

На правах рукописи

Шишкин Илья Александрович

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 25.00.35 — Геоинформатика

Санкт-Петербург – 2014

Работа выполнена на кафедре «Информационно-измерительные системы и технологии» ГОУ ВПО Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Алексеев Владимир Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Водохозяйственного и гидротехнического строительства» инженерно-строительного института Санкт-Петербургского Государственного Политехнического университета
Арефьев Николай Викторович

кандидат технических наук, старший преподаватель
кафедры «Картографии и геоинформатики» Санкт-Петербургского Государственного Университета
Паниди Евгений Александрович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

Защита состоится _____ 2014 в 15.30 часов на заседании диссертационного совета: Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, аудитория. 102.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета

Автореферат разослан _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.197.03
доктор географических наук, доцент

Попова Е. С.

Общая характеристика работы

Актуальность. Одной из важнейших задач развивающихся территорий, особенно в районе крупных городов, является создание и поддержание заданного водного режима, обеспечение нормативного водного баланса в различных ситуациях, в условиях природных и техногенных воздействий. Данную задачу предназначены решать инженерные сооружения (ИС) системы защиты территории от подтопления (СЗТП). В развивающихся промышленных районах, особенно в районе крупных городов изменяется уровень урбанизации территории. Сельскохозяйственные территории занимают промышленными предприятиями, жилыми массивами, техническими и другими сооружениями. При этом принципы построения и функционирования ИС СЗТП меняются в значительной степени. Особенно важным является сохранение режимов работы существующей СЗТП сельскохозяйственной территории, когда в нее внедряется городская или производственная технология регулирования водного баланса. Поэтому создание системы мониторинга и оценки состояния ИС СЗТП, контролирующей и сопровождающей все работы жизненного цикла таких сооружений, системы поддержки управленческих решений является актуальным.

Географические информационные системы (ГИС) являются эффективным средством решения указанных проблем. Использование географических информационных систем, как систем предназначенных для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных, обеспечивает эффективное решение задач поддержки принятия управляющих решений. ГИС технологии являются удобным инструментом при решении задач районирования территорий, оценки состояния территории, описания системы водопользования и водного баланса территории, описания ее свойств в зависимости от целевого назначения и применения. ГИС имеют развитые средства, позволяющие формировать модель СЗТП, описывающую ее структуру, входящие в ее состав ИС, описывать их характеристики в виде геоданных, определять по результатам контроля оценки состояния ИС, которые могут являться многопараметрическими сложными характеристиками, а также осуществлять прогнозирование изменения их состояния на основании сформированных моделей. Использование основных преимуществ ГИС – автоматизация обработки, анализа и представления данных, обеспечивает возможность построения эффективной системы поддержки принятия управленческих решений.

Целью данной работы является разработка алгоритмического обеспечения и методик формирования ГИС-проектов, обеспечивающих автоматизированное получение оценок состояния территорий и инженерных сооружений (ИС) системы

защиты территорий от подтопления (СЗТП) на основе данных контроля и инвентаризационных обследований.

Для достижения поставленной цели автором решались следующие **задачи**:

1. Анализ возможностей представления структуры СЗТП в ГИС-технологии, с целью обеспечения автоматического определения и анализа их характеристик.

2. Создание модели представления результатов инвентаризации для получения оценок состояния ИС СЗТП, включающей результаты контроля и значение неопределенности, координаты точки контроля в пространстве и времени, расчетную и контрольно-методическую информацию, и обеспечивающей получение достоверных результатов анализа в автоматическом режиме.

3. Разработка алгоритма формирования простых и сложных оценок по результатам измерений и экспертных оценок, методики формирования комплексной оценки на основе ГИС.

4. Разработка методики проведения районирования по естественным, административным и расчетным характеристикам на ГИС основе, позволяющей автоматизировать определение состояния территорий и степени опасности от подтопления.

5. Разработка методики ранжирования ИС СЗТП по степени опасности, возможному нанесенному ущербу от затопления территорий.

6. Разработка методики поддержки принятия управленческих решений, наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений.

7. Разработка методики формирования геоинформационных проектов оценки состояния ИС СЗТП, ранжирования ИС СЗТП по степени опасности, поддержки принятия управленческих решений.

