R}

при изменении ошибочности прогнозов остается практически неизменной с увеличением значений k .

Таблица 1

Оценка коэффициентов регрессии для связи величины средних потерь потребителя и ошибочности прогнозов в условиях реализации СН-I и С-II.

Дискретность	b	a		
		СН-I (вариант 1)	СН-I (вариант 2)	СН-II
2X2	287	56	32	235
3X3	202	52	28	169
4X4	142	35	19	54
5X5	106	25	14	40

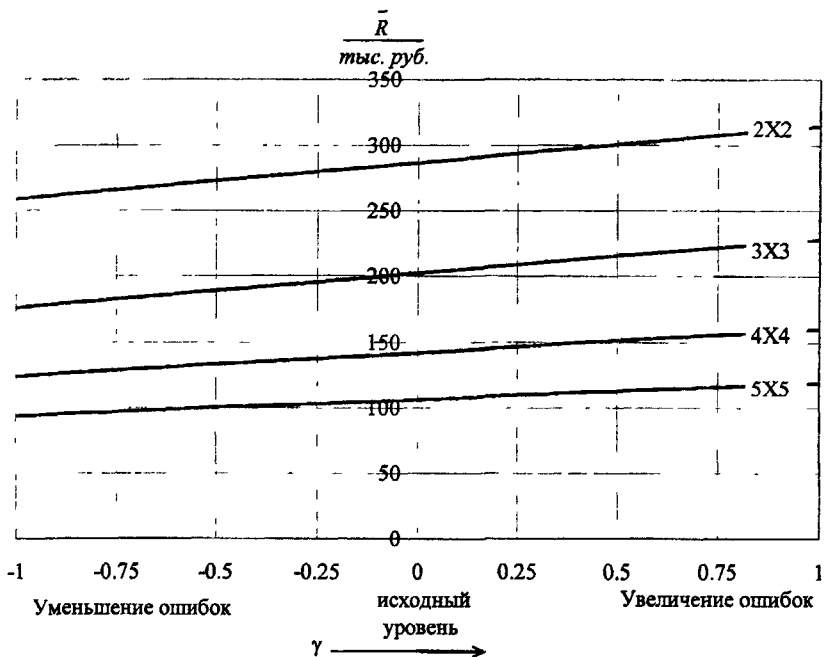


Рис. 2 Зависимость средних потерь \bar{R} потребителя от дискретности и ошибочности прогнозов при реализации сценария СН-I (вариант 1)

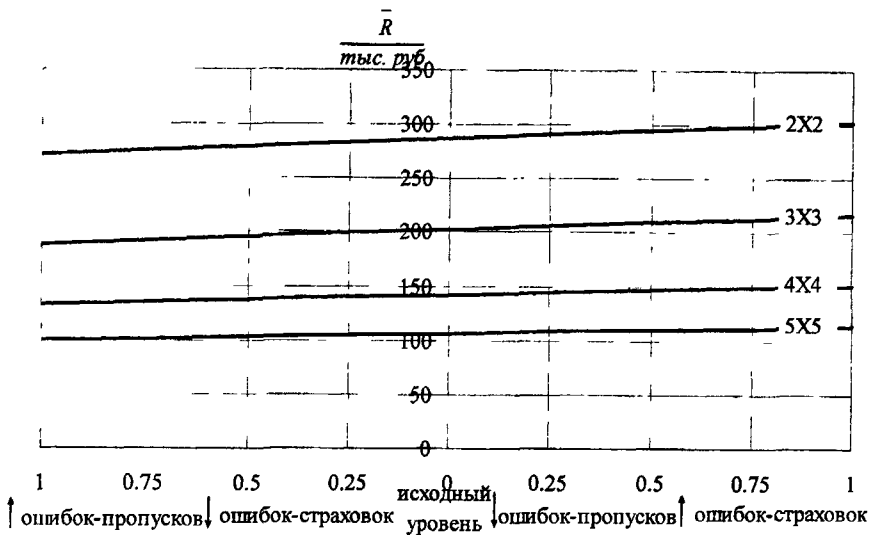


Рис. 3 Зависимость средних потерь потребителя \bar{R} от дискретности и ошибочности прогнозов при реализации сценария СН-I (вариант 2)

