

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ (НА ПРИМЕРЕ МОРСКОГО ПОРТА МУРМАНСКА)

Предложен подход к анализу и оценке экономической эффективности метеорологических прогнозов (апробированный на примере морского порта Мурманска за период с 2004 по 2008 гг., октябрь – март), который основывается на матричной форме представления, обобщения и анализа информационных сведений, имеющих отношение как к потерям, так и к выгоде от реализации метеорологических прогнозов, отражающей многомерность результата (функции) в рамках достаточной аргументной зависимости. Рассмотренный подход позволит потребителю получить экономический эффект от использования метеорологических прогнозов, оптимизировать управленческие решения и повысить эффективность работы морского порта.

Ключевые слова:

инерционный прогноз, критерий оптимальности, критерий успешности, методические прогнозы, оправдываемость метеорологических прогнозов, экономическая эффективность.

Использование метеорологической информации в хозяйственной практике предназначено для снижения потерь, возможных при неблагоприятных условиях погоды. Это крайне важно для регионов Заполярья, где в холодную половину года приходится вести производственную деятельность – в том числе и морскому флоту. Отсюда очевидна актуальность анализа экономической эффективности метеорологических прогнозов и численной оценки экономической полезности прогнозов погоды для северного морского порта.

Экономическая характеристика потребителя метеорологических прогнозов рассматривается в виде матрицы потерь, где содержатся сведения как о потерях, так и выгоде реализации метеорологических прогнозов.

Производственные решения, как и их результативность, во многом определяются спецификой работы потребителя метеорологических прогнозов, а значит, и выбором критерия оптимальности. В качестве таких критериев могут быть использованы средние потери или средняя выгода, среднее время, затрачиваемое на производственную операцию.

Полезность прогнозов выступает как результат целенаправленной совместной научно-производственной деятельности как поставщика, так и потребителя метеорологических прогнозов. Эффективность прогнозов отражает возможность потребителя адаптироваться к ожидаемым условиям погоды.

Процесс учета погодозависимости эффективно реализуется в морских портах Заполярья. Мурманский морской порт определен ключевым элементом всей транспортной системы Севера России. В соответствии с генеральным планом развития Мурманского транспортного узла грузооборот порта к 2015–2020 гг. может превысить 100 млн т [1, с. 98]. Дальнейшее рассмотрение ведется на примере Мурманского морского порта.

В Росгидромете создана и активно функционирует система гидрометеорологического обеспечения для Арктики «Север». В настоящее время эта система обеспечивает надежную информационную поддержку, благодаря которой стало возможным круглогодичное безледокольное плавание по трассе Мурманск–Дудинка транспортного судна «Норильский никель». Инфраструктуру системы «Север» составляют государственное учреждение «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт» – основной центр системы, – и другие центры [1, с. 99].

Основная информационная продукция для всех морских организаций – прогнозы скорости ветра, состояние водной поверхности и условий погоды в приводном слое.

Применительно к морским портам следует выделить некоторые особенности разработки метеорологических прогнозов и, конечно же, специфику их учета. Прежде всего, необходимо понимание региональных особенностей развития метеорологических условий и физико-

географических особенностей расположения самого порта. Специализация гидрометеорологического обеспечения устанавливается в соответствии с назначением порта и с учетом местных особенностей погоды.

Особо опасные условия погоды складываются на побережье вдоль Севморпути. Единственной мерой защиты является простой судов и погрузоразгрузочной техники, что приводит к серьезным финансовым потерям. Прямые потери $L = L_{\max}$ в условиях опасной погоды связаны с повреждениями судов, разрушением портового оборудования и потерями доходов. При этом наиболее часты и опасны явления ветрового характера, т.е. штормы, ураганы и связанные с ними наводнения, навалы льда и возможное обледенение судов. Прогноз ветра для морского порта является определяющим фактором эффективного планирования и выполнения всех видов работ на акватории порта [4, с. 65].

Чтобы решать задачи материализации прогнозов, необходимо установить математическую модель механизма погодозависимости. По существу, это центральная комплексная проблема, которую следует разделить на две частные [5, с. 10].

