

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Российский государственный гидрометеорологический университет»

На правах рукописи



**Слесарева Людмила Сергеевна**

**Развитие методов геомоделирования и оценки рисков в  
геосистемах природного характера  
(на примере наводнений)**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Санкт-Петербург - 2013

Работа выполнена на кафедре прикладной информатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

<b>Научный руководитель</b>	доктор технических наук, профессор Истомин Евгений Петрович
<b>Официальные оппоненты</b>	доктор технических наук, профессор Алешин Игорь Владимирович  кандидат технических наук, доцент Попов Борис Николаевич
<b>Ведущая организация</b>	Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)

Защита состоится 28 ноября 2013 г. на заседании диссертационного совета: Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д. 3, ауд. 102 в 15 час. 30 мин.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета

Автореферат разослан 25 октября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.197.03

д.г.н.



Е.С. Попова

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Проблемы стихийных бедствий природного характера сопутствует человеческому обществу с древнейших времен. На протяжении долгих лет человечество пытается найти способы защиты от их последствий, но безрезультатно: с каждым годом они наносят все больший ущерб. Во всем мире, включая Россию, наблюдается тенденция значительного роста ущербов от природных катаклизмов, вызванных как нерациональным ведением хозяйства, усилением их хозяйственного освоения, так и изменением климата планеты.

Причины природных катаклизмов в различных районах земного шара различны. В приморских районах этой причиной являются штормовые нагоны и ураганы. В горной местности – это камнепады, снежные лавины и сели. Каждый вид природного проявления имеет свои особенности и периодичности, свою продолжительность и размер наносимого ущерба.

Природные катаклизмы нередко охватывают большие территории. Продолжительность явления обычно находится в пределах от нескольких часов до десятков суток. Чем крупнее геосистема, тем масштабнее катастрофа.

Для народного хозяйства оценка рисков таких природных явлений становится актуальной задачей. Важно при планировании мероприятий по снижению возможных ущербов заложить риски, связанные с геовозмущениями. Именно поэтому исследование различных проявлений в геосистемах природного характера для оценки возможных рисков представляет собой научную задачу, решение которой имеет важное прикладное значение.

Для приморских территорий большое значение на развитие рекреационных зон и рекреационного потенциала, что составляет экономическую составляющую этой территории, оказывает заблаговременное прогнозирование нагонных наводнений. Большие нагоны происходят, как правило, неожиданно. Несомненно, ущерб, наносимый ими, мог бы быть меньше, если бы можно предсказать их заблаговременно. Прогноз должен быть не только достоверным, но и точным, поскольку важно отличать опасные подъемы уровня воды от незначительных ее изменений. Известны случаи, когда подъем уровня воды до критического уровня мог быть относительно безопасным, тогда как дополнительный незначительный подъем оказывался критическим и приводил к катастрофическим наводнениям.

При наличии защитных сооружений важно понять, когда они могут быть использованы по прямому назначению, непосредственно при проявлении признаков наводнения или же при наличии непосредственной угрозы наводнения. В данном случае задача сводится к оценке рисков от наводнений и возможных недополученных выгод от применения защитных сооружений.

Существующие на сегодняшний день модели природных проявлений представляют собой, в основном, физические модели, которые не всегда позволяют оценивать риски.

В настоящее время проблему составляет оперативное управление ситуацией, а долгосрочный прогноз уходит на второй план. В связи с этим эффективным представляется модель, основанная не на физических явлениях, а стохастическая.

Часто возникают задачи, когда нет необходимости знать точное значение исследуемого параметра, а достаточно знать сам факт возникновения возможности превышения значения этого параметра определенных пределов на определенный момент времени. Накопленный опыт и объем статистической информации позволяет наряду с физическими моделями строить стохастические модели оценки рисков в геосистемах, основу которых составляют известные стохастические модели оценки состояния и параметров технических систем. К ним относятся одно- и многопараметрические модели, созданные на базе Марковских процессов, позволяющих прогнозировать возможность невыхода этих параметров из заданной зоны.

Задача же состоит в том, чтобы исследовать возможность применения описанных моделей для оценки рисков в геосистемах природного характера и адаптировать их к реальным условиям.

Результаты исследования предполагается в дальнейшем использовать при создании информационной системы оценки рисков от нагонных наводнений.

Актуальность данной работы заключается в том, что полученные модели могут быть использованы для оценки рисков как при оперативном управлении, так и при стратегическом планировании развития территории.

#### ***Цели диссертационной работы:***

Повышение оперативности оценивания характеристик состояния геосистемы и минимизации временных затрат при оценке рисков экстремальных ситуаций.

### ***Основные задачи исследования:***

1. Проанализировать существующие методы и модели прогнозирования экстремальных ситуаций в геосистемах природного характера, их точность и эффективность.

2. Построить стохастическую модель оценки состояния геосистемы природного характера при известных значениях ее параметров на настоящий момент времени.

3. Оценить качество построенной модели, сравнить ее с уже существующими моделями.

4. Оценить состоятельность предложенной модели и методики оценки рисков геоинформационных систем.