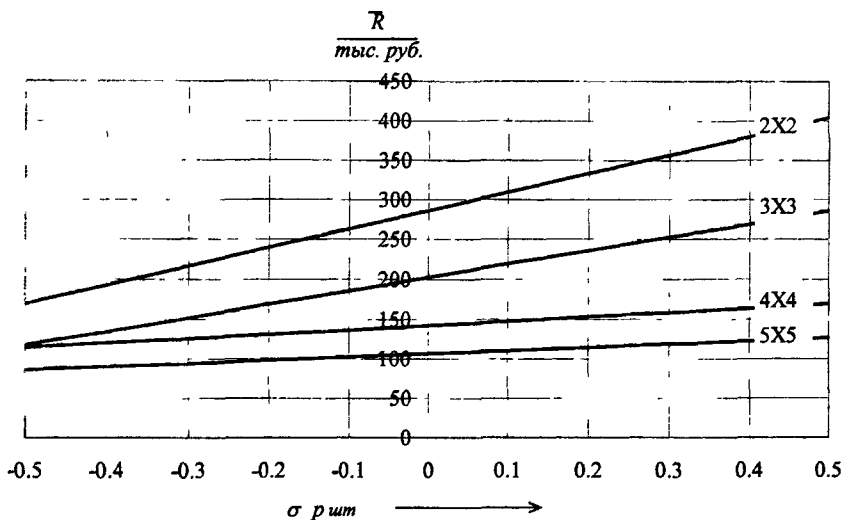


Рис. 4 Зависимость средних потерь потребителя \bar{R} от дискретности прогнозов в условиях реализации сценария СН-II «Природа»

Однако в условиях различной повторяемости неблагоприятных условий погоды (сценарий СН-II «Природа») потребитель с регламентом решений более высокой дискретности будет менее подвержен негативному влиянию природной среды.

В пятой главе выполнена разработка оптимального погодохозяйственного регламента на примере использования прогнозов невских наводнений. В качестве потребителя прогнозов невских наводнений рассматривается «обобщенный» хозяйственный объект как сосредоточение многочисленных потребителей в зоне максимального и среднего затопления.

Рассмотрена разработка функции потерь вида

$$s(C, L) = s[d(\Pi), \Phi]. \quad (4)$$

Аргументами функции потерь $s(C, L)$ выступают действия потребителя и фактическая погода, под которую ориентированы затраты на меры защиты C в целях предотвращения потерь.

Разработана матричная идентификация функции $s(C, L)$ с элементами

$$s(C, L)_{ij} = [(C_{0j} + \Delta C_y) + \varepsilon_y \cdot L_{i0}], \quad (5)$$

где C_{0j} – затраты на меры защиты при реализации текста прогноза Π_j ; ΔC_y – экстренные меры защиты; ε_y – коэффициент непредотвращенных потерь; L_{i0} – потери как последствия фактически осуществившейся опасной градации уровня воды Φ_i .

В основу численной оценки функции потерь обобщенного потребителя положены следующие условия

1. Необходимо знание распределения максимально возможных потерь L_{i0} , известных потребителю при заданном уровне подъема воды (h , см).

Из условия эпизодических заключений практики о последствиях наводнений была задана функция распределения максимально возможных

потерь $L_{\max} = L_{i0}$ (табл.2). Число и ширина градаций определялись с учетом повторяемости невыхов наводнений.