Объект исследований. Географические информационные системы оценки состояния ИС СЗТП и поддержки принятия управленческих решений и их алгоритмическое обеспечение.

Предмет исследований. Развивающиеся территориальные системы и ИС СЗТП.

Методы исследования. При решении поставленных задач применялись методы теории вероятностей, статистические методы обработки данных, математические методы аппроксимации и методы метрологического анализа, методы геоинформационного моделирования.

Научная новизна определяется тем, что впервые разработано алгоритмическое обеспечение и методики формирования ГИС-проектов на основе нормированных шкал для получения оценок состояния ИС СЗТП и поддержки принятия

управленческих решений, которые являются основой **положений выносимых на защиту**:

- методика проведения районирования по естественным, расчетным и реальным характеристикам на ГИС основе, позволяющая автоматизировать определение состояния территорий и степени опасности от подтопления;

- методика формирования структуры ИС СЗТП в виде дерева или сети, имеющих однозначное описание в ГИС-технологии, учитывающая организацию баз геоданных и обеспечивающая автоматизацию проведения анализа их характеристик;

- алгоритм формирования простых и сложных оценок по результатам измерений и экспертных оценок, состояния территории и инженерных сооружений на основе ГИС, удовлетворяющий требованиям единства измерений и обеспечивающий автоматизированное решение поставленной задачи;

- методики формирования геоинформационных проектов, обеспечивающих получение оценок состояния ИС СЗТП и их ранжирование по степени опасности в автоматическом режиме.

Практическая значимость. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при разработке:

- методики ранжирования ИС СЗТП по степени опасности, возможному нанесенному ущербу от подтопления территорий;

- методика поддержки принятия управленческих решений, наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений;

- геоинформационных проектов оценки состояния ИС СЗТП, оценки риска и возможного нанесенного ущерба от подтопления территории, ранжирования ИС СЗТП по степени опасности, поддержки принятия управленческих решений.

Внедрение и реализация результатов работы. Достоверность и обоснованность научных и практических положений и рекомендаций подтверждены результатами геоинформационного моделирования и экспериментальных исследований, а также полученными оценками состояния ИС СЗТП и результатами внедрения.

Результаты диссертационного исследования использованы при разработке методологии формирования оценок состояния природных и технических объектов при выполнении НИР 2011-2012 гг, при обучении магистров в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» по дисциплине «Обработка пространственных данных», в научной и практической деятельности в Санкт-Петербургском государственном казенном учреждении «Мелиоративная система Санкт-Петербурга», ГУП «Экострой» и ГУП «Ленводхоз», что подтверждено актами внедрения.

Апробация работы.

На практической конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий» (СПб, 2003 г), Международной межотраслевой конференции «Организация системы управления природными ресурсами и повышением эффективности экологической безопасности (СПб, 2004г), Научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий» (СПб, 2006г.), Научно-практической конференции «Молодые ученые университета – ЛПК России» (СПб, 2006г.), Научно-практической конференции «Наукоёмкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий» (СПб, 2008г.), XVI межотраслевой международной конференции «Допустимое воздействие на окружающую среду и совершенствование системы экологической безопасности» (СПб, 2008г.), IV Международный конгресс «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов» (СПб, 2011г.), Международном и межрегиональном Биос форуме (СПб. 2012г), МНТК «Наукоёмкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий» (СПб, 2011-2013 гг.).

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 38 работ, в том числе 3 статьи в ведущих журналах и изданиях, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Все результаты, представленные в работе, получены соискателем лично, либо в соавторстве при его непосредственном участии.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы, включающего 129 наименований, а так же приложений. Основная часть работы изложена на 137 страницах машинописного текста. Работа содержит 44 рисунка и 32 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 проблемы оценки состояния и управления СЗТП, средств их представления и описания в ГИС-технологии» рассматриваются вопросы оценки состояния территорий и ИС и управления СЗТП, представления территорий и технических сооружений в виде ГИС-объектов.

На рисунке 1 представлена структура геоинформационной системы оценки состояния ИС СЗТП, на которой перечислены решаемые задачи их взаимодействие в процессе решения рассматриваемой проблемы.



Рисунок 1. Структура геоинформационной системы оценки состояния ИС СЗТП.

