

ОЦЕНКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ И РИСКА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ*

В. В. МОСКВИЧЕВ

Красноярский научный центр СО РАН, Россия

А. М. ЛЕПИХИН, А. В. ТРИДВОРНОВ

Институт вычислительного моделирования СО РАН,

Красноярск, Россия

e-mail: ted@icm.krasn.ru

An assessment of individual, collective, social and complex risks of industrial and natural hazards in the Krasnoyarsk region are provided. A method for construction of the maps of the territories prone to risk is developed using GIS-technologies. A zoning structure, which is based on the risk level, is presented.

Введение

Осуществление государственной политики в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) требует определения рациональных пропорций при выделении средств на эти цели. Очевидно, что размер выделяемых средств должен соответствовать не только численности населения на рассматриваемых территориях, но и их относительной опасности для жизнедеятельности. Определение абсолютных показателей опасности сопряжено со значительными трудностями, связанными с неопределенностью исходных данных, адекватностью моделей и др. Эти трудности многократно возрастают в случае необходимости определения интегральных рисков от многих опасностей [1]. Для сравнительной оценки безопасности территорий используются следующие методы [2]:

- статистический, основанный на анализе статистики ЧС по регионам за ряд лет и определении показателей опасности;
- вероятностный, основанный на использовании математических моделей, связывающих предпосылки к ЧС с возможностью их проявления;
- эвристический, основанный на использовании методов экспертного оценивания в сочетании с теорией нечетких множеств.

*Работа выполнена в рамках реализации междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 28 “Моделирование антропогенных воздействий и разработка методов оценки риска территорий Сибири и Крайнего Севера”.

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2007.

Примером статистических оценок риска являются оценки индивидуального риска гибели людей в ЧС природного и техногенного характера, представленные в работе [3]. Достоинством статистического метода является объективность, однако для редких (происходящих не каждый год) ЧС, сопровождающихся тяжелыми последствиями, такой подход неприменим.

Вероятностный метод позволяет учесть источники потенциальной опасности, которые проявляются редко, но последствия от вызванных ими ЧС катастрофические (например, авария на радиационно-опасном объекте). Этот подход отличается повышенной трудоемкостью и требует большого числа исходных данных. Примером применения вероятностного подхода для отдельной опасности является оценка радиационного риска в Европе, представленная в работе [4]. В России эта идеология реализована при определении показателей комплексного (природно-техногенного) риска в рамках нормативного документа “Методика оценки комплексного риска для населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера”, разработанного в ФЦ ВНИИ ГОЧС в 2002 г. [5]. На его основе выполнено районирование территорий РФ по степени комплексного риска, включающего природные и техногенные опасности. В 2005 г. выпущен атлас природных и техногенных опасностей для территории Российской Федерации [6]. В качестве основного показателя риска принята вероятность гибели человека в год от воздействия поражающих факторов (индивидуальный комплексный риск). Низкая точность исходных данных, особенно по факторам потенциальной опасности, затрудняет использование в некоторых случаях статистического и вероятностного подходов, поэтому для сравнительной оценки опасности территорий зачастую используют методы экспертного оценивания и теории нечетких множеств [1, 7, 8].

Проблема ранжирования территорий по вероятности возникновения ЧС имеет особую актуальность не только для планирования мероприятий по ликвидации чрезвычайных ситуаций, но и для формирования стратегий устойчивого развития территорий, а также для составления паспортов безопасности муниципальных образований и территорий субъектов РФ, необходимость разработки которых определена МЧС России [9].

1. Обзор работ по оценке территориального риска чрезвычайных ситуаций за рубежом

В работе [11] обобщаются результаты исследований по проекту Risk Map Germany, проводимых в Center for Disaster Management and Risk Reduction (CEDIM). Целью данного проекта является веб- и ГИС-визуализация опасности, уязвимости и риска от природных ЧС для территории Германии. В UNDP [12] вводится понятие Disaster Risk Index, который был рассчитан для всех стран. Индекс основывается на статистических данных о погибших в результате природных стихийных бедствий с 1980 по 2000 г., количестве больных ВИЧ/СПИДом, уровне валового национального продукта и других социальных показателях.

