

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ КАРТ ОПАСНОСТИ КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Черкашин Александр Константинович**

Д.г.н., профессор,

зав. лабораторией теоретической географии, e-mail: [cherk@mail.icc.ru](mailto:cherk@mail.icc.ru)

**Красноштанова Наталья Евгеньевна**

К.г.н., н.с., e-mail: [kne1988@rambler.ru](mailto:kne1988@rambler.ru)

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская 1

**Аннотация.** С использованием векторной модели представления данных обоснована возможность расчета оценочных функций по интегральным показателям состояния систем и реализованы процедуры ГИС-технологии оценивания и картографирования опасных кризисных ситуаций. Особенностью предлагаемой методики является комплексный учет разнородной природной и социально-экономической информации о районе исследования и введение средней поправки для каждого местоположения. В качестве оценочных критериев применяются соотношения теории надёжности как функций разности характеристик состояния территориальных объектов и их среды. Индексы состояния и среды рассчитываются методом главных компонент по показателям, автоматически послойно снятым с векторных карт по регулярной сетке точек. Территориальная оценка и картографирование опасности возникновения кризисных ситуаций выполнена на примере территории Слюдянского района Иркутской области.

**Ключевые слова:** векторная модель, ГИС-технология, кризисная природно-экономическая ситуация, оценочные карты, географическая среда.

**Цитирование:** Черкашин А.К., Красноштанова Н.Е. Методика создания оценочных карт опасности кризисных ситуаций на основе картографической информации // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 75–88. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-06

**Введение.** Одна из центральных проблем системного анализа – решение задач оценивания ситуаций по разным показателям, функциям и функционалам с целью выбора оптимального варианта действия. Часто такие задачи связаны со сравнительной оценкой процессов и явлений в неоднородной среде, изменяющейся по временным и пространственным параметрам. В географии есть специальное направление создания тематических оценочных карт интегрального содержания, объединяющих пространственную информацию карт комплексных атласов территорий путем статистической свертки информации баз данных с последующей ее трансформацией в соответствии с целевой функцией оценивания [6, 7]. Интегральные карты дают представление о потенциальных свойствах участков территории для комфортного проживания и эффективной хозяйственной деятельности населения, использования ресурсов разными отраслями хозяйства. В них должны учитываться особенности географического положения и весь спектр природных и

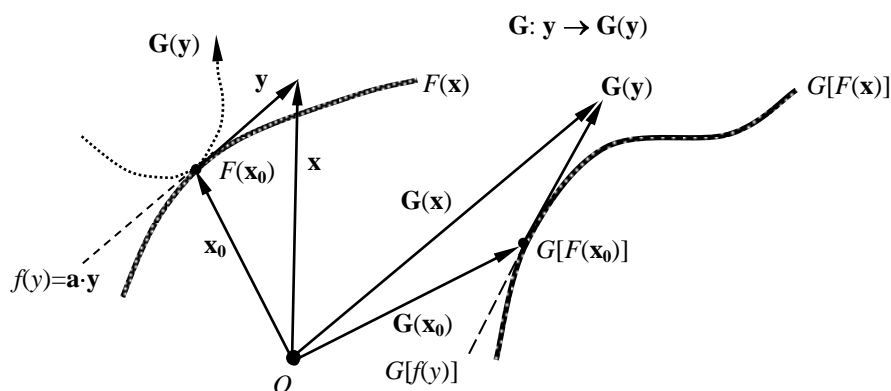
социально-экономических факторов, влияющих на территориальное развитие. Территория характеризуется статистическими показателями состояния природных или природно-экономических систем и условиями географической среды жизнедеятельности.

За рубежом такие работы проводятся по технологии картографирования окружающей среды (КОС) с использованием ГИС и Интернета [16]. КОС включает обработку и визуализацию пространственной информации об экологической среде. В КОС при определении направлений исследования и интерпретации полученных результатов участвуют разные специалисты. На первом этапе выделяются показатели состояния окружающей среды, которые необходимо картографировать в соответствии с решаемой хозяйственной или общественной проблемой. Оптимально, если для КОС собираются данные, которые могут быть использованы для экспертизы различных проектов.

Геоинформационные технологии оценочного картографирования представлены традиционными этапами информационного поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, отображения и распространения пространственных данных и знаний. Наиболее важным ее этапом становится производство новой информации через обработку имеющихся сведений с использованием адекватных вычислительных алгоритмов, которые основываются на математических технологиях, т.е. логистических процессах в виде последовательности действий по преобразованию исходных данных и понятий с применением различных математических средств, методов и ограничительных гипотез в конечный результат, удовлетворяющий содержательной постановке проблемы.

В данной статье разрабатываются и реализуются алгоритмы оценочного геоинформационного картографирования опасности возникновения кризисных ситуаций на основе математических процедур формирования векторных пространств и полей.

**1. Векторная модель.** Термины «векторные пространства» и «векторные поля» широко используются в современной науке для формализации связей в основном в физической науке, что привело к «геометризации» физической теории и позволило математически распространить эти понятия на пространства разной размерности и различных свойств. В информатике векторная модель представлена векторами коллекции документов из общего векторного пространства термов для решения задач информационного поиска. Модель сопоставляет каждому документу частотный спектр слов и соответствующий вектор в лексическом пространстве; по близости векторов определяются релевантные документы [22]. Такая векторная модель применима в различных приложениях.