5. Разработать информационную систему обработки геоданных для оценки рисков нагонного наводнения.

6. Разработать методику оценки рисков в геосистемах.

***Методы решения поставленных задач.*** Задачи решались с использованием современных научных методов исследований:

1. Обобщение и анализ существующего опыта моделирования динамики водной среды;

2. Системный анализ и концептуальное моделирование;

3. Аналитические исследования;

4. Математическое моделирование;

5. Прогнозирование;

6. Эксперимент.

***Научная новизна*** состоит в том, что:

- впервые представлена модель оценки рисков в геосистеме природного характера при ограниченной (недостаточной) информации о параметрах её состояния. Для анализа состояния параметров геосистемы в заданный момент времени используются вероятностные характеристики случайного процесса, которым описано поведение параметров этой системы, основанные на знании текущего состояния этих параметров;

- в методике впервые был предложен коэффициент ущерба, а расчет рисков осуществляется при условии, что известны параметры состояния геосистемы на текущий момент времени, а оценка осуществляется на рекомендованный (заданный момент времени). Для расчета достаточно знать значение только одного параметра на текущий момент времени;

- в информационной системе проводится анализ не только поступающих данных и оценка соответствия их выбранной модели с использованием методов проверки статистических гипотез на наличие трендов у первых моментов, а также осуществляется проверка моделируемых и текущих данных на принадлежность их одной генеральной совокупности с дальнейшей обработкой данных, а получение искомых оцениваемых характеристик (параметров риска наводнения) осуществляется при условии знания уровня воды на текущий момент времени. Представленная информационная система существенно отличается от имеющихся тем, что в основе моделирования лежат не физические, а математические вероятностные модели.

При решении поставленных в работе задач получены следующие **результаты, выносимые на защиту:**

1. Стохастическая модель оценки состояния природной среды при известных значениях параметров на текущий момент времени.
2. Методика оценки рисков в геосистемах.
3. Информационная система обработки геоинформационных данных для оценки рисков наводнения.

#### **Апробация работы**

1. III Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие российской экономики» г. Москва (МЭСИ), 9-10 декабря 2010 г.

2. XI международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии» г. Воронеж, 10-11 февраля 2011 г.

3. Свидетельство о регистрации электронного ресурса «Программа расчета георисков и вероятности появления нагонного наводнения» №19308. 24.09.2013 г.

4. Седьмая Всероссийская научная конференция «Экология 2013 – море и человек» г. Таганрог, 17 – 20 сентября 2013 г.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 5 в ведущих журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка источников и приложений. Работа содержит 28 рисунков, 4 таблицы.

## Содержание работы

Во **введении** обоснована важность и актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна, изложены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Анализ моделей и методов оценки рисков в геосистемах» представлен объект исследования, рассматриваются различные модели нагонных наводнений. В качестве объекта исследования рассматривается геосистема природного характера - водная система бассейна р. Невы.

Описывается географическое положение реки Невы, площадь ее бассейна, рельеф. Река Нева соединяет Ладожское озеро с Финским заливом Балтийского моря (рис. 1). Ее бассейн (территория водосбора) имеет площадь 281 000 км<sup>2</sup>.



Рис. 1. Географическое положение реки Невы.

Особенностью Невы являются частые нагонные наводнения. Это связано с географическим положением. Во время катастрофических наводнений затоплению может быть подвергнуто до 33% городской территории, на которой сосредоточены жилые и общественные здания, крупные промышленные предприятия, большое количество памятников истории, архитектуры и культуры мирового значения.

Исходя из этих особенностей, в качестве предмета исследования выбрана проблема – риски от экстремальных явлений природного характера в геосистеме (в данном случае – риски от нагонных наводнений).

Основной характеристикой, по которой можно судить о величине нагона, является нагонный подъем уровня воды. Другими величинами служат площадь и продолжительность затопления. Кроме того, важными факторами являются скорость и направление ветра.

Большие нагоны происходят, как правило, неожиданно. Для успешного противостояния нагонным наводнениям разработаны различные методы прогнозирования и оценки рисков.

Долгое время не существовало эффективных методов оценки и прогнозирования нагонных наводнений. Однако с течением времени появились регрессионные методы, которые до сих пор успешно используются.

Методы прогнозирования нагонных наводнений развивались в течение последних 100 лет. Сначала появились регрессионные методы, которые до сих пор успешно используются. В последние десятилетия в связи с быстрым развитием численных методов и прогрессом в компьютерной технике активно развиваются гидродинамические методы прогноза различных параметров морской среды.

Гидродинамические методы расчета и прогноза колебаний уровня моря и течений появились в конце 40-х годов прошлого века. Их развитие сдерживалось возможностями вычислительной техники и средств коммуникации. В 70-е годы прошлого века эти методы стали активно использоваться в оперативной практике морских прогностических центров развитых стран.

Один из первых методов краткосрочного прогноза неперiodических колебаний уровня моря в нашей стране, который до сих пор используется, был разработан Т.П. Марютиным. Он основан на учете эффективных градиентов атмосферного давления. Позже этот метод был развит В.П. Поповым применительно к любым метеорологическим ситуациям.