В отчете [13] представлен обзор как европейских методологий по оценке комплексного риска, так и методологий, разработанных в других странах мира. В странах Европейского союза разработаны и реализованы следующие подходы: 1) ЕС TIGRA project (1997); 2) TEMPOR (The European Multi-Hazard Risk Assessment Project); 3) DDRM (France) multi-risk approach; 4) JRC — Multi-risk approach. В группе международных подходов рассматриваются: 1) FEMA multi-risk approach; 2) University of Colorado multi-

risk approaches; 3) TAJIKISTAN multi-risk approach; 4) WORLD BANK METHODOLOGY — Natural Disaster Hotspot: Global Risk Analysis; 5) GEOSCIENCE AUSTRALIA approach; 6) HAWAII approach; 7) City of TULSA Multi-Hazard Mitigation Plan; 8) Kobe 2005, WCDR Multi-hazard. Большая часть этих методологий имеет целью оценку природных опасностей.

В работе [14] представлены результаты работ Лаборатории исследования опасностей географического факультета университета штата Южная Каролина (США), где предложен метод определения индекса уязвимости Total Place Vulnerability Index, который включает ряд последовательных этапов: идентификация и сбор данных об опасности, оценка частоты возникновения опасности, определение уязвимости подгрупп населения, сбор социогеографических данных, расчет уязвимости для территорий.

В методе [15], предложенном Мюнхенской перестраховочной компанией (Munich Re), разработан так называемый Natural Hazard Index for Megacities, с помощью которого оценен риск материальных потерь для пятидесяти самых больших городов мира. Подход предполагает взвешивание двух компонентов — “средних ежегодных потерь” (AAL) и “возможных максимальных потерь” (PML) — как индикаторов “воздействия опасности”. Помимо опасности оценивается уязвимость на основе особенностей городской постройки и мер по ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Краткий обзор зарубежных работ по методам и подходам в области оценки комплексного территориального риска позволяет сделать вывод об их возможном применении при разработке отечественных нормативных документов. Различие подходов определяется постановкой задач оценки риска, назначением и практическими приложениями, технологией сбора исходной информации и представления конечных результатов.

2. Применение ГИС-технологий для ранжирования территорий по уровню риска

В рамках научных мероприятий целевой программы Красноярского края “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Красноярском крае на 2004–2007 годы” и при выполнении исследований по междисциплинарному интеграционному проекту СО РАН № 28 “Моделирование антропогенных воздействий и разработка методов оценки риска территорий Сибири и Крайнего Севера” в Институте вычислительного моделирования СО РАН были проведены расчеты значений индивидуальных и комплексных рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для населения городов и районов края и выполнено районирование территорий края по степени риска.

Расчеты рисков, а также создание электронных карт осуществлялись при помощи ГИС. Для построения обзорных мелкомасштабных карт Красноярского края использовалась комбинация тематических слоев и слоев топографической основы. Весь картографический материал представлен в формате ArcView shape. Карты Красноярского края имеют проекцию Gauss Kruger Pulkovo 1942 Zone 16. Карты построены с использованием ГИС ArcINFO 9.0. Алгоритм построения включал несколько этапов:

- создание геобазы с топографическими и тематическими слоями и табличными данными для отображения;
- подготовка шаблона представления картографического материала;

— отрисовка карты (создание набора слоев в проекте, разработка легенд, подписей с использованием стилей);

— редактирование легенды карты (условных обозначений).

При построении карт рисков применялись следующие технологии.

1. Использовались готовые тематические слои, разработанные на основе литературных данных (места заторов и зажоров льда на реках), данных мониторинга (лесные пожары, землетрясения) или статистической обработки атрибутивной информации (плотность населения).

