

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Петров Ярослав Андреевич

**Параметрическая модель оценки георисков в природно-технических  
системах для аналитических геоинформационных систем**

Специальность 25.00.35 - Геоинформатика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2018

Работа выполнена на кафедре прикладной информатики ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ)

**Научный руководитель: Истомин Евгений Петрович**  
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

**Научный консультант: Соколов Александр Геннадьевич**  
кандидат военных наук, доцент кафедры прикладной информатики ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет».

**Официальные оппоненты: Татарникова Татьяна Михайловна**  
доктор технических наук, доцент, профессор ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)».

**Вагизов Марсель Равильевич**  
кандидат технических наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова».

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова»

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года, в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете: 195027, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, ауд. 207

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  Е.П. Истомин

## Общая характеристика работы

### Актуальность исследования

Экономическая, социальная и экологическая устойчивость региона неразрывно связана высокой динамикой природных условий, которая способна создавать реальные материальные и нематериальные угрозы процессам государственного и муниципального управления природно-техническими системами.

Возникающие природные явления, в зависимости от характера воздействия, часто являются опасными или неблагоприятными по своей природе. Негативные последствия, возникшие в результате природных явлений, принято считать неблагоприятными, так как экономические потери в зависимости от причиненного ущерба могут оказывать существенное влияние на экономическое развитие предприятий, города или региона в целом. Среди множества факторов, которые влияют на деятельность человека, особое место принадлежит воздействию окружающей среды, в частности, гидрометеорологические условия как одна из его составляющих, не поддающаяся управлению. Зависимость от метеорологических условий усиливается с развитием цивилизации и ростом численность населения. На всех этапах развития общества проблемы прогнозирования гидрометеорологических условий, оценки последствий их влияния и принятие решений по снижению возможного ущерба становятся все более **актуальными** (проблема учета георисков).

Принято выделять несколько подгрупп рисков управления развитием природно-технических систем в зависимости от гидрометеорологических условий. Первую группу составляют риски, обусловленные колебаниями погодных явлений, а вторую группу – риски, связанные с катастрофическими изменениями климата и погодных условий.

Реалии современной хозяйственно-экономической деятельности требуют более детального изучения геоданных, которые необходимы для

планирования безопасной жизнедеятельности региона и максимального прогнозирования риска наступления неблагоприятных последствий.

Поэтому особую актуальность приобретает **научная задача** анализа и использования априорных геоданных для управления природно-техническими системами. Необходимость управления георисками реализуется в деятельности городских служб при решении задачи обеспечения безопасности дорожного движения.

**Степень разработанности темы исследования.** В ходе проведенной работы были проанализированы труды отечественных и зарубежных авторов, таких как: Алексеев В.В., Бурлов В.Г., Бескид П.П., Дорофеев А.Н., Музалевский А. А., Истомин Е.П., Татарникова Т.М., Шанина В.В., Федоров М. П. и другие. Был проведен анализ результатов научных исследований, нормативно-правовые документы, связанные с оценкой рисков при управлении территорией, развитием регионов и проблемами использования априорной информации.

На текущий момент, недостаточно изучена проблема использования априорных геоданных в различных форматах. Не в полной мере внедрены модели, методы и технологии оценки рисков в ситуации неопределенности реализации природных условий. Таким образом, необходимость разработки и внедрения моделей и методов оценки георисков определяет объект и предмет, цель и задачи диссертации.

**Объект исследования:** природно-техническая система (на примере автомобильных дорог Санкт-Петербурга).

**Предмет исследования:** комплекс мероприятий по управлению рисками в природно-технических системах (на примере мероприятий по управлению безопасностью движения транспорта в зимний период времени) на основе геоданных о ее состоянии.

**Цель диссертации** – совершенствование методического аппарата обеспечения безопасности функционирования природно-технических систем в условиях неопределенности осуществления погодных условий, на основе

использования априорной разнородной информации (на примере управления безопасностью движения автотранспорта в зимний период).

Для достижения поставленной цели требуется её декомпозиция на пять подзадач.

1. Провести анализ методов, моделей и технологий оценки георисков в природно-технических системах.

2. Разработать математическую модель управления георисками на основе управляемых параметров.

3. Разработать методику оценки георисков на основе управляемых параметров.

4. Разработать концептуальную модель аналитической ГИС на основе оценок георисков.

5. Провести апробацию и верификацию результатов исследования.

#### **Теоретические и методические основы исследования.**

Теоретической основой диссертационной работы, являются исследования отечественных и зарубежных ученых в области математического моделирования, задачи обработки априорных геоданных в различных природно-технических системах, аналитические исследования, регламентирующие документы, связанные с методикой управления георисками. Методической основой исследования является анализ и обобщение существующих научных работ, для синтеза параметрической модели по оценке георисков.

**Обоснованность и достоверность результатов** исследования, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- использованием для достижения цели работы нормативных документов, программ, документов федеральных и региональных органов власти, касающихся методики построения информационных систем;
- внутренней непротиворечивостью результатов исследования и их соответствием теоретическим гипотезам предложенным автором;

- применением принципов системного анализа и концептуального моделирования, аналитических исследований, математического моделирования и других современных научных методов;
- апробацией результатов исследования на научно-практических конференциях и отражением основных результатов диссертации в открытой печати.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Постановка и формализация новой научной задачи: анализ и использование априорных геоданных, для управления природно-техническими системами на основе параметрической модели управления георисками для аналитических геоинформационных систем. **Научная новизна** заключается в том, что впервые представлены новые модели и методики управления георисками с учетом объективного фактора роста относительного ущерба, на примере обеспечения безопасности функционирования природно-технических систем в условиях неопределенности осуществления погодных условий.
2. Параметрическая модель управления георисками в природно-технических системах для аналитических геоинформационных систем. **Научная новизна** заключается в том, что впервые предложена параметрическая модель управления георисками в природно-технических системах, которая отличается от существующих моделей, не прогнозированием изменения значений параметров природного процесса, а прогнозированием и оценкой риска возникновения ущерба на заданный момент времени.
3. Методика оценки георисков на основе управляемых параметров. **Научная новизна** заключается в том, что предложенная методика отличается сочетанием графических, аналитических и статистических методов для оценки рисков на основе управляемых параметров.

