

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.501.8

Н.А. Калинин, О.Ю. Булгакова, Д.И. Абзалилова**АНАЛИЗ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ИЗДЕРЖЕК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ДОРОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ
ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Приведены результаты исследования использования потребителем прогностической и фактической метеорологической информации, расчеты показателей экономической эффективности в дорожном хозяйстве, анализ долговременной интегральной матрицы издержек потребителя в дорожном хозяйстве Пермского края. Даны рекомендации потребителям по использованию гидрометеорологической информации с целью увеличения экономической эффективности работы дорожных организаций на территории Пермского края.

Ключевые слова: экономическая эффективность метеорологической информации; интегральная матрица издержек потребителя, матрицы методических прогнозов, матрицы потерь; мера ценности прогнозов в дорожном хозяйстве.

Расчет экономической эффективности использования гидрометеорологической информации в дорожном хозяйстве позволяет определить оптимальную стратегию потребителя на ближайшие годы с учетом влияния климатических особенностей региона. Выбор стратегии потребителем сводится к анализу затрат при различных хозяйственных решениях. Необходимо дифференцирование издержек потребителя с учетом различных погодных условий и решений потребителя.

Определение экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации в дорожно-транспортном комплексе осуществлялось поэтапно:

- оценивалось влияние метеорологических условий на эффективность функционирования дорожно-транспортного комплекса;
- оценивалась адаптивность различных технологических процессов к погодным воздействиям;
- определялся потенциальный экономический эффект от использования метеорологической информации в дорожно-транспортном комплексе;
- проводилась дифференцированная и интегральная оценка эффективности специализированного метеорологического обеспечения дорожных организаций Пермского края;
- обосновывался выбор экономически оптимальных хозяйственных решений на основе использования гидрометеорологической информации.

Оценке экономического эффекта подлежали следующие виды хозяйственных решений предприятий дорожной отрасли с использованием гидрометеорологической информации: оперативное управление содержанием автомобильных дорог, заключающееся в выборе технологий проведения дорожных работ на основе использования специализированных прогнозов, в организации защитных мероприятий дорожного хозяйства от неблагоприятных гидрометеорологических условий;

© Калинин Н.А., Булгакова О.Ю., Абзалилова Д.И., 2013
Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-05-96025-р_урал_a)

Калинин Николай Александрович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; kalinin@psu.ru

Булгакова Ольга Юрьевна, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; meteo@psu.ru

Абзалилова Динара Ильдаровна, аспирант кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; abz-dina@yandex.ru

оценка затрат на специализированное гидрометеорологическое обеспечение дорожных организаций.

Построение матриц сопряженности соответствия прогностической и фактической метеорологической информации $\|n_{ij}\|$ позволил провести подробный статистический анализ полученных результатов. Матрицы сопряженности строились на основе проведенных ранее исследований, позволяющих выявить сезонное воздействие различных метеорологических факторов на работу дорожных организаций, а также определить пороговые критерии основных влияющих метеорологических элементов.

Одним из существенных погодных факторов, влияющих на эффективность работы транспорта на территории Пермского края, являются условия ограниченной видимости в атмосфере. Ухудшение видимости приводит не только к замедлению передвижения транспортных объектов, но и, что наиболее важно, к аварийности, а также к ухудшению экологической безопасности. Аварийность на дорогах наносит экономике края значительный ущерб, составляя существенную долю в валовом внутреннем продукте (табл. 1).

Выявлено, что ухудшение видимости до 2000 м и менее на территории Пермского края происходит чаще всего при снеге и метели (68%), 20% случаев приходится на туманы и дымки, 7% – на случаи ухудшения видимости при дожде.

Влияние снегопадов и метелей сказывается не только на ухудшении видимости, но и на состоянии дорожного полотна. Именно поэтому статистический анализ результатов прогнозирования условий погоды проведен с использованием матриц сопряженности методических, инерционных и случайных прогнозов по сильным снегопадам. Была использована информация Пермского центра по гидрометеорологии и охране окружающей среды за 2008–2010 гг.

