

РАЙОНИРОВАНИЕ по показателям риска с использованием ГИС

СПЕЦИАЛЬНЫЕ термины

Риск – вероятностная мера ущерба, отнесенная к определенному интервалу времени, конкретному классу элементов риска и типу опасных проявлений.

Элементы риска – элементы системы, к которым применимо понятие ущерба.

Ущерб – величина, характеризующая снижение или утрату полезных свойств элементом риска в результате опасного воздействия.

Уязвимость – свойство элементов риска, характеризующее их способность противостоять опасному воздействию разной силы. Функция, связывающая величину опасного воздействия и ущерб. Характеризуется параметрами функции уязвимости.

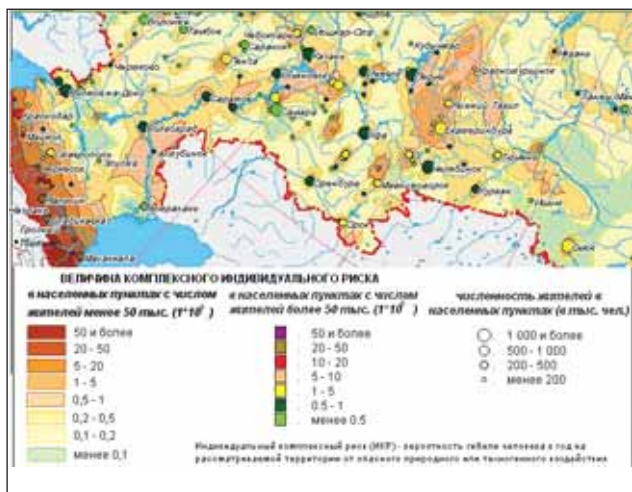


Рис. 1. Фрагмент карты риска

Повышение качества управления сложными системами, такими как народное хозяйство, — одно из важнейших требований современности. Что же касается характера управления, то при его выборе не последнюю роль играет риск. В этой статье мы будем говорить о преимуществах, которые обеспечивает оценка показателей риска посредством пространственного анализа, осуществляемого с использованием географических информационных систем (ГИС). Представляя особенности и плюсы этого метода (назовем его "пространственным анализом вероятностной меры ущерба"), мы также перечислим требования к инструментарию.

Пространственный анализ, выполненный средствами ГИС, позволяет представить результат в виде серии тематических карт, синтезированной на основе суперпозиции и пространственного совмещения данных о возможных опасных проявлениях и свойствах уязвимости элементов риска. Карты риска отображают аномалии показателей, характеризующих вероят-

ность определенного ущерба для различных групп элементов риска, имеющих местную привязку.

Фрагмент одного из вариантов карты риска представлен на рис. 1 [1, 2].

Вероятностная мера ущерба рассматривается как свойство системы, в которой присутствуют элементы риска, развивающиеся по законам экономики. Источники опасности проявляют себя таким образом, что принимаемые меры лишь уменьшают возможный ущерб, который является составной частью издержек в экономической системе при ее функционировании. В свою очередь, размер издержек влияет на конкурентоспособность анализируемой экономики (рис. 2).

Для каждого порогового значения показателя риска в оптимизированной экономической системе предусмотрено такое управление, которое обеспечивает максимальный уровень рентабельности.

Вне экономической системы приемлемый уровень риска (например, вероятность потери человеком жизни или здоровья при стихийных бедствиях и техногенных авариях) назначается. Такой риск является нормируемой величиной, то есть результатом государственного нормотворчества. Там, где назначенный уровень превышен, должны быть приняты меры к его снижению.