4. Концептуальная модель аналитической ГИС оценки рисков. **Научная новизна** заключается в том, что концептуальная модель аналитической ГИС отличается от существующих внедрением 3 дополнительных компонентов:

- компонент обработки разнородных данных;
- компонент распределенных баз данных с представленной топологией данных;
- компонент оценки георисков на основе параметрической модели управления в природно-технических системах.

**Практическая ценность работы.** Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработанной модели оценки георисков на основе априорных геоданных, которая может быть рекомендована для использования при принятии управленческих решений в природно-технических системах. Достоверность результатов подтверждается авторскими свидетельствами, полученными в процессе исследований и поданными заявками на авторские свидетельства:

1. Свидетельство о регистрации базы данных «База данных метеорологических параметров» №2016620986, дата государственной регистрации в реестре баз данных 20.07.2016 года.
2. Свидетельство о регистрации базы данных «База данных метеорологических рисков», на регистрации вх. №2018621294.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Информационная система поддержки принятия решений в погодозависимых отраслях», на регистрации вх. №2018619936.

**Личный вклад автора.** Основные результаты, представленные в работе, получены соискателем самостоятельно, отдельные в соавторстве при его непосредственном участии.

**Апробация работы.** Основные научные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на международной научно-

практической конференции «Information-Management Systems and Technologies», (17-18 сентября 2018г.).

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в научных журналах РИНЦ, в том числе в двух изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из списка используемых сокращений, введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 134 страницы, 25 рисунков, 7 таблиц, 27 формул. Список использованной литературы составляет 85 источников.

**Во введении** обоснована актуальность работы, определены объект, предмет, цели и задачи исследования, показана теоретическая и практическая ценность работы, приведено краткое содержание работы по главам, и представлены основные научные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Научно-технические основы управления георисками в природно-технических системах (на примере содержания автомобильных дорог территории)» дается характеристика особенностей содержания автомобильных дорог в зимний период, характеристика свойств снега и снежного покрова, а также показаны результаты анализа угроз при эксплуатации и содержании автомобильных дорог в зимний период.

В осенне-зимний период наступает резкое похолодание, а выпавшие осадки образуют гололед на дорогах. Создаются опасные дорожные условия, в которые попадают владельцы транспортных средств и жители населенных пунктов. В результате гололеда в первые сутки резко повышается количество дорожно-транспортных происшествий, в которых опасно травмируются и гибнут граждане, наносится серьезный урон транспортным средствам, частному и муниципальному имуществу. Данная ситуация обусловлена тем, что коэффициент сцепления ( $\varphi_x$ ) колес автомобилей с дорожным покрытием во время гололеда в разы ниже чем на сухой поверхности (рис. 1).

Передвигаться на автомобиле по гололеду очень опасно и непредсказуемо, так как автомобиль слабо контролируется водителем, который не в состоянии предотвратить аварию, если происходит занос или

разворот автомобиля. Риск возникновения аварий при движении транспортного средства по гололеду повышается в 6 и более раз. Повышение скользкости на дорогах обусловлено выпадением осадков, которые образуют рыхлый мокрый снег, гололед или снежный накат.

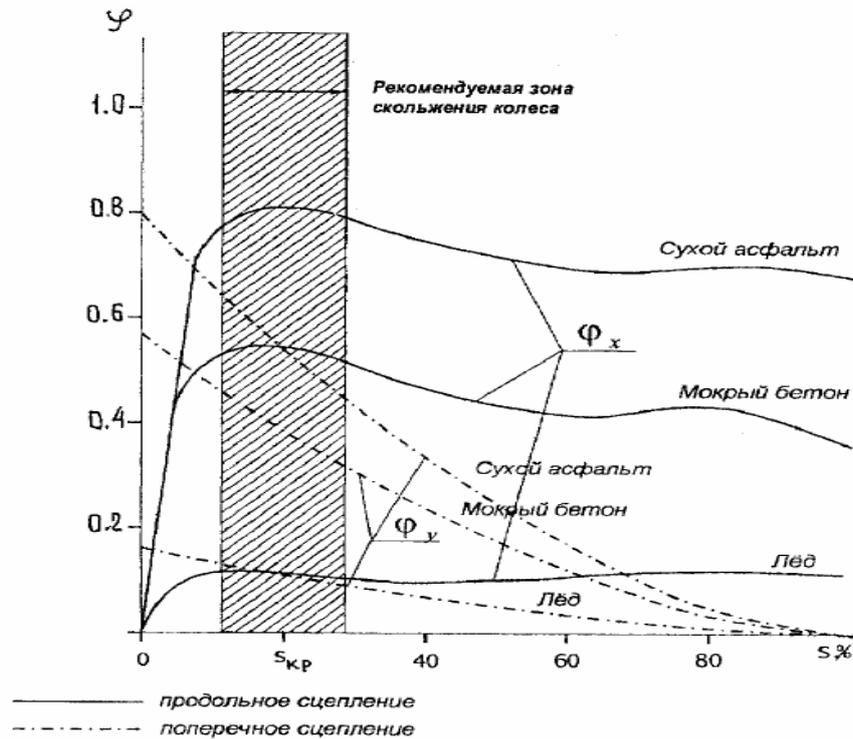


Рис.1 Показатели коэффициента  $\varphi_x$  для различных состояний дорожного полотна



Рис.2 Структурная схема выработки управленческого решения хозяйствующего субъекта без использования параметрических моделей

Неравномерная ситуация по распределению технических средств (Рис.2) складывается вследствие того, что на сегодняшний день мало эффективно применяются априорные геоданные, с помощью которых можно достаточно точно давать оценку природным рискам. В свою очередь, отсутствие информационных систем, которые будут эффективно обрабатывать разнородные геоданные, а также отсутствие подходящих моделей оценки георисков негативно влияют на предотвращение возможных последствий, которые возникают в результате неблагоприятных природных явлений. Напротив, разработка аналитических геоинформационных систем оценки георисков, позволяющих максимально правильно распределить ресурсы для подготовки мер по стихийным природным явлениям, позволит снизить негативные последствия, избежать ненужных рисков и стабилизировать ситуации в регионах. Внедрение нового программного обеспечения на базе параметрических моделей по оценке рисков, позволит создать эффективную методику управления рисками и относительным ущербом в природно-технических системах.

На основе проведенного анализа, ставится новая научная задача (рис.3) о необходимости оценки риска и относительного ущерба с помощью параметрических моделей на базе априорных геоданных.

