

Методика оценки антропогенных рисков территорий и построения картограмм рисков с использованием геоинформационных систем*

Ю. И. Шокин

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: shokin@ict.nsc.ru

В. В. Москвичев

*Специальное конструкторско-технологическое бюро “Наука” КНЦ СО РАН,
Красноярск, Россия*
e-mail: secretary@sktb.krsn.ru

В. В. Ничепорчук

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия
e-mail: valera@icm.krasn.ru

Представлены общая схема обработки результатов мониторинга опасностей территорий, требования к структуре и функционированию хранилища данных. Приведены алгоритмы обработки статистической и экспертной информации для получения количественных оценок территориальных рисков и построения тематических карт исследуемых территорий различной детализации.

Ключевые слова: оценка риска, хранилище данных, картографирование территорий.

Введение

Понятие “антропогенный риск” включает в себя как риски возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и экологического характера, связанные с деятельностью человека, так и риски возникновения стихийных бедствий, несущие в себе угрозы человеческой жизнедеятельности.

Актуальность данной работы связана с тем, что в настоящее время отсутствуют нормативные и методические документы, регламентирующие принципы количественной оценки антропогенных рисков территорий. Тем не менее научные разработки широко используются органами государственной власти различных уровней при планировании и реализации мероприятий по предупреждению ЧС и других негативных последствий антропогенной деятельности, снижению риска и смягчению последствий аварий и катастроф.

Для оценок антропогенных рисков требуется комплексный подход, учитывающий весь перечень угроз, их источников и форм проявления на рассматриваемой террито-

*Работа выполнена в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 116 “Антропогенные риски угледобывающих и нефтегазодобывающих территорий Сибири”.

© ИВТ СО РАН, 2010.

рии. Помимо математически строгих методов вероятностного моделирования широко применяются методы экспертного оценивания. Основой большинства методик по оценке рисков территорий является статистическая информация о количестве событий по видам, времени, масштабам проявления и другим характеристикам.

Получение количественных оценок территориальных рисков с последующим построением тематических карт включает следующие этапы:

- проектирование и организация хранилища данных статистической и экспертной информации;
- разработка методов анализа данных с использованием различных информационных технологий;
- построение аналитических документов (карт, отчетов), необходимых для принятия решений.

Ниже приведены алгоритмы работы, практически апробированные для получения значений антропогенных рисков и построения тематических карт территорий Красноярского края.

1. Математический аппарат оценки рисков

При проведении анализа рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера вероятность реализации угроз можно записать в виде

$$P_S = F_{P_S}\{P_N, P_T, P_O\}, \quad (1)$$

где P_N — вероятность появления неблагоприятного события, обусловленная человеческим фактором; P_T — вероятность, обусловленная состоянием объектов техносферы; P_O — вероятность, обусловленная воздействием окружающей среды. Вид функционала (1) остается таким же и для вероятностей реализации интегральных, дифференцированных и объектовых рисков.

Ущерб U_S от реализации аварий в общем случае можно представить в виде

$$U_S = F_{U_S}\{U_N, U_T, U_O\}, \quad (2)$$

где U_N — ущербы, наносимые населению при взаимодействии первичных и вторичных поражающих факторов при реализации аварийных ситуаций; U_T — ущербы, наносимые объектам техносферы; U_O — ущербы, наносимые окружающей среде. Величины U_N , U_T и U_O измеряются как в натуральных единицах (например, числом погибших людей, количеством разрушенных объектов и площадью поврежденных территорий), так и в эквивалентах (например, в экономических показателях) [1]. На основе этих данных вычисляется показатель риска территории:

$$R(S) = P(S) \cdot U(S), \quad (3)$$

где S — событие, $P(S)$ — вероятность события, $U(S)$ — ущербы.

Индивидуальный риск R_i определяется по данным статистики чрезвычайных происшествий как вероятность гибели человека от определенной причины в определенной точке (x, y) рассматриваемой территории с использованием формулы

$$R_i(x, y) = \frac{1}{N} H \lambda_j \iint_S E_j P_j(x, y) \varphi(x, y) dx dy, \quad (4)$$

где H — частота возникновения аварии на рассматриваемой территории; λ_j — вероятность возникновения j -го сценария аварии; E_j — вероятность появления поражающего фактора в j -м сценарии аварии на i -й территории; P_j — вероятность гибели человека от действия поражающего фактора; N — численность людей на рассматриваемой территории; $\varphi(x, y)$ — плотность распределения людей на данной территории.