Качество управления в этом случае оценивается стоимостью мер, обеспечива-

*Больше всех рискует тот,
кто не рискует.
И.А. Бунин*

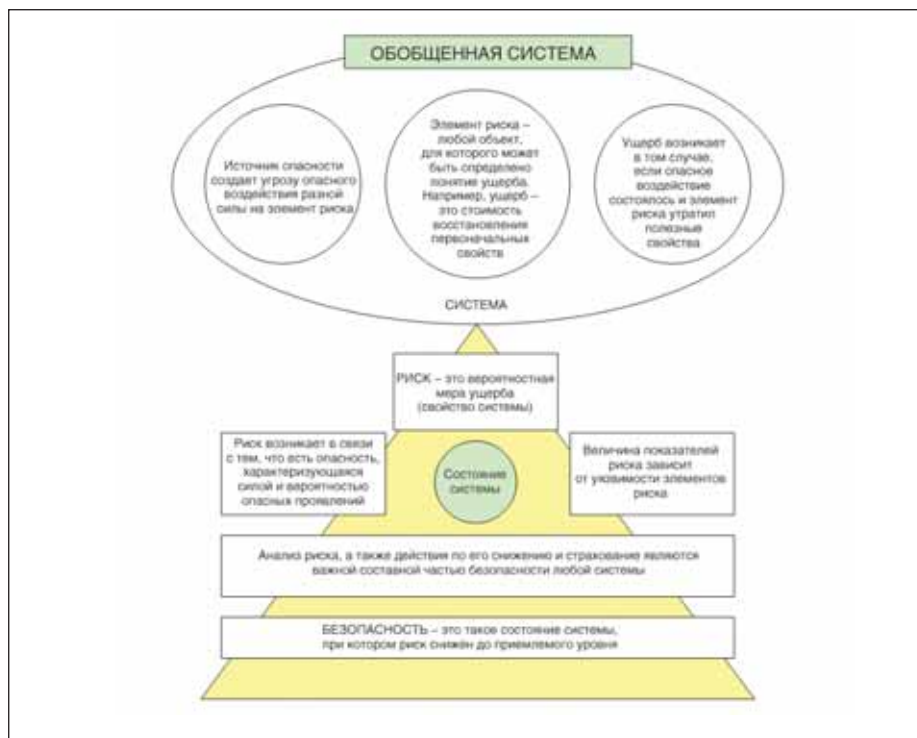


Рис. 2. Схема взаимодействия основных понятий, используемых при анализе природного и техногенного риска



Рис. 3. Графический комментарий к правилу определения детальности карты риска

ющих снижение показателя риска до заданной величины. Выбирается то управление, которое требует меньших затрат.

Управляющие импульсы в сложных системах часто носят дискретный характер, — они появляются в момент, когда показатель превышает определенную величину, либо повторяются периодически и с разной силой воздействия, зависящей от уровня показателей риска. Все это приводит к тому, что вероятностная мера ущерба нормируется по времени.

Например, "комплексный индивидуальный риск" (рис. 1) — это вероятность

гибели человека от природных катастроф или техногенных аварий *за период длительностью в один год* при нахождении населения в местах постоянного проживания.

Управление системой в зависимости от величины показателя риска, как правило, связано с выделением ресурсов на снижение его уровня. Существующая иерархическая система распределения ресурсов "сверху вниз" обусловила определенные требования к детальности представления данных о величинах риска и их пространственном распределении

(масштаб карт риска). Международные организации — например, ООН — выделяют государству помощь в том случае, если риск гуманитарной катастрофы в этом государстве превышает установленный уровень. Государство выделяет помощь провинции или мегаполису, если риск в провинции или мегаполисе превышает установленный предел и т.д.

Чтобы принять решение о предоставлении помощи на осуществление предупредительных мер, нужны данные соответствующего уровня детальности. Общее правило, определяющее детальность оценки риска в иерархической структуре управления, может быть сформулировано следующим образом:

"Детальность данных (карты риска) должна быть не менее чем на одну ступеньку глубже уровня управления" (рис. 3) [1].

Следуя опыту и логике экономического подхода к сбору данных, необходимых для принятия решения, можно предположить, что детальность карты риска должна быть не более чем на три ступеньки глубже уровня управления.

Методические приемы, используемые при оценке требований к исходным данным о местности, необходимых для построения карты риска, подробно изложены в статье "Информационный конвейер" [3]. Из материалов, приведенных в этой публикации, следует, что детальность данных о местности, используемых для построения ее цифровой модели, может быть снижена по мере удаления точки от источника опасности.

Далее определим систему координат, без которой пространственный анализ не имеет смысла.

Начнем с источников опасности и элементов риска, которые, как правило, имеют координатную привязку, так как могут оказаться элементом местности и отображаются с помощью условных знаков на географических и специальных картах. К источникам опасности "привязаны" (по месту) возможные очаги и формируемые в их окрестностях зоны поражения. В зависимости от расположения элементов риска относительно очага они могут либо попасть, либо не попасть в зону поражения. От близости элемента риска к очагу зависят сила опасного воздействия и возможный ущерб, а от частоты опасных проявлений — риск. На рис. 4 приведен фрагмент карты риска для участка местности с тремя источниками техногенной опасности.