Таблица 1

**Расчетная таблица потерь потребителя на уборку дорог от твердых осадков
на 1 км дорог первой, второй и третьей категории, руб.**

Техническая категория дорог	I	II	III
Ширина проезжей части, м	15	7,5	7
Состав движения, %			
грузовых	43	56	56
легковых	51	41	41
автобусов	6	3	3
Интенсивность движения, автомобили/сутки	Табл.	Табл.	Табл.
Интенсивность движения в зимний период <i>октябрь – март</i> , автомобили/сутки	Табл.	Табл.	Табл.
Директивное время на уборку снега, час	4	4	5
Директивное время на уборку гололедных явлений, час	4	4	5
Директивное время на уборку зимней скользкости, час	4	4	5
Норма распределения ПГМ, г/м ²	40–120	40–120	40–120
Стоимость ПГМ, руб./т	413,93	413,93	413,93
Стоимость ПГМ, израсходованного на 1 км, руб.	745,2	372,6	347,76
Стоимость эксплуатации машин, руб.	1 137,45	1 137,45	1 137,45
Затраты дорожной организации на профилактику на 1 км дороги, руб.	1 892,55	1 519,95	1 495,11
Затраты дорожной организации на борьбу со снежным накатом на один цикл очистки на 1 км дороги, руб.	20 785,25	9 942,625	9 281,45
Затраты дорожной организации на борьбу с рыхлым снегом на один цикл очистки на 1 км дороги, руб.	3 575	1 337,5	1 250
Скорость движения на мокром покрытии, км/ч	40–90	40–90	40–90
Скорость движения на скользком покрытии, км/ч	30–60	30–60	30–60
Себестоимость работы автотранспорта, руб.	1250	1250	1250
Количество ДТП за год	11	89	105
Количество ДТП за месяц (в зимний период)	1(6)	10(53)	14(70)

Оценка метеорологической уязвимости Пермского края проводилась по методике, разработанной во ВНИИГМИ-МЦД, включающей расчет средних характеристик, экстремумов и их климатических повторяемостей. С использованием расчетов коэффициентов уязвимости по температуре K_T , ветру K_V и осадкам K_R строился общий коэффициент уязвимости K_0 по 12 станциям Пермского края. Проведенное районирование территории края по коэффициенту уязвимости позволяет провести

сопоставление показателей экономической эффективности гидрометеорологической информации и определить их тенденцию на увеличение или уменьшение для дорожного хозяйства всего Пермского края.

Для определения экономической полезности использования прогностической информации были построены матрицы потерь потребителя $\|S_{ij}\|$ в зимний период, так как именно в это время содержание дорог является наиболее затратным.

Затраты дорожной организации на борьбу с зимней скользкостью Z_{zc} определялись стоимостью противогололедных материалов (ПГМ) и стоимостью эксплуатации машин при проведении работ.

$$Z_{zc} = 10^{-3} q \cdot B \cdot C_{пгм} + S_{эм}, \quad (1)$$

где q – норма расхода ПГМ, г/м²; B – ширина полностью очищенной поверхности проезжей части (зависит от технической категории дороги), м; $C_{пгм}$ – стоимость 1 т противогололедного материала, г. р; $S_{эм}$ – стоимость эксплуатации машин при обработке 1 км дороги. Затраты на досыпку ПГМ увеличиваются на 12%.

Затраты на эксплуатацию машин при борьбе со снежным накатом на 1 км дороги:

$$S_{эм} = N_{ц} \cdot (S_{эм,пгм} \cdot B + S_{эм,очист} \cdot K_{пер}), \quad (2)$$

где $S_{эм,пгм}$ – стоимость эксплуатации машины при россыпи ПГМ на 1000 м² покрытия, B – ширина очистки, м; $K_{пер}$ – коэффициент, учитывающий ширину проезжей части (для дорог III категории – 1,0; для дорог II категории – 1,07; для дорог I категории – 2,86); $N_{ц}$ – количество циклов очистки.

Затраты на эксплуатацию машин при борьбе с рыхлым снегом на 1 км дороги:

$$S_{эм} = N_{ц} \cdot S_{эм,очист} \cdot K_{пер}. \quad (3)$$

Матрица потерь раскрывает результативность функционирования конкретного потребителя, однородных объектов или отрасли экономики при возможных сочетаниях принимаемых решений (d_j) и условий погоды (Φ_i).