С учетом региональных закономерностей изменчивости уровня моря и определяющих их синоптических процессов Н.В. Мустафин разработал метод суточных прогнозов уровня для морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. При построении прогностических зависимостей стал учитываться ветер, заблаговременность увеличилась до 36 ч.

В прошлом было выполнено множество аналитических исследований штормовых нагонов. Для данных исследований применялись одномерные и двухмерные модели.

Также широкое распространение в прошлом имели эмпирические методы предсказания штормовых нагонов: методы корреляции и метод



влияния. Методы корреляции основывались, главным образом, на корреляции между уровнем и некоторыми метеорологическими параметрами. Этот метод основан на стационарности процесса. Подобный корреляционный метод был применен Миллером (1957) для предсказания уровня моря в Атлантик-Сити. Миллер, однако, добавил запаздывание хода уровня на 12 часов по сравнению с ветром, и, таким образом, учел нестационарность.

Начиная с 2000 года, прогноз наводнений в Невской губе осуществляется при помощи гидродинамической модели Балтийского моря (BSM), автором которой является доктор физ.-мат. наук К.А. Клеванный. В течение десяти прошедших лет данная модель развивалась и совершенствовалась, сегодня функционирует седьмая модель. Благодаря внедрению модели заблаговременность Невских наводнений увеличилась до 48 часов, хотя уверенный прогноз пока все равно не превышает 6 часов.

Помимо заблаговременного прогноза наводнения, не менее важной проблемой является минимизация ущерба от стихийного бедствия. Для этого необходимо использовать системный подход, используемый при осуществлении процедур и практических мероприятий по предупреждению или уменьшению бедствий, представляющих опасность для населения, экономики. При этом анализ риска является частью этого системного подхода. Степень риска рассматривается как сочетание частоты или вероятности и последствий определенного опасного события. Как правило, понятие риска связывают с возможностью наступления сравнительно редких событий.

Риск сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и объем негативных последствий этого события. Используется несколько методов оценки и прогнозирования риска. На статистических расчетах базируются оценки вероятности риска, осуществляемые с помощью вероятностных методов, базирующихся на теории принятия решений (теории игр). Наиболее распространенной может считаться методика экспертных оценок. Достаточно популярны в практической деятельности балльные оценки риска. В представленных моделях не используются пространственные аспекты геосистемы, что существенно снижает эффективность их использования.

Во **второй главе** «Стохастическая модель геосистемы» рассматриваются задачи и методы геоинформационного моделирования и прогнозирования.

Рассматривается структура и технология геоинформационных систем. В соответствии с разнообразием конкретного назначения геоинформационных управляющих систем разнообразны и решаемые ими задачи.

Разработана **методика оценки рисков в геосистемах.**

Методика включает в себя несколько этапов расчета:

1) Расчет статистических показателей исследуемого процесса -  $X(t)$  (математическое ожидание, дисперсия, автокорреляционная функция и др.);

2) Оценку границ ( $\bar{Q}^*$ - верхняя,  $\bar{Q}_*$ - нижняя) вероятности превышения процессом уровня ординара по формулам:

$$\bar{Q}^* = \left( 1 / \sqrt{2\pi(1-r^2(0,t_3)) \int_0^{t_3} \omega(t/x_0) dt} \right) \quad (1)$$

$$\bar{Q}_* = \left( 1 - \left[ \Phi \left( \frac{b - m_x - r_x(0,t_3) \cdot [x_0 - m_x]}{\sigma_x \sqrt{1-r_x^2(0,t_3)}} \right) - \Phi \left( \frac{-m_x - r_x(0,t_3) \cdot [x_0 - m_x]}{\sigma_x \sqrt{1-r_x^2(0,t_3)}} \right) \right] \right) \quad (2)$$

где:

$m_x$  – математическое ожидание случайного процесса;

$\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение;

$r_x(0,t_3)$  – автокорреляционная функция;

$\omega(t/x_0)$  – плотность распределения времени невыхода процесса за пределы установленных границ  $\alpha(t)$  и  $\beta(t)$ . (При анализе данных по р. Нева использовалось:  $\alpha(t) \equiv 0$ ,  $\beta(t) \equiv C$ ).

$$\omega(t/x_0) = [\gamma'(t) + \rho'(t) \cdot \gamma(t)] \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\gamma^2(t)\right\} - [\eta'(t) + \rho'(t) \cdot \eta(t)] \cdot \exp\left\{\frac{1}{2}\eta^2(t)\right\};$$

$$\gamma(t) = \alpha(t) - r(0,t_3) \cdot [x_0 - m_x] / \sigma_x; \quad \rho(t, t + \tau) = 1/r(t, t + \tau);$$

$$\eta(t) = \beta(t) - r(0,t_3) \cdot [x_0 - m_x] / \sigma_x; \quad \rho'(t) = \frac{d}{d\tau} \rho(t, t + \tau) |_{\tau=0}.$$

3) Расчет коэффициента ущерба по формуле:

$$k_u = \frac{\bar{T} \cdot \bar{X}_m}{T_{mm} \cdot X_{mm}} \quad (3)$$

При расчете коэффициента ущерба (3) используется аппроксимация реальных процессов линейными функциями, т.е. оценивается отношение прогнозируемой конкретной реализации процесса к известному интегральному уровню, что показано на рис. 2 и рис. 3, где  $C$  – допустимый уровень. Значение  $X(t)$  выше уровня  $C$  является наводнением.