**Рис. 1.** Векторная модель представления данных в исходной  $F(\mathbf{x})$  и преобразованной операцией  $G: y \rightarrow G(y)$  форме  $G[F(\mathbf{x})]$  (пояснения в тексте)

Рассматривается многомерное пространство  $X \subset \mathbb{R}^n$  координат  $\mathbf{x}_i$ , каждая точка которого характеризуется радиус-вектором  $\mathbf{x} = \{\mathbf{x}_i\}$ ,  $i=1,2,\dots,n$  с компонентами  $\mathbf{x}_i = x_i \mathbf{e}_i$ , исходящего из начала координат  $O$  (Рис.1). Здесь  $\mathbf{e} = \{\mathbf{e}_i\}$  - векторный базис пространства  $X$ ,  $x = \{x_i\}$  – координаты вектора  $\mathbf{x}$ . Вектор  $\mathbf{x}$  параметризует объект, а вектор  $\mathbf{x}_0 = \{\mathbf{x}_{0i}\}$  – среду объекта. Разность векторов равна вектору  $\mathbf{y} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0$  с компонентами  $y_i = x_i - x_{0i}$ . Точка  $x_0$  соответствует началу, а точка  $x$  – концу вектора  $\mathbf{y}$ . Множество векторов  $\mathbf{y}$  определяет векторное поле, в котором все координаты точек  $\mathbf{x}$  рассматриваются относительно координат  $\mathbf{x}_0$  в системе отношений состояния объекта  $\mathbf{x}$  и его среды  $\mathbf{x}_0$ . Пространство  $X \subset \mathbb{R}^n$ , в каждой точке  $\mathbf{x}_0$  которого заданы векторы  $\mathbf{y}$ , называется векторным линейным пространством. Векторы  $\mathbf{y}$  связаны с локальной системой координат  $y = \{y_i\}$  с началом в точке  $\mathbf{x}_0$ .

Векторная модель в такой формулировке достаточно формальна, и требуется ввести естественные ограничения на изменчивость  $\mathbf{y}$ , чтобы получить содержательные выводы и предложить методы анализа данных. Будем основываться на принципе Гаусса наименьшего принуждения (отклонения) [8], согласно которому для любых истинных движений мера отклонения от свободного движения минимальна:  $S(\mathbf{y}) = \sum_i m_i y_i^2 \rightarrow 0$ ,  $y_i = x_i - x_{0i}$ , где  $x = \{x_i\}$ ,

$x_0 = \{x_{0i}\}$  — характеристики истинного и свободного движения;  $y = \{y_i\}$  — мера принуждения;  $m = \{m_i\}$  — весовые коэффициенты (массы). Вектор принуждения  $\mathbf{y} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0$  отражает последствия влияния местных сил на поведение системы. Свободным считается средообусловленное движение  $\mathbf{x}_0$  без дополнительных нагрузок. Минимум  $S(\mathbf{y})$  при постоянных  $m_i$  достигается при  $\frac{\partial S}{\partial y_i} = 2m_i y_i = 0$  и обеспечивается в средообусловленном состоянии  $x_i = x_{0i}$  по всем  $x_i$ .

Дополнительно будем считать, что все средовые точки (начала векторов)  $\mathbf{x}_0$  соответствуют поверхности  $M$ , заданной функцией  $F(x)$  (см. Рис.1). Начало вектора  $\mathbf{y}$  находится на средовой поверхности  $M$  в точке  $F(x_0)$ , а сам вектор размещается в (гипер)плоскости, которая локально описывается общим уравнением:

$$\Phi(x) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y} + b, f(y) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y} = \sum_i a_i y_i, \mathbf{y} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \quad (1)$$

где  $f(y) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}$  – скалярное произведение двух векторов  $\mathbf{y} = \{y_i\}$  и  $\mathbf{a} = \{a_i\}$ ;  $b = \Phi(x_0) = F(x_0)$  – константа. Следуя принципу Гаусса, потребуем, чтобы функция  $\Phi(x)$  минимально отклонялась от функции состояния среды  $F(x)$ :

$$S(\mathbf{y}) = [F(x) - \Phi(x)]^2 = [F(x) - \mathbf{a} \cdot \mathbf{y} - F(x_0)]^2 = [f(y) - \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}]^2 \rightarrow 0. \quad (2)$$

Этот критерий для всех  $x_i$  и  $y_i$  достигается при

$$\frac{\partial S(\mathbf{y})}{\partial y_i} = \frac{\partial S(x - x_0)}{\partial x_i} = 2 \left[ \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} - a_i \right] [f(y) - \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}] = 0, \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} = \frac{\partial f(y)}{\partial y_i},$$

т.е. при условии  $f(y) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}$  и/или  $a_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}$ . Это означает, что  $f(y)$  описывает касательную

плоскость к точке  $F(x_0) \in M$ , которая максимально приближена к функции  $F(x)$  в окрестности этой точки. Локальное сходство поверхности  $M$  и функции  $F(x)$  с линейной функцией  $f(y)$  линейного касательного пространства позволяет считать  $M$  многообразием. Векторы  $\mathbf{y}$  лежат в касательной (гипер)плоскости  $f(y)$ , образуя пучок векторов с центром  $F(\mathbf{x}_0)$ . Все векторы в

окрестности каждой точки  $x_0$  удовлетворяют уравнению векторного поля касательного пространства (расслоения)

$$f(y) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y} = \sum_i \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i, f(y) = F(x) - F(x_0) . \quad (3)$$