Используя матрицу сопряженности с известной характеристикой частот $\|n_{ij}\|$ и матрицу потерь $\|S_{ij}\|$, устанавливаем ряд экономических количественных показателей влияния гидрометеорологических условий на потребителя, в том числе и экономическую полезность использования гидрометеорологической информационной продукции. Разработка матриц потерь относится и к области анализа хозяйственной деятельности потребителя, и к области анализа метеорологической информации. Для различных потребителей матрицы потерь существенно отличаются. Отличия могут носить и сезонный характер. Кроме того, они обусловлены модернизацией производства, изменением его масштабов, уточнением, совершенствованием мер защиты и другими производственными факторами. Следовательно, один и тот же потребитель может иметь несколько матриц потерь второго порядка, наличие которых позволяет разработать специализированную модель использования метеорологической информационной продукции и оценку ее экономической полезности.

Производственные затраты потребителя рассматривались при единичном коэффициенте непредотвращенных потерь ε . Все элементы в матрице потерь $\|S_{ij}\|$ являются средними величинами потерь, которые были установлены в результате статистического анализа результатов действий потребителя при известном осуществлении погоды, отнесенные на один случай принятого потребителем решения, отвечающего единичному прогнозу.

При положительных значениях S_{ij} потребитель несет потери при любом решении. Матрица потерь раскрывает результативность функционирования конкретного потребителя либо дорожной отрасли экономики однотипного в климатическом отношении региона при возможных сочетаниях принимаемых решений (d_j) и условий погоды (Φ_i).

Матрицы потерь (1) для борьбы со снежным накатом на 1 км дорог первой, второй и третьей категории, руб.

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \|1892,55 & 20785,25\| \\ \hline \|1892,55 & 0\| \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \|1519,95 & 9942,62\| \\ \hline \|1519,95 & 0\| \end{array} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline \|1495,11 & 9281,45\| \\ \hline \|1495,11 & 0\| \end{array}$$

**Матрицы потерь (2) для борьбы с рыхлым снегом
на 1 км дорог первой, второй и третьей категории, руб.**

$$\begin{aligned} & \left\| \begin{array}{cc} 1519,95 & 1337,50 \\ 1519,95 & 0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{cc} 1892,55 & 3575,00 \\ 1892,55 & 0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{cc} 1495,11 & 1250,00 \\ 1495,11 & 0 \end{array} \right\| \end{aligned}$$

Для удобства дальнейших расчетов матрицы сопряженности прогнозов были переведены в вероятностную форму $\|P_{ij}\|$.

Далее используя частоты матриц сопряженности $\|n_{ij}\|$ и $\|p_{ij}\|$ и матрицу потерь $\|S_{ij}\|$, были рассчитаны количественные экономические показатели влияния условий погоды на потребителя.

При использовании прогностической метеорологической информации и выборе потребителем оптимальной стратегии потери можно предотвратить, а предотвращенный ущерб (Y_{np}) рассчитать по формуле

$$Y_{np} = p_{11} \cdot (S_{12} - S_{11} + S_{21}) \cdot K_{t,о\ddot{a}}, \quad (4)$$

где p_{11} – вероятность успешного прогноза; S_{ij} – составляющие матриц потерь; $K_{t,о\ddot{a}}$ – коэффициент, учитывающий заблаговременность прогноза и продолжительность опасного погодного явления.

Экономический эффект дорожной организации в этом случае рассчитывается по формуле

$$\Delta \mathcal{E} = Y_{np} = S_{12} - S_{11} = \Delta \mathcal{E}_d + \Delta \mathcal{E}_n, \quad (5)$$

где $\Delta \mathcal{E}_d$ – экономический эффект потребителя от сокращения затрат на содержание дорог; $\Delta \mathcal{E}_n$ – экономический эффект потребителя от увеличения скорости движения, уменьшения количества дорожно-транспортных происшествий, улучшения экологической обстановки.

Экономическая эффективность использования метеорологических прогнозов в работе дорожных организаций может составить по проведенным расчетам от 155 до 159% прибыли от затрат на содержание зимних дорог.

Потребитель прогностической информации характеризуется экономико-метеорологическим отношением A :

$$A = \frac{C}{L}, \quad (6)$$

где C – затраты потребителя на предупредительные меры; L – прямые потери потребителя, если защитные меры не приняты.