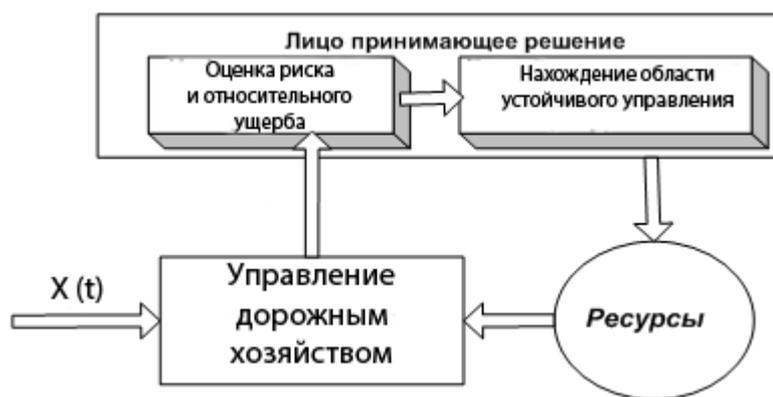


Рис.3 Структурная схема оценки георисков в природно-технических системах

**Во второй главе** «Разработка математической модели управления георисками на основе управляемых параметров» приводится анализ и

общий подход к разработке моделей прогнозирования на базе априорной информации, показан обзор (Таблица 1) существующих моделей прогнозирования с выделением их достоинств и недостатков, дано обоснование, почему они не подходят для реализации поставленной цели.

Таблица 1. Сравнение методов и моделей прогнозирования

Метод; модель	Достоинства	Недостатки
Метод регрессии; регрессионная модель	Единый подход, возможность интегрирования, простота, наглядность, гибкость моделирования, пригодность на начальном этапе анализа	Сложность и трудоемкость идентификации зависимости (ее коэффициентов), нет возможности моделирования произвольных нелинейных процессов
Метод авторегрессии; авторегрессионные модели	Единый подход, простота, прозрачность моделирования, наличие множества групп примеров, приложений	Трудоемкость моделирования, ресурсоемкость решения задачи идентификации, нет возможности моделирования произвольных нелинейных процессов, не адаптивность
Метод сглаживания; экспоненциальное сглаживание	Единый подход, простота, прозрачность моделирования	Недостаточная гибкость, узость применения моделей
Метод нейросетей; нейросетевые модели	Единый подход, применимость нелинейных моделей, масштабируемость, гибкость и адаптивность, обучаемость на примерах	Отсутствие прозрачности выбора, сложность архитектуры, алгоритма, тестирования, узость обучающих выборок, ресурсоемкость обучения
Стохастический метод цепей Маркова;	Единый подход, простота моделирования	Невозможность моделирования систем с длинной памятью, узкий класс процессов
Классификация, таксономия; классификационно-регрессионные деревья	Масштабируемость, простота процесса, возможность учета категориальных переменных	Неоднозначность, алгоритмическая сложность

В основе управленческой деятельности всегда лежит решение человека. Человек принимает решение на основе модели. Под моделью объекта понимается описание или представление объекта, соответствующее

объекту и позволяющее получить характеристики этого объекта. Поэтому решение-это модель процесса, с которым человек работает. Процесс-это объект, работающий с фиксированным назначением.

Для снижения экономических потерь вследствие наступления ущерба, будем рассматривать риск возникновения этого события на момент времени  $t_3$ . Существует некий интервал значений природного фактора  $C \in [C_{min}, C_{max}]$ , с которым связан риск возникновения относительного ущерба. Границы интервала задаются лицом, принимающим решения, и могут иметь градации. Таким образом, можно вычислить вероятность выхода случайного процесса из области  $C$ , по следующей формуле, как параметр риска:

$$R_{t_3} = P(x(t) \notin C, t_3) \quad (1)$$

Рассмотрим область  $C$ , как параметр  $R_{t_3}(C)$  и проанализируем поведение этой функции (рис. 4).

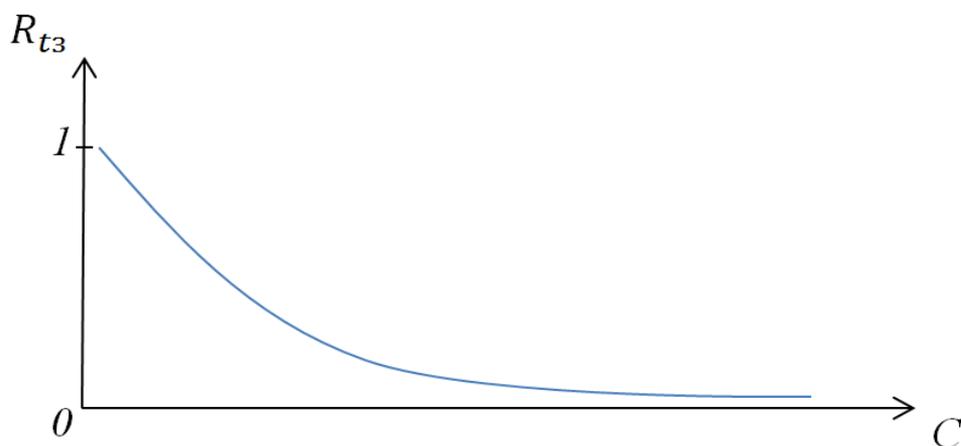


Рис. 4 Функция риска  $R_{t_3}$

Из графика видно, что функция риска, убывающая по параметру  $C$ . Т.е. чем больше интервал, тем меньше вероятность выхода за его пределы и как следствие наступление риска. В противном случае, при минимальном интервале, вероятность наступления риска стремится к единице.

Рассмотрим данный график на примере работы коммунальных служб при патрульной снегоочистке. Зимнее содержание автомобильных дорог представляет собой комплекс мероприятий, включающий: защиту дорог от

снежных заносов; очистку дорог от снега; борьбу с зимней скользкостью; защиту дорог от лавин; борьбу с обледенением. Оперативная служба, эксплуатирующая дороги, необходима для обеспечения хорошего уровня зимнего содержания дорог.

Из методических рекомендаций по защите и очистке автомобильных дорог от снега известно, что число машин, а также время между проходами снегоочистителей, зависит от постоянных и переменных значений и одно из них это - допустимая толщина слоя снега на покрытии -  $h$ . Возвращаясь к нашему определению интервала  $C$ , можем сказать, что  $C=h_n - h_1$ . И он будет изменяться, в зависимости от количества выпавшего снега. Чем обильнее осадки, тем шире будет интервал и тем меньше риск  $R$ , т.к. чем шире интервал, тем больше машин на линии и меньше вероятность наступления риска, при этом  $h_{min}$  может равняться нулю.