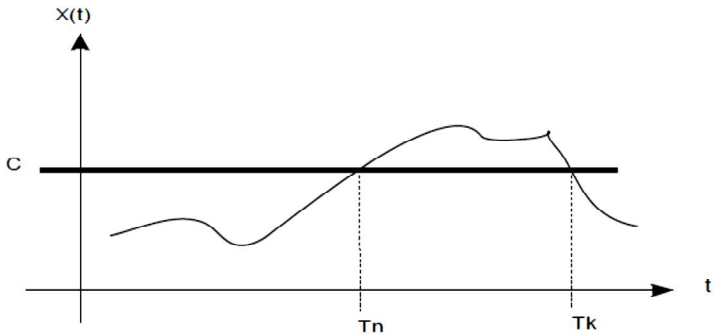


Рис. 2. Начало и окончание наводнения

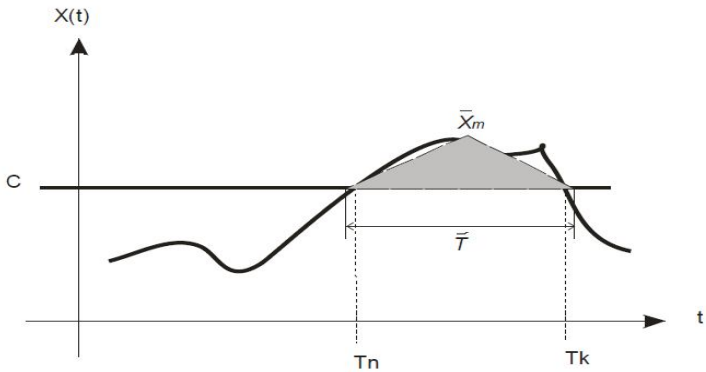


Рис. 3. Оценка интеграла  $\bar{I}$ .

Обозначим:

$$I = \int_{T_n}^{T_k} (X(t) - c) dt$$

Где  $I$  - показатель ущерба;

$T_n$  - начало наводнения;

$T_k$  - окончание наводнения;

$I_{max}$  – максимальный показатель ущерба.

Тогда  $k_u$  - коэффициент ущерба будет:

$$k_u = \frac{I}{I_{max}}, \quad (4)$$

В качестве оценки для (4) в методике используется оценка в соответствии с выражением (3).

4) Расчет ущерба производится по формуле:

$$R = Q * k_u \quad (5)$$

В результате расчетов с учетом выражений (1) и (2) получим две оценки риска: верхнюю и нижнюю границы, соответственно  $R^*$  и  $R_*$ .

В качестве риска используется безразмерная (относительная) величина, т.к. коэффициент ущерба является также относительной величиной, лежащей в пределах от 0 до 1.

При известном максимальном ущербе  $W_{mm}$  возможно получить в качестве ущерба оценки с учетом фактического ущерба по формуле:

$$R_w = Q * k_u * W_{mm} \quad (6)$$

**Научная новизна методики заключается в том,** что предлагается новый подход для оценки ущерба с использованием коэффициента ущерба, а расчет рисков осуществляется при условии, что известны параметры состояния геосистемы на текущий момент времени, а оценка осуществляется на рекомендованный (заданный момент времени). Для расчета достаточно знать только один параметр – текущее значение параметра.

В **третьей главе** «Имитационное моделирование стохастической геoinформационной ситуации» говорится о способах проверки статистических гипотез и описывается построение информационной системы обработки геoinформации.

Проводится анализ статистических данных. Описываются случайные функции и случайные процессы. Дается определение нестационарных и стационарных случайных процессов применительно к исследуемой модели.

Далее рассматривается проблема выбора модели исследования. Приводится определение модели, виды моделей, классификация процесса моделирования.

Показано, что применение математического моделирования позволяет исследовать объекты, реальные эксперименты над которыми затруднены или невозможны (дорого, опасно для здоровья, однократные процессы, невозможны из-за физических или временных ограничений – находятся далеко, еще или уже не существуют и т.п.).

Была разработана математическая вероятностная модель оценки параметров состояния в геосистемах природного характера при известных параметрах на текущий момент времени, которая предназначена для выявления статистических закономерностей процесса изменения состояния этой системы и оценки их вероятностных характеристик, представленная в виде блок-схемы на рис. 4.



Рис. 4. Модель оценки состояния водной среды при известных параметрах на текущий момент времени

Входные параметры модели:

1.  $\Theta$  - вектор параметров, определяющих состояние геосистемы.
2.  $F(\theta, t)$  - случайная функция, являющаяся функцией времени  $t$  и параметров  $\theta$ .
3.  $t_3$  — заданное время оценки состояния геосистемы.
4.  $x_0$  — фактическое значение параметра ( $X(t_0)=x_0$ ).