Выделены основные принципы районирования территорий: по существующему водосбору (природной системы водосбора), по принадлежности (ответственного пользователя), по степени урбанизации (риска от подтопления). Так как анализируемая территориальная система (ТС) может находиться как в пределах одной системы водосбора, так и нескольких, она может быть представлена в виде совокупности одной или нескольких географических территориальных систем:

$$G^* = \{k_1G_1, k_2G_2, \dots, k_iG_i, \dots\}, \quad (1)$$

где G^* – анализируемая ТС, G_i – естественные географические системы водосбора (ГеТС), $i \geq 1$, коэффициент k_i отражает тот факт, что ТС G^* размещается на части ГеТС G_i , $k_i \leq 1$.

Аналогично исследуемая ТС может быть представлена как совокупность административных подсистем или подсистем по принадлежности.

Районирование по степени риска от подтопления (уровню урбанизации) направлено на представление ТС как совокупности более мелких подсистем (g_k): $G^* = \{g_1, g_2, \dots, g_k, \dots\}$. Для каждой подсистемы с большой достоверностью может быть определена степень урбанизации ω_k .

В этом случае для каждой выделенной подсистемы в соответствии с ее целевой функцией может быть произведен расчет требуемых характеристик системы

водоотвода $g_k = \{\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \dots, \omega_{km}\}$ и получена обобщенная характеристика $\Omega_{gk} = \text{SUM}_m \{\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \dots, \omega_{km}\}$, где SUM_k – оператор суммирования отдельных характеристик составляющих подсистем ТС: $\omega_{k1}, \omega_{k2}, \omega_{k3}, \dots, \omega_{km}$. Для каждой подсистемы можно, с большой достоверностью, определить ее класс $g_k = \{\omega'_k\}$. Вся система может быть представлена как совокупность выделенных подсистем.

В работе разрабатывается принцип представления СЗТП в виде объектов ГИС. СЗТП включает в себя ряд ИС, каждое из которых выполняет определенные функции и может быть охарактеризовано некоторым множеством параметров (технических и технологических требований к его функционированию). В состав СЗТП входят мелиоративная сеть, каналы, колодцы, трубопереезды и др., которые организуют определенную схему сбора и отведения воды с анализируемой территории и описывается своими характеристиками.

На основании анализа свойств основных составляющих структуры СЗТП, определен принцип ее представления удобный для анализа в геоинформационной технологии. Определены древовидная и сетевая структуры. На рисунке 2 приведен пример древовидной структуры СЗТП.

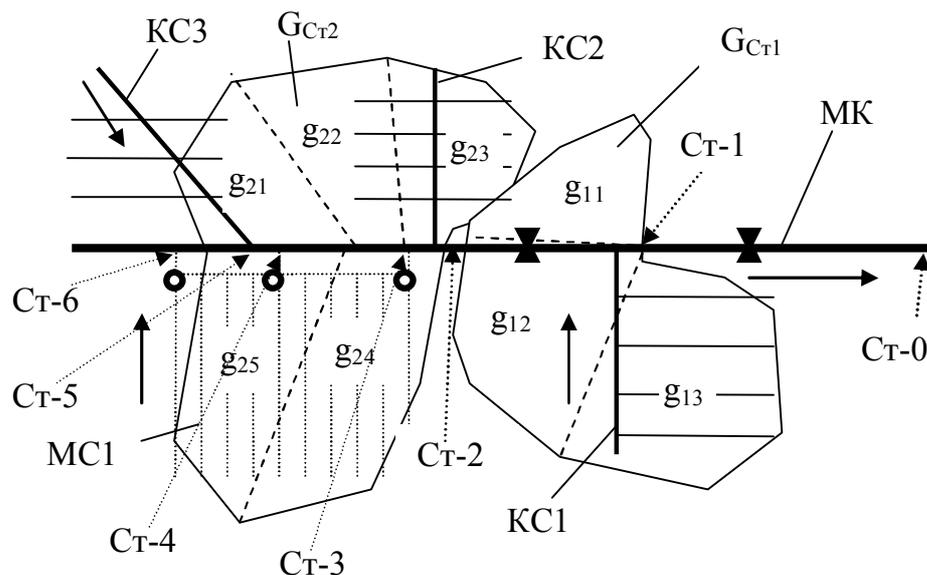


Рисунок 2. Древовидная структура СЗТП

На рисунке 2 устье магистрального канала (МК) представлено как створ Ст-0. Створы магистрального канала МК, на которых в канал впадают (расположены устья) средние каналы (канал средний – КС) соответственно КС1 (Ст-1), КС2(Ст-2) , КС3 (Ст-5). Устья каналов мелиоративной системы МС1 (Ст-3, Ст-4, Ст-6).