Первая – разработка матрицы (таблицы) сопряженности прогнозов. Это обобщенный результат «прогноза Π_j – факта Φ_i » за определенный период (месяц, сезон и т.п.). Решение этой части проблемы – матричного описания прогнозов – связано еще с одной задачей – оценкой качества краткосрочных метеорологических прогнозов. Успешность прогнозов определяется в настоящее время посредством критерия «общая оправдываемость». С метеорологической точки зрения это очень слабый критерий, не показательный, он не отражает успеха прогнозирования.

Вторая проблема связана с функциональным описанием погодозависимости потребителя. Для этого используется функция полезности, которая с позиции изучения метеорологической опасности записывается в виде функции потерь:

$$s_{ij} = s(\Phi_i, d_j),$$

где Φ_i ($i = 1, n$) – фактическая погода (явление, условие и т.п.) в период, предусмотренный прогнозом и, соответственно, действием потребителя d_j ($j = 1, m$) [4, с. 40].

Такая функция отражает экономические последствия (s) в зависимости от действий (d) потребителя на основании

прогнозов и последующего осуществления защитных мероприятий и погоды (Φ) [5, с. 11].

Описание методологии погодозависимости в комплексной системе «погода–прогноз–потребитель» требует облечь эту зависимость в формализованный вид. Естественно, в качестве функции выступает деятельность человека (сфера экономики), а ее аргументом (частным) остается гидрометеорологическая среда. Если допустить дескриптивную форму записи, то вышесказанное в виде меры зависимости в общем приближении можно представить формулой [4, с.14]:

$$\begin{array}{l} \text{Эко-} \\ \text{номи-} \\ \text{ческая} \\ \text{зависи-} \\ \text{мость} \end{array} = f \begin{array}{l} \text{степени погодоза-} \\ \text{висимости качества} \\ \text{информационного} \\ \text{обеспечения научно-} \\ \text{технической адап-} \\ \text{тивности к погоде} \end{array}$$

В обозначенной комплексной системе «погода–прогноз–потребитель» полезность реализуется как выгода знаний о предстоящей погоде, материализуемая посредством выбора более предпочтительных решений, то есть действий, адекватных ожидаемой погоде.

Наиболее распространенной и универсальной формой дискретного представления, обобщения и анализа информационных сведений является матричная, отражающая многомерность результата (функции) в рамках достаточной аргументной зависимости. Это относится и к метеорологическим прогнозам ($n_{ij} = f(\Pi_j, \Phi_i)$) и к результатам решений и действий потребителя ($s_{ij} = f(d(\Pi_j), \Phi_i)$) [4, с. 19], где n_{ij} – частоты матрицы сопряженности ($n_{11}, n_{12}, n_{21}, n_{22}$);

Π_j – прогнозировалось: Π – наличие явления, неблагоприятного условия погоды;

$\bar{\Pi}$ – отсутствие явления, неблагоприятного условия погоды;

Φ – фактически наблюдавшиеся частоты наличия явления;

$\bar{\Phi}$ – фактически наблюдавшиеся частоты отсутствия явления;

$d(\Pi)$ – решения и действия потребителя. Потребитель принимает решение, действие $d(\Pi_j) = d_j$;

$d(\Pi)$ – потребителем применяются меры защиты согласно тексту прогноза Π ;

$d(\bar{\Pi})$ – потребителем меры защиты не применяются, работа выполняется согласно тексту прогноза $\bar{\Pi}$ [4, с. 35–36, 38, 40].

Инерционные и методические прогнозы формируются на основании исходных метеорологических условий. Методом инерционных прогнозов выступает заложена в самой природе степень инерционности исходного состояния или условия погоды. Методические прогнозы вносят в это исходное состояние научно обоснованную динамику его пространственного и временного изменений.