Таблица 2

Распределение максимальных потерь L_{i0} при известном подъеме воды в р. Неве

Φ_i (h , см)	Φ_1 (≤ 159)	Φ_2 (160 – 210)	Φ_3 (211 – 260)	Φ_4 (≥ 261)
L_{i0} , млн. руб.	0	15	40	100

Распределение L_{i0} аппроксимировалось функцией вида:

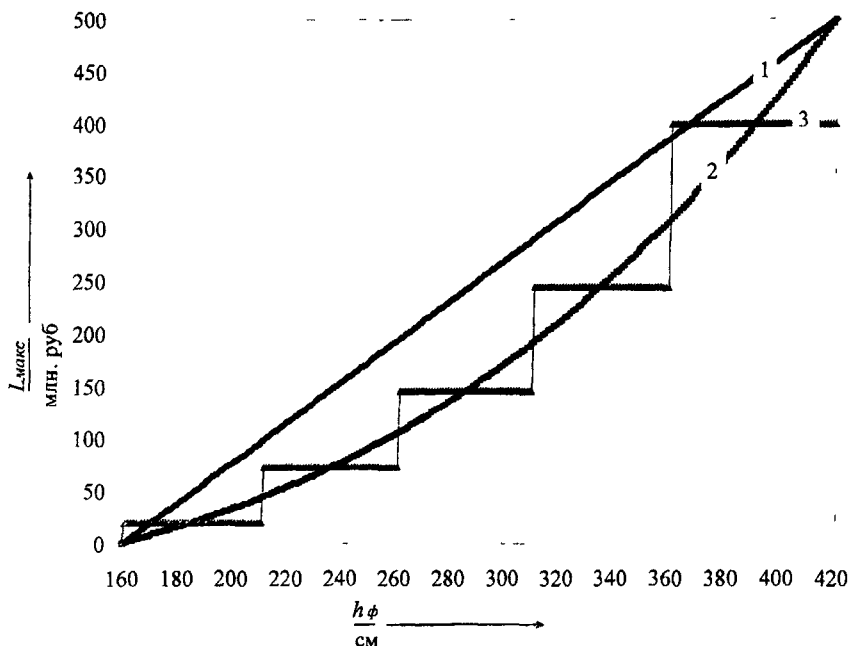
$$L_{\max} = L_{\text{абс}} \cdot \left(\frac{h_{\phi} - h_0}{h_{\text{абс}} - h_0} \right) \cdot \exp \left(\frac{h_{\phi} - h_0}{h_{\text{абс}} - h_0} - 1 \right), \quad (6)$$

где L_{\max} – максимально возможные потери при данном уровне подъема воды h_{ϕ} ; $L_{\text{абс}}$ – абсолютные максимальные потери потребителя при максимально возможных уровнях подъема воды; h_0 – пороговый уровень подъема воды, с которого потребитель начинает нести потери; $h_{\text{абс}}$ – уровень подъема воды, при котором потери потребителя достигают значения $L_{\text{абс}}$; h_{ϕ} – текущий уровень подъема воды, для которого определяется значение L_{\max} .

Кроме того, возможна аппроксимация максимально возможных потерь потребителя линейной функцией вида:

$$L_{\max} = L_{\text{абс}} \cdot \left(\frac{h_{\phi} - h_0}{h_{\text{абс}} - h_0} \right). \quad (7)$$

На рисунке 5 показана зависимость максимально возможных потерь L_{\max} от уровня воды h_{ϕ} в р. Неве в условиях линейного и экспоненциального распределения, а также осредненные значения потерь L_{\max} в пределах выбранных градаций.



- 1 - линейная аппроксимация потерь L_{\max} по формуле (7)
- 2 - экспоненциальная аппроксимация потерь L_{\max} по формуле (6)
- 3 - средние значения потерь L_{\max} в пределах выбранных градаций

Рис. 5 Функциональная оценка потерь L_{\max} при невыходах наводнениях

2. Распределение затрат на предупредительные меры стоимостью C_0 при различных действиях потребителя $d(\Pi_j)$.

При условии полного доверия прогнозам, согласно регламенту потребителя принималось, что стоимость мер защиты определяется прогнозом подъема воды. Величина C_0 будет отвечать тем элементам матрицы потерь, которые приходятся как на правильные прогнозы наличия явления, так и на ошибки-перестраховки при $\Pi_j \geq \Phi$, $\Delta C_y = 0$). При этом, C_0 пропорциональны максимально-возможным потерям L_{i0} при заданной фазе подъема воды (Φ_i). В случае ошибок-пропусков ($\Pi_j < \Phi$),

будут иметь место дополнительные затраты на защитные мероприятия: $[C_{0j} (\Pi \sim \Phi) + \Delta C_{ij}]$.