Таким образом, при вычислении величин показателей риска использование географического координатного пространства необходимо для оценки взаимного положения источников опасности

и элементов риска, а также для определения факта попадания элемента риска в опасную зону.

Говоря о мере близости очага и элемента риска, следует отметить важную роль ландшафта: он может ослабить или усилить опасное воздействие источника на элемент риска. Типизация и ландшафтное районирование очень важны при выявлении аномалий риска.

Еще один фактор — неравномерность проявлений и изменчивость параметров уязвимости во времени является для пространственно распределенных элементов мощным источником аномалий риска.

Действуя в совокупности, источники опасности формируют зоны, в пределах которых их опасное воздействие усугубляется.

Следующей осью координат является время, интервалы которого определяются периодичностью управляющих импульсов, интервалами изменения уровня опасности и уязвимости.

Исходя из определения риска, при его анализе необходимо фиксировать характер опасности и класс элементов риска.

Таким образом, простое географическое координатное пространство должно быть дополнено осью времени, осью, на которой фиксируются типы опасности, а также осью, на которой группируются по классам элементы риска. Следует отметить, что значения параметров риска откладываются на числовой оси в интервале 0-1.

Увеличение мерности картографируемого пространства до величины, превышающей число три, влечет за собой необходимость формирования серии карт риска.

Для каждой карты серии следует указать:

- элемент риска;
- значение ущерба;
- источник опасности;
- период времени.

Рассмотрим пример, приведенный на рис. 1.

В качестве элемента риска зафиксирован персонифицированный представитель населения территории. Ущерб определен как гибель человека. Источник опасности представлен списком природных и техногенных катастроф. Период времени — один год.

Судя по легенде, за этот период вероятность гибели от природных и техногенных катастроф (комплексный индивидуальный риск) колебалась на момент создания карты в пределах от значения, близкого к нулю, до величин, превышающих ($50 \cdot 10^{-5}$) [1, 2].

Другой пример (рис. 5) показывает распределение показателя риска на ограниченной территории одного из нефтя-

ных месторождений. Элементом риска является площадка со стороной 25 метров, расположенная в окрестностях промыслового нефтепровода.

- Значение ущерба определяется как факт загрязнения площадки нефтью.
- Источник опасности — участок нефтепровода, с которого в случае аварии нефть может попасть на площадку.
- Период времени — один год.

Вероятность загрязнения участка местности в данном случае определяется удалением его от трассы трубопровода и рельефом местности. Особенно высок риск загрязнения в лощинах, куда нефть стекает со значительных по протяженности участков трубы. Особый случай представляют собой водотоки, пересекающие трубопровод, — они способны переносить загрязнение на большие расстояния.

Рассмотрим способы отображения показателей риска на соответствующих тематических картах.

В зависимости от характера элементов риска устойчивыми являются три способа построения тематических карт.

Способ значков используют для отображения характеристик элементов риска, локализованных в пунктах, размерами которых при отображении на карте можно пренебречь. Как показано на рис. 1, значки позволяют зафиксировать местоположение элемента риска, его тип (раз-

мер значка), а также характеризуют величину риска (цвет значка). В общем случае для передачи характеристик используются форма, величина и цвет.

Способ качественного фона используется для отображения характеристик элементов риска, локализованных в пределах замкнутых контуров, размеры и форма которых имеют значение при отображении на карте.

Способ удобен для качественной характеристики величины показателей риска, свойственных территориям на земной поверхности, равномерно заполненным одинаковыми по уязвимости элементами риска. Например, качественным фоном может быть отображен риск загрязнения почвенного покрова в окрестностях нефтепровода или вероятность гибели человека, проживающего в городском квартале с однородной застройкой, при землетрясении.

Для построения карты риска, отображаемого качественным фоном, первоначально разрабатывают шкалу качественных (нечетких) переменных. Пример такой шкалы приведен в таблице.

Количество выделяемых уровней риска связано с психологическими возможностями человека. Более семи уровней назначать нецелесообразно, так как снижается их адекватное восприятие и качество управления [4].

