

УДК 504.064.36

**Б. Б. Поспелов**, д. т. н., проф., науч. сотр.  
**В. А. Андронов**, д. т. н., проф., проректор  
 Национальный университет гражданской защиты Украины  
 ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ПОДХОДА К НАИЛУЧШЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ФУНКЦИЯХ ПОТЕРЬ

Исследован неклассический подход к решению задачи наилучшей классификации экологической опасности объектов технической и природной сферы по наблюдаемым данным при невозможности точного определения функций потерь для решающих правил. Методология решения задачи базируется на представлении неизвестных функций потерь функциями произвольного вида, зависящими от наблюдаемых данных и некоторого составного вектора параметров. Получены наилучшие решающие правила классификации трех характерных состояний экологической опасности для объектов технической и природной сферы. Полученные решающие правила зависят от наблюдений и составного вектора параметров, оптимизируемого в соответствии с минимумом среднего риска классификации. Это позволяет использовать правила для наилучшей классификации экологической опасности объектов при минимуме априорных сведений о функциях потерь.

**Ключевые слова:** классификация экологической опасности, наблюдаемые данные, функция потерь, решающее правило.

**Постановка проблемы.** Многие задачи современной экологии сводятся к классификации (опознаванию) различных опасных ситуаций, событий, состояний природной, технической и социальной сферы. Классификация опасных экологических ситуаций обычно осуществляется той или иной системой сбора данных наблюдения (мониторинга) на основе реализации некоторого решающего правила. Способы определения решающего правила зависят от объема априорных сведений о наблюдаемых экологических ситуациях. При достаточно полной априорной информации решающие правила получаются на основе результатов классической теории статистических решений. Это означает, что непосредственное использование результатов классической теории статистических решений в случаях, когда априорная информация неполная или ничтожно мала, характерных для большинства реальных задач современной экологии, не представляется возможным [1–5].

Значительная нагрузка территории Украины мощными промышленными и энергетическими объектами (в 2015 г. функционировало 9919 объектов повышенной опасности) повышают риск возникновения экологической опасности (ЭО), убытки от которой можно сравнить с размером национального бюджета среднего государства [7]. При этом важным направлением обеспечения экологической безопасности Украины является решение проблемы достоверной классификации опасных экологических состояний объектов по данным мониторинга с целью выработки эффективных управляющих воздействий для устранения возникновения возможной экологической угрозы. В связи с этим особо актуальными являются исследования в области наилучшей классификации ЭО объектов на основе развития неклассических подходов.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Несмотря на достаточное развитие и широкое освещение в литературе статистической методологии, ее использование в научных исследованиях и практических разработках по экологии оказывается явно недостаточным [1–6]. Классическая методология, впервые рассмотренная в [8], используя байесовский подход, кроме критериев базируется на большом объеме априорной информации о наблюдаемых данных. Большинство реальных задач экологии характеризуется либо отсутствием такой информации, либо отсутствием уверенности в достаточной достоверности наблюдаемых данных. Это становится препятствием на пути непосредственного использования классической методологии.

При этом постоянно возрастающее антропогенное воздействие, неудовлетворительное состояние окружающей среды, истощение природных ресурсов, увеличение масштабов и длительности воздействия катастроф и загрязнений на окружающую среду значительно активизируют исследования по проблемам экологической безопасности объектов [9–12].

Известно, что современный уровень развития методологии анализа системных рисков базируется на рассмотрении опасных объектов и технологических процессов как статических систем с неизменяющимися во времени параметрами [13]. Однако непрерывно изменяющиеся риски возникновения и развития аварийных ситуаций на реальных объектах обуславливают значительные методическую и инструментальную погрешности классификации (распознавания) опасных ситуаций и при идентификации предаварийных ситуаций снижают достоверность и однозначность получаемой информации.