Матрица затрат C_{ij} (млн. руб.) «обобщенного потребителя» на защитные мероприятия приведена в табл. 3.

Таблица 3

Матрица затрат C_{ij} «обобщенного потребителя» на защитные мероприятия (в млн. руб.)

Φ_i (h, см)	$d(\Pi_j)$ (h, см)			
	$d(\Pi_1)$ (≤ 159)	$d(\Pi_2)$ (160 – 210)	$d(\Pi_3)$ (211 – 260)	$d(\Pi_4)$ (≥ 261)
Φ_1 (≤ 159)	$C_{01}=0$	$C_{02}=1.5$	$C_{03}=4$	$C_{04}=10$
Φ_2 (160 – 210)	$C_{01}+\Delta C_{21}=1$	$C_{02}=1.5$	$C_{03}=4$	$C_{04}=10$
Φ_3 (211 – 260)	$C_{01}+\Delta C_{31}=2$	$C_{02}+\Delta C_{32}=3$	$C_{03}=4$	$C_{04}=10$
Φ_4 (≥ 261)	$C_{01}+\Delta C_{41}=3$	$C_{02}+\Delta C_{42}=4$	$C_{03}+\Delta C_{43}=5$	$C_{04}=10$
C_{0j}	$C_{01}=0$	$C_{02}=1.5$	$C_{03}=4$	$C_{04}=10$

3. Необходимо задание распределения коэффициента непредотвращенных потерь ε , характеризующего возможности потребителя противодействовать стихии, при известной ошибке прогнозирования подъема воды ($\Delta h = h_{np} - h_{\Phi}$).

В целях матричного распределения коэффициента непредотвращенных потерь ε допускается, что при Φ_i (подъем уровня воды, не вызывающий потерь) независимо от текста прогноза подъема уровня воды Π_j , величина $\varepsilon_{ij} = 0$. В тех ситуациях, когда могут быть максимальные ошибки-пропуски (что маловероятно) коэффициент

непредотвращенных потерь принципиально равен единице; однако потребителю удастся снизить потери (хотя и на малую долю) путем применения дополнительных мер защиты, которые рассматриваются как аварийные. Отсюда допустимо принять $\varepsilon_y = \varepsilon_{41} = 0.95$. Правильный прогноз максимально возможных подъемов воды ($h \geq 261$ см) позволяет потребителю существенно снизить потери. Однако при столь опасном развитии явления, снизить потери удастся примерно наполовину. Отсюда допускается, что $\varepsilon_y = \varepsilon_{44} = 0.5$. Промежуточные значения ε_y проявляются на практике пропорционально реально осуществившемуся подъемам уровня воды и способностью потребителя предотвратить потери. В случаях правильных прогнозов подъема уровня воды потребитель защищается более успешно, и чем меньше уровень воды, тем этот успех более очевиден.

Матрица коэффициентов непредотвращенных потерь ε_y приведена в табл. 4.

Используя матрицы потерь «обобщенного» потребителя, построенные на основании формулы (5) и данных таблиц (3, 4), и матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов уровня воды в устье р. Невы за период с 1974 по 1997 гг. были разработаны матрицы систематических потерь \bar{R}_y потребителя для фактического L_{10} и аппроксимированного L_{10}^* распределения значений максимально возможных потерь L_{\max} .

Была выполнена оценка средних (в статистическом смысле) потерь, согласно формуле (3), а также дополнительно были рассчитаны следующие метеоролого-экономических характеристики «обобщенного потребителя».

Результаты расчетов некоторых метеоролого-экономических характеристик «обобщенного потребителя» при использовании методических и инерционных прогнозов невских наводнений на основе

эпизодических заключений о характере потерь при невских наводнениях и на основании данных о максимально возможных потерях, полученных в результате аппроксимации, представлены в таблице 5.