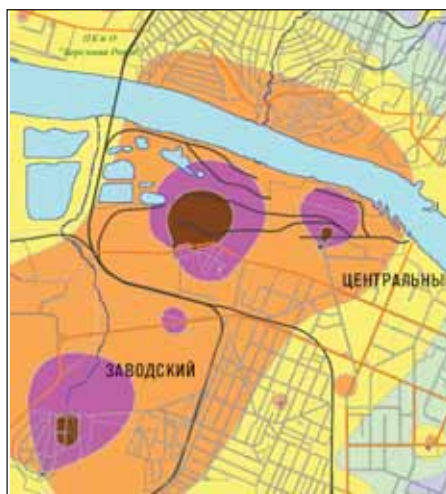


Рис. 4. Карта риска для участка с тремя источниками техногенной опасности (сформирована с использованием ГИС, разработанной в Центре исследований экстремальных ситуаций)



Рис. 5. Карта риска загрязнения территории нефтью (без учета водотоков). Сформирована с использованием ГИС, разработанной в Центре исследований экстремальных ситуаций

Связь уровня риска с характером управляющего воздействия в системе

Уровень риска	Характер управления системой
1 Пренебрежимо малый	Допускаются действия, направленные на повышение эффективности системы
2 Приемлемый	Меры по стабилизации системы
3 Ощутимый	Штатные меры по снижению риска
4 Высокий	Специальные меры по снижению риска
5 Недопустимый	Экстренная остановка процессов и другие меры по защите системы

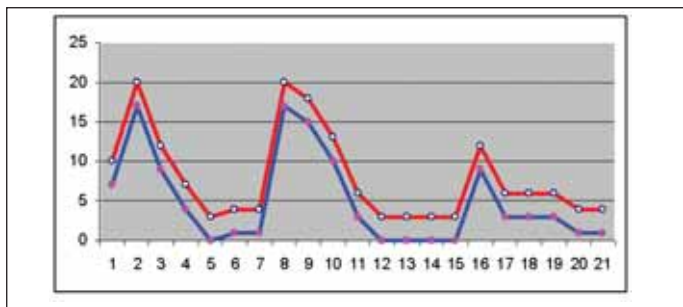


Рис. 6. Графическое подтверждение неэффективности плана мероприятий по снижению риска

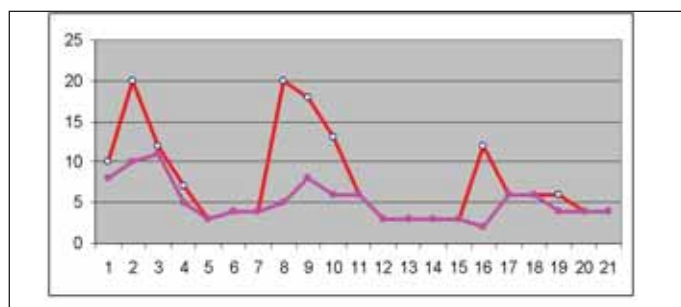


Рис. 7. Пример оптимизированного плана мероприятий по снижению риска

Когда шкала определена, территорию делят на однородные в качественном отношении участки (районы, области и т.п.) после чего окрашивают эти участки в цвет, присвоенный данному типу, или покрывают их штриховкой.

Способ изолиний применяют для отображения характеристик элементов риска, непрерывно и постепенно изменяющих в пространстве свои свойства. Одним из важнейших свойств — индикаторов риска является удаление элемента от возможного очага, расположенного в пределах источника опасности.

На географические карты наносятся так называемые изолинии (от греч. "isos" — равный) — ими соединяют точки с одинаковым значением какого-либо количественного показателя. Изобаты, например, характеризуют глубину моря или другого крупного водного объекта. Таких линий, имеющих собственные названия, в одной только географии насчитывается около пятидесяти.

Нанесенные на карту линии равных вероятностей по аналогии назовем изопробами.

На рис. 1 изопробами обозначены значения риска для поселений с малой плотностью, которые однородны по уязвимости, а риск определяется, в основном, удалением от источников опасности.

На рис. 4 способ изолиний применен для отображения риска гибели человека, находящегося вне зданий, в результате техногенных аварий.

Заметим, что от правильного выбора способа, которым отображается риск, зависят не только эстетические свойства тематической карты, но и качество управленческого решения, принимаемого человеком. В этом смысле глазу необходимы акценты в виде аномалий риска.

Принято считать, что пространственный анализ методами картографии (районирование) эффективен когда в распределении анализируемых признаков существует пространственная неоднородность.

Получив границы аномальных зон, исследователь переводит взгляд на вто-

рой план, стараясь построить гипотезу о причинах происхождения аномалий.