Коллективный риск R_k гибели на рассматриваемой территории в результате аварии на опасном объекте вычислялся в виде

$$R_k = \sum_j H \lambda_j \sum_i E_{ij} P_{ij} N_i. \quad (5)$$

Комплексный риск R_c определяется как среднее число погибших в течение года от определенных причин или их совокупности на рассматриваемой территории

$$R_c = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n N_i(Q_j) \cdot P_i(Q_j), \quad (6)$$

где $N_i(Q_j)$ — число погибших от источника угрозы Q_j ; $P_i(Q_j)$ — вероятность появления угрозы Q_j на рассматриваемой территории в единицу времени; L — общая численность населения на этой территории; m — число видов угроз; n — число зон поражения с разными вероятностями гибели людей.

Для определения *социального риска* необходимо иметь статистическую базу с достаточно длинными рядами наблюдений (30–40 лет). Как правило, такая база в большинстве территорий Российской Федерации отсутствует. Поэтому определение социального риска допускается расчетным методом по данным о наработках опасного оборудования на промышленных объектах территории и количестве людей, попадающих в зоны возможного поражения. Частота F гибели 10 и более человек рассчитывается по формуле

$$F = k \frac{T}{N} 10^{-4}, \quad (7)$$

где T — фактическая средняя наработка опасного оборудования; k — коэффициент тяжести угрозы ($k = 0.05$ при угрозе социуму, $k = 0.5$ при угрозе персоналу); N — число людей, попадающих в зону поражения.

Возможное число людей в зонах поражения принималось в соответствии с данными перечня опасных объектов на исследуемой территории. Нарботки оборудования задавались по данным экспертных центров, занимающихся диагностикой технического состояния опасных промышленных объектов. По результатам расчетов были построены функции рисков в виде диаграмм “частота событий — число погибших и пострадавших”.

2. Организация сбора и обработки данных

Для оценок уровней антропогенных рисков необходимо определение показателей рисков, диапазонов их допустимых значений, периодичности сбора и обработки данных мониторинга. Это задает структуру системы мониторинга параметров экологических рисков и периодичность сбора и обработки данных.

Целью создания хранилища базы данных является обобщение и анализ показателей антропогенных рисков для последующего прогнозирования обстановки на территориях, принятия решений по проведению мероприятий и оценки их эффективности. При этом должны решаться следующие задачи:

- систематизация данных об источниках рисков территорий;
- автоматическое преобразование данных в форматы, необходимые для анализа рисков;
- построение картограмм рисков с помощью ГИС;
- прогноз возможной обстановки, в том числе с использованием экспертных методов;
- подготовка сводных отчетов по утвержденным формам.

Обобщенная схема сбора и обработки данных представлена на рис. 1. Приведенная схема состоит из трех блоков: получения, хранения и обработки данных. Средства сбора и первичного анализа данных необходимы для формализованного описания физико-географических, экономических, административных и других характеристик территорий, объектов и инфраструктуры. Эти данные собираются с периодичностью один раз в год и служат для получения количественных значений уязвимости территорий, оценки последствий ЧС (масштабы, потери, ущерб).

Оперативные данные об обстановке собираются территориальными звеньями в ежедневном режиме. Однако для анализа рисков используются в основном статистические данные, представляющие собой динамику событий за конкретный период и прошедшие первичную обработку и контроль достоверности.

Для приведения всего разнообразия ЧС используется следующий подход. Для полного перечня ЧС на основе статистических данных по исследуемой территории составляется таблица с показателями:

- район проявления;
- период наблюдений;
- количество событий;
- общее число пострадавших;
- суммарный приведенный ущерб.

Таким образом, хранилище данных должно содержать исходную информацию, необходимую для проведения расчетов по формулам, приведенным выше. Схема хранилища данных приведена на рис. 2. Эта схема представляет собой самый верхний уровень абстракции. При проектировании схемы данных для оценки рисков каждый ее элемент



Рис. 1. Схема получения данных и оценки антропогенных рисков



Рис. 2. Состав хранилища исходных данных

в зависимости от степени детализации ожидаемых результатов должен быть разделен на несколько таблиц.