В момент, когда  $C=0$ , т.е. снега нет, риск  $R_{t_3} = 1$  т.к. патрульных машин на дороге практически нет. Аналогичным образом, рассмотрим функцию относительного ущерба  $U/U_{max}$

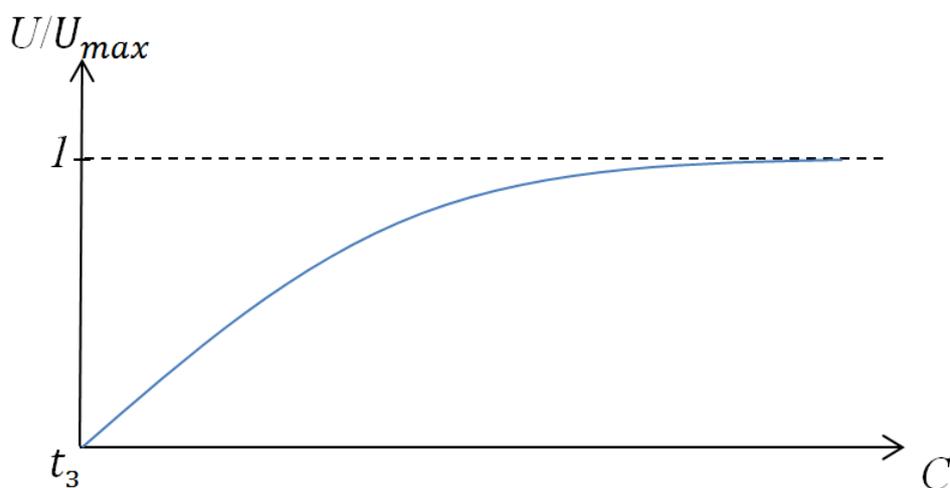


Рис. 5 Функция относительного ущерба  $U/U_{max}$

Можно наблюдать, что в момент времени  $t_3$ , чем меньше интервал  $C$ , тем меньше ущерб  $U/U_{max}$  и наоборот, чем больше интервал, тем сильнее увеличивается ущерб (рис. 5), за счет необходимости выпуска большего

количества машин для уборки снега. Введем обозначение относительного ущерба, как

$$I = \frac{U}{U_{max}} \quad (2)$$

Рассмотрим систему уравнений (3) и решим ее относительно  $C$ :

$$\begin{cases} R_{t_3}(C) = f(C) \\ I(C) = \varphi(C) \end{cases} \quad (3)$$

Как видно из графика (рис. 6) пересечение двух кривых дает нам точку устойчивого управления, а заштрихованная область – это область допустимого управления.

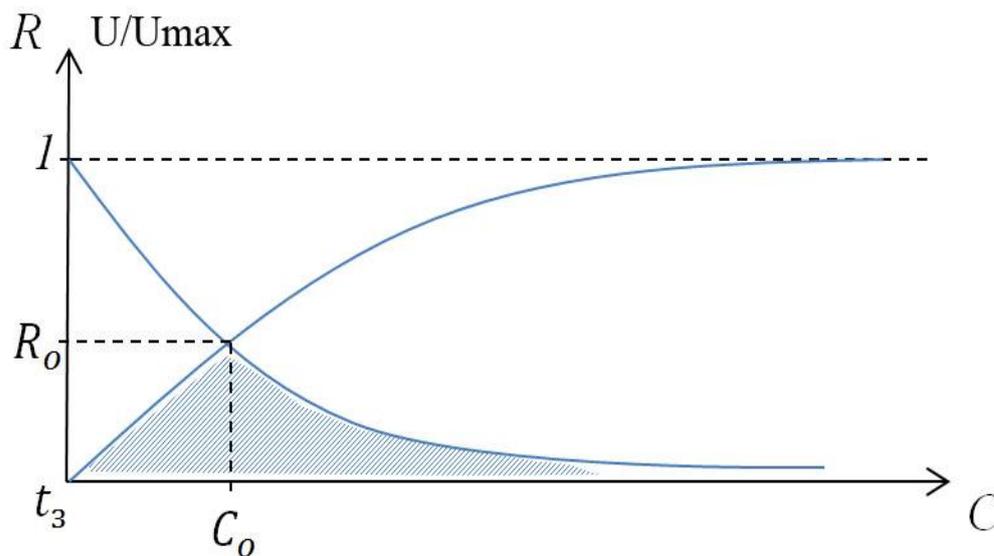


Рис. 6 Точка устойчивого управления  $C_0$

Перейдем к конкретному случаю и рассмотрим данную задачу в более простых вариациях. Как правило, риск от параметра может быть описан экспоненциальной функцией, в тоже время ущерб в первом приближении, описывается в виде линейного уравнения:

$$\begin{cases} y = ac + b \\ y = e^{-\alpha c} \end{cases} \quad (4)$$

Для нахождения точки устойчивого управления, решим данную систему относительно значения  $C$ :

$$C_0 = -\frac{b}{a} + \frac{1}{\alpha} W\left(\frac{\alpha}{a} e^{\frac{b\alpha}{a}}\right), \text{ где } W - \text{ функция Ламберта} \quad (5)$$

Точка пересечения двух кривых – является точкой устойчивого управления, где  $R_0$ - минимальный риск, при минимальном интервале  $C_0$ , а заштрихованная область показывает допустимые значения.

Приведенные графики иллюстрируют устойчивое управление процессом только на момент времени  $t_3$ , для того чтобы узнать возможную глубину прогноза  $\tau$ , построим график (рис. 7) где посчитаем значение устойчивого управления, в виде автокорреляционной функции на различные моменты времени.