Большая часть исследований в рассматриваемой предметной области посвящена решению проблем, связанных с управлением промышленной и экологи-

ческой безопасностью объектов и оптимизацией систем возмещения ущерба от чрезвычайных ситуаций [14, 15]. При этом в [13] отмечается, что основными причинами низкой эффективности управления промышленной безопасностью и низкой достоверности получаемых данных являются: недостаточная полнота статистических данных и значительная методическая погрешность экстраполяции входных данных, приводящая к низкой достоверности оценки опасных ситуаций.

В общем случае реальные опасные объекты (ОО), по сути, представляют собой замкнутые системы, неприводимые к разомкнутым системам. Поэтому недостаток априорной информации приводит к необходимости совмещать изучение опасного объекта и управления им. Впервые возможности оптимального дуального управления на основе теории статистических решений рассматривались в работах [16, 17]. К сожалению, большинство известных к настоящему времени результатов в этой области касается не экологических приложений. Однако формализм этих результатов позволяет распространить их и на экологические проблемы. В частности это касается проблемы достоверности классификации (распознавания) ЭО различных объектов по данным мониторинга в условиях отсутствия точных данных или невозможности определения функций потерь при оптимизации решающих правил.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является исследование неклассического подхода, развиваемого в [17], применительно к решению задачи наилучшей классификации ЭО объектов технической и природной сферы по наблюдаемым данным при отсутствии возможности точного определения соответствующих функций потерь (рисков).

Динамику функционирования большинства ОО различной сферы с учетом прогноза их состояния можно представить в виде некоторого ситуационного процесса с тремя возможными состояниями. Первое состояние связано с ситуацией  $X_1^o$ , когда состояние ОО полностью соответствует заданным условиям функционирования объекта и в принципе появление ЭО маловероятно. Второе состояние связано с ситуацией  $X_2^o$ , когда состояние ОО не соответствует заданным условиям функционирования и может привести к ЭО, но пока не требуется применение активных мер по ее ликвидации. Третье состояние связано с ситуацией  $X_3^o$ , когда состояние ОО приводит к появлению ЭО, требующей применения активных мер по ее ликвидации. При этом каждая из упомянутых ситуаций появляется случайно.

Обозначим через  $X$  пространство рассматриваемых выше ситуаций ОО. Данное пространство разобьем на три области  $X_k$ , где  $k = 1, 2, 3$ . Для определения решающего правила необходимо сформулировать критерий качества

классификации ЭО ОО, т. е. опознавания ситуаций  $X_k^o$ ,  $k = 1, 2, 3$ . Решающее правило должно быть таким, чтобы сформулированный критерий достигал экстремума. Это означает, что задача классификации состояний ОО состоит в наилучшем, в смысле заданного критерия, разбиении пространства ситуаций  $X$  на области  $X_k$ ,  $k = 1, 2, 3$ .

Для конкретизации понятия «наилучшая классификация» введем матрицу потерь вида:

$$F(x, c) = \begin{bmatrix} F_{11}(x, c) & F_{12}(x, c) & F_{13}(x, c) \\ F_{21}(x, c) & F_{22}(x, c) & F_{23}(x, c) \\ F_{31}(x, c) & F_{32}(x, c) & F_{33}(x, c) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $F_{km}(x, c)$  – функции потерь для значений  $k, m = 1, 2, 3$ ;  $c$  – составной вектор параметров функций потерь, равный  $c = [c_1 \ c_2 \ c_3]$ . Функции потерь  $F_{km}(x, c)$ ,  $k, m = 1, 2, 3$  характеризуют риски классификации, возникающие при отнесении ситуации  $X_k^o$  к классу ситуаций  $X_m^o$  или, при попадании ситуации  $X_k^o$  в область  $X_m$ .