3. Картографические ресурсы

Картографическая база служит основой для визуализации значений рисков с помощью картограмм и построения тематических карт риска, подготовки отчетных и аналитических материалов. В соответствии с этими задачами необходимо использовать картографические данные трех масштабных рядов:

- мелкомасштабные цифровые карты (М 1:1000 000) — для анализа и отображения агрегированной информации по субъекту в целом;
- среднемасштабные цифровые карты (М 1:200 000) — для моделирования и отображения рисков в муниципальных районах, на особо охраняемых природных территориях и в местах промышленного освоения;
- крупномасштабные цифровые планы (М 1:10 000) — для моделирования и отображения рисков в промышленных городах, где ведутся регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды.

Данные должны храниться в стандартных форматах (например, Shape, MapInfo) и иметь метаописание (проекция, дата и источник разработки, наполнение, степень секретности и др.).

Векторные карты масштаба М 1:200 000 и мельче имеют следующие свойства: проекция Гаусса — Крюгера, Пулково, 1942 г., зоны от 12 до 20 (в зависимости от субъекта

Сибирского региона). Состав векторных карт для визуализации территориальных рисков представлен в таблице.

Картографические ресурсы формируются для использования специалистами следующих уровней:

— уровень исследователя, позволяющий получать доступ ко всем данным мониторинга с целью проведения расчетов рисков, апробации новых моделей и методов оценки опасностей, построения карт-схем угроз и проведения другой исследовательской работы специалистами, профессионально владеющими геоинформационными системами и способными разрабатывать многоэтапные модели пространственного анализа;

— уровень эксперта, готовящего решения по планированию и проведению мероприятий по снижению рисков. Специалисты этого уровня должны содержать готовые (гибко настраиваемые) аналитические модели, позволяющие оперативно получать необходимую стандартизованную и справочную информацию, результаты расчетов риска для конкретных территорий за произвольный период;

— уровень руководителя включает пользование Интернет-приложением, позволяющее оперативно и в наглядном виде отобразить текущее распределение опасностей территории. Помимо картографического представления, приложение должно содержать табличную, текстовую информацию, экспертные рекомендации, прогнозы и др. Современное

Перечень картографических слоев ГИС

№ п/п	Название	Тип векторного покрытия*
<i>1. Топографическая основа карт субъектов</i>		
1	Рельеф	S
2	Водоемы	S
3	Реки и притоки	L
4	Железные дороги	L
5	Автомобильные дороги	L
6	Населенные пункты	S, P
<i>2. Тематические слои карты уровня субъекта</i>		
1	Административно-территориальное деление	S
2	Дислокация спасательных формирований МЧС и других ведомств	P
3	Сеть мониторинга обстановки	P
4	Распределение населения по территории	S
5	Сейсморайонирование (по картам ОСР А, В, С)	S
<i>3. Топографическая основа карт населенных пунктов</i>		
1	Водные объекты	S, L
2	Изолинии рельефа	L
3	Застройка (кварталы, дома)	S
4	Транспортные коммуникации (улицы, проезды, мосты, дороги)	S, L
5	Объекты (промышленные, с массовым пребыванием людей и т. п.)	S, L
6	Объекты инфраструктуры (ЛЭП, линии связи, тепло- водоснабжение)	L

*Тип векторных покрытий: площадные (S), линейные (L), точечные (P). Каждому покрытию (тематическому слою) соответствует таблица с собственной атрибутивной информацией или со ссылками на хранилище данных.

менные информационные технологии позволяют удаленному пользователю работать с детальными цифровыми картами, космическими снимками различного разрешения, а также моделями оценки рисков.

Программные ресурсы для визуализации карт риска организованы в виде многоуровневой модели.

4. Алгоритмы построения карт рисков

4.1. Уровень субъекта (муниципального образования)

Схема картографирования показателей рисков для больших по площади территорий, приведенная на рис. 3, отражает три этапа работы: подготовительный, непосредственно картографирование, этап оформления карты. Алгоритм построения карт включает следующие шаги.



Рис. 3. Схема построения карт рисков

1. Выбор масштаба отображения карты. Результаты вычислений зон территориальных рисков, составляющих менее 10 км (зоны затоплений, разлива нефтепродуктов и т. п.), удобнее иллюстрировать на картах М 1:25 000 и крупнее. На картах мелких масштабов можно отобразить итоги расчета комплексного риска, сейсмичность территории, распространенность опасных природных явлений (ОПЯ) и другие виды опасностей, не требующих детализации.