Соотношение (3) – универсальное уравнение, не имеющее ни одного неизвестного коэффициента; они появляются в процессе его решения. Это уравнение Эйлера для однородных функций первого порядка  $f(ky)=kf(y)$ , величина которых зависит от масштаба  $k$  переменных. Оно справедливо для любой аналитической функции  $F(x)$  многообразия, т.е. соответствует оператору преобразования информации в касательном слое. Если  $y_i$  рассматривать как переменные значения координат, то (3) - уравнение (гипер)плоскости. При бесконечно малом значении  $y \rightarrow dy$  уравнение (3) является формулой полного дифференциала. Также (3) можно считать операцией преобразования координат, компонентов вектора или свертки информации  $y \rightarrow f(y)$ . Так, например, поступают при реализации метода главных компонент МГК [20], переходя от исходных переменных  $y = \{y_i\}$  к системе независимых переменных  $f(y) = \{f_i(y)\}$  – главных компонент. МГК используется в разных областях науки для минимизации размерности массива данных, сжатия информации, решения задач классификации, количественного анализа локальной связности. В частности, МГК применяется при обработке растровых дистанционных мультиспектральных данных для типизации земель и картографирования [21]. Первая главная компонента  $z_1 = f_1(y)$  учитывает основную вариацию данных и характеризует состояние системы  $\mathbf{x}$ , а вторая компонента  $z_2 = f_2(y)$  принимает во внимание остаточную дисперсию и отражает состояние среды  $\mathbf{x}_0$ . В качестве  $y$  используются центрированные и нормированные значения исходных данных  $\mathbf{x}$ .

Функция  $f(y)$  также соответствует мере финслерова пространства [23], выражающей своеобразное расстояние между точками  $\mathbf{x}$  и  $\mathbf{x}_0$ , например, евклидовой мерой  $f(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}$ .

В финслеровой геометрии рассматриваются многообразия с финслеровой метрикой  $f(y)$  - нормы, заданной на каждом касательном пространстве  $f(y)$  и которая гладко меняется от точки к точке  $y$ . В этой геометрии автоматически выполняется принцип относительности переменных и функций относительно средовых характеристик  $x_0$  и  $F(x_0)$ . При разработке методов оценки сначала желательно рассчитать интегральные показатели  $f(y)$  на основе набора (вектора) координатных характеристик  $y = \{y_i\}$ , а затем вычислять разные оценочные функции  $G(y)$  типа функции кривой Гаусса  $G(y) = \alpha \exp[-\beta f^2(y)]$ .

Трансформация векторного поля  $\mathbf{G}: y \rightarrow \mathbf{G}(y)$  (Рис. 1) рассматривается как замена переменных с целью упрощения задачи или получения новых информативных показателей для оценочных расчетов. В геометрических терминах она соответствует подбору подходящих диффеоморфизмов преобразования векторного поля или поля направлений [1]. Они выражаются в действии гладких отображений  $\mathbf{G}$  векторов  $\mathbf{y}$  одной области линейного пространства в другую:  $\mathbf{G}(y) = \{g_i(\mathbf{y})\}$  – функции преобразования координат  $y$ . Вектор векторного поля  $\mathbf{G}(y)$  на многообразии  $F(x)$  является изгибанием стрелки вектора  $\mathbf{y}$ , касательного к  $F(x)$ . Многообразие  $F(x)$  в каждой точке  $\mathbf{x}_0$  преобразуется в многообразие  $G[F(x)]$ . В итоге над каждой точкой  $\mathbf{x}_0$  и соответствующим касательным слоем  $f(y)$  многообразия надстраиваются соответствующие структуры и функции  $G[F(x)] = G[f(y)]$ .

В локальной области  $y$  выполняются следующие преобразования

$$G[F(x)] = G[f(y)] = \sum_i \frac{\partial G[f(y)]}{\partial y_i} y_i = \sum_i \frac{\partial G[f(y)]}{\partial f} \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} y_i = \sum_i \frac{\partial G[f(y)]}{\partial f} a_i y_i = \frac{\partial G[f(y)]}{\partial f} \sum_i \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} y_i = \frac{\partial G[f(y)]}{\partial f} f(y), \quad (4)$$

устанавливающее зависимость  $G[f(y)]$  от  $z = f(y)$  в каждом слое. Следовательно, при вычислении разных оценочных функций  $G(z)$  может быть использована одна и та же интегральная величина  $z$ , при расчете которой исключаются условия среды. Вычисления осуществляются как бы в «чистом виде» одинаково по единому уравнению для разных местоположений в локальной системе координат  $y$ , что необходимо для унификации интегрально-оценочного картографирования с учетом особенностей местности. Оценка проводится по базе данных, содержащих пространственную информацию из различных источников.

**2. Методика расчетов.** Любое опасное явление географически обусловлено, т.е. зависит от момента, места происшествия и сложившихся обстоятельств [17]. Опасность характеризует общую для всех объектов среду формирования рисков существования и развития различных природных, технических и социально-экономических систем. Одной из форм проявления экономической опасности в обществе являются различные кризисные ситуации (КС), которые возникают при погружении объектов в опасную среду, характеризуемую факторами и условиями ее влияния. При этом не всякое событие считается кризисным, а только то, которое выходит за рамки допустимого состояния системы, ее пороговых значений [2].