Выходные параметры модели:

5.  $P(t_3/x_0)$  - вероятность не превышения процессом  $X(t)$  заданного уровня  $C$ ,

$$P(t_3/x_0) = P(X(t) < C, \forall t \in [t_0, t_3] / X(t_0) = x_0).$$

6.  $\bar{T}$  – среднее время экстремального события в геосистеме (математическое ожидание времени нахождения случайного процесса  $X(t)$  выше уровня  $C$ ).

Первый блок служит для распознавания вида случайного процесса  $X(t)$ , описывающего поведение исследуемого параметра геосистемы.

По результатам обработки имеющихся данных (свыше 5000 значений) случайный процесс может быть описан как гауссовский случайный процесс, функциями распределения которого являются нормальные распределения с соответствующими характеристиками (математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, автокорреляционная функция).

В блоке расчет характеристик процесса, по имеющимся статистическим данным, осуществляется расчет математического ожидания  $m_x(t)$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma_x(t)$  и автокорреляционной функции  $r_x(\tau)$ , которые в дальнейшем будут использованы для вероятностного анализа состояния геосистемы, что представлено для данных замеров уровня воды в районе «Горного» и «Кронштадта» на рисунках 5(1,2,3) и 6(1,2,3).

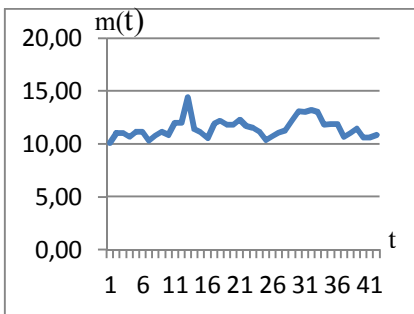


Рис. 5. (1) Математическое ожидание «Кронштадт» [ $m \cdot 10^{-2}$  м]

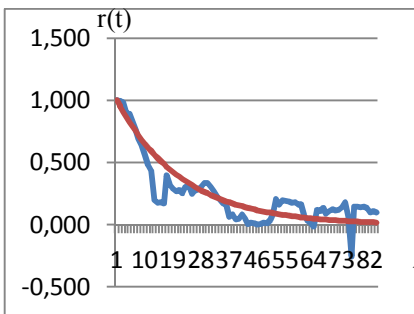


Рис. 5. (2) Автокорреляционная функция «Кронштадт»

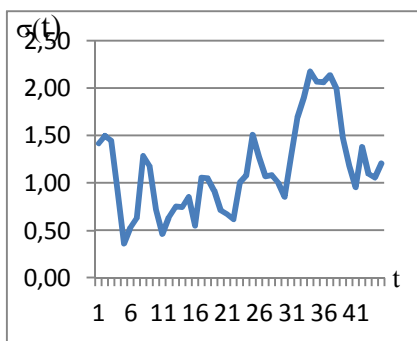


Рис. 5. (3) Среднеквадратическое отклонение «Кронштадт» [ $\sigma \cdot 10^{-2}$  м]

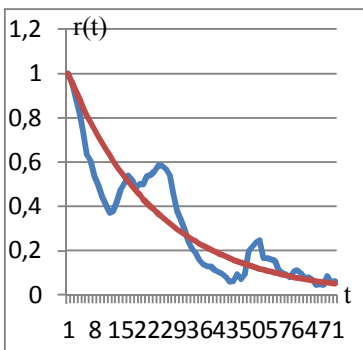


Рис. 6. (1) Автокорреляционная функция «Горный»

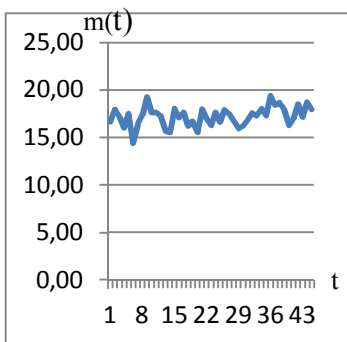


Рис. 6. (2) Математическое ожидание «Горный» [ $m \cdot 10^{-2}$  м]

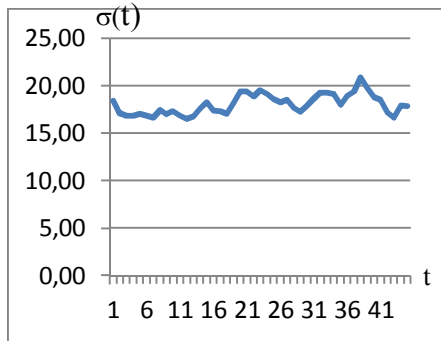


Рис. 6. (3) Среднеквадратическое отклонение «Горный» [ $\text{б} \cdot 10^{-2}$  м]

Расчетные данные автокорреляционной функции были аппроксимированы функцией вида:

$$r_x(\tau) = e^{\beta|\tau|} \quad (7)$$

Блок оценки трендов использует критерий Фореста-Стюарта, который позволяет проверить статистическую гипотезу о наличии тренда как в математическом ожидании, так и в дисперсии случайного процесса.