2. Процесс подготовки исходных данных включает создание тематических таблиц явлений для картографического отображения, разработку тематических слоев источников риска (поймы рек, трубопроводы, маршруты перевозки опасных веществ, потенциально опасные промышленные объекты, гидротехнические сооружения и др.).

3. Наиболее простой способ картирования рисков — классификация территориальных единиц (муниципальных образований, лесхозов, геологических провинций) по одному или нескольким показателям (см. рис. 3, левую часть схемы). Территории с разными показателями могут быть выделены цветом, штриховкой либо набором диаграмм для каждого объекта. Такой способ построения картограмм автоматизирован специалистами лаборатории прикладной информатики ИВМ СО РАН [4]. Система оперативной аналитической обработки данных (OLAP) “Аналитик” дополнена ГИС-модулем, позволяющим автоматически строить картограммы распределения показателей риска на основе результатов анализа статистических данных.

В правой части схемы на рис. 3 показан способ построения регулярной сетки (Grid) или изолиний, характеризующих величины рисков для каждой точки пространства. Наибольшие значения эти величины будут иметь вблизи источников рисков, ранжированных по значимости на основе нормированных показателей. Такая карта чувствительна к удалению/появлению источников рисков, а также к изменению их значимости. Например, путем замены оборудования или перехода на новую технологию с уменьшенным количеством опасных веществ можно снизить показатели территориальных рисков в локальной области, прилегающей к потенциально опасному промышленному объекту

4. Еще один способ классификации территорий по определенному показателю — выбор стиля подписей (цвет, наклон и т. п.).

5. Поскольку источники техногенных рисков в Сибири сконцентрированы, как правило, на незначительной по площади территории, то для наглядности крупные промышленные агломерации выделяются в отдельные фрагменты большего масштаба, чем основная карта. Общая таблица или график территориально распределенных показателей также помогает улучшить восприятие карты.

Построенные карты, предназначенные для печати или расположения на сайте, сопровождаются соответствующей пояснительной запиской, содержащей описание исходных данных для расчета, сравнение полученных значений рисков с общероссийскими и международными показателями, характеристику мероприятий по снижению рисков (по необходимости).

Примерный перечень карт, входящих в Атлас рисков территорий, определен согласно [3]. Он включает в себя следующие карты.

1. Общие сведения о территории: административное деление, население, инфраструктура.

2. Характеристики защищенности: дислокация спасательных формирований, их зоны ответственности, сеть мониторинга обстановки, медицинские учреждения, склады материально-технических резервов, транспортные предприятия и т. п.

3. Техногенные ЧС: источники радиационной, химической опасности, взрыво-, пожароопасные объекты, маршруты перевозки опасных грузов с зонами действия поражающих факторов возможных аварий, трубопроводы.

4. Природные ЧС: карты сейсморайонирования, очагов зафиксированных природных пожаров, паводкоопасных территорий, мест схода лавин, селевых потоков, оползней, карста и других, характерных для данной территории стихийных бедствий.

5. Биолого-социальные ЧС: районы вспышек массовых заболеваний людей, животных, растений; карты сельхозугодий, подверженных опасностям, и т. п.

6. Опасные природные явления (аномальные температуры, осадки, ураганы и др.).

7. Карты экологической обстановки: источники выбросов в атмосферу, загрязнений воды, почвы, общее состояние природной среды.

8. Карты комплексных рисков (индивидуальный, социальный риски), обобщающие частные показатели риска по каждому из типов ЧС.

Карты, предназначенные для печати, необходимо детализировать до уровней муниципальных районов, поскольку отображение больших территорий на уровне субъекта федерального округа в размере печатного листа возможно только при мелком масштабе отображения. Для получения объективной картины о распределении антропогенных рисков, особенно для территорий с большой плотностью населения, необходимо использовать среднемасштабные карты М 1:200 000 и крупнее.

Общее количество карт рисков для субъекта с учетом детализации может составлять 30–50, а число тематических слоев — несколько десятков.

Представление готовых макетов карт в электронном виде по сравнению с печатным вариантом имеет ряд преимуществ. Это смена топографических подложек (растров, космоснимков, отмывок рельефа), возможность использования нескольких масштабных рядов в одном проекте, управление отображением тематических слоев, работа с большими наборами атрибутивных данных по каждому пространственному объекту.