Оценка опасности возникновения КС напрямую связана с определением меры неопределенности деятельности, которая связана с функциями распределения вероятности, расчетом возможности и надежности процессов, точности и истинности знаний, деформацией явлений, соотношением величин, т.е. разных научных интерпретаций обычно неубывающих ценностных функций со значениями на интервале  $[0, 1]$ . Это также связано со степенью доверия и мерой ответственности в процессе принятия решений и оценки эффективности.

Оценка осуществляется на границе случайности и необходимости событий с использованием разных подходов. Моделирование нечеткости и неопределенности, в частности, реализуется не вероятностными методами, а с использованием теории возможностей, которая позволяет математически моделировать реальность на основе опытных фактов, знаний, гипотез и суждений [3, 11]. В теории возможности могут использоваться такие же относительные переменные и функции, что и в теории вероятности и надежности, но без вероятностной интерпретации переменных, подобно тому, как это, например, применяется в теории упругости и выражается в понятиях напряжения, абсолютной и относительной деформации [13].

В качестве оценочных функций опасности КС естественно и удобно использовать уравнения теории надежности [15, 18]:  $E(z) = -\ln P^*(z)$ , где  $P^*(z)$  – функция надежности (безопасности, обеспеченности, устойчивости функционирования), вероятность безотказной работы системы до достижения состояния  $z$ ;  $E(z) = -\ln P^*(z)$  – вероятность не достигнуть состояния  $z$  (интегрированная опасность).

В качестве показателя  $1 \geq P^*(z) \geq 0$  можно использовать любое индексное соотношение теории возможностей вида  $P^*(z) = \Phi/\Phi_0$  при условии  $\Phi_0 \geq \Phi \geq 0$ . Затем рассчитывается интегрированная опасность  $E(z) = -\ln P^*(z) = \ln \Phi_0 - \ln \Phi$ . Величина  $E(z)$  как вероятностная переменная не может превосходить единичного значения, поэтому условие  $E(z) \leq E_p = 1$  задает пороговые значения по всем сравниваемым параметрам, а именно,  $\ln \Phi_0 - \ln \Phi_p = 1$ , откуда  $\Phi_p = \Phi_0/e = 0,368\Phi_0$ , т.е. допустимые отклонения  $\Phi$  от  $\Phi_0$  составят  $\Delta\Phi_0 = 0,632\Phi_0$  от индивидуальной нормы  $\Phi_0$ .

Для аппроксимации  $P^*(z)$  в данном случае оправданно использовать функцию Гомпертца [14]  $P^*(z) = \exp\{-\exp(kz)\}$ , для которой функция интегрированной опасности

$$E(z) = -\ln P^*(z) = \exp(kz) = \Phi/\Phi_0, \quad (5)$$

где  $k$  – постоянный коэффициент. Будем полагать, что лучшие по качественным характеристикам системы имеют большее значение  $z=f(y)$  (финслеровой метрики), т.е. более удалены от критического значения  $y=0$ , обладают меньшей опасностью и большей надежностью функционирования.

При использовании уравнения Гомпертца все варианты функций надежности зависят от безразмерной величины  $E(z)$ , например,  $P^*(z) = \exp[-E(z)]$  (функция надежности),

$$P(z) = \frac{dP^*(z)}{dz} = -kE(z)\exp\{-E(z)\} \quad (\text{плотность отказов, при } k < 0),$$

$$p(z) = P(z)/P^*(z) = \frac{dE(z)}{dz} = kE(z) \quad (\text{интенсивность отказов, риск}).$$

В финансово-экономической сфере величина  $p(z)$  соразмерна ставке рефинансирования, инфляции или показателям амортизации оборудования, а в экологических системах связана с интенсивностью убыли популяций за счет гибели и миграции организмов.

Через функцию  $E(z)$  рассчитываются разные функционалы, интегрирующие свойства функции  $G(z)$  по переменным  $z$ . На основе функции опасности  $E(z)$  для разных систем и разных наборов входных данных  $x$  можно вычислять сопоставимые функциональные оценки и генерировать сравнительные оценочные карты.

**3. Постановка задачи и алгоритм решения.** Технологическая схема картографических работ хорошо представлена и реализована на примере агроландшафтного картографирования [10]. Традиционно ГИС-технология создания карт и реализации ГИС-проектов включает [4] ввод исходных данных, создание базы данных, визуализацию данных, контроль качества информации, обработку данных (пространственный анализ и моделирование), визуализацию результатов обработки с редактированием и оформлением карт. Важнейшим в ГИС-технологии является блок-этап преобразования информации, от содержания которого зависит качество итогового геоинформационного продукта. Используемые на этом этапе средства и методы пространственного системного анализа определяют новизну и эффективность картографирования, поскольку полностью сформированная база пространственных данных – это инвариантная основа решения разных географических задач, когда результат зависит от теоретических и математических моделей интерпретации данных и соответствующих методов и процедур их преобразования. На первичной базе данных выстраиваются циклы производства информации, включающие процедуры количественного анализа данных и карт.

Кризисные экономические ситуации проявляются под влиянием различных дестабилизирующих факторов [9], в том числе отрицательных изменениях в воспроизводственных процессах экономики, социальной сферы и деградации природной среды региона, угрожающих качеству жизни населения, политической стабильности общества и жизнеспособности хозяйства региона и страны в целом. Для управления кризисными ситуациями и выхода из них необходимо объективное картографическое отображение КС. Для этого разрабатывается ГИС-технология создания оценочных карт опасности возникновения КС, которая представляет собой последовательность действий от сбора и преобразования исходной информации до картографического представления результатов искомых функций (рис. 2).