Исследуя причины возникновения аномалий с использованием тематической карты, необходимо учесть следующие факторы:

- источники опасности распределены в пространстве неравномерно;
- сила опасного воздействия уменьшается по мере удаления от очага;
- природные аномалии среды, в которой распространяется опасное воздействие (воздух, вода, рельеф, грунт), могут радикально изменить картину опасного воздействия;
- активизация одного источника опасности способна спровоцировать активность целого ряда других (это явление принято обозначать как "принцип домино", "цепная реакция" или "лавинообразный процесс").

Когда исследователь получил представление о генезисе аномалий в пространственном распределении показателей риска, он может определить эффективные меры к снижению ожидаемого ущерба путем выполнения плановых мероприятий.

Как правило, в экономической системе меры по снижению риска связаны с затратами и попадают в разряд издержек, увеличивающих стоимость любого производимого товара или услуги. Сделать так, чтобы снижение уровня риска не осталось благим намерением, помогает обоснование расходов, причем важным шагом на пути к правильному решению является сравнение карт, построенных без учета и с учетом стабилизационных мероприятий.

Оптимизация расходования средств с использованием ГИС состоит в том, что средства вкладываются применительно "к месту" — с привязкой к конкретной аномалии в показателях риска.

Такой шаг выглядит разумным, особенно если учесть, что равномерное вложение средств в обеспечение безопасности в равной степени понижало бы риск и там, где это требуется в первую очередь, и там, где можно повременить.

Индекс разумности (**W**) шагов по снижению риска может выглядеть так [1]:

$$W = (1 - Kr(R^0 i, j, R^1 i, j)),$$

где (i, j) — дискретные координаты; $R^0 i, j, R^1 i, j$ — пространственное распределение показателей риска (соответственно до и после мероприятий); $Kr(R^0 i, j, R^1 i, j)$ — выборочный коэффициент корреляции.

Рассмотрим пример. Для простоты графических построений выберем двумерный случай пространственного распределения показателя риска — например, распределение значений ($R^0 i$) вдоль трубы магистрального трубопровода.

На рис. 6 представлены два графика, иллюстрирующих распределение одного из показателей риска, который по различным причинам меняет свое значение по мере удаления от начальной точки трубопровода.

Первый график (красная линия) показывает состояние системы на начальный момент времени до проведения специальных мероприятий по снижению риска. Синяя линия отражает ситуацию после мероприятий. Среднее значение риска на участке (0, 21) уменьшилось на три единицы. Таким образом, риск равномерно снижается на каждом отрезке трубопровода. Коэффициент корреляции двух множеств, представленных на графике разным цветом, равен единице. Индекс **W** равен нулю.

Анализ эффекта, полученного от реализации плана, наглядно показывает его несостоятельность. В точках с максимальным риском ситуация изменилась незначительно.

Затратная часть плана при постоянной стоимости (s) единицы снижения риска составит величину (S_1), рассчитываемую по формуле [2]:

$$S = \sum s_i (\Delta R)_i,$$

где $(\Delta R)_i$ — величина снижения показателя риска в точке.

В нашем случае $S_1 = 63$ ед.

На рис. 7 показано действие другого

плана снижения показателей риска, направленного на радикальное изменение его значений в точках максимума.

При тех же значениях затрат ($S_2=S_1=63$ ед.) коэффициент корреляции двух множеств, представленных на графике красной и малиновой линиями, уменьшился до ($Kr=0,6$). Соответственно индекс разумности шагов по снижению риска возрос по сравнению с первым вариантом до величины ($W=0,4$).

При этом среднее значение риска уменьшилось на 2,8 единицы (почти так же, как в предыдущем случае, показанном на рис. 6).

Приведенные рассуждения призваны проиллюстрировать важность исследования пространственного распределения показателя риска, необходимого для разработки осмысленных действий по его снижению при фиксированных затратах. Незаменимым инструментом для этого являются ГИС.

В случае анализа риска географическая информационная система не может быть сведена к классическому набору элементов [1]:

- данные;
- средства;
- интерфейс.

В первую очередь следует помнить, что карту создают специалисты в области математического, экономического и картографического моделирования, а решение на основе ее анализа принимают руководители.

Инструментальные средства, используемые различными категориями специалистов, участвующих в оценке и анализе риска, существенно различаются. О том, насколько велики эти различия, позволяет судить пример оценки экологического риска, который приведен в уже упомянутой статье "Информационный конвейер" [3].