2. На основе информации о местах расположения объектов (сил и средств ТП РСЧС, источников риска и т. д.) создавались точечные тематические слои с привязкой по координатам или к населенным пунктам.

3. Путем организации связей “тематический слой — таблица данных” визуализировались значения риска, события и другая информация. Затем объекты нового слоя разбивались на классы в соответствии с целями анализа.

3. Оценка природно-техногенного риска территорий Красноярского края

Анализ источников опасности и угроз показывает, что на территории Красноярского края возможно возникновение ряда природных, техногенных и природно-техногенных ЧС [16], что требует разработки соответствующей расчетной модели, позволяющей дать количественную оценку территориальных рисков. В общем случае динамику ЧС на рассматриваемой территории можно представить в виде пуассоновского потока событий с заданными интенсивностями, зависящими от вида ЧС. Тогда риск для территории площадью S можно представить в следующем виде:

$$R(S) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \int_S P_{ijk}(S) V_{ijk}(S) U_{ijk}(S) dS, \quad (1)$$

где n , m и l — число возможных ЧС природного, техногенного и природно-техногенного характера; $P_{ijk}(S)$ — вероятность возникновения ЧС; $V_{ijk}(S)$ — вероятность поражения природной среды, населения и инфраструктуры при чрезвычайной ситуации; $U_{ijk}(S)$ — ущербы и потери от ЧС.

С учетом изложенной постановки задачи рассмотрена статистика ЧС и выполнены оценки отдельных компонентов риска на территории Красноярского края за 2001–2006 гг. с построением карт рискоопасных территорий.

Анализ статистики ЧС, зафиксированных территориальной подсистемой РСЧС на территории Красноярского края, показывает следующее. За рассматриваемый период произошло 278 техногенных и 43 природных ЧС, в том числе четыре урагана, 16 наводнений и 19 крупных лесных пожаров. По статистическим данным МЧС РФ, повторяемость местных и региональных природных ЧС в крае не превышает 3–5 событий в год, что находится на среднем уровне для Российской Федерации. В то же время повторяемость ЧС межрегионального и федерального уровней оказывается выше среднероссийской и достигает 0.8 события в год. Повторяемость ЧС техногенного характера находится в пределах 5–10 событий в год. При этом основная доля ЧС относится к

локальному и муниципальному уровнях. Региональные ЧС отмечаются с интенсивностью 0.4 события в год, а межрегиональные и федеральные — менее 0.2 событий в год. Ущерб от затоплений территорий края в период прохождения весеннего половодья составляют более трети общих ущербов от всех видов чрезвычайных ситуаций. Карта опасности затопления, показывающая обеспеченность паводков и места фактических наводнений, представлена на рис. 1.

На основе данных о численности жителей в населенных пунктах с критически важными объектами и в зонах проявления природных ЧС установлено, что обобщенное значение индивидуального риска гибели при ЧС для территории края находится на уровне не ниже $8.27 \cdot 10^{-8}$ на ЧС в год. При этом для техногенных ЧС данный показатель составляет $9.65 \cdot 10^{-8}$ на ЧС в год, а для природных ЧС — $1.72 \cdot 10^{-9}$ на ЧС в год. Оценка комплексного риска составляет около $1.8 \cdot 10^{-9}$ на ЧС в год.

Детальный анализ статистики и расчет значений индивидуальных рисков для различных видов угроз и районов края показал следующее. Риск гибели при бытовых пожарах составляет $4.8 \cdot 10^{-6} \dots 1.42 \cdot 10^{-4}$ на ЧС в год (рис. 2). Для большинства районов он находится в диапазоне $1.3 \cdot 10^{-5} \dots 9.15 \cdot 10^{-5}$ на ЧС в год. Наиболее опасными по этому виду риска считаются Тухтетский, Шарыповский, Ачинский, Краснотуранский районы.