Функция потерь в матричном отображении при условии простой альтернативы действия потребителя $d(\Pi)$ и $d(\bar{\Pi})$ может быть представлена альтернативной матрицей потерь s_{ij} [4, с. 91].

$$s_{ij} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & d(\Pi) & d(\bar{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} + \varepsilon s_{12} \\ & s_{12} - \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ \hline \bar{\Phi} & s_{21} & s_{22} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline & \\ \hline C + \varepsilon L & L \\ \hline C & 0 \\ \hline \end{array} \quad (1)$$

Дадим пояснения введенным обозначениям:

$s_{11} = C$ – затраты на меры защиты;

$s_{12} = L$ – прямые потери в случае ошибок-пропусков явления или опасного условия погоды;

$s_{22} = 0$ – потери при благоприятной погоде отсутствуют;

ε – коэффициент непредотвращенных потерь, равный отношению доли непредотвращенных потерь ($\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$) к максимальным потерям ($s_{12} = L$).

Принимаемые меры защиты не являются кардинальными. Естественно, что часть потерь не удастся предотвратить. Эти непредотвращенные потери εs_{12} рассматриваются как доля от максимально возможных s_{12} . Тем не менее, определенная часть возможных потерь оказывается предотвращенной ($s_{12} - \varepsilon s_{12}$).

Если $(s_{11} + \varepsilon s_{12})$ есть общие издержки потребителя (его собственные и за счет природных явлений), то $(s_{12} - \varepsilon s_{12})$ – это положительный результат за счет использования прогнозов, снижающий общие издержки.

Ошибки (страховки) вызывают напрасно израсходованные средства на меры защиты (s_{21}).

Наиболее общим показателем погодозависимости морского порта является матрица, содержащая потери за счет внутренних и внешних факторов. Матрица потерь отражает последствия

действий потребителя в связи с ожидаемыми проявлениями погоды. Очевидно, что показатели влияния погодных условий должны включать такие элементы матрицы потерь, которые более полно раскрывали бы зависимость потребителя от метеорологических условий. Особое значение в такой оценке придается не только той части потерь, которую не удастся предотвратить ($L_{\text{н}} = \varepsilon L$), но и предотвращенной части потерь ($s_{12} - \varepsilon s_{12}$). Таким образом, задача потребителя состоит в том, чтобы минимизировать негативное влияние погодных условий.

Необходимо выстроить принципиальную схему разработки матрицы потерь. Такую работу осуществляет потребитель метеорологических прогнозов (отделы финансового учета) при активном содействии поставщика информации (метеоролога, прогнозиста). Непредотвращенные метеорологические потери (εL) должны фиксироваться в бухгалтерских отчетах морских организаций [4, с. 73].

Для оценки экономической полезности прогнозов погоды для морского порта Мурманска в качестве исходного материала были использованы метеорологические данные. Эти данные содержат сведения о прогностических и фактических значениях скорости ветра, которые в дальнейшем используются для разработки матриц сопряженности.

Исходные данные охватывают период октябрь–март с 2004 по 2008 гг. Всего было взято 729 суточных прогнозов, содержащих как опасные для морского порта, так и благоприятные условия погоды. Прогностические и фактические значения скорости ветра нами были систематизированы: период с октября по март взят как наиболее опасный и сложный для работы морского порта Мурманска и прохождения морских судов в акватории Баренцева моря и Арктике.

На основании полученных матриц сопряженности устанавливаются меры адекватности прогностической и фактической погоды – это так называемые «критерии успешности». Результаты расчета критериев успешности прогнозов скорости ветра приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что методические прогнозы имеют более высокую успешность. Критерий точности (Q) методических прогнозов в 1,95 раза выше, чем у инерционных прогнозов.

Результаты расчета критериев успешности прогнозов скорости ветра при $V \geq 12$ м/с (г. Мурманск, с 2004 по 2008 гг., октябрь–март)

Критерии успешности	Методический прогноз	Инерционный прогноз	Относительное превышение
Критерий надежности H	0,382	0,275	1,39
Критерий точности Q	0,536	0,275	1,95
Критерий – информационное отношение ν	0,2310	0,0656	3,52

Дадим экономическую оценку погодозависимости. Содержание матрицы потерь потребителя метеорологических прогнозов определяется рядом экономических показателей, в частности, таких, как грузооборот порта, стоимость судосудок, необходимые расходы на защитные мероприятия и, конечно же, непредотвращенная часть потерь.