4.2. Уровень субъекта (промышленного города)

Алгоритм моделирования природно-техногенных опасностей на уровне города (карта М 1:10 000 и крупнее) представлен на рис. 4. Принципиальное отличие от способа построения карт рисков больших территорий в данном случае состоит в необходимости расчета последствий возможных ЧС — стихийных бедствий, аварий на производственных объектах, транспорте, экологических ЧС. Кроме того, для уровня города реже используются картограммы (например, классификация по виду рисков городских районов).

Процесс построения карт включает в себя следующие пять этапов.

1. Создание точечного тематического слоя потенциально опасных объектов и линейного слоя маршрутов транспортировки опасных веществ и материалов. Такая карта позволяет определить зоны наибольшей концентрации опасных объектов и их расположение относительно жилой застройки города. Источники опасности выделяются согласно требованию ФЗ № 116 “О промышленной безопасности опасных производственных объектов”, подлежащих учету на основании деклараций, паспортов безопасности. При этом анализируются следующие показатели:

— частота наиболее опасных и вероятных сценариев развития чрезвычайных ситуаций, число событий в год;

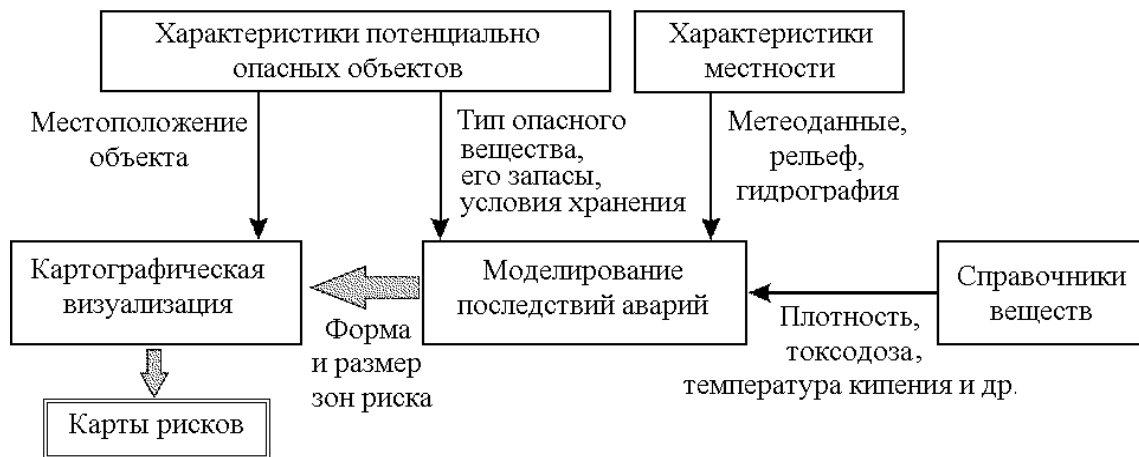


Рис. 4. Схема расчета и картографирования техногенных рисков на уровне города

— площадь зон действия поражающих факторов при реализации наиболее опасного аварийного сценария чрезвычайной ситуации, m^2 ;

— индивидуальный и коллективный риски для населения прилегающей к объекту территории, число событий в год.

2. Расчет последствий ЧС каждого типа.

2.1. Расчет последствий пожаров прóлива и взрывов для складов нефтепродуктов. Визуализация опасных зон для вероятного и тяжелого сценариев в виде концентрических кругов вокруг объектов с указанием вероятностей реализации.

2.2. Расчет последствий химических и радиационных аварий. Визуализация опасных зон для тяжелого сценария (штиль) в виде концентрических кругов вокруг объектов, а для наиболее вероятного — в виде эллипсов, совпадающих по азимуту с наиболее частым направлением ветра. В расчете используются среднегодовые параметры погодных условий и запасов опасного вещества. Для транспортных путей строятся буферные зоны распространения поражающих факторов с учетом равенства вероятностей реализации сценариев ЧС на любом участке маршрута.

3. Районирование территории по рискам возникновения природных ЧС (паводков, землетрясений, опасных геологических явлений и т. п.). Такое же районирование можно провести по статистическим данным о ситуациях, сопровождающихся гибелью людей (большими ущербами): промышленные и бытовые пожары, ДТП и др.