Таблица 4

Матрица коэффициентов непретворенных потерь ε

Φ_i ($h, \text{см}$)	$d(\Pi_j)$ ($h, \text{см}$)			
	$d(\Pi_1)$ (≤ 159)	$d(\Pi_2)$ ($160 - 210$)	$d(\Pi_3)$ ($211 - 260$)	$d(\Pi_4)$ (≥ 261)
Φ_1 (≤ 159)	$\varepsilon_{11}=0$	$\varepsilon_{12}=0$	$\varepsilon_{13}=0$	$\varepsilon_{14}=0$
Φ_2 ($160 - 210$)	$\varepsilon_{21}=0.2$	$\varepsilon_{22}=0.15$	$\varepsilon_{23}=0.2$	$\varepsilon_{24}=0.2$
Φ_3 ($211 - 260$)	$\varepsilon_{31}=0.8$	$\varepsilon_{32}=0.7$	$\varepsilon_{33}=0.35$	$\varepsilon_{34}=0.4$
Φ_4 (≥ 261)	$\varepsilon_{41}=0.95$	$\varepsilon_{42}=0.9$	$\varepsilon_{43}=0.6$	$\varepsilon_{44}=0.5$

Дана оценка экономического эффекта использования прогнозов невских наводнений ($h \geq 160 \text{ см}$), приходящегося на соответствующую градацию подъема уровня воды в рамках линейной и экспоненциальной моделей аппроксимации максимальных потерь L_{10}^* (см. рис. 5). Максимальные потери L_{10} , их долевые значения α и соответствующий экономический эффект $\mathcal{E}(L_{10})$ приведены в табл. 6.

Как видно, особая роль в практике реализации прогнозов уровня воды отводится опасным и особо опасным наводнениям, при которых экономический эффект использования прогнозов существенно возрастает.

Таблица 5

Метеоролого-экономические характеристики «обобщенного потребителя»

Метеоролого- экономические показатели	Фактические данные		Результаты аппроксимации	
	прогнозы		прогнозы	
	Метод.	Инерц.	Метод.	Инерц.
Средние потери R (млн. руб.)	0.216	0.342	0.295	0.507
Средние потери при $h > 160$ см $R_{опас}$ (млн. руб.)	7.487	11.847	10.22	17.59
Средняя выгода W (млн. руб.)	0.225	- 0.0002	0.377	- 0.021
Средняя выгода при $h > 160$ см $W_{опас}$ (млн. руб.)	7.788	-0.008	13.085	- 0.729
Экономический эффект \mathcal{E} при $h > 160$ см (млн. руб.) за период с 1974 по 1997 гг.	257.25		432.7	
Показатель адаптации G^*	2.040	0.999	2.28	0.959

Таблица 6

Значения показателей экономической полезности использования
прогнозов различных градаций уровня воды в р. Нева

$h, \text{ см}$	160 – 210	211 – 260	≥ 261
	<i>линейная модель</i>		
L_{10} , млн. руб.	50	145	240
α	0.11	0.33	0.56
$\mathcal{E}(L_{10})$, млн. руб.	79.63	238.88	405.37
$\mathcal{E}_{сезон}(L_{10})$, млн. руб.	3.318	9.953	16.890
	<i>экспоненциальная модель</i>		
L_{10} , млн. руб.	20	75	145
α	0.08	0.32	0.60
$\mathcal{E}(L_{10})$, млн. руб.	34.78	139.13	260.86
$\mathcal{E}_{сезон}(L_{10})$, млн. руб.	1.44	5.797	10.869

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационного исследования:

1. Исследована оценка качества прогностической информации на основании существующей системы критериев и установлено, что с увеличением дискретности прогнозов, и соответственно, порядка матрицы сопряженности, значения критериев успешности уменьшаются, что отвечает более точной оценке прогнозов.

2. Оценка успешности прогнозов различной дискретности, выполненная в рамках моделирования ошибочности прогностической информации показала, что при определенном распределении ошибок в матрицах сопряженности (снижение ошибок-пропусков и рост ошибок-страховок) наблюдается рост значений отдельных критериев при увеличении дискретности прогнозов, что следует учитывать при комплексной характеристике качества прогностической информации.