Грузооборот порта Мурманска в январе–октябре 2008 г. составил 23,18 млн т [2]. Отсюда средний грузооборот порта (Q) за сутки – 76,0 тыс. т.

При известной средней грузоподъемности судов (D) (сухогрузов, танкеров, контейнеровозов) 12,2 тыс. т и среднем коэффициенте использования грузоподъемности судов, равном $\beta_i = 0,85$, грузооборот порта (n) за сутки есть величина [3, с. 13]

$$n_c = \sum \frac{Q_i}{D_i \times \beta_i} = \frac{76,0}{12,2 \times 0,85} = 7 \text{ судов/сутки}$$

По данным ЦНИИ морского флота, среднесуточные расходы на стоянке морских судов среднего класса равны 0,491 млн руб. Отсюда общая стоимость судосудок в порту составит $7 \times 0,491 = 3,4$ млн руб.

На меры защиты (s_{11}) допускается величина $0,5 \times 3,4 = 1,7$ млн руб., необходимая чтобы избежать максимально возможных потерь при опасных скоростях ветра.

Отношение затрат к убыткам (s_{11}/s_{12}) по ряду портов России составляет 0,37. Отсюда можно принять, что максимальные потери $s_{12} = 1,7/0,37 = 4,6$ млн руб./сутки, то есть на период суточного прогноза. Непредотвращенные потери (εs_{12}) при среднем ($\varepsilon = 0,25$) составляют 1,2 млн руб./сутки. Величина напрасно принятых мер защиты (s_{21}) принимается равной $0,5 \times 1,7 = 0,85$ млн руб./сутки.

В итоге матрица потерь для морского порта Мурманска имеет вид:

$$S_{ij} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & \overbrace{d(\Pi_j)} & \\ \hline \Phi_i & d(\Pi) & d(\overline{\Pi}) \\ \hline \Phi & \frac{1,7 + 1,2}{4,6 - 1,2} & 4,6 \\ \hline \overline{\Phi} & 0,85 & 0 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{млн руб.} \\ \text{прогноз} \end{array} \quad (2)$$

Задача потребителя заключается в том, чтобы постоянно вести поиск более эффективных организационных, финансовых и технологических мер защиты. В процессе такой долговременной адаптации достигается снижение средних (байесовских) потерь ($\Delta \overline{R}_m^{un} = \overline{R}_m^{un} - \overline{R}_m$) [6, с. 325]. Разность $\Delta \overline{R}_m^{un}$ есть величина снижения потерь, т.е. фактически сбереженные материальные средства или иные ценности потребителя за счет использования оперативных методических прогнозов.

Рассчитаем сводную таблицу «Разность между средними байесовскими потерями (млн. руб./прогноз) за период с 2004 по 2008 гг., октябрь – март» (см. табл. 2).

Разность средних потерь ($\Delta \overline{R}_m^{un}$) есть объективный показатель сбережения материальных ценностей, выраженный в денежном измерении. Из табл. 2 видно, что за период с 2004 по 2008 г. $\Delta \overline{R}_m^{un} = 0,602$ млн руб./прогноз при $\varepsilon = 0$ и $\Delta \overline{R}_m^{un} = 0,331$ млн руб./прогноз при $\varepsilon = 0,25$.

С позиции классической экономики величина $\Delta \overline{R}_m^{un}$ есть научно-производственный результат специализированного метеорологического обеспечения в системе «погода–прогноз–потребитель». При оценке эффективности использования прогнозов следует учитывать, что потребитель (порт) имеет возможность адаптироваться к ожидаемым условиям погоды. Адаптация осуществляется в режиме постоянного доверия оперативным методическим прогнозам. При этом содержание прогнозов, их заблаговременность и продолжительность

**Разность между средними байесовскими потерями (млн руб./прогноз)
(методические и инерционные прогнозы скорости ветра при $V \geq 12$ м/с;
г. Мурманск, 2004–2008 гг., октябрь–март)**