Пожары и взрывы на промышленных объектах в статистике ЧС представлены малым числом событий. Поэтому полученные оценки индивидуального риска

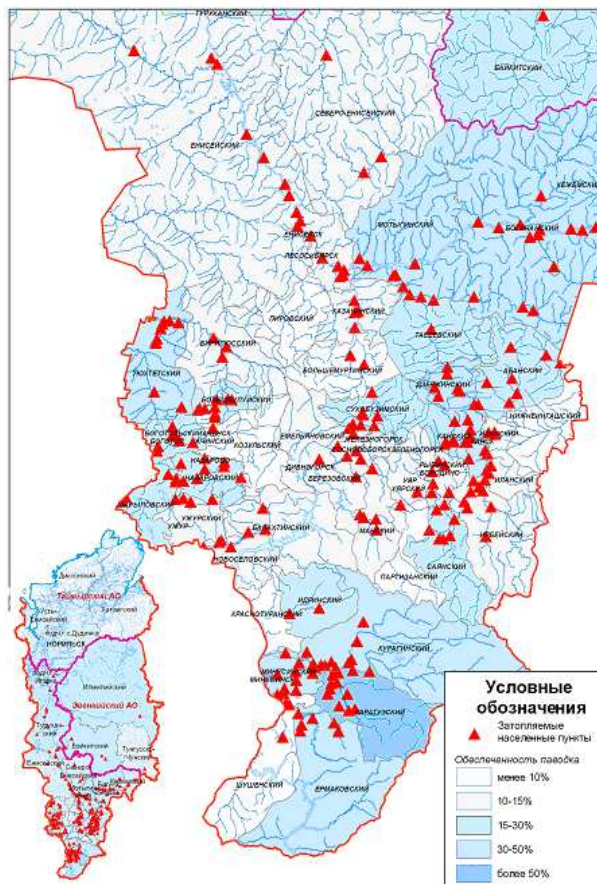


Рис. 1. Опасности затопления территорий края



Рис. 2. Индивидуальный риск гибели при промышленных и бытовых пожарах

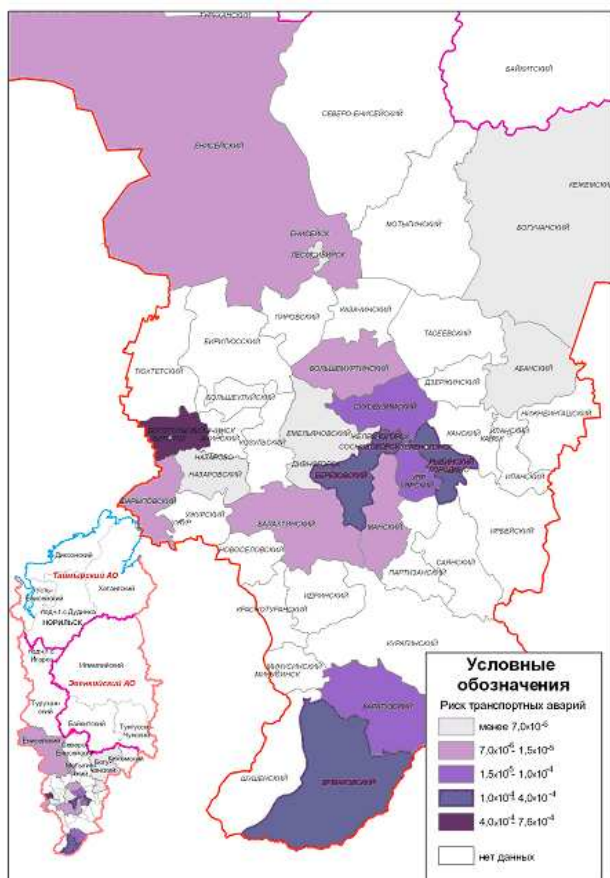


Рис. 3. Индивидуальный риск гибели в транспортных авариях

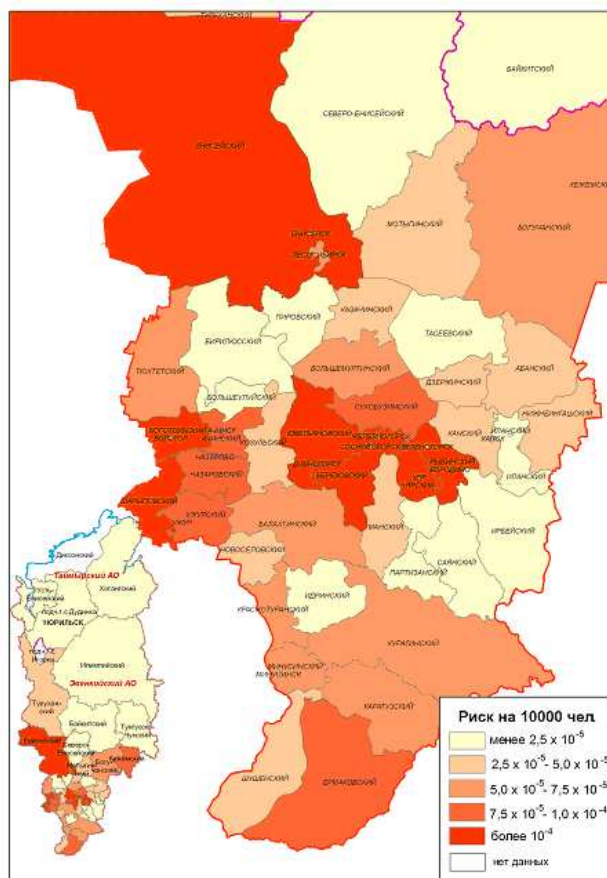


Рис. 4. Риск комплексный (нормированный по количеству населения)

($2.29 \cdot 10^{-6} \dots 1.08 \cdot 10^{-4}$ на ЧС в год) можно считать ориентировочными. Аналогичная ситуация наблюдается для угроз в виде обрушений зданий и сооружений. Здесь риск составляет $3.08 \cdot 10^{-6} \dots 1.09 \cdot 10^{-5}$ на ЧС в год.

Риск гибели при транспортных авариях находится в довольно широких пределах: $9.14 \cdot 10^{-7} \dots 1.53 \cdot 10^{-4}$ на аварию в год (рис. 3). Риск гибели по другим источникам опасности достоверно оценить не представляется возможным ввиду отсутствия соответствующих статистических данных.

Коллективный риск гибели на предприятиях химического комплекса оценивается как $3.8 \cdot 10^{-4} \dots 8.6 \cdot 10^{-5}$ чел./год; на предприятиях нефтехимического комплекса $4.3 \cdot 10^{-4} \dots 2.3 \cdot 10^{-5}$ чел./год; на взрыво- и пожароопасных объектах — $6.4 \cdot 10^{-5} \dots 7.3 \cdot 10^{-6}$ чел./год.

Социальный риск при авариях на взрыво- и пожароопасных объектах находится в пределах $1.98 \cdot 10^{-9} \dots 1.13 \cdot 10^{-5}$ чел./год. При авариях на химически опасных объектах этот показатель находится в пределах $1.9 \cdot 10^{-10} \dots 1.16 \cdot 10^{-7}$ чел./год. На исторически наблюдаемом отрезке времени интенсивного промышленного развития в крае не зафиксированы крупные техногенные аварии с гибелью или поражением групп людей.

Комплексные риски возникают вследствие возможного наложения источников угрозы на рассматриваемой территории края. Оценки комплексных рисков выполнены в предположении независимости появления источников угрозы и отсутствия мультипликативных эффектов. Карта комплексных рисков представлена на рис. 4.

Выводы

1. На основе анализа статистики чрезвычайных ситуаций за 2001–2006 гг. выполнены оценки индивидуальных, коллективных, социальных и комплексных рисков техногенных, природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций в Красноярском крае. Разработана ГИС-технология построения карт рискоопасных территорий и выполнено районирование территорий края по уровню риска.