Рис. 2. Формирование базы пространственных данных и последовательность обработки информации для создания оценочных карт возникновения кризисных ситуаций.

На первом этапе формируется база пространственных данных о природе и социально-экономических объектах региона исследования. Здесь важно разнородную природную и социально-экономическую информацию свести в единую информационную систему. Для этого формируется регулярная сеть точек с шагом, позволяющим покрыть все разнообразие природных и социально-экономических выделов территории. На основе этой сетки формируется база данных содержащая информацию по каждой точке о состоянии природной

и социально-экономической среды. Для дальнейшего математического анализа и преобразования важно проверить исходные данные на коррелированность и выбрать из группы линейно зависимых показателей только один показатель. Следующий этап представлен процедурами математического анализа данных и расчетов требуемых функций, зависящих от целей исследовательского процесса с последующим выведением полученных результатов на карту. Полученные для каждой точки регулярной сетки значения функций группируются по градациям величин, позволяя получать на итоговых картах ареалы с различными природно-экономическими ситуациями.

**4. Объект и методы исследования.** Предлагаемая ГИС-технология создания оценочных карт опасности возникновения КС была апробирована для территории Слюдянского района Иркутской области. Исходный картографический материал для создания БД взят из Атласа района [12] и дополнен обновленной статистической информацией. БД формировалась с помощью программы ArcGis 9.3. Элемент информации - пиксел GRID-файла, соответствующий квадрату со стороной около 450 метров. По регулярной сетке точек (21835 шт.), соотнесенных с пикселями GRID-файла, для каждой точки из слоев векторных карт извлекались значения показателей. Природная информация представлена характеристиками: положение относительно крайней северной точки района по направлению на восток и юг (расстояние, км), опасность геоморфологических процессов (0 – безопасные, 1 - опасные, 2 - катастрофические), наводнений (градации от 0 до 4, 4 – высокая опасность), лавиноопасность (0-4), пожароопасность (1-3), природоохранное зонирование (0 – без существенных ограничений, 1 – территория заказников, 2 – центральной экологической зоны, 3 – то же в Прибайкальском национальном парке).

Для природных объектов социально-экономические показатели приняты равными нулю. Для освоенной территории информация представлена следующими данными: номер муниципального образования в территориальном порядке, дорожная инфраструктура (1-3, 3 – высокоразвитая), численность населения городов и поселков (данные 2016 г.), число отраслей хозяйства (градации 1-3, 3 – от 8 до 10 отраслей), естественный прирост населения (1-3, 3 – от 10 до 15 человек на 1000 жителей), миграционная активность (1-4, 4 - от 15 до 35 человек на 1000 жителей), заболеваемость (1-3, 3 – 1200-1600 случаев на 1000 жителей), преступность (1-4, 4 – 3,5 преступлений на 100 человек).

Перечисленные показатели исходных карт несут различную информацию о состоянии природы, экономики и населения, об ограничениях хозяйственной деятельности, о факторах опасности среды жизнедеятельности. Помимо этой информации для оценки наступления кризисной природно-экономической ситуации важно учитывать также пороговые значения или предельные величины характеристик среды, несоблюдение которых приводит к развитию КС. Экономическая безопасность региона достигается, когда система индикаторов не превышает пороговые значения, которые меняются с изменением уровня развития экономики.

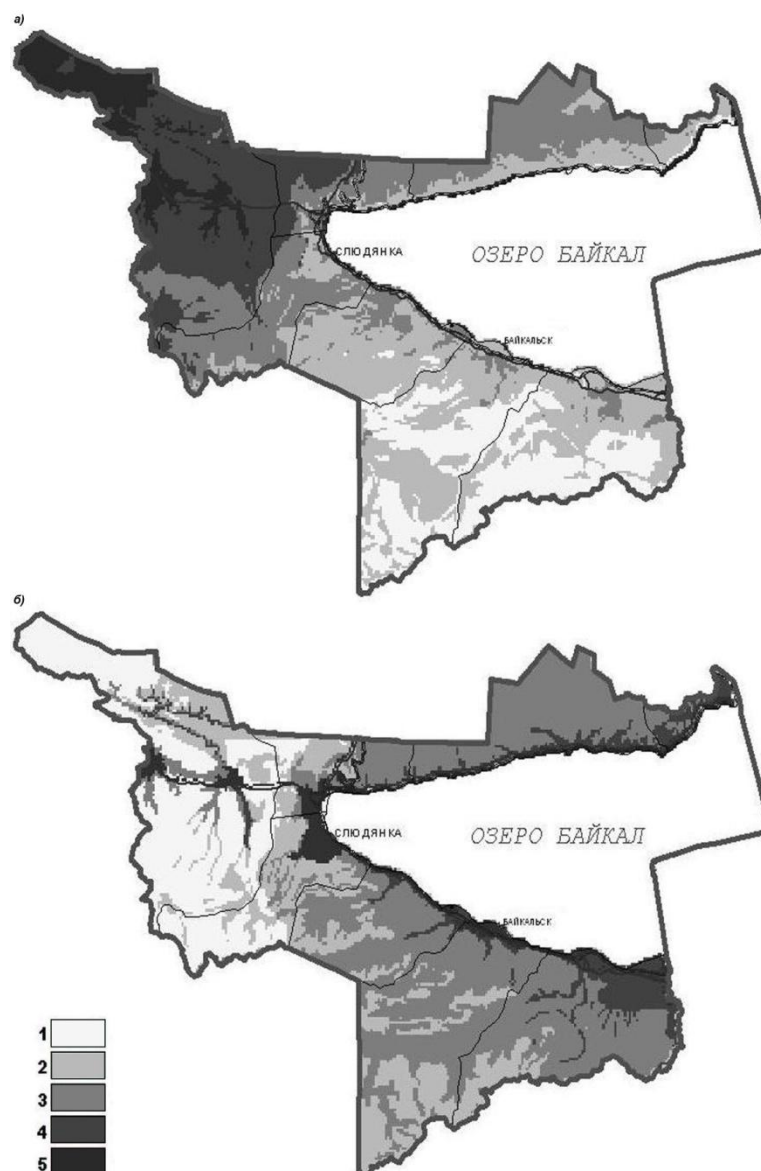
Для вычислений можно использовать статистические методы регрессионного или факторного многомерного анализа, а также метод главных компонент (МГК), где первая компонента ГК1 отражает состояние системы  $z_1$ , а вторая ГК2 – характеризует фоновые условия среды  $z_2$  [6]. Величина  $z = z_1 - z_2$  определяет степень отклонения состояния системы от средней нормы, которая при превышении порогового значения  $z \geq z_0$  указывает на кризисное развитие ситуации.