ϵ	Разность ($\bar{R}_{ин}$ – $\bar{R}_м$), (октябрь – март)				$\Delta \bar{R}_м^{ин}$, (октябрь–март)
	2004–2005	2005–2006	2006–2007	2007–2008	2004–2008
0	0,781	0,640	0,328	0,659	0,602
0,25	0,465	0,362	0,138	0,357	0,331
0,5	0,149	0,084	– 0,051	0,055	0,060
0,75	– 0,167	– 0,194	– 0,241	– 0,246	– 0,212
1	– 0,483	– 0,472	– 0,431	– 0,548	– 0,483

(прогностический период), включая штормовые предупреждения, устанавливаются потребителем согласно договорным условиям с учетом требований его хозяйственной практики.

Потребитель осуществляет как оперативную адаптацию (ежесуточную или на более короткие периоды) в соответствии с содержанием поступающих прогнозов, так и долговременную, рассчитанную на снижение текущих затрат в будущем. Для решения этих задач используется обобщенная информация – матрица потерь потребителя и матрица сопряженности прогнозов.

Основная цель адаптации (подстройки к ожидаемой погоде) – обеспечить максимальную выгоду использования прогнозов (W), используя более эффективные защитные мероприятия [6, с. 317].

Процесс адаптации – это сложный и возможно длительный механизм выстраивания оптимального регламента решений и эффективных мер защиты (снижения величины ϵ). Что же определяет процесс выстраивания эффективной адаптации потребителя? Два основных условия: качество (успешность) прогностической информации и научно обоснованный регламент эффективных действий потребителя (порта) [4, с. 128].

Рассмотрим возможности адаптации потребителя, погодозависимость которого представлена матрицей потерь (2). Более точное отражение области эффективной адаптации ($G = f(C/L, \epsilon, n_{ij})$) [4, с. 129] представлено на рис. 1, где

G – показатель адаптации потребителя в зависимости от C/L и ϵ ;

C/L – численная характеристика потребителя (морского порта), выраженная

томпсоновским отношением «затрат к убыткам» [4, с. 69];

ϵ – мера незащищенности порта – коэффициент непредотвращенных потерь;

n_{ij} – частоты матрицы сопряженности ($n_{11}, n_{12}, n_{21}, n_{22}$) [6, с. 137].

На рис. 1 условия адаптации являются допустимыми. Однако даже в этой области ($G > 1$) более предпочтительным выступает отношение ($C/L \leq 0,1$). Можно выделить следующие области реализации прогнозов: ($G < 1, C/L \leq 0,3$ и $0,4$) – условия экономически выгодной реализации прогнозов (область В). Остальные области (А, С при $G > 1$ и Д при $G < 1$) не отражают эффективную адаптацию.

Экономическая полезность оперативных метеорологических прогнозов рассматривается посредством оценки двух основных показателей: экономического эффекта (\mathcal{E}) и экономической эффективности (P) [6, с. 339].

Для оценки экономического эффекта и экономической эффективности надо установить средние байесовские потери при использовании методических $\bar{R}_м$ и инерционных $\bar{R}_{ин}$ прогнозов.

Экономический эффект, получаемый потребителем от использования методических прогнозов, рассчитывается по формуле [4, с. 96]:

$$\mathcal{E} = \beta \times N \times [(\bar{R}_{ин} - \bar{R}_м) - 3_{ин}], \quad (3)$$

где β – коэффициент долевого участия системы гидрометслужбы в получении экономического эффекта $\beta = 0,7$;

N – общее число прогнозов для данного потребителя за выбранный период времени ($N = 729$);

$\bar{R}_{ин}$ и $\bar{R}_м$ – средние потери при использовании, соответственно, инерционных и методических прогнозов;