3. Исследовано полное матричное представление функции полезности (потерь, доходов) как следствие комплексной погодозависимости потребителя.

4. В рамках использования потребителем альтернативных прогнозов дана численная оценка погодозависимости на основании предложенных показателей влияния погодных условий (ВПУ) и проанализировано их изменение при различной повторяемости опасных условий погоды и меняющейся успешности прогнозов. Установлено, что одним из важных показателей ВПУ является мера адаптации потребителя к ожидаемым условиям погоды. Этот показатель идентифицирует погодозависимость с позиции приобретения выгоды и экономического эффекта использования прогнозов.

5. Рассмотрены методы построения функции потерь и установлено, что в общем случае потери потребителя в результате воздействия неблагоприятного метеорологического фактора определяются спецификой производственной деятельности и степенью воздействия

опасных условий погоды, их интенсивностью и продолжительностью, а также ошибкой прогнозирования погоды. Именно от этих параметров зависит величина максимально возможных потерь, стоимость и эффективность защитных мероприятий, характеризующаяся коэффициентом непредотвращенных потерь.

6. На основании метеоролого-экономического моделирования установлено, что предельные значения коэффициента непредотвращенных потерь, допускаемые потребителем в реальной хозяйственной практике определяются максимально возможными потерями, стоимостью мер защиты, повторяемостью неблагоприятных (опасных) условий погоды и успешностью прогностической информацией.

7. Показано, что в качестве дополнительной характеристики адаптации (наряду показателем адаптации G^*) может выступать отношение предотвращенных потерь к максимально возможным. Предложено аналитическое выражение для оценки предотвращенных потерь, содержащее необходимые условия эффективной адаптации:

а) отсутствие остаточных потерь в случае кардинальности мер защиты;

б) целесообразность снижения стоимости мер защиты.

8. Разработана экономико-метеорологическая модель оценки предотвращенных потерь потребителя в условиях различной интенсивности и продолжительности неблагоприятных условий погоды, позволяющая смоделировать поведение потребителя в зависимости от его производственных характеристик.

9. Исследованы метеорологические условия выбора оптимального числа градаций матриц сопряженности прогнозов, что в наибольшей степени подтверждается статистиками распределения данной метеорологической величины.

10. На основании приведенных в диссертации разработок сформулированы принципы построения оптимального погодо-

хозяйственного регламента, позволяющего потребителю минимизировать потери, обусловленные неблагоприятной погодой. Установлено, что оптимальное число градаций погодо-хозяйственного регламента может быть определено на основании исследования зависимости средних потерь потребителя от дискретности используемой прогностической информации. Расчеты, выполненные в рамках байесовского подхода к оценке средних потерь, показали, что в качестве оптимального должен быть выбран тот уровень дискретности, после которого дальнейшее снижение средних потерь потребителя выражено несущественно, допустимо мало.

11. Выполнено моделирование средних потерь в зависимости от успешности прогностической информации и показано, что при наличии многофазового погодо-хозяйственного регламента потребитель менее чувствителен к изменению параметров гидрометеорологической среды и качества прогностической информации, т.е. в целом более погодозащищенными, что повышает его гидрометеорологическую безопасность.

12. На примере невских наводнений показана аналитическая разработка функции для определения максимально возможных потерь потребителя от неблагоприятных и опасных гидрометеорологических условий. Разработана многофазовая матрица потерь, достаточно полно идентифицирующая функцию потерь. На этом основании предложен оптимальный регламент погодо-хозяйственных решений и выполнена метеоролого-экономическая оценка полезности прогнозов опасных гидрометеорологических условий (на примере невских наводнений).

Публикации автора по теме диссертации

1. Фокичева А.А. К вопросу разработки погодо-хозяйственного регламента // Материалы итоговой сессии Ученого Совета: Тезисы докл., Санкт-Петербург, 23 – 24 января 2001 г. – СПб.: Изд. РГГМУ. – С.58 – 60.