**5. Результаты и выводы.** По МГК расчеты проводились с использованием программы  $R$  [19] и созданной базы данных. В качестве основной оценки использовался показатель интегрированной опасности  $E(z) = \exp(kz)$ , который рассчитан по формуле (5) при  $z = z_1 - z_2$ , где  $z_1 = GK1 + 0,45$ ,  $z_2 = 0,15GK2 + 0,45$ . Выбранные коэффициенты 0,15 и 0,45 обеспечивают  $1 > z_2 > 0$  и итоговую независимость величины  $z$  от  $z_2$ . При этом большинство значений  $z$  для природных объектов (95 % всех точек) находятся в окрестности нуля, т.е. близки к критической мере экономической опасности жизнедеятельности  $E=1$ . Участки населенных пунктов характеризуются положительной величиной  $z$  и при  $k < 0$  имеют низкие показатели опасности. Знание величин  $z$  и  $E(z)$  для отдельных поселений позволяет вычислить коэффициент  $k = \ln E / z$ . Величина  $E$  оценивалась по демографической реакции населения на природные и социально-экономические изменения в районе – по соотношению численности населения в 2016 г. к максимальной численности 1967 г., например, в г. Слюдянка  $E = -\ln(18302/23000) = 0,228$ . Из формулы (5) получаем значение  $z = 14,8$ , откуда  $k = -0,10$ .

На основе предлагаемого алгоритма проведено геоинформационное картографирование и создана серия интегральных карт КС для территории Слюдянского района Иркутской области [5]. Из них на рис. 3 представлены две карты, характеризующие состояние природно-экономической среды  $z_2$  участков территории и интегрированную опасность  $E(z)$  возникновения кризисных природно-экономических ситуаций. На карте (Рис.3а) состояния среды выделяются участки пониженных значений  $z_2$ , относящиеся к прибрежной зоне, межгорным понижениям и плато. На карте интегрированной опасности (Рис. 3б) наименьшие значения соответствуют территориям населенных пунктов и их окрестностям, а также участкам вдоль автомобильных и железных дорог. По низким значениям выделяются также неосвоенные долины таежных рек, перспективные для хозяйственного использования преимущественно в рекреационных целях. Эта карта также иллюстрирует пространственное варьирование рисков хозяйственной деятельности  $p(z) = -kE(z)$ . На основании расчетных значений опасности  $E(z)$  создаются другие оценочные тематические карты. Согласно расчетным формулам, устойчивость экономического развития и показатель качества жизнедеятельности изменяются в обратной зависимости от опасности возникновения кризисных ситуаций.

**Заключение.** Показано, что при оценочных расчетах и картографировании вместо функций многих переменных можно использовать функцию одной интегральной переменной, отражающей различие состояния системы и ее среды. Для обоснования применяется векторная модель представления связи данных и процедуры дифференциальной геометрии (векторного расслоения, диффеоморфизма многообразий и их расслоений). Здесь естественным образом реализуется принцип Гаусса наименьшего принуждения – минимума отклонения состояния системы от состояния ее среды. Интегральный показатель  $z=f(y)=\mathbf{a}\cdot\mathbf{y}$  является функцией локальных координат состояния объекта относительно состояния ее среды, своеобразной метрикой связи этих состояний. Любая оценочная функция формируется как надстройка над касательным слоем  $f(y)$  векторов состояния  $y$  и определяется этим показателем по формуле (4).



**Рис. 3.** Оценка опасности возникновения кризисных природно-экономических ситуаций:  
 а) характеристика состояния природно-экономической среды  $x_0=z_2$  участков территории Слюдянского района; градации значений: 1 – 0,0-0,2; 2 – 0,2-0,4; 3 – 0,4-0,6; 4 – 0,6-0,8; 5 – 0,8-1,0. б) интегрированная опасность  $E$  возникновения кризисных природно-экономических ситуаций; градации: 1 – 1,11-1,08; 2 – 1,08-1,06; 3 – 1,06-1,00; 4 – 1,00-0,51; 5 – 0,51-0,22.