В случае наличия тренда осуществляется его сглаживание. Для этих целей используется метод скользящих средних.

По результатам фактических расчетов было установлено отсутствие трендов у математического ожидания и среднеквадратического отклонения.

Данные фактических расчетов, используемых в модели, представлены в таблицах (1, 2):

Табл. 1 Показатели «Горный»  
«Кронштадт»

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
МАТ.ОЖ.	$19,368 \times 10^{-2}$ [м]
ДИСПЕРСИЯ	$323,989 \times 10^{-4}$ [м <sup>2</sup> ]
СР.КВ.ОТКЛ.	$18,000 \times 10^{-2}$ [м]
$\beta =$	-0,0417

Табл. 2 Показатели

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
МАТ.ОЖ.	$1,9964 \times 10^{-2}$ [м]
ДИСПЕРСИЯ	$227,3766 \times 10^{-4}$ [м <sup>2</sup> ]
СР.КВ.ОТКЛ.	$15,0790 \times 10^{-2}$ [м]
$\beta =$	-0,0476

В последнем блоке осуществляется расчет вероятностных характеристик процесса  $X(t)$  по следующим формулам:



а) оценивается верхняя и нижняя границы возможных значений для  $P(t_3/x_0)$ , как:

$$P^*(t_3/x_0) = \min_{\theta \in [0, t_3]} \int_{D(\theta)} dF_1 y/x_0, \quad (8)$$

где

$$F_1(y/x_0) = P\{X(\theta) \leq y / X(0) = x_0\}$$

$$P_*(t_3/x_0) = 1 - \lim_{\tau \rightarrow 0} 1/\tau \left\{ \int_0^{t_3} \omega_1(t\tau/x_0) dt - \sum_{i=2}^{s-1} \int_0^{t_3} \omega_i(t\tau/x_0) dt \right\}, \quad (9)$$

где

$$\omega_1(t, \tau/x_0) = P\{X(t) \in D(t), X(t+\tau) \in D(t+\tau) / X(0) = x_0\}$$

$$\omega_i(t, \tau/x_0) = P\{X(t) \in D(t), X(t+\tau) \in D(t+\tau), \dots, X(t+i\tau) \in D(t+i\tau) / X(0) = x_0\}$$

$D(t)$  – область некритичных значений для процесса  $X(t)$ .

б) оценивается верхняя и нижняя границы возможных значений для  $\bar{T}$ .

Имея в распоряжении всего одну характеристику состояния водной среды, а именно – уровень воды на момент времени -  $t_0$ , предлагаемая модель позволяет сделать оценку риска возможного наводнения и продолжительности этого наводнения на момент времени -  $t_3$ .

**Новизна модели заключается в том**, что для анализа состояния параметров геосистемы в заданный момент времени используются вероятностные характеристики случайного процесса, которым описано поведение параметров этой системы, основанные на знании текущего состояния этих параметров.

Данная модель может быть использована для оценок рисков нагонных наводнений и других стихийных бедствий.

В последнем разделе главы описывается структура **информационной системы обработки геоинформационных данных для оценки рисков наводнения** (рис. 7).

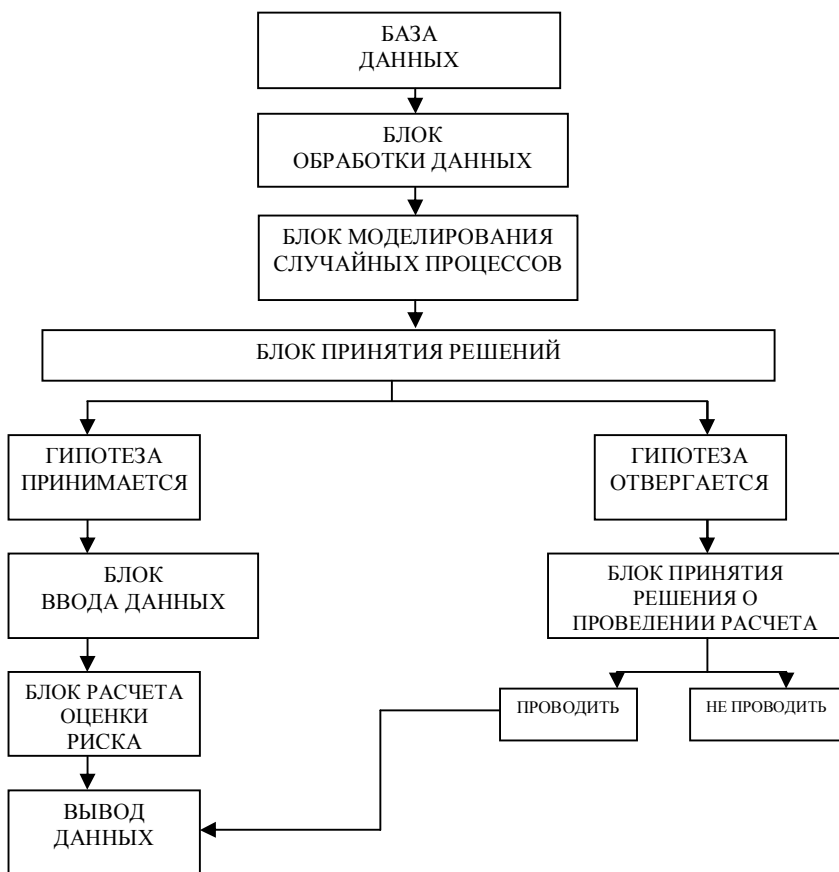


Рис 7. Информационная система обработки геоданных

В систему входит:

1. **База данных.** Накапливается информация о замерах в 2-х точках – Горный и Кронштадт ( $x_t$  – уровень воды и  $t$  – время замера).

2. **Блок обработки данных.** Рассчитываются характеристики случайного процесса ( $x_{(t)}$ ): мат. ожидание, среднеквадратическое отклонение, автокорреляционная функция. Проверяется гипотеза о стационарности данного процесса по ниже представленному алгоритму (рис. 8).

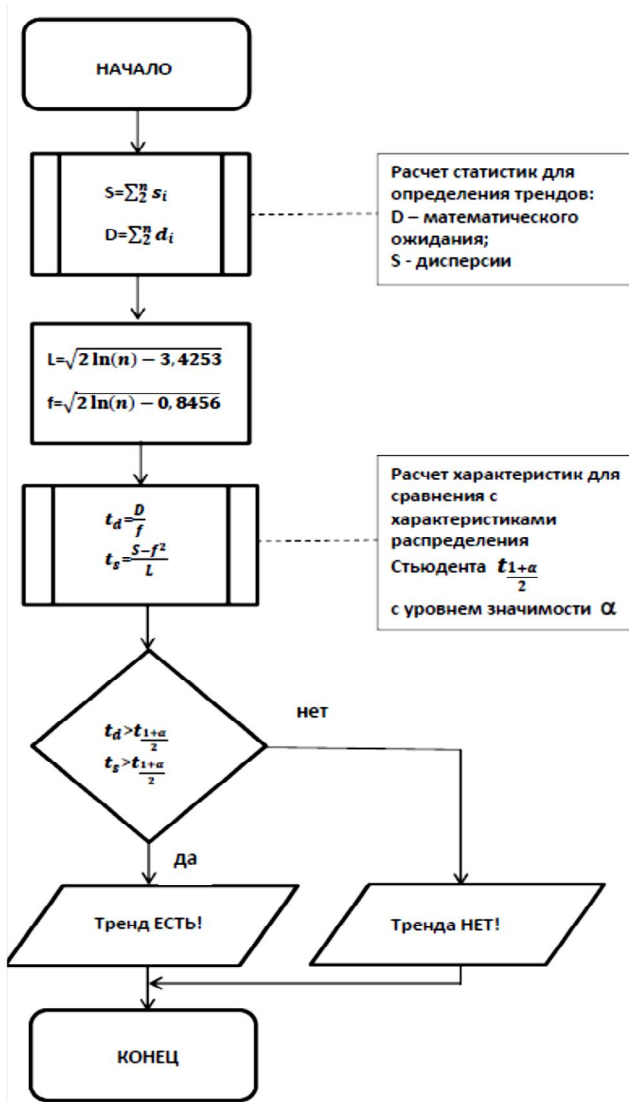


Рис. 8. Алгоритм оценки трендов математического ожидания и дисперсии процессов по критерию Фостера-Стюарта

### 3. Блок моделирования случайного процесса.

Моделирование осуществляется методом канонического разложения.

Каноническое разложение стационарной случайной функции имеет вид:

$$X(t) = m_x + \sum_{i=1}^{\infty} [U_i \cos(\omega_i t) + V_i \sin(\omega_i t)] \quad (10)$$

Где:

$U_i$  и  $V_i$  - центрированные некоррелированные случайные величины с попарно равными дисперсиями  $D(U_i) = D(V_i) = D_i$ .

В нашей модели корреляционная функция может быть аппроксимирована экспонентой функцией (7).

Каноническое разложение для нашей модели примет вид

$$X(t) = m_x + \sum_0^{\infty} [U_i \cos(i\pi t / \tau_k) + V_i \sin(i\pi t / \tau_k)] \quad (11)$$

4. **Блок принятия решения.** На основании модельных и реальных данных принимается решение о дальнейшем проведении расчетов. Решение принимается на основании принятия или отвержения гипотезы о соответствии реальных и модельных данных одной генеральной совокупности данных (критерий Фостера-Стюарта)

5. **Блок ввода данных.** Осуществляется ввод глубины прогноза  $t_3$  и значения уровня воды в настоящий момент времени  $x_0$ .

6. **Блок расчета оценки риска.** Осуществляется по формулам (5, 6).