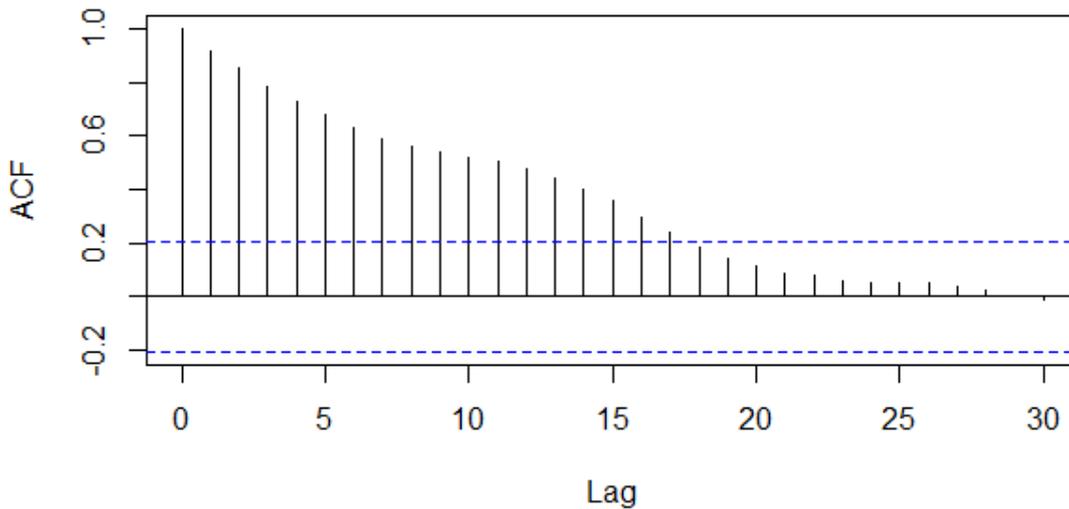


Рис. 7 Автокорреляционная функция

При условии стационарности, эргодичности и нормальности распределения исследуемого процесса на временном интервале  $\tau$ , мы можем взять аналитические оценки вероятности невыхода процесса из заданной области. В качестве оценки  $R_{t_3}(C)$  может быть использована формула:

$$R_{t_3}(C) = \left( 1 - \Phi \left\{ \frac{C - m_X - r_X(\tau)[X_0 - m_X]}{\sigma_X \sqrt{1 - r_X^2(\tau)}} \right\} \right), \quad (6)$$

где:  $\Phi(\dots)$  – функция Лапласа,  $m_x$  – математическое ожидание случайного процесса  $X(t)$ ,  $r_x(\tau)$  – автокорреляционная функция,  $\tau = t_3 - t_0$ ,  $\sigma_x$  – среднеквадратическое отклонение,  $X = X(t)$  – измеряемый природный параметр,  $\tau$  – горизонт прогнозирования, а  $C$  – управляемый параметр, заданный лицом принимающим решения (ЛПР).

Получая  $R_{\text{тв}}(C)$ , рассчитав его при разных значениях  $C$ , мы получаем кривую функцию риска изображенную на (рис. 4).

Из всего вышесказанного делаем следующие выводы, что модель включает следующие понятия:

1. Риск.
2. Относительный ущерб.
3. Прогноз.
4. Случайный процесс.
5. Параметр  $C$  как показатель относительного ущерба.

Показатель относительного ущерба  $I(C)$  может изменяться в зависимости от параметра  $C$ , который принадлежит интервалу от  $C_{\text{min}}$  до  $C_{\text{max}}$  при этом при  $C_{\text{max}}$  относительный ущерб  $I = 1$ , а  $R = 0$ . И наоборот, при  $C_{\text{min}}$  относительный ущерб  $I = 0$ , а  $R = 1$ .

Модель позволяет получить область управления, при которой достигаются минимальные ущерб и риски, а также определить точку устойчивого управления  $C_0$ . Функция относительно ущерба представлена ниже:

$$I(C) = \frac{U(C)}{U_{\text{max}}} \quad (7)$$

Для корректного использования параметрической модели, разработана методика оценки рисков на основе управляемых параметров.

Рассмотрим основные этапы оценки георисков на основе управляемых параметров:

1. Анализ предметной области.
2. Формирование массива данных.
3. Анализ данных.
4. Подготовка данных.
5. Идентификация параметров модели.
6. Параметрическое моделирование.
7. Оценка результатов.
8. Внедрение результатов при принятии управленческих решений.

На рис. 9 представлена блок-схема основных этапов оценки георисков на основе управляемых параметров.

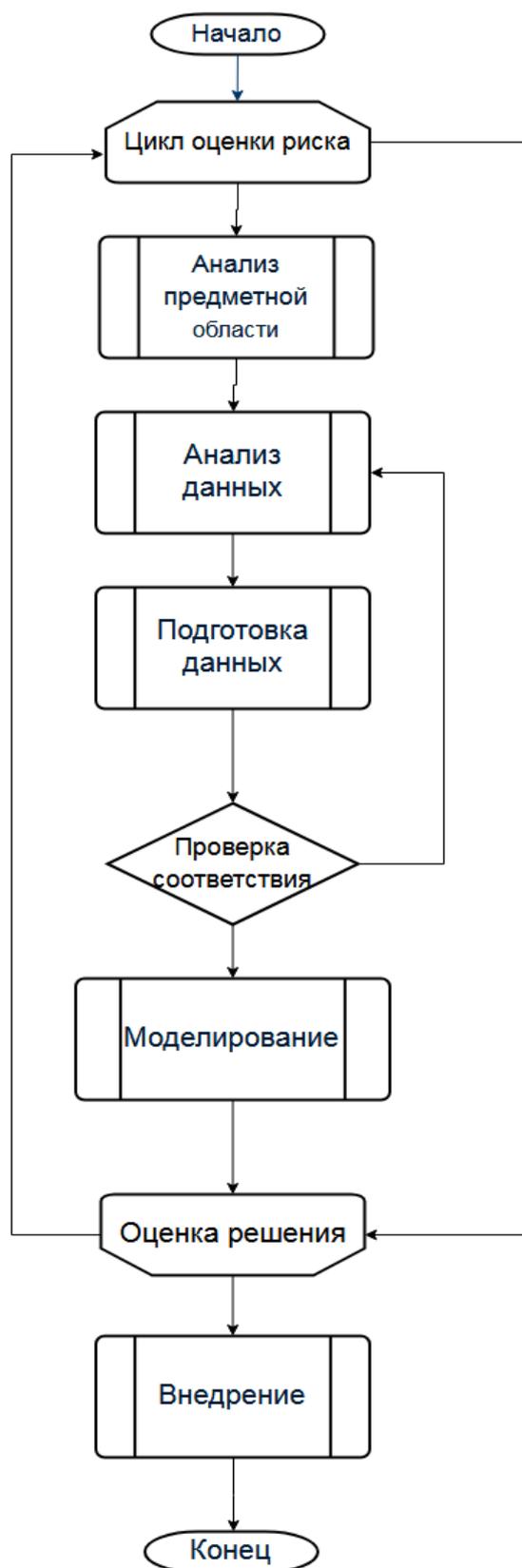


Рис. 9 Блок-схема основных этапов оценки георисков на основе управляемых параметров

Из каждого этапа, следуют соответствующие ему задачи, при выполнении которых должен быть результат, являющийся исходными данными для следующей задачи.