На этой математической основе разработан алгоритм последовательной реализации процедур ГИС-технологии создания серии интегральных оценочных карт опасности возникновения КС. При этом учитывались разнородные данные, как о природных, так и социально-экономических характеристиках региона. В основу математического аппарата для преобразования исходной БД положены соотношения теории надежности, в частности, расчет величины интегрированной опасности  $E(z)$  как функции разности  $z=z_1-z_2$  состояния территориальных объектов  $z_1$  и их среды  $z_2$ . Индексы состояния и среды рассчитываются методом выделения главных компонент по показателям, послойно снятым с векторных карт по регулярной сетке точек. Оценочные функции разного вида вычисляются по величине интегрированной опасности  $E(z)$ . Кризисная ситуация наступает, когда показатель опасности

становится  $E > 1$ . Вычисленные поточечные значения искомым функций с помощью ГИС-программы классифицируются и выводятся на карту, отражая пространственное распределение различных кризисных ситуаций по всей совокупности независимых данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М. Наука. 1971. 240 с.
2. Вечканов Г.С. Экономическая теория. СПб. Питер. 2009. 448 с.
3. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. М. Радио и связь. 1990. 288 с.
4. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные системы. Томск. Изд-во Томского политехн. ун-та. 2008. 175 с.
5. Красноштанова Н.Е., Черкашин А.К. Оценочное картографирование опасности возникновения кризисных природно-экономических ситуаций // Геодезия и картография. 2017. №11. С. 40–49.
6. Лесных С.И., Черкашин А.К. Создание интегральных карт на примере территории муниципального района // География и природные ресурсы. 2017. №4. С. 180–189.
7. Лесных С.И., Черкашин А.К. Статистические методы создания интегральных карт (уровень муниципального района) // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. №4. С. 116–123.
8. Маркеев А.П. О принципе Гаусса // Сборник научно-методических статей: Теоретическая механика. Вып. 23. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2000. С. 29–45.
9. Матвеев А.В. Факторы и угрозы устойчивости и устойчивому развитию региональных экономических систем // Российский экономический интернет-журнал. 2006. №4. С. 1–15.
10. Перфильев С.Е. Технологии геосистемного и экологического картографирования агроландшафтов Центральной Сибири (Красноярский край) // География и природные ресурсы. 2008. №3. С. 127–133.
11. Пытьев Ю.П. Основы теории возможностей. Методы оптимального оценивания и принятия решений. Мера возможности: определение, свойства // Вестник Московского университета. Серия: Физика. Астрономия. 1997. № 3. С. 3–7.
12. Слюдянский район Иркутской области: природа, хозяйство и население. Атлас. Иркутск. Изд-во ИГ СО РАН. 2012. CD. 48 карт.
13. Стружанов В.В., Бурмашева Н.В. Теория упругости: основные положения. Екатеринбург. Изд-во Урал. ун-та. 2019. 204 с.
14. Черкашин А. К., Красноштанова Н. Е. Модели оценки рисков в природно-технических системах // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 149–160.
15. Черкашин А.К., Красноштанова Н.Е. Моделирование оценки риска хозяйственной деятельности в районах нового нефтегазового освоения // Проблемы анализа риска. 2015. № 6. С. 21–29.
16. Armitage R.P. Environmental mapping // Encyclopedia of Geography. Kansas: University of Kansas. 2010. Pp. 973–976.
17. Hewitt K. Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters. New York: Routledge. 2014. 410 p.

18. Høyland A., Rausand M. System Reliability Theory: Models and Statistical Methods. New Jersey: John Wiley& Sons, Inc. 2004. 518 p.
  19. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. New York: Springer. 2013. 426 p.
  20. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis. New York: Springer-Verlag. 2002. 487 p.
  21. Lark R. M. Contributions of principal components to discrimination of classes of land cover in multi-spectral imagery // International Journal of Remote Sensing. 1995. 4(16). Pp. 779–787.
  22. Salton G., Allan J., Buckley C. Automatic structuring and retrieval of large text files // Electronic publishing. 1992. 5(1). Pp. 1–17.
  23. Shen Z. Lectures on Finsler Geometry. World Scientific Publishers. 2001. 256 p.
- 

UDK 910.1:528.94:51-7

**METHODOLOGY FOR CREATING ASSESSMENT MAPS OF THE CRISIS  
SITUATIONS HAZARD ON THE BASIS OF CARTOGRAPHIC INFORMATION**

**Aleksander K. Cherkashin**

Dr., Professor,

Head of the Laboratory "Theoretical geography", e-mail: [cherk@mail.icc.ru](mailto:cherk@mail.icc.ru)

**Natalia E. Krasnoshtanova**

Dr., scientific researcher, e-mail: [kne1988@rambler.ru](mailto:kne1988@rambler.ru)

V.B. Sochava Institute of Geography

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

1, Ulan-Batorskaya st., 664033, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The possibility of calculating the assessment functions by the integral indicators of the state of systems using the vector model of data presentation is justified. Also, the procedures of GIS technology for assessing and mapping hazard crisis situations are implemented. Comprehensive accounting of heterogeneous natural and socio-economic information about the study area and the applying of environmental adjustments for each location are features of the proposed methodology. Relations of the reliability theory as functions of the characteristics difference of the territorial objects state and their environment are used as assessment criteria. The indices of state and environment are calculated by the method of principal components according to indicators automatically taken in vector maps layers using a regular grid of points. The territorial assessment and mapping of the crisis situations hazard are carried out on the example of the Slyudyanka district of Irkutsk region.

**Keywords:** vector model, GIS technology, crisis natural and economic situation, assessment maps, geographical environment.