4. Нормирование полученных зон рисков от различных ЧС и суммирование значений рисков в зонах пересечений.

5. Построение с помощью модуля 3-D Analyst регулярной сетки со значениями индивидуальных рисков в каждой точке рассматриваемого пространства. Таким образом, Grid-поверхность иллюстрирует значения рисков в каждой произвольной точке на территории муниципального образования.

Далее на электронную карту города путем использования ГИС наносятся значения индивидуальных рисков от выбранных опасных промышленных объектов и с помощью модуля ArcGIS Geostatistical Analyst строится вероятностная Grid-поверхность, показывающая интерполированное значение индивидуального риска на всю территорию муниципального центра (города).

5. Основные направления по предупреждению чрезвычайных ситуаций на региональном уровне

На основе отечественного и зарубежного опыта и с учетом специфики региона могут быть выделены три основных направления деятельности по предупреждению чрезвычайных ситуаций на региональном уровне.

1. Создание научно-методической базы обеспечения безопасности населения и территорий в условиях рисков природных и техногенных катастроф, куда входят:

— разработка основ правового и экономического регулирования безопасности объектов, территорий, природной среды и населения на региональном уровне;

— создание информационной сети на базе интегрированных систем связи и информационно-экспертных систем по ЧС;

— разработка и адаптация геоинформационных технологий, обеспечивающих создание электронных карт и картографических материалов специального назначения;

— анализ динамики и классификация аварий, катастроф и ЧС природного и антропогенного происхождения на территориях и объектах.

2. Идентификация опасностей промышленных районов, объектов и природных территорий, включающая:

— исследование гидрогеологических процессов, оценку радиационного состояния, анализ аэрокосмической информации и разработку методов прогнозирования ЧС;

— определение опасности зонных сбросов промышленных стоков и токсичных газов в водоемы и атмосферу предприятиями химического и металлургического комплексов, а также выбросов при авариях на объектах и транспорте;

— оценку уровня индустриального и экологического риска территорий.

3. Совершенствование методов и средств мониторинга опасностей и предупреждения аварий и катастроф:

— создание региональной системы и внедрение методов оперативной диагностики технического состояния потенциально опасных объектов;

— создание системы и внедрение методов оперативной индикации токсичных веществ в атмосфере, водоемах, почве, растительном покрове и продуктах переработки;

— мониторинг, прогнозирование и предупреждение ЧС природного происхождения;

— медицинская помощь и санитарно-эпидемиологическое обеспечение в ЧС.

Выполнение программных мероприятий должно стать основной задачей административных структур субъектов Российской Федерации, ответственных за защиту населения и территорий от ЧС. Данный подход реализуется на федеральном уровне и должен быть принят на региональном. Идеология регионального подхода в реализации программных мероприятий, концептуальные и стратегические разработки по повышению уровня безопасности с выработкой основных направлений действий на примере Красноярского края наиболее системно изложены в монографии [5].

Реализация выделенных направлений позволит контролировать и регулировать природно-техногенную безопасность, разрабатывать экономические механизмы регулирования безопасности, включая страхование потенциально опасных объектов и населения, проживающего в зонах возможного поражения при ЧС, что приведет к снижению объемов компенсационных выплат из бюджетов органов местного самоуправления, обеспечит более устойчивое функционирование экономического потенциала и повысит конкурентные (инвестиционные) преимущества региона.

Список литературы

- [1] МАХУТОВ Н.А. Правовое и нормативное регулирование безопасности объектов техносферы // Безопасность и живучесть технических систем: Тр. II Всерос. конф. Красноярск, ИВМ СО РАН, 2007. С. 5–12.
- [2] ШАХРАМАНЬЯН М.А., ЛАРИОНОВ В.И., НИГМЕТОВ Г.М., СУЩЕВ С.П. Методика оценки комплексного риска для населения от ЧС природного и техногенного характера. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. 21 с.
- [3] АНИСИМОВА Т.Б. ПЛОТНИКОВА Т.В. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под ред. С.К. Шойгу. М., 2004. 272 с.
- [4] ЕВСЮКОВ А.А. Средства оперативного геомоделирования в информационно-аналитических системах. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Красноярск, 2007. 23 с.
- [5] БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. М.: Знание, 2001. 500 с.

Поступила в редакцию 18 января 2010 г.