Таблица 2

**Показатели экономической эффективности использования
метеорологической информации в дорожном хозяйстве**

Характеристика	Прогнозы		
	Методические	Инерционные	Случайные
Вероятность успешного прогноза снегопадов, %	94,5	77,2	75,7
Предотвращенный ущерб на дорогах первой категории, руб./км	20 348,76	15 734,43	15 006,95
Предотвращенный ущерб на дорогах второй категории, руб./км	9 733,83	7 526,567	7 178,575
Предотвращенный ущерб на дорогах третьей категории, руб./км	9 086,54	7 026,058	6 701,207
Экономический эффект, руб.	18 892,7	8 422,675	7 786,34
Экономическая эффективность, %	–	155	159

Чем меньше экономико-метеорологическое отношение, тем больше экономическая выгода от использования прогностической информации. Как видно из рис. 1, наибольшую выгоду получит потребитель при использовании методических прогнозов в случае образования снежного наката.

При $p_{10} > A$ пороговая оправдываемость находилась по формуле

$$R_{nop} = 1 - 2A(1 - p_{10}), \quad (7)$$

при $p_{10} < A$:

$$R_{nop} = 1 - 2p_{10}(1 - A). \quad (8)$$

Выбор оптимальной стратегии $S_{\text{опт}}$ проводился по методу, предложенному Л.А. Хандожко. В основе метода было положено сравнение вероятностей p_{10} с экономико-метеорологическим отношением потребителя [4]:

$$S_{\text{опт}} = \begin{cases} p_{10} > A \rightarrow S_{\text{кл.1}} \\ p_{10} < A \rightarrow S_{\text{кл.2}} \end{cases} p_{\text{МЕТ}} > p_{\text{пор}} \rightarrow S_{\text{пр}} \quad (9)$$

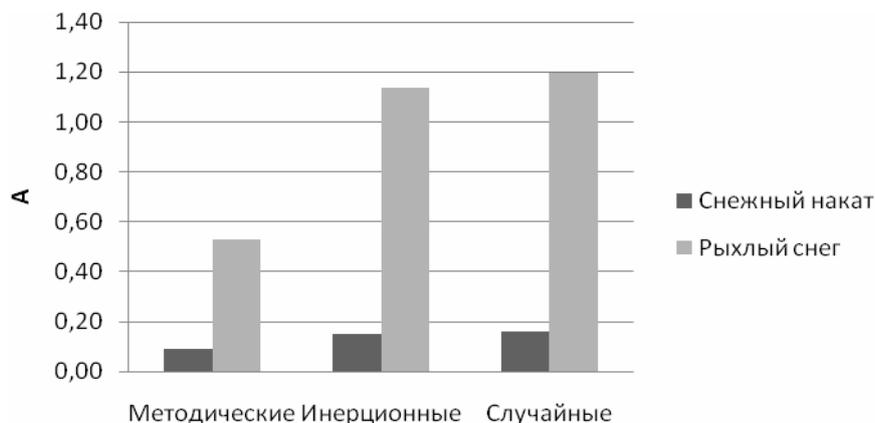


Рис. 1. Экономико-метеорологическое отношение А

Таблица 3

**Вероятностные экономические показатели
при различных условиях дорог I, II, III категории**

Экономические показатели	Снежный накат			Рыхлый снег		
	I категория	II категория	III категория	I категория	II категория	III категория
А	0,09	0,15	0,16	0,53	1,14	1,20
$P_{\text{пор}}$	0,84	0,78	0,78	0,88	1,04	1,05
P	0,94	0,77	0,75			
Q	0,30	-0,18	-0,24	-3,07	-7,74	-8,20
R, руб.	-2209,63	-896,96	-817,47	27,70	221,70	226,62
P_{10}	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
R^* , руб.	246,03	197,59	194,36	246,03	197,59	194,36
F	9,98	5,54	5,21	0,89	-0,12	-0,17

Экономическая выгода прогнозов Q^* при $p_{10} > A$ рассчитана по формуле

$$Q^* = \frac{p_{10} - A}{p_{10}} \quad (10)$$

Средние потери потребителя при использовании методических прогнозов:

$$\bar{R} = p_{11}[C - L(1 - 2\varepsilon)] + p_{21}C + p_{12}[C^* - L(1 - 2\varepsilon^*)] \quad (11)$$

Средние потери при постоянной защите потребителя при наличии явления Ф:

$$\bar{R}^* = p_{10}[C^* - L(1 - 2\varepsilon^*)] \quad (12)$$

Предложенная Л.А. Хандожко и Т.А. Загребинной матрица интегральных издержек потребителя F_{ij} позволяет комплексно рассмотреть затраты, потери, выгоды, что в конечном счете определяет характер метеорологических издержек (табл. 4).