**References**

1. Arnol'd V.I. Obyknovennye differencial'nye uravnenija [Ordinary Differential Equations]. Moscow. Nauka = Science. 1971. 240 p. (in Russian)

2. Vechkanov G.S. Jekonomicheskaja teorija [Economic theory]. Sankt-Peterburg. Piter = St. Petersburg. Publishing house "Peter". 2009. 448 p. (in Russian)
3. Djubua D., Prad A. Teorija vozmozhnostej. Prilozhenija k predstavleniju znanij v informatike [Theory of Opportunities. Applications to the representation of knowledge in computer science]. Moscow. Radio i svjaz' = Publishing House "Radio and Communications". 1990. 288 p. (in Russian)
4. Kovin R.V., Markov N.G. Geoinformacionnye sistemy [Geoinformation systems.]. Tomsk. Izd-vo Tomskogo politehn. un-ta = Tomsk Polytechnic University Publishing House. 2008. 175 p. (in Russian)
5. Krasnoshtanova N.E., Cherkashin A.K. Ocenocnoe kartografirovanie opasnosti vozniknovenija krizisnyh prirodno-ekonomicheskikh situacij [The assessment mapping of the hazard of the occurrence of crisis natural and economic situations] // Geodezija i kartografija = Geodesy and Cartography. 2017. №11. Pp. 40–49. (in Russian)
6. Lesnyh S.I., Cherkashin A.K. Sozdanie integral'nyh kart na primere territorii municipal'nogo rajona [Creation of integrated maps on the example of the territory of a municipal district] // Geografija i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources. 2017. №4. Pp. 180–189. (in Russian)
7. Lesnyh S.I., Cherkashin A.K. Statisticheskie metody sozdanija integral'nyh kart (uroven' municipal'nogo rajona) [Statistical methods for creating integrated maps (municipal district level)] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2016. №4. Pp. 116–123. (in Russian)
8. Markeev A.P. O principe Gaussa [About the Gauss Principle] // Sbornik nauchno-metodicheskikh statej: Teoreticheskaja mehanika = Collection of scientific and methodological articles: Theoretical Mechanics. Moscow. Izdatel'stvo moskovskogo universiteta = Moscow University Press. 2000. Tom. 23. Pp. 29–45. (in Russian)
9. Matveev A.V. Faktory i ugrozy ustojchivosti i ustojchivomu razvitiju regional'nyh jekonomicheskikh system [Factors and threats to the sustainability and sustainable development of regional economic systems] // Rossijskij jekonomicheskij internet-zhurnal = Russian economic online journal. 2006. №4. Pp. 1–15. (in Russian)
10. Perfil'ev S.E. Tehnologii geosistemnogo i jekologicheskogo kartografirovanija agrolandshaftov Central'noj Sibiri (Krasnojarskij kraj) [Technologies of geosystem and ecological mapping of agrolandscapes of Central Siberia (Krasnodar Territory)] // Geografija i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources. 2008. №3. Pp. 127–133. (in Russian)
11. Pyt'ev Ju.P. Osnovy teorii vozmozhnostej. Metody optimal'nogo ocenivanija i prinjatija reshenij. Mera vozmozhnosti: opredelenie, svojstva [Fundamentals of Opportunity Theory. Methods for optimal assessment and decision making. Measure of opportunity: definition, properties] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija: Fizika. Astronomija = Moscow University Physics Bulletin. 1997. № 3. Pp. 3–7. (in Russian)
12. Sljudjanskij rajon Irkutskoj oblasti: priroda, hozjajstvo i naselenie. Atlas. [Slyudyansky district of the Irkutsk region: nature, economy and population. Atlas]. Irkutsk. Izd-vo IG SO RAN. 2012. CD. 48 kart. (in Russian)
13. Struzhanov V.V., Burmasheva N.V. Teorija uprugosti: osnovnye polozhenija [Theory of elasticity: basic principles]. Ekaterinburg. Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta = Ural University Publishing House. 2019. 204 p. (in Russian)

14. Cherkashin A.K., Krasnoshtanova N.E. Modeli ocenki riskov v prirodno-tehnicheskikh sistemah [Risk assessment models in natural-technical systems] // *Geografija i prirodnye resursy = Geography and Natural Resources*. 2014. № 2. Pp. 149–160. (in Russian)
15. Cherkashin A. K., Krasnoshtanova N. E. Modelirovanie ocenki riska hozjajstvennoj dejatel'nosti v rajonah novogo neftegazovogo osvoenija [Modeling the risk assessment of economic activity in areas of new oil and gas development] // *Problemy analiza riska = Issues of risk analysis*. 2015. № 6. Pp. 21–29. (in Russian)
16. Armitage R.P. Environmental mapping // *Encyclopedia of Geography*. Kansas: University of Kansas. 2010. Pp. 973–976.
17. Hewitt K. *Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters*. New York: Routledge. 2014. 410 p.
18. Høyland A., Rausand M. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2004. 518 p.
19. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. New York: Springer. 2013. 426 p.
20. Jolliffe I.T. *Principal Component Analysis*. New York: Springer-Verlag. 2002. 487 p.
21. Lark R. M. Contributions of principal components to discrimination of classes of land cover in multi-spectral imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 1995. 4(16). Pp. 779–787.
22. Salton G., Allan J., Buckley C. Automatic structuring and retrieval of large text files // *Electronic publishing*. 1992. 5(1). Pp. 1–17.
23. Shen Z. *Lectures on Finsler Geometry*. World Scientific Publishers. 2001. 256 p.