2. Полученные оценки комплексного риска варьируются от допустимых значений ($8.0 \cdot 10^{-6}$) в Красноярске и ($8.63 \cdot 10^{-6}$) в Канске до весьма высоких ($1.34 \cdot 10^{-4}$) в Тюхтетском и ($1.03 \cdot 10^{-4}$) в Березовском и ($1.24 \cdot 10^{-4}$) Ачинском, ($1.75 \cdot 10^{-4}$) Шарыповском районах. Этим территориям необходимо уделять первостепенное внимание при разработке краевых целевых программ мониторинга угроз и снижения рисков природных и техногенных ЧС. Рискоопасность территории данных районов следует учитывать и при разработке целевых программ долгосрочного экономического и социального развития территорий края.

3. Полученные результаты указывают на принципиальную возможность решения задачи оценки и районирования рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с построением карт или атласов риска как для отдельных территорий, так и в целом для Сибирского федерального округа.

Список литературы

- [1] АКИМОВ В.А., РАДАЕВ Н.Н., САХАРОВ М.В. Определение относительной опасности территорий // Пробл. безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2000. № 6. С. 129–140.
- [2] ШАХРАМАНЬЯН М.А., АКИМОВ В.А., КОЗЛОВ К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. М.: ФИД “Деловой экспресс”, 1998. 218 с.
- [3] РАДАЕВ Н.Н. Риски в ЧС природного и техногенного характера // Управление риском. 2002. № 2. С. 24–31.
- [4] ВАКЛАНОВ А., МАНУРА А. Atmospheric Transport Pathways, Vulnerability and Possible Accidental Consequences from the Nuclear Risk Sites: Methodology for Probabilistic Atmospheric Studies. Danish Meteorological Institute Scientific Report, № 01–9. 43 p.
- [5] МЕТОДИКА оценки комплексного риска для населения от ЧС природного и техногенного характера (принята МВК, протокол № 2(13) от 25.06.2002 г.).
- [6] АТЛАС природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации. М.: Изд.-продюсер. центр “Дизайн. Информация. Картография”, 2005. 270 с.
- [7] БАЛАБА К.В. Экспертное оценивание техногенного риска при транспортировке нефти для управления безопасностью в промышленном регионе: Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005.
- [8] ГУСАРОВ А.В. Получение и обработка экспертных оценок качественного характера для управления техногенной безопасностью в промышленном регионе: Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2003.

- [9] ОБ УТВЕРЖДЕНИИ типового паспорта безопасности территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований: Приказ МЧС РФ от 25 октября 2004 г. № 484.
- [10] ШАГИН С.И. Географические аспекты оценки природно-техногенной опасности территории Кабардино-Балкарской республики: Дис. ... канд. геогр. наук. М.: РГБ, 2005.
- [11] MULLER M., VOROGUSHYN S., MAIER P. ET AL. CEDIM Risk Explorer — a map server solution in the project “Risk Map Germany” // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2006. Vol. 6. P. 711–720.
- [12] UNITED Nations UNDP: Reducing Disaster Risk a Challenge Development: Global Report. 2004. 161 p.
- [13] GREIVING S., FLEISCHHAUER M., WANCZURA S. ARMONIA Project: Deliverable 3.1 “Report on New Methodology for Multi-risk Assessment and the Harmonization of Different Natural Risk Maps”. Rome; Dortmund, 2005.
- [14] CUTTER S.L., MITCHELL J.T., SCOTT M.S. Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina // Annals of the Association of American Geographers. 2000. Vol. 90. P. 713–737.
- [15] MUNICH RE Topics — Annual Review: Natural Catastrophes 2002. Munich: Munich Reinsurance Company, 2003.
- [16] БЕЗОПАСНОСТЬ России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности, Красноярский край. М.: МГФ “Знание”, 2001. 574 с.

Поступила в редакцию 28 ноября 2007 г.