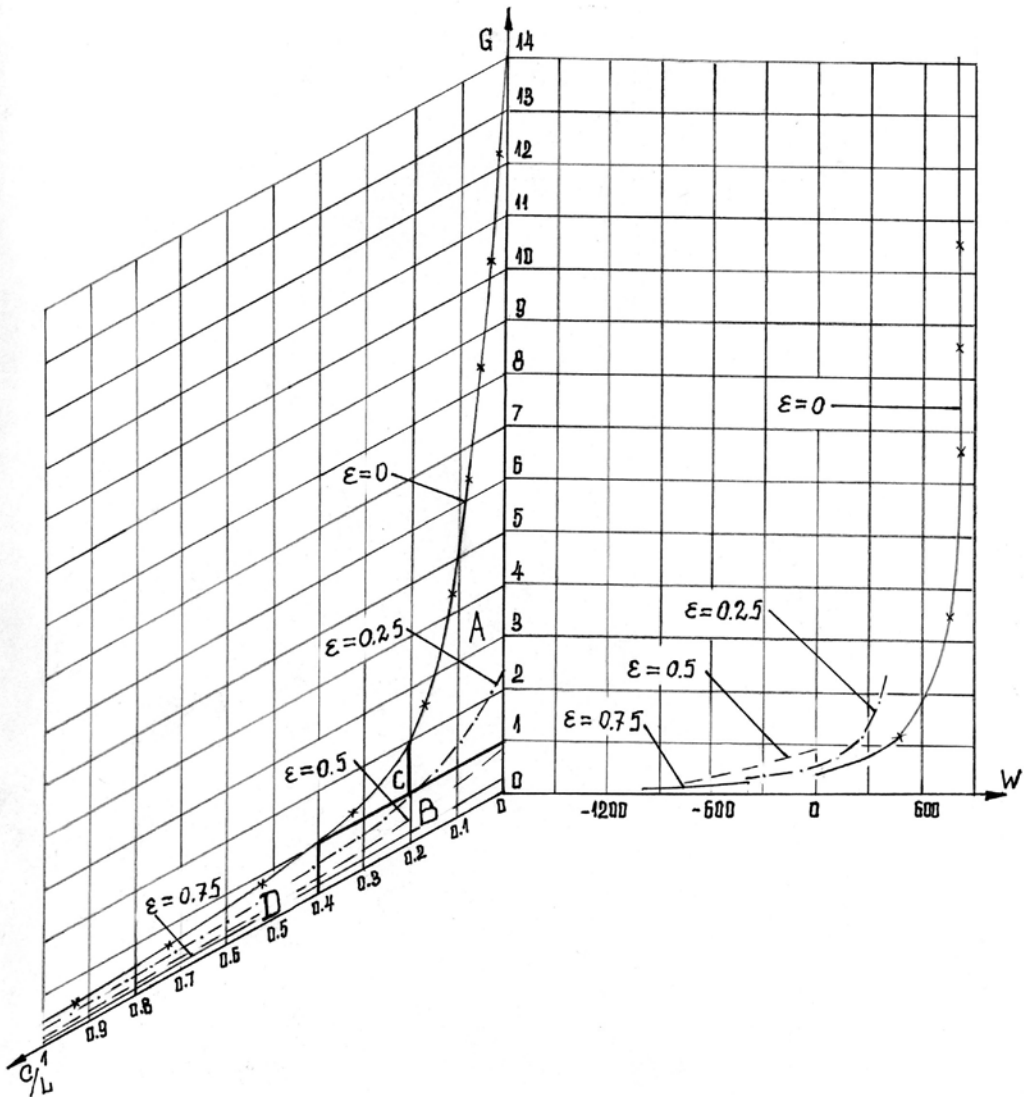


Рис. 1. Возможности адаптации работ морского порта Мурманска к ожидаемым условиям погоды

Z_{mn} – стоимость единицы прогностической информации – затраты на разработку прогноза (было принято $Z_{mn} = 0,0015$ млн руб.) в Государственном учреждении «Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ГУ «УГМС»).