Для корректности результатов моделирования, необходимо выполнить определенные проверки, а при необходимости, изменения временного ряда в результате которых, устанавливается полнота, сопоставимость данных и соответствие используемой модели.

Разработанная модель не предъявляет жестких требований к исходным данным и именно это является ключевым фактором. Лицо принимающее решения (ЛПР) может использовать практически любые геоданные своей предметной области, которые есть в открытом или закрытом доступе.

Основными этапами при подготовке данных являются:

1. Представление исследуемого процесса.
2. Анализ и выявление закономерных составляющих, которые зависят от времени.
3. Анализ реализации, после удаления закономерных составляющих.
4. Построение автокорреляционной функции, для определения возможной глубины прогноза.
5. Приведение к требуемой структуре данных.

Для достижения наиболее точных результатов прогноза, глубина прогноза определяется из значения коэффициента корреляции. Исходя из таблицы 2, нас интересует заметная, высокая и весьма высокая корреляция, в этом случае модель демонстрирует наиболее точные показатели.

Таблица 2. Шкала Чеддока для классификации силы связи

Величина коэффициента множественной корреляции $R$	Оценка силы связи
0,1—0,3	Слабая
0,3—0,5	Умеренная
0,5—0,7	Заметная
0,7—0,9	Высокая
0,9—0,99	Весьма высокая

**В третьей главе** «Разработка аналитической ГИС на основе параметрической модели для оценки рисков в природно-технических системах» приведена общая характеристика аналитических ГИС поддержки принятия решений, осуществлен обзор существующих систем и предложена концептуальная модель аналитической ГИС на основе параметрической модели управления георисками.

Модель геоинформационной системы выполнена на базе клиент-серверной архитектуры, которая характеризуется двумя взаимодействующими процессами. Предложенная архитектура позволяет отвечать следующим требованиям:

1. Надежность.
2. Целостность.
3. Масштабируемость.
4. Безопасность.
5. Гибкость.

На рис. 10 представлена концептуальная модель аналитической ГИС оценки георисков и выделены 3 модуля, предложенные автором, которые следуют из методики оценки георисков на основе управляемых параметров.

Представленная модель аналитической ГИС отличается внедрением 3 дополнительных компонентов:

- Компонент обработки разнородных данных.
- Компонент распределенных баз данных с представленной топологией данных.
- Компонент оценки георисков на основе параметрической модели управления в природно-технических системах.

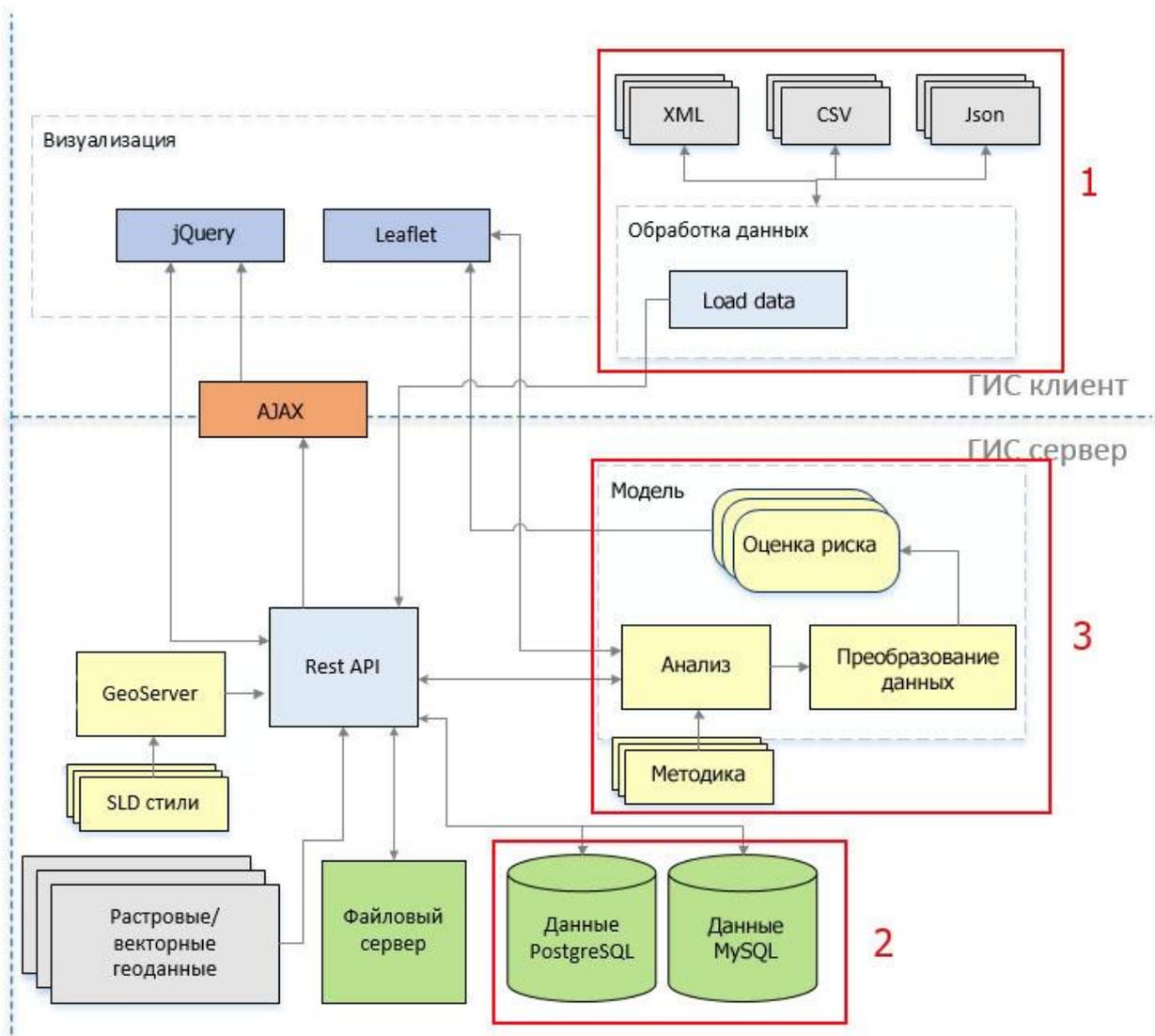


Рис. 10 Концептуальная модель аналитической ГИС оценки георисков

Для апробации модели был сформирован массив данных (рис. 11), содержащий измерения глубины снега в Санкт-Петербурге с декабря по февраль месяц, за 18 лет. Массив данных представлен в виде последовательности наблюдений метеорологического фактора  $X$  в последовательные моменты времени.