При описании состояния канала используются как расчетные значения характеристик, так и значения, полученные в результате измерений или экспертных оценок, полученные в процессе обследований во время проведения

инвентаризационных работ. В табл. 1. приведен пример описания структуры, показанной на рисунке 2. В таблице «Ст.П.КС1» означает: на уровне данного створа на правом берегу МК находится устье канала КС1, «Ст.Л.КС2» означает: на уровне данного створа на левом берегу МК находится устье канала КС2 и т.д.

Для каждого створа на ГИС основе определены: условия формирования стока, требуемая (расчетная) пропускная способность в контрольных створах, мостовых и трубопереездах.

Оценка состояния канала в каждом створе производится на основании сравнения расчетных параметров и текущих значений параметров, полученных в результате измерений и обследований.

Таблица 1

Наименование канала: МК.					
Номер створа, Ст.-№	Обозначение	Расстояние до устья, м	Ширина проектная/реальная, м	Глубина проектная/реальная, м	Оценка состояния, балл
0	Ст.0.КМ1	0	5/5	2/2	100
1	Ст.П.КС1	800	5/4.5	2/1.2	60
2	Ст.Л.КС2	1200	5/4.5	2/1.2	60
3	Ст.П.МС1-1	1300	5/5	2/2	100
4	Ст.П.МС1-2	1600	5/5	2/2	100
5	Ст.Л.КС3	1700	5/4.0	2/1.0	50
6	Ст.П.МС1-3	1900	5/4.5	2/1.2	60
7	Ст.П.КМ1	2100	5/4.5	2/1.2	60

Во второй главе «Разработка алгоритмов формирования оценок состояния территорий и инженерных сооружений» рассмотрены алгоритмы получения простых и сложных оценок на базе нормированных шкал на ГИС основе. Показано, что одним из основных показателей ТС является *водный баланс*, который определяет условия существования и развития системы. Выделены основные характеристики водного баланса территории: естественные, проектные, реальные.

Основными характеристиками ТС являются: площадь водосбора $\omega_1 = S, \text{ м}^2$; количество осадков $\omega_2 = +V, \text{ мм в год}$; количество испарений $\omega_3 = -V, \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ в год}$; естественный отвод воды $\omega_4 = -V, \text{ м}^3/\text{год}$; искусственный отвод воды $\omega_5 = -V, \text{ м}^3/\text{год}$; характеристика состояния территории ω_6 : ω_{61} – осушено $S, \text{ м}^2$; ω_{62} – подтоплено $S, \text{ м}^2$; ω_{63} – заболочено $S, \text{ м}^2$; ω_{64} – поле $S, \text{ м}^2$; ω_{65} – кустарники $S, \text{ м}^2$; ω_{66} – лес $S, \text{ м}^2$; ω_{67} – асфальтобетонное покрытие $S, \text{ м}^2$.

Таким образом, каждая ТС характеризуется множеством параметров

$$G_n = \{\omega_{n1}, \omega_{n2}, \omega_{n3}, \dots, \omega_{nm}\},$$

где n – номер естественной ТС, m – номер параметра (характеристики ТС).

В этом случае характеристика анализируемой ТС G^* будет описываться как $G^* = \{k_1 G_1 = \{\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \dots, \omega_{1m}\}, k_2 G_2 = \{\omega_{21}, \omega_{22}, \omega_{23}, \dots, \omega_{2m}\}, k_3 G_3 = \{\omega_{31}, \omega_{32}, \omega_{33}, \dots, \omega_{3m}\}, \dots\}$ в соответствии с (1).

Проектные характеристики определяются исходя из целей использования анализируемой ТС, перспектив развития ТС. К ним отнесены: уровень урбанизации территории $\omega_7 = S_y/S_{G^*}$ и уровень подтопления $\omega_8 = h_{нт}$, м.