В целях сравнительной оценки экономической полезности определяется экономическая эффективность [4, с. 96] (см. табл. 3):

$$P = \frac{\mathcal{E}}{N \times Z_{mn}} \quad (4)$$

Средний за период (по годам, октябрь-март) экономический эффект при $\varepsilon = 0,25$ составляет 42,0 млн руб., а за четыре периода (2004–2008 гг., октябрь-март) экономический эффект (\mathcal{E}_o) составляет $42,0 \times 4 = 168,0$ млн руб. (общая абсолютная экономическая полезность за 4 периода 2004–2008 гг.).

Эффективность показывает, сколько потребитель получает средств за счет снижения потерь (в денежном измерении) на один рубль затрат в Службе прогнозов конкретного ГУ «УГМС». Очевидно, что

Показатели полезности

Годы (октябрь– март)	ε	$\bar{R}_{ин},$ млн руб.	$\bar{R}_м,$ млн руб.	$\Delta\bar{R}_м,$ млн руб.	$\mathcal{E}_м,$ млн руб.	$\mathcal{E}_0,$ млн руб. (2004– 2008)	$P_м,$ руб.	$P_0,$ руб. 2004– 2008
2004–2005	0	0,678	– 0,103	0,781	99,3	168	363	153
	0,25	1,057	0,592	0,465	59,1		216	
2005–2006	0	0,511	– 0,129	0,640	81,3		297	
	0,25	0,751	0,389	0,362	45,9		168	
2006–2007	0	0,399	0,071	0,328	41,6		152	
	0,25	0,588	0,450	0,138	17,4		63	
2007–2008	0	0,559	– 0,100	0,659	84,2		306	
	0,25	0,810	0,453	0,357	45,5		165	
Среднее	0	0,537	– 0,065	0,602	76,6	280		
	0,25	0,802	0,471	0,331	42,0	153		

экономическая результативность использования методических прогнозов достигается, если отношение стоимости результата к затратам $P > 1,0$.

На один рубль затрат на прогнозы в Государственном учреждении «Мурманский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» потребитель (порт) получает сбережение материальных средств на 280 руб. при $\varepsilon = 0$; при $\varepsilon = 0,25$ – 153 руб. – вследствие снижения потерь за счет методических прогнозов.

Во всех отраслях экономики производственная эффективность выступает ведущим показателем в оценках экономической деятельности.

Приведенный метод оценки экономического эффекта и эффективности прогнозов отражает преимущество специализированного научного метеорологического обеспечения относительно того обеспечения, которое потребитель может осуществлять

сам, ориентируясь на текущую погоду. Для потребителя прогностическая информация представляет собой особого рода ресурс, который позволяет эффективно выстраивать производственную деятельность.

Выполненная оценка адаптации и экономической полезности показывает, что использование прогностических ресурсов в оперативной практике позволяет получить экономический эффект при кардинальных мерах защиты ($\varepsilon = 0$) 76,6 млн руб. при экономической эффективности, составляющей 280 руб. на 1 руб. затрат на прогнозы; а при относительно умеренной защите ($\varepsilon = 0,25$) 42,0 млн руб. при экономической эффективности, составляющей 153 руб. на 1 руб. затрат на прогнозы. Таким образом, гидрометеорологическое обеспечение определяет экономический эффект и экономическую эффективность. Предложенный подход может быть приемлем и для других портов России.

Список литературы

1. Балясников С.Б., Бресткин С.В. 75 лет Северному морскому пути: история, современность и перспективы // Метеоспектр. – 2008, № 3. – С. 94–101.
2. Грузооборот порта Мурманск возрос // Корабел.ру. – Электрон. журн. – СПб., 2009. – Режим доступа: http://www.korabel.ru/news/comments/statistics/gruzooborot_porta_murmansk_v_yanvare-kyabre_2008_goda_vozros_na_112_i_sostavil_232_milliona_tonn.html
3. Сабодаш О.А. План морского порта. Ч. I. – Владивосток: Изд. ДВГТУ, 2007. – 13 с.
4. Хандожко Л.А. Экономическая эффективность метеорологических прогнозов: науч.-мет. пос. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 129 с.
5. Хандожко Л.А. Современные проблемы и перспективы развития экономической метеорологии // Метеоспектр. – 2008, № 3. – С. 10–13.
6. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – 339 с.