Как правило, при исследовании временного ряда  $X(t)$ , можно определить несколько составляющих:

$$X(t) = T+S+C+E \quad (8)$$

Тренд (Т) - это плавно изменяющаяся составляющая, которая описывает чистое влияние длительных факторов. Другими словами, долгосрочную тенденцию изменения признака.

Сезонный компонент (S) - отражает повторяемость экономических процессов в течение недолгого периода (год, месяц, неделя и т. д.);

Циклическая составляющая (С) - отражает повторяемость экономических процессов в течение длительного времени.

Случайная составляющая (Е) - отражает влияние неучтенных и не выявленных случайных факторов.

Важно отметить, что в отличие от случайной компоненты Е, первые три компоненты Т, S, С являются естественными, а не случайными.

STATION	NAME	DATE	PRCP	SNWD	TAVG
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	01,12,2002	0	0,8	7
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	02,12,2002	0	0,8	14
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	03,12,2002	0,03	1,6	18
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	04,12,2002	0,02	1,2	20
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	05,12,2002	0,01	2	22
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	06,12,2002	0	1,6	20
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	07,12,2002	0	1,6	21
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	08,12,2002	0	0,8	11
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	09,12,2002	0,01	2	14
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	10,12,2002	0	2,4	17
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	11,12,2002	0	2,4	22
RSM00026063	ST, PETERSBURG, RS	12,12,2002	0,06	1,2	30

Рис.11 Пример массива данных для апробации модели

Воспользуемся критерием Шапиро-Уилка, чтобы проверить нормальность распределения исследуемой выборки. Данный критерий относится к классу «специальных критериев согласия» и является одним из самых эффективных. В качестве нулевой гипотезы принимается, что случайная величина X распределена нормально. В нашем случае, мы получили уровень значимости  $\alpha > 0,05$ , что подтверждает нулевую гипотезу. На рис. 12 изображена гистограмма исследуемого ряда.

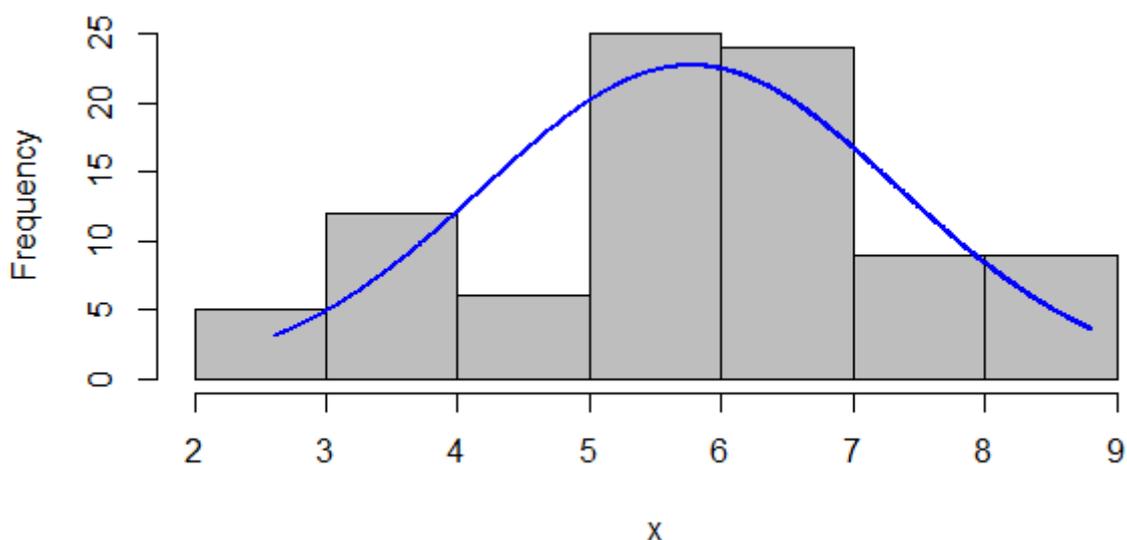


Рис.12 Гистограмма исследуемого временного ряда

Взглянув на гистограмму, можно отметить, что исследуемый ряд достаточно однородный и имеет относительно небольшой разброс, о чем свидетельствует коэффициент вариации.

Классическая задача оптимизации процесса представляет собой нахождение оптимума исследуемой функции или оптимальных условий рассматриваемого процесса. Для оценки точки устойчивого управления, прежде всего, необходимо выбрать критерий оптимизации. Обычно критерий оптимизации выбирается из конкретных условий. Это могут быть, например, технологические критерии или экономические критерии. На основе выбранного критерия оптимизации строится целевая функция, которая является зависимостью критерия оптимизации от параметров, влияющих на его значение. В рамках данного исследования, критерием оптимизации является точка пересечения функции риска и относительного ущерба.

Как видно из построенных графиков (рис. 13), результаты моделирования полностью подтверждают выдвинутую гипотезу и обосновывают необходимость использования научных методов хозяйствующими субъектами.



Рис. 13 Функции риска  $R_b(C)$  и относительного ущерба  $I(C)$

Управление георисками и поиск оптимального управленческого решения, реализуется в зависимости «территория – экономика – природная среда», основную роль в ней играет процесс обеспечения безопасности природно-технических систем при воздействии природных факторов.

Реализация мероприятий по очистке дорог от снега и льда позволяет обеспечить надлежащее состояние дорожного полотна, а внедрение параметрической модели оценки георисков, дает возможность повысить эффективность принимаемых управленческих решений и снизить затраты на зимнее содержание.