В любом случае специалистам, занятым подготовкой картографической основы, моделью местности и сбором данных, нужны мощные инструментальные средства графических построений. Специалистам, которые оценивают показатели риска, требуются средства разработки моделей распространения опасных (вредных, загрязняющих) веществ в атмосфере, водотоках и водоемах; действия сейсмических и ударных волн на здания и сооружения; теплового поражения при горении, затопления при разрушении плотин и во время паводка. Список таких моделей достаточно велик, и для формирования любой из них необходим набор базовых модулей, позволяющих описать затухание опасного импульса в неоднородной среде, в пределах промышленного сооружения или на местности.

Специалисты, которые заняты построением карт риска, нуждаются в специальных модулях для районирования, построения тематических карт методом значков, качественного фона или изолиний.

Необходимое количество средств так велико, что при реализации серьезного проекта вряд ли кто возьмется организовать весь процесс на базе одного программного продукта. Следовательно, первостепенное значение приобретают вопросы совместимости инструментальных средств различных производителей. Ответственные за проект специалисты должны выбрать базовый продукт (например, охватывающий большую часть потребностей), а остальные программные средства подбираются по принципу совместимости с базовым.

Основой совместимости может стать единая база данных, организованная с использованием мощной СУБД.

При том что построение надежного хранилища гарантируют многие стандартные реляционные СУБД, наш сего-

Наш сегодняшний выбор —
программный пакет
Autodesk MapGuide



дняшний выбор — СУБД Oracle (модуль Oracle Spatial). Единое хранилище, созданное на основе Oracle, кроме всего прочего, обладает свойствами надежной и разветвленной системы репликации, то есть обеспечивает гарантированное копирование данных из многих удаленных хранилищ в одно централизованное и приспособленное для целей глобального анализа. При этом вся техника решения вопросов дополнения, замены или удаления записей, поиска их дубликатов реализуется на основе встроенных механизмов СУБД.

Помимо большого быстродействия при работе с едиными хранилищами данных, построенными по объектному принципу, есть и еще одно существенное преимущество: пространственный анализ может выполняться не инструментальной ГИС, а самой СУБД, что оптимально с точки зрения распределения ресурсов. В схеме с СУБД Oracle трудоемкие процессы сбора данных возможно распределить между организациями, оснащенными различными средствами цифровой картографии, геодезии, фотограмметрии.

Аналитические модули, приспособленные для оценки показателей риска, легко настроить на работу с записями

таблиц СУБД Oracle. Библиотеки функций СУБД позволяют разработать клиентские приложения, способные аккумулировать возможности расширенного на графические элементы языка SQL.

Ввод и редактирование данных следует осуществлять в организациях, максимально приближенных к источникам опасности и элементам риска, а также к средствам наблюдения за ними — это позволит поддерживать на высоком уровне качественные показатели информационных массивов.

Для сбора пространственных данных и построения моделей местности нами используются программы Autodesk Map, Intergraph GeoMedia и разработанная компанией Consistent Software Development инструментальная ГИС CS MapDrive.

Набор аналитических приложений для оценки риска должен предоставить возможность моделировать опасное воздействие с использованием актуальных данных, размещенных в соответствующей базе. Для одновременного доступа к данным и моделям необходим картографический интерфейс.

Наш сегодняшний выбор — программный пакет Autodesk MapGuide.

Центр исследований экстраординарных ситуаций (ЦИЭКС) уже на протяжении нескольких лет успешно проводит работы по созданию и совершенствованию системы прогнозирования последствий ЧС и оценке риска в сетях Intranet/Internet.

Сдан в опытную эксплуатацию программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий оперативное управление территориальными силами гражданской обороны в случае ЧС. В частности, этот комплекс предназначен для автоматизации анализа обстановки и коррекции плана мероприятий в зависимости от уровня риска.

Литература

1. Природные опасности России / Под ред. В.И. Осипова, С.К. Шойгу (разд. "Оценка сейсмического риска с применением ГИС-технологий"). — Т. 6. — М.: КРУК, 2003.
2. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под ред. С.К. Шойгу. — М.: ИПЦ "Дизайн, информация, картография", 2005.
3. А.Н. Угаров. Информационный конвейер / CADmaster, № 3/2005, с. 34-37.
4. Zadeh L.A., Fuzzy sets. Information and Control. — Vol. 8, pp. 338-353 (1965).

Александр Угаров,
начальник отдела ГИС-технологий
ЦИЭКС
Тел.: (495) 916-1022
E-mail: garo@esrc.ru