На главной диагонали матрицы (1) расположены риски при правильной классификации состояния ОО, а по обеим сторонам от главной диагонали расположены риски (потери) при ошибочной классификации состояний. Будем полагать, что  $F_{kk}(x, c) < 0$  для всех  $k = 1, 2, 3$ . Такие отрицательные риски можно интерпретировать как некие выигрыши при правильной классификации ЭО объекта. При этом ситуация из пространства  $X$  для каждого класса  $X_k^o$  характеризуется условной плотностью распределения  $p(x/k) = p_k(x)$  и априорной вероятностью  $P_k$ . С учетом этого для рассматриваемого случая классификации ЭО объекта введем вектор априорных данных следующего вида:

$$P(x) = [p_1(x)P_1 \ p_2(x)P_2 \ p_3(x)P_3]^T. \quad (2)$$

В рассматриваемом случае средний риск классификации ЭО объекта представляет собой функционал границ  $\Lambda_{km}$  между областями  $X_k$  и  $X_m$  для всех  $k, m = 1, 2, 3$  и составного вектора  $c$ . Для фиксированного составного вектора  $c$  классификация ЭО объекта будет определяться по границе  $\Lambda_{km}$ .

С целью возможности отыскания оптимальных, в смысле минимума среднего риска классификации ЭО объекта, границ и составного вектора, воспользуемся вектором характеристических функций решений вида:

$$\Theta(x, c) = [\Theta_1(x, c) \ \Theta_2(x, c) \ \Theta_3(x, c)]^T. \quad (3)$$

В векторе (3) характеристические функции

$$\Theta_m(x, c) = \begin{cases} 1, & \text{если } X \in X_m, \\ 0, & \text{если } X \notin X_m \end{cases}, \quad m = 1, 2, 3. \quad (4)$$

С учетом (1)–(3) величину среднего риска рассматриваемой классификации ЭО объекта можно представить в векторно-матричной форме

$$R(c) = \int_X \Theta^T(x, c) F^T(x, c) P(x) dx. \quad (5)$$

Тогда условие минимума среднего риска (5) будет определяться приравнением градиента (5) по вектору  $c$  нулю, т. е.

$$\begin{aligned} \nabla_c R(c) &= \int_X (\nabla_c \Theta(x, c))^T F^T(x, c) P(x) dx \\ &+ \int_X \Theta^T(x, c) (\nabla_c F(x, c))^T P(x) dx = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

В выражении (6) матрица  $\nabla_c F(x, c)$  характеризует чувствительность функции потерь (1) по вектору  $c$ , а вектор  $\nabla_c \Theta(x, c)$  – вектор чувствительности характеристических функций по вектору  $c$ .

Полагая, что характеристические функции (4), определяющие границы  $\Lambda_{km}$  между областями  $X_k$  и  $X_m$ , при каждом фиксированном векторе  $c$ , доставляют минимум среднему риску (5), их чувствительность должна быть равна нулю, и первый интеграл в уравнении (6) должен равняться нулю, т. е.

$$\int_X (\nabla_c \Theta(x, c))^T F^T(x, c) P(x) dx = 0.$$

Следуя уравнению (6), это означает, что второй интеграл должен быть равен нулю, т. е.

$$\int_X \Theta^T(x, c) (\nabla_c F(x, c))^T P(x) dx = 0. \quad (7)$$

Поскольку  $\nabla_c \Theta(x, c)$  представляет собой вектор многомерных  $\delta$  – функций, которые за исключением точек, принадлежащих границам  $\Lambda_{km}$  между областями  $X_k$  и  $X_m$  для всех  $k, m = 1, 2, 3$ , равны нулю, то для заданной границы  $\Lambda_{sm}$  между областями  $X_s$  и  $X_m$

$$\nabla_c R(c) = \int_{\Lambda_{sm}} \Delta_{sm}(x, c)^T P(x) dx = \int_{\Lambda_{sm}} f_{sm}(x, c) dx = 0. \quad (8)$$

В выражении (8) вектор  $\Delta_{sm}(x, c) = F_s(x, c) - F_m(x, c)$  представляет собой разность векторов потерь классификации для областей  $X_s$  и  $X_m$ , которые в рассматриваемом случае определяются соответствующими (9) и (10) векторами

$$F_s(x, c) = [F_{1s}(x, c) \quad F_{2s}(x, c) \quad F_{3s}(x, c)]^T, \quad (9)$$

$$F_m(x, c) = [F_{1m}(x, c) \quad F_{2m}(x, c) \quad F_{3m}(x, c)]^T. \quad (10)$$