Частоты комплексной матрицы метеорологических издержек потребителя характеризуются следующими показателями.

F_{11} – характеризуется издержками потребителя за счет мер стоимости защитных мер С и

частичными не предотвращенными потерями L_n . Выгода реализации прогноза в данной ситуации находится по формуле

$$W_{11} = n_{11}[L(1 - 2\varepsilon) - C] \quad (13)$$

Потери в этой ситуации будут равны соответственно:

$$R_{11} = n_{11}[C - L(1 - 2\varepsilon)] \quad (14)$$

F_{12} – потребитель вынужден экстренно реагировать на экстремальные ситуации. Применяются защитные меры C^* для предотвращения потерь до величины L^* . Потери в этом случае находятся по формуле

$$R_{12} = n_{12}[(C^* + \varepsilon * L) - L_{np}] \quad (15)$$

где $C^* = 3 + 5 C$.

Таблица 4

Комплексная матрица издержек потребителя Л.А. Хандожко и Т.А. Загребинной

	Стратегия потребителя, S		
	Ориентация на прогнозы (СГМО), S_{np}		Стратегия:
Комплексная оценка фактической погоды, Φ	- прогнозируется неблагоприятная погода П; - потребитель ориентируется на стратегию полного доверия прогнозам; - потребитель принимает меры защиты стоимостью С; - $C \geq 0, \gamma \geq 0$	- прогнозируется благоприятная погода П; - потребитель ориентируется на стратегию полного доверия прогнозам; - потребитель не принимает мер защиты; - $C = 0$	- постоянной защиты от ОЯ или комплекса неблагоприятной погоды ($S_{кл1}$); - полного пренебрежения ОЯ или комплексом неблагоприятной погоды ($S_{кл2}$)
Φ – наблюдалось ОЯ или комплекс неблагоприятных явлений для данного потребителя	(F_{11}) 1) $C = 0, L = L_{\max}$; $C > 0, L = L_{np}$; $\gamma = 0$ 2) $C > 0, L_{np} = L - L_n$, $L_n = \gamma L$ $\gamma = 0$ 3) $C > 0, L_{np} = 0, L_n = \gamma L$ $\gamma = 0$	(F_{12}) $C = 0, L = L_{\max}$	(F_{10}) 1) $F'_{10} = n_{10}L_{np} - (n_{10} + n_{20})C$ 2) $F''_{10} = n_{10}L$
$\bar{\Phi}$ – ОЯ или комплекс неблагоприятных явлений погоды для данного потребителя не наблюдались, погодные условия и гидрометеорологическая информация	(F_{21}) 1) $C = 0, L = 0$; $\gamma \geq 0$	(F_{22}) $C = 0, L = 0$	(F_{20}) 1) $F'_{20} = n_{20}C$ 2) $F''_{20} = kW$

F_{21} характеризуется напрасно принятыми потребителем защитными мероприятиями стоимостью С. Потери потребителя составят

$$R_{21} = n_{21}C \quad (16)$$

F_{22} – потребитель проводит работы при благоприятных метеорологических условиях. В этом случае потребитель получает доходы V, а общий доход потребителя составляет величину D:

$$D = n_{22}V \quad (17)$$

Частоты F_{10} и F_{20} представляют собой издержки потребителя при первой климатической стратегии F' и второй климатической стратегии F'' . При отсутствии опасных явлений погоды использование стратегии пренебрежения прогнозами приводит к выгоде W, а коэффициент k характеризует меру преобладания результатов производственного процесса над выгодой снижения потерь.

Меру ценности прогнозов можно представить как

$$F = \frac{\overline{R^*} - \overline{R}}{\overline{R^*}} \quad (18)$$

Учитывая, что полученные экономические показатели переведены в относительные безразмерные единицы, интегральную зависимость между экономико-метеорологическим отношением и мерой ценности использования прогнозов (рис. 2.) можно использовать на ближайшие годы для долговременного выбора оптимальной стратегии дорожных организаций Пермского края.