Реальные характеристики устанавливаются в результате обследования территории специалистами-экспертами. Они направлены на оценивание состояния территории и как следствие состояния СЗТП.

Оценка состояния территории ω_6^* формируется на базе измерений и экспертных оценок (обследований); оценка уровня урбанизации территории ω_7^* , определяется с помощью экспертных оценок и результатов измерений в ГИС после нанесения информации на карту; оценка уровня подтопления определяется для каждого класса территории ω_8^* : ω_{81}^* – значительно ниже (ЗН) нормы h , м; ω_{82}^* – ниже нормы (НН) h , м; ω_{83}^* – норма (Н) h , м; ω_{84}^* – выше нормы (ВН) h , м; ω_{85}^* – значительно выше (ЗВ) нормы h , м; и формируются на базе серии измерений с определенной точностью и носит вероятностный характер. На рисунке 3 приведен пример такой оценки.

На рисунке 3: h_i^* – i -ый результат контрольных измерений уровня подтопления, $p(h)$ – плотность распределения вероятностей погрешностей измерений, проводимых с заданной точностью, $\omega_{8норм}^*$ – ось нормативных значений уровня воды для конкретной ТС; $\omega_{8норм}^*$ – ось качественных нормированных значений с равными коридорами; $p(\omega_8^*)$ – значения вероятностей, с которыми результаты измерений попадают в

соответствующий коридор качественной нормированной шкалы, $p(\omega_8^*) = \int_{h_{i-1}^*}^{h_i^*} \alpha \cdot f(h_i^*) dh$,

$i=1 \div 5$, $\sum_i p(\omega_{8i}^*) = 1.0$; α – коэффициент пересчета нормативных значений шкалы измерений в нормированную качественную шкалу оценки ω_8 .

Показано, что аналогичным способом могут быть получены нормированные значения других характеристик ТС.

В работе разрабатываются алгоритмы представления результатов контрольных измерений в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями: 0-1 – повреждений нет (ПН), 1-2 – незначительные повреждения (НП), 2-3 – средние повреждения (СП), 3-4 – значительные повреждения (ЗП), 4-5 – большие повреждения (БП), 5-6 – канал разрушен (КР). При этом любой результат

измерения может быть сведен к нормированной оценке состояния контролируемого объекта. В результате будет получено множество оценок контрольных измерений параметров состояния территории – $X_T = \{x_{Ti}^*\}$ и сооружений – $X_C = \{x_{Ci}^*\}$.

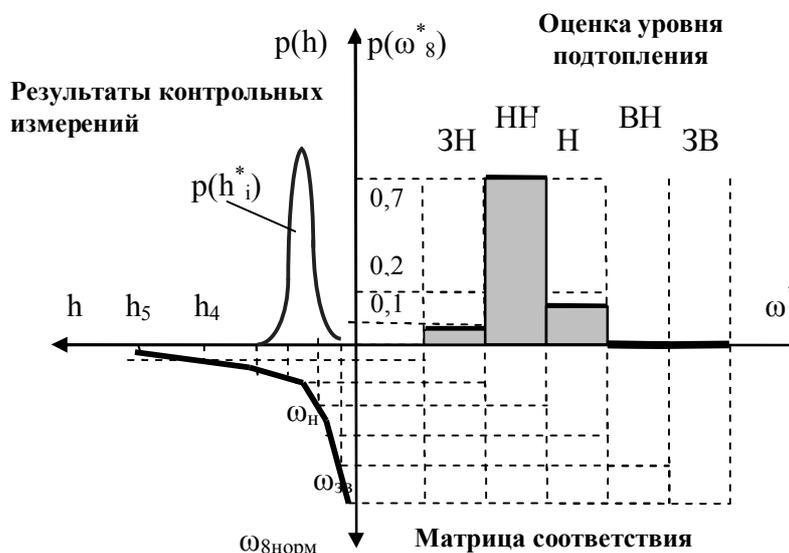


Рисунок 3. Схема формирования оценки уровня подтопления территории по результатам контрольных измерений h_i^* .