В выражении (8) функция  $f_{sm}(x, c) = \Delta_{sm}(x, c)^T P(x)$  представляет собой разделяющую функцию, знак которой позволяет выполнять классификацию состояний объекта. При этом уравнение

$$f_{sm}(x, c) = \Delta_{sm}(x, c)^T P(x) = 0, \quad (11)$$

определяет поверхность, разделяющую области  $X_s$  и  $X_m$ .

Характерным отличием уравнения (11) является то, что разделяющая функция определяется задаваемым видом функций потерь с точностью до составного вектора параметров, наблюдаемыми данными и априорной информацией об ЭО объекта. С учетом этого оптимальное в смысле минимума среднего риска (5) решающее правило классификации ЭО объекта в рассматриваемом случае можно сформулировать в следующей форме: наблюдаемые данные (данные мониторинга) об ЭО объекта в виде  $x \in X_k$ , т. е. данные  $x$  относятся к классу  $X_k^o$ , если  $\Delta_{km}(x, c)^T P(x) < 0$ , для всех  $m = 1, 2, 3$ . При этом вектор  $c$  определяется из условия (7).

В частном случае, когда по результатам данных мониторинга классификации подлежат два возможных состояния ЭО объекта (ЭО на объекте имеет место – состояние  $X_1^o$  или ЭО на объекте отсутствует – состояние  $X_2^o$ ) оптимальное в смысле (5) решающее правило классификации ЭО объекта принимает вид:  $x \in X_1$ , т. е.  $x$  относится к  $X_1^o$ , если  $f_{12}(x, c) < 0$ , и  $x \in X_2$ , т. е.  $x$  относится к  $X_2^o$ , если  $f_{12}(x, c) > 0$ .

В этом случае составной вектор  $c$ , входящий в функцию  $f_{12}(x, c)$ , будет определяться из условия (7) для всех  $k, m = 1, 2$ . Решающее правило для рассматриваемой задачи классификации ЭО объекта отличается от традиционных решающих правил теории статистических решений использованием не фиксированных функций потерь, а функций потерь, задаваемых с точностью до восстанавливаемых параметров и зависящих от наблюдаемых данных.

Для иллюстрации обобщающего характера описываемого неклассического подхода рассмотрим классический байесовский подход к задаче наилучшей классификации ЭО объекта. При классическом подходе функции потерь постоянны. Это означает что, в рассматриваемом случае, следуя классическому подходу, в (1) функции потерь для всех  $k, m = 1, 2$  будут определяться в виде:

$$\begin{aligned} F_{12}(x, c) = w_{12} > 0, \quad F_{11}(x, c) = w_{11} < 0, \\ F_{21}(x, c) = w_{21} > 0, \quad F_{22}(x, c) = w_{22} < 0. \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом этого представления (12) средний риск (5) будет определяться величиной

$$\begin{aligned} R = w_{11}P_1 \int_{X_1} p_1(x)dx + w_{21}P_2\beta + \\ + w_{12}P_1\alpha + w_{22}P_2 \int_{X_2} p_2(x)dx, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\alpha = \int_{X_2} p_1(x)dx$  – условная вероятность ошибки

первого рода, а  $\beta = \int_{X_1} p_2(x)dx$  – условная вероят-

ность ошибки второго рода. Для принятых выше постоянных функций потерь в (1)  $\nabla_c F(x, c) = 0$  и разделяющая поверхность (9) будет определяться функцией следующего вида:

$$\begin{aligned} f_{12}(x, c) = (w_{11} - w_{12})P_1p_1(x) + \\ + (w_{21} - w_{22})P_2p_2(x) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

На основании (14) оптимальное решающее правило классификации ЭО объекта сводится к традиционному – вычислению отношения правдо-

подобия  $l(x) = p_1(x)/p_2(x)$  и сравнению его с порогом, определяемым величиной

$$l_o = (w_{21} - w_{22})P_2 / [(w_{12} - w_{11})P_1]^{-1}.$$

Оптимальное правило означает, что если  $l(x) > l_o$ , то наблюдаемые данные  $x$  относятся к классу  $X_1^o$  (наличие ЭО на объекте). Если же  $l(x) < l_o$ , то наблюдаемые данные  $x$  относятся к классу  $X_2^o$  (отсутствие ЭО на объекте).