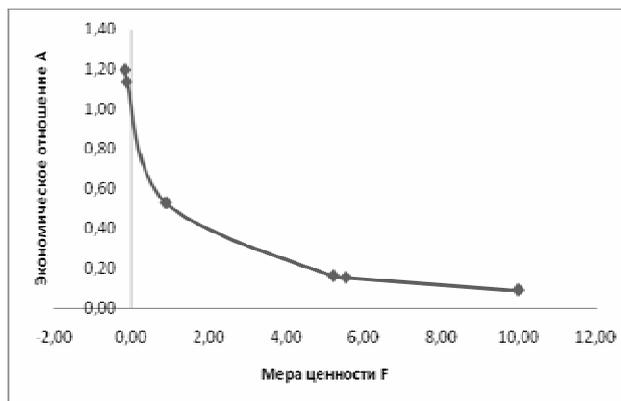


Рис. 2. Интегральная зависимость между A и F

Подобные работы, выполненные по дорожно-транспортному комплексу для территории Удмуртии, представлены в [1–3]. Сравнительный анализ показал, что экономическая эффективность использования прогностической информации на территории Пермского края сравнима с показателями экономической эффективности Удмуртии при экономико-метеорологическом отношении, равном около 0,4. В случае увеличения и уменьшения экономико-метеорологического отношения ценность прогнозов погоды для потребителей Пермского края несколько выше. На это также указывают более высокие значения меры ценности и более высокая крутизна интегральной зависимости между A и F. Это объясняется увеличением меридионально направленных градиентов с запада на восток и высоким общим фоном влияния неблагоприятных условий погоды на рассматриваемого потребителя.

Вычислив экономико-метеорологическое отношение A любой дорожной организации, расположенной на территории Пермского края либо на граничащих территориях, и используя полученную расчетную интегральную зависимость, можно определить меру ценности использования метеорологической информации для данной организации, а также предполагаемую прибыль в денежном эквиваленте на вложенные инвестиции.

Библиографический список

1. Калинин Н.А., Загребина Т.А., Булгакова О.Ю. Расчет критериев оптимальности использования метеорологической информации в дорожном хозяйстве Удмуртии // Вестник Удмуртского университета. Серия. Биология. Науки о земле. 2010. Вып. 3. С. 3–11.
2. Калинин Н.А., Загребина Т.А., Булгакова О.Ю. Региональная модель расчета показателей экономической эффективности использования метеорологической информации в дорожном хозяйстве / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2012. 156 с.
3. Калинин Н.А., Булгакова О.Ю., Дегтярева Л.А. Пространственное распределение комплексных критериев погодной изменчивости по территории Пермского края и Удмуртской Республики // Вестник Удмуртского университета. Серия. Биология. Науки о земле. 2012. Вып. 4. С. 96–103.
4. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология / Гидрометеиздат. СПб., 2005. 479 с.

N.A. Kalinin, O.Yu. Bulgakova, D.I. Abzalilova
THE ANALYSIS OF INTEGRAL MATRIX OF THE WEATHER INFORMATION
CONSUMER COSTS IN ROAD ORGANISATIONS OF PERM REGION

The results of the consumer use of predictive and actual meteorological data study are presented, as well as calculations of economic efficiency indicators in the road sector, and the analysis of long-term integral matrix of consumer costs in the road sector of Perm region. Recommendations upon the use of hydrometeorological information are given to consumers in order to increase the economic efficiency of the road organizations works in Perm region.

Key words: economic efficiency of meteorological information; integral matrix of consumer costs; methodology forecasts matrixes; loss matrixes; the measure of the forecasts value in the road sector.

Nikolay A. Kalinin, Doctor of geography, Professor, Head of Department of Meteorology and Atmosphere Protection, Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; kalinin@psu.ru

Olga Yu. Bulgakova, candidate of geography, associate professor, Department of Meteorology and Atmosphere Protection; Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; meteo@psu.ru

Dinara I. Abzalilova, postgraduate, Department of Meteorology and Atmosphere Protection; Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; abz-dina@yandex.ru