В работе разрабатываются алгоритмы представления результатов контрольных измерений в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями: 0-1 – повреждений нет (ПН), 1-2 – незначительные повреждения (НП), 2-3 – средние повреждения (СП), 3-4 – значительные повреждения (ЗП), 4-5 – большие повреждения (БП), 5-6 – канал разрушен (КР). При этом любой результат измерения может быть сведен к нормированной оценке состояния контролируемого объекта. В результате будет получено множество оценок контрольных измерений параметров состояния территории – $X_T = \{x_{Ti}^*\}$ и сооружений – $X_C = \{x_{Ci}^*\}$.

Экспертная оценка может быть получена в результате обследования (инвентаризации) объекта. Эксперт – специалист высказывает свое мнение относительно интересующей характеристики в понятиях или отношениях, характеризующих ее значение, например: “средние повреждения” с вероятностью 0.85 – $x^* = \{СП, 0.85\}$; не хуже чем “незначительные повреждения” с вероятностью 0.7 – $x^* = \{НП, 0.7\}$; не лучше чем “значительные повреждения” с вероятностью 0.8 – $x^* = \{ЗП, 0.8\}$. При этом регистрируются различные количественные величины. Степень достоверности определяется как результат статистической обработки протоколов обследования.

Результаты инвентаризации состояния и измерения физических параметров ИС (канала) также представлены в нормированном пространстве качественных оценок и

представляют собой множество экспертных оценок параметров состояния территории – $E_T = \{e_{Ti}^*\}$ и сооружений – $E_C = \{e_{Ci}^*\}$.

Получение сложных оценок. Территориальные системы и ИС представляют собой сложные объекты, которые характеризуются большим количеством параметров. Поэтому оценка состояния таких объектов также является сложной, базирующейся на простых, частных оценках.

Сложная оценка представляет собой обобщенную характеристику, полученную путем суммирования простых оценок в нормированном пространстве с учетом их свойств

$$O_m^* = \text{SUM}_{j \in J_s} \{x_j^*, e_j^*, p_{xj}, p_{ej}\},$$

где: m – номер сложной характеристики объекта в множестве сложных характеристик M , $\text{SUM}_{j \in J_s}$ – оператор суммирования, x_j^* , e_j^* – простые оценки, входящие в множество анализируемых характеристик J_s , p_{xj} и p_{ej} – показатель неопределенности соответствующих оценок.

Для оценки состояния сложного объекта также может быть использована оценка вида

$$\lambda^* = \text{SUM}_{j \in J_s, m \in M} \{x_j^*, e_j^*, o_m^*, p_{xj}, p_{ej}, p_{om}\},$$

где множество сложных характеристик M является подмножеством анализируемых характеристик объекта J_s , $j \neq m$, $\text{SUM}_{j \in J_s, m \in M}$ – оператор суммирования простых x_j^* , e_j^* и сложных o_m^* оценок.

Каждый вид оценки может быть представлен как слой ГИС, поддерживаемый соответствующей базой данных и программой ее формирования. В работе на основании рассмотренных алгоритмов формирования нормированных оценок состояния территорий и ИС разработана методика формирования ГИС проектов получения нормированных оценок состояния ИС и ранжирование ИС по результатам анализа (см. рисунок 4).

В третьей главе «Разработка алгоритмов анализа состояния территорий и ИС, ранжирования и поддержки принятия управленческих решений» рассмотрены алгоритмы обеспечивающие решение перечисленных задач в ГИС-технологии. Показано, что на основании полученных оценок, используя стандартные ГИС средства, можно провести на основании анализа упорядочивание всех контролируемых объектов: ранжировать створы каналов по степени их опасности в зависимости от состояния (простые оценки), ранжировать каналы и другие сооружения СЗТП (сложные оценки), ранжировать территории по степени опасности от подтопления (комплексные оценки).

Особый интерес представляет задача нахождения наиболее опасных повреждений инженерных сооружений, приводящих к максимальному ущербу от

подтопления. Для решения данной задачи в ГИС разработана методика. Рассмотрим методику на примере структуры СЗТП, показанном на рисунке 2. Канал имеет повреждения в двух створах СТ-1 и СТ-2. На рисунке 2 это зона подтопления от повреждения створа СТ-1 – $G_{Ст1} = \{g_{11}, g_{12}, g_{13}\}$ и зона подтопления створа СТ-2 – $G_{Ст2} = \{g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{24}, g_{25}\}$.