2. Фокичева А.А. Разработка оптимального экономико-метеорологического регламента использования прогнозов в сфере городского хозяйства // Материалы итоговой сессии Ученого Совета 2002 г. – С-Пб, изд. РГГМУ с. 55 – 59 (соавтор: Хандожко Л.А.)

3. Фокичева А.А. Использование байесовского подхода в задачах оптимизации использования погоды // Материалы итоговой сессии Ученого Совета 2002 г. –С-Пб, изд. РГГМУ с. 59 – 61 (соавтор: Хандожко Л.А.)

4. Фокичева А.А. Предотвращенные потери как мера адаптации потребителя к опасным условиям погоды // Труды ВНИИГМИ-МЦД.–2002.–Вып.169.– С.29 – 38 (соавторы: Хандожко Л.А., Коршунов А.А.)

5. Фокичева А.А. Принятие хозяйственных решений с учетом прогноза опасных условий погоды // Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах-участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии: Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 23 – 26 апреля 2002 г. Секция 6. Методы и информационные технологии сбора, обработки, накопления данных о состоянии окружающей природной среды, ее загрязнения, ведения Госфонда, обслуживания потребителей.–СПб.: Гидрометеоиздат, 2002.– С.74 – 79 (соавторы: Хандожко Л.А., Коршунов А.А.)

6. Фокичева А.А. Успешность и экономическая полезность многофазовых прогнозов скорости ветра на Европейской территории России // География и регион. Наблюдения, анализ и прогноз метеорологических условий // Материалы Международной научно-практической конференции.–Пермь: Изд. Перм. ун-та, 2002.–С.53 – 56 (соавтор: Хандожко Л.А.)

7. Фокичева А.А. Выбор оптимального погодо-хозяйственного решения на основе прогноза опасных гидрометеорологических

условий // Метеорология и гидрология.–2003.–№ 1.–С.5 – 17 (соавторы: Хандожко Л.А., Коршунов А.А.)

8. Фокичева А.А. Дескриптивная модель оптимизации погодо-хозяйственного регламента // Материалы итоговой сессии ученого совета 27 – 28 января 2003 г. Ч. I. Секция метеорология и гидрология.–СПб.: Изд.РГТМУ.–С.61 – 62 (соавтор: Хандожко Л.А.)

9. Фокичева А.А. Оценка метеорологического риска над Европейской территорией России / – (в печати) (соавтор: Хандожко Л.А.)