**Выводы.** Таким образом, исследован неклассический подход к решению задачи наилучшей классификации ЭО объектов технической и природной сферы по наблюдаемым данным при отсутствии возможности точного определения соответствующих функций потерь (рисков) для решающих правил. Основное отличие наилучшего решающего правила классификации ЭО объектов состоит в том, что разделяющая функция определяется произвольным видом функций потерь с точностью до составного вектора параметров, зависящих от наблюдаемых данных, и частичной априорной информации об ЭО объекта. Сформулировано оптимальное в смысле минимума рассматриваемого неклассического среднего риска решающее правило классификации ЭО в случае трех возможных состояний ЭО объекта.

В качестве иллюстрации более общего характера исследуемого неклассического подхода рассмотрен классический байесовский подход к бинарной задаче наилучшей классификации ЭО объекта в условиях полной информации. Показано, что для данного частного случая полученные в работе результаты совпадают с известными результатами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Панкратова, Н. Д. Системный анализ в динамике диагностирования сложных технических систем [Текст] / Н. Д. Панкратова // Системні дослідження та інформаційні технології. – К.: Ін-т прикладного системного аналізу НАН України, 2008. – № 1. – С. 33–49.
2. Абдрахманов, Н. Х. Роль анализа причин аварий на объектах нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств в оценке уровня рисков [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, Р. А. Шайбаков, Р. А. Байбурун // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн. УГНТУ. – Уфа: УГНТУ, 2008. – Т. 6. – № 1. – С. 189–190.
3. Абдрахманов, Н. Х. Управление промышленной и экологической безопасностью объектов нефтепереработки и нефтехимии на основе анализа рисков [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, Д. А. Шавалеев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: Открытое акционерное общество Всероссийский науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности, 2013. – № 3. – С. 5–9.
4. Абдрахманов, Н. Х. Научно-методические основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов нефтегазового комплекса на основе управления системными рисками: дис. д-ра техн. наук: 05.26.03 / Уфа: ГУП «Иптэр». – 2014. – 267 с.
5. Абдрахманов, Н. Х. Автоматизированная система управления рисками [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, Р. А. Шайбаков // Актуальные вопросы разработки нефтегазовых месторождений на поздних стадиях. Технологии. Оборудование. Безопасность. Экология: материалы науч.-практ. конф. – Уфа: УГНТУ, 2010. – С. 214–218.
6. Шавалеев, Д. А. Управление промышленной безопасностью объектов топливно-энергетического комплекса на основе анализа и мониторинга рисков [Текст] / Д. А. Шавалеев, Н. Х. Абдрахманов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – Уфа: УГНТУ, 2012. – № 6. – С. 435–441. – Режим доступа: [http://www.ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/ShavaleevDA/ShavaleevDA_1.pdf).

7. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік. – К.: Укр. НДІЦЗ ДСНС України, 2016. – 356 с.
8. Котельников, В. А. Теория потенциальной помехозащищенности [Текст] / В. А. Котельников. – М.: Госэнергоиздат, 1956.
9. Башкин, В. Н. Управление экологическим риском [Текст] / В. Н. Башкин. – М.: Научн. мир, 2005. – 368 с.
10. Владимиров, В. А. Катастрофы и экология [Текст] / В. А. Владимиров, В. И. Измалков. – М., 2000. – 160 с.
11. Владимиров, В. А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью [Текст] / В. А. Владимиров, В. И. Измалков, А. В. Измалков: моногр. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 184 с.
12. Серов, Г. П. Техногенная и экологическая безопасность в практике деятельности предприятий. Теория и практика [Текст] / Г. П. Серов, С. Г. Серов. – М.: Ось-89, 2007. – 512 с.
13. Современное состояние разработки методологии анализа системных рисков при проектировании и эксплуатации нефтегазового оборудования опасных производственных объектов [Текст] / Н. Х. Абдрахманов, К. Н. Абдрахманова, В. В. Ворохобко, Р. А. Шайбаков // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – Уфа: УГНТУ, 2014. – № 3. – С. 359–376. – Режим доступа: [http://ogbus.ru/issues/3\\_2014/ogbus\\_3\\_2014\\_p359-76\\_AbdрахmanovNKh\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/3_2014/ogbus_3_2014_p359-76_AbdрахmanovNKh_ru.pdf).
14. Акимов, В. А. Проблема выбора оптимальной структуры национальной системы возмещения ущерба от природных и технологических чрезвычайных ситуаций [Текст] / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Т. Б. Тимофеева // Проблемы безопасности чрезвычайных ситуаций. – Х., НУЦЗ України, 2006. – № 6. – С. 15–26.
15. Абдрахманов, Н. Х. Управление промышленной и экологической безопасностью объектов нефтепереработки и нефтехимии на основе анализа рисков [Текст] / Н. Х. Абдрахманов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: Открытое акционерное общество Всероссийский науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности, 2013. – № 3. – С. 5–9.
16. Фельдбаум, А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем [Текст] / А. А. Фельдбаум. – М.: Наука, 1968.
17. Цыпкин, Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах [Текст] / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2017 р.

**Б. Б. Поспелов, В. А. Андронов**

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ НЕКЛАСИЧНОГО ПІДХОДУ ДО НАЙКРАЩОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ПРИ НЕВІДОМИХ ФУНКЦІЯХ ВТРАТ**

Досліджено неklasичний підхід до вирішення завдання найкращою класифікації екологічної небезпеки об'єктів технічної та природного сфери по спостережуваним даними при неможливості точного визначення функцій втрат для вирішальних правил. Методологія вирішення задачі базується на уявленні невідомих функцій втрат функціями довільного виду, залежними від спостережуваних даних і деякого складеного вектора параметрів. Отримано найкращі вирішальні правила класифікації щодо трьох характерних станів екологічної небезпеки для об'єктів технічної та природного сфери. Отримані вирішальні правила залежать від спостережень і складеного вектора параметрів, що оптимізується відповідно до мінімуму середнього ризику класифікації. Це дозволяє використовувати правила для найкращої класифікації екологічної небезпеки об'єктів при мінімумі апріорних відомостей про функції втрат.

**Ключові слова:** класифікація екологічної небезпеки, які спостерігаються дані, функція втрат, вирішальне правило.

**B. Pospelov, V. Andronov**

#### **INVESTIGATION OF A NONCLASSICAL APPROACH TO THE BEST CLASSIFICATION OF ECOLOGICAL HAZARD OF OBJECTS UNDER THE UNKNOWN FUNCTIONS OF LOSSES**

**Purpose.** The non classical approach to the solution of the problem of the best classification of the ecological hazard of objects of the technical and natural sphere from the observable data is investigated with the impossibility of an exact definition of the loss functions for the decisive rules. **Methodology.** The methodology for solving the problem is based on the representation of unknown loss functions by functions of an arbitrary form, depending on the observed data and some composite parameter vector. **Results.** The best decisive rules for the classification of three characteristic states of ecological danger for the objects of the technical and natural spheres have been obtained. The resulting decision rules depend on observations and the composite vector of parameters, optimized in accordance with the minimum of the average classification risk. **Practical value.** This allows us to use the rules for the best classification of the environmental hazard of objects with a minimum of a priori information about the loss functions.

**Keywords:** ecological hazard classification, observed data, loss function, decision rule.