*Научная новизна информационной системы состоит в том*, что анализ поступающих данных и оценка соответствия их выбранной модели осуществляется с использованием методов проверки статистических гипотез на наличие трендов у первых моментов, а также проверки моделируемых и текущих данных на принадлежность их одной генеральной совокупности с дальнейшей обработкой данных и получения искомых прогнозируемых характеристик (параметров) состояния водной среды при условии знания о текущем (на момент прогноза) уровне воды. Эта информационная система существенно отличается от имеющихся тем,

что в основе моделирования лежат не физические, а математические вероятностные модели.

**Адекватность разработанной модели** проверялась на фактических данных замеров уровня воды в двух точках. Расчеты производились информационной системой с использованием критерия Фостера-Стюарта. В результате было показано, что выбранная модель соответствует реальным данным и может быть использовано для оценки рисков наводнений в Санкт-Петербурге.

### **Основные результаты и выводы**

1. Изучены различные методы описания и прогнозирования нагонных наводнений. Существующие в настоящее время методы прогнозирования нагонных наводнений основаны, в основном, на физических моделях. На основе проведенного анализа показано, что использование стохастической модели позволяет повысить эффективность анализа состояния геосистемы.

2. Разработана модель оценки состояния параметров геосистемы, позволяющая осуществлять оценку состояния среды по значению текущих параметров. Данная модель предполагает возможность использования постоянно обновляемых статистических данных.

3. Разработана методика оценки рисков в геосистемах. В частности, получены верхняя и нижняя границы при известных начальных условиях исследуемого процесса, дающие ошибку в пределах 10% на достаточно большом интервале прогнозирования.

4. Разработана модель расчета величины ущерба от наводнений, которая предполагает, что оценки среднего максимального значения подъема воды и среднего значения продолжительности наводнения известны. Для оценки этих параметров могут быть использованы как физические, так и стохастические модели. Введено понятие «коэффициент ущерба», который является отношением прогнозируемого показателя ущерба к максимальному показателю ущерба и может принимать значения от 0 до 1.

5. Получена модель оценки риска на основе стохастического процесса, которые в дальнейшем можно моделировать с помощью компьютерного или математического моделирования.

6. Разработана информационная система обработки геоинформационных данных для оценки рисков наводнения.

**Практическая и научная значимость работы** заключается в том, что решена научно-техническая задача, имеющая существенное значение

для геомоделирования и системного анализа многоуровневой и разнородной информации: исследована возможность применения стохастических моделей оценки рисков в геосистемах и разработана информационная система обработки геоданных и оценки георисков, что соответствует п.п. 3, 6 области исследования паспорта специальности 25.00.35 «Геоинформатика».

По теме диссертации опубликованы **следующие работы:**

**в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. Оценка риска экстремальных гидрометеорологических явлений. – Ученые записки РГГМУ, выпуск 16, РГГМУ, 2010.

2. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. Применение стохастических моделей для прогнозирования рисков в геосистемах. – Ученые записки РГГМУ, выпуск 17, РГГМУ, 2011.

3. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. О некоторых вопросах моделирования поведения ГИС – Ученые записки РГГМУ, выпуск 18, РГГМУ, 2011.

4. Истомин Е.П., Слесарева Л.С., Соколов А.Г., Зоринова Е.М. Управление рекреационным потенциалом приморской территории с учетом природных рисков. – Ученые записки РГГМУ, выпуск 26, РГГМУ, 2012.

5. Истомин Е.П., Соколов А.Г., Зоринова Е.М., Слесарева Л.С.

Геоинформационные аспекты управления рисками устойчивого развития приморской рекреационной территории. Известия ЮФУ. Технические науки. №9 (146). 2013 г.

**другие публикации:**

6. Слесарева Л.С. О некоторых вопросах прогнозирования нагонных наводнений. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. Сб.науч.тр./Вып. 1(6) СПб: Андреевский издательский дом – 2008.

7. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. Анализ экономических аспектов прогнозирования состояния водной среды в прибрежных зонах. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. Сб.науч.тр./Вып. 7(7) СПб: Андреевский издательский дом – 2010.

8. Слесарева Л.С. Анализ экономических аспектов прогнозирования рисков катастрофических наводнений. / III Международная конференция «Инновационное развитие российской экономики»: сборник докладов. – Москва (МЭСИ), 9-10 декабря 2010 г.

9. Слесарева Л.С. Прогнозирование ущерба от наводнения. / XI международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии»: сборник докладов, г. Воронеж, 10-11 февраля 2011 г.

10. Истомин Е.П., Колбина О.Н., Петров Я.А., Слесарева Л.С. Информационная система прогноза рисков наводнений в Санкт-Петербурге. Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право: Сб. науч. тр./Вып. 1 (10)/ – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом» - 2013 г., стр. 33-38.

11. Истомин Е.П., Колбина О.Н., Слесарева Л.С. Программа расчета георисков и вероятности появления нагнонного наводнения. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №19308 от 24.09.2013 г.

---

Подписано в печать 15.10.2013 г. Формат 60\*84 1/16

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,5

Тираж 100 экз. Заказ 21

---

Отпечатано с готового оригинал-макета

Издательство РГТМУ

195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр-т, д. 98