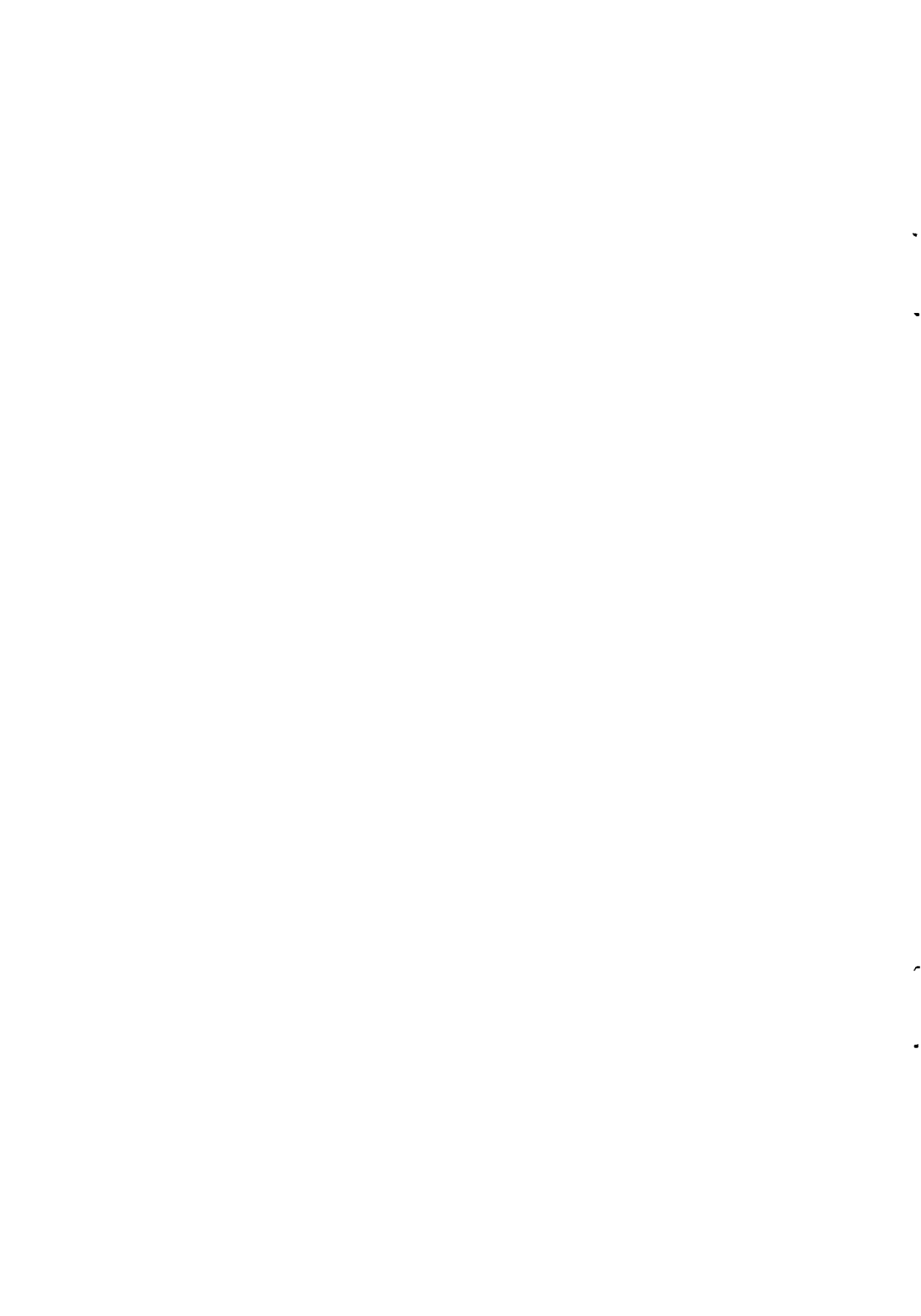
10. Фокичева А.А. Оптимальный погодо-хозяйственный регламент производственного объекта// Труды кафедры экономики предприятия и предпринимательства. Вып. 1.–СПб.: Изд. РГТМУ, 2004.– С.32 – 35 (соавтор: Хандожко Л.А.)

11. Фокичева А.А. Исследование адаптации потребителя в условиях многофазового погодо-хозяйственного регламента// Материалы итоговой сессии ученого совета 25 – 26 января 2005 г., Санкт-Петербург.– СПб.: Изд. РГТМУ, 2005.–С.163 – 164 (соавтор: Хандожко Л.А.)

12. Фокичева А.А. Оценка гидрометеорологической составляющей в модели многофазового погодо-хозяйственного регламента// (в печати) (соавторы: Хандожко Л.А., Коршунов А.А.)

13. Фокичева А.А. Оценка адаптации потребителя к неблагоприятным погодным условиям// Материалы итоговой сессии ученого совета РГТМУ, Санкт-Петербург, 25 – 26 января 2006 г. – СПб.: Изд. РГТМУ.–С. 123 – 124 (соавтор: Хандожко Л.А.)

14. Фокичева А.А. Проблема оптимального использования метеорологических ресурсов в условиях нестабильной климатической системы// Сборник трудов Международной школы конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изменение климата и окружающая среда», 2005 – СПб.- Изд. «Гранд», С. 334 - 342 (соавторы: Хандожко Л.А., Цепелев В.Ю., Колесов А.М.)



**Отпечатано в ООО «АРКУШ»
СПб, ул. Рубинштейна, д. 2, т. 319-97-36
Подписано в печать 14, 03, 06.
Тираж 100 экз.**

2006A

S346

NR - 5346