## Заключение

**Цель работы:** совершенствование методического аппарата обеспечения безопасности функционирования природно-технических систем в условиях неопределенности осуществления погодных условий, на основе использования априорной разнородной информации (на примере управления безопасностью движения автотранспорта в зимний период).

В процессе исследований для достижения поставленной цели получены новые научные результаты, которые выносятся на защиту.

1. Обоснована новая научная задача оценки геориска и относительного ущерба с помощью параметрических моделей на базе априорных геоданных. **Научная новизна** заключается в том, что впервые представлены новые модели и методики управления георисками с учетом объективного фактора роста относительного ущерба, на примере обеспечения безопасности функционирования природно-технических систем в условиях неопределенности осуществления погодных условий.

Поставленная задача **позволяет:**

- подтвердить предпосылку о необходимости использования новых механизмов обработки априорных геоданных в хозяйственной деятельности;
  - показать влияние погодных условий на различные отрасли экономики;
  - показать необходимость внедрения новых моделей обработки геоданных в существующий инструментарий геоинформационных систем.
2. Разработана параметрическая модель управления георисками в природно-технических системах для аналитических геоинформационных систем. **Научная новизна** заключается в том, что

впервые предложена параметрическая модель управления георисками в природно-технических системах, которая отличается от существующих моделей, не прогнозированием самого процесса, а прогнозированием и оценкой риска на заданный момент времени. Разработанная модель **позволяет:**

- давать оценку геориска на основе априорной информации;
- давать оценку относительного ущерба на основе априорной информации;
- показывать вероятность выхода за пороговые и критические интервалы в рамках конкретной предметной области;
- находить точку устойчивого управления.

3. Разработана методика оценки георисков на основе управляемых параметров. **Научная новизна** заключается в том, что предложенная методика отличается сочетанием графических, аналитических и статистических методов для оценки рисков на основе управляемых параметров. Разработанная методика **позволяет:**

- проводить проверку и преобразование первичных данных;
- формировать массив данных с заданными свойствами;
- добиться максимальной сопоставимости результатов моделирования.

Таким образом, для оптимального управления рисками и возможным ущербом, необходимо проектирование и разработка информационных систем поддержки принятия решений на базе геоинформационных технологий, включающих:

а) распределенные базы данных зависимостей прогнозируемых и фактических метеорологических параметров;

б) данные о возможных экономических и социальных последствиях управленческих решений, при предотвращении и устранении последствий неблагоприятных явлений.

Разработанный подход к управлению рисками позволяет оптимизировать процесс принятия управленческого решения, удовлетворяющего целевой функции — снижению экономического ущерба, зависящего от метеорологических факторов исследуемой территории, и будет способствовать положительной динамике финансово-хозяйственной деятельности региона.

4. Разработана концептуальная модель аналитической ГИС оценки рисков. **Научная новизна** заключается в том, что концептуальная модель аналитической ГИС отличается внедрением 3 дополнительных компонентов:

- компонент обработки разнородных данных;
- компонент распределенных баз данных с представленной топологией данных;
- компонент оценки георисков на основе параметрической модели управления в природно-технических системах.

Разработанная концептуальная модель **позволяет:**

- использовать данные большинства известных форматов;
- хранить и использовать данные как о рисках так и об относительном ущербе, сохраняя связи и отношения между ними, благодаря разработанной топологии;
- автоматизировать процесс оценки георисков на основе априорных геоданных.

Для достижения результатов, был проведен обзор аналитических геоинформационных систем. Проведена классификация геоинформационных систем поддержки принятия решений. На основе проведенного анализа была

предложена концептуальная модель аналитической геоинформационной системы для использования с параметрической моделью управления георисками.

Проектирование системы осуществлялось с использованием методологии объектно-ориентированного анализа, в нотации UML. В результате чего были построены концептуальная, статическая и физическая модель системы и представлены в виде набора диаграмм. Кроме этого, была построена ER-модель системы и топология таблиц базы данных.

Проведенные исследования в данной диссертационной работе, позволили определить актуальную проблему недостаточного использования геоинформационных систем на базе параметрических моделей при управлении территориями. Принимая во внимание размер и степень вовлеченности финансовых и других ресурсов крайне очевидна стоимость управленческих ошибок. Предложенные в работе модель и методика, позволили формализовать процесс оценки рисков на основе открытых априорных данных, ранжировать параметры, выбирать и обосновывать условия влияющие на решаемую проблему. Кроме того, возможно прогнозирование последствий принимаемых решений. Концептуальная модель аналитической геоинформационной системы, предоставляет ЛПР возможность загрузки данных из любых источников, в различных форматах.

## Список публикаций по теме диссертации

*в изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Петров Я. А. Параметрическая модель управления георисками в природно-технических системах / Истомин Е. П., Петров Я. А. // Естественные и технические науки. 2018. №10 (124). С.123-124.

2. Петров Я. А. О технологии управления георисками в природно-технических системах для ГИС поддержки принятия решений / Петров Я. А. // Естественные и технические науки. 2018. №10 (124). С.125-129.

*Другие публикации:*

4. Петров Я. А. Особенности обеспечения безопасности в социально-экономических системах при воздействии гидрометеорологических факторов / Истомин Е. П., Петров Я. А. // Materials of the VII International Scientific Conference «Information-Management Systems and Technologies». 2018. С.231-233

5. Петров Я.А. Использование мандатной модели управления доступом при защите конфиденциальной информации / Качур Е.Д., Попов Н.Н., Абрамов В.М., Истомин Е.П., Шнеерсон Е.З., Козлов М.И., Богданов П.Ю., Голосовская В.А., Ткаченко Г.Н., Трунин С.В., Драбенко В.А., Драбенко Д.В. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2018. С. 58-62.

6. Петров Я.А. Реализация модели подготовки гетерогенных данных в автоматизированной системе / Степанов С.Ю. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2015. № 2 (16). С. 95-98.

7. Петров Я.А. Информационная система прогноза рисков наводнений в Санкт-Петербурге / Истомин Е.П., Колбина О.Н., Слесарева Л.С. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2013. № 1 (10). С. 33-37

8. Петров Я.А. Анализ современных моделей пространственного управления организационно-техническими системами/ Соколов А.Г., Петров Я.А. // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2013. № 2-2 (11). С. 122-123.

9. Петров Я.А. «База данных метеорологических параметров» / Петров Я.А., Истомин Е.П. и др. // Свидетельство о государственной регистрации баз данных №2016620986 от 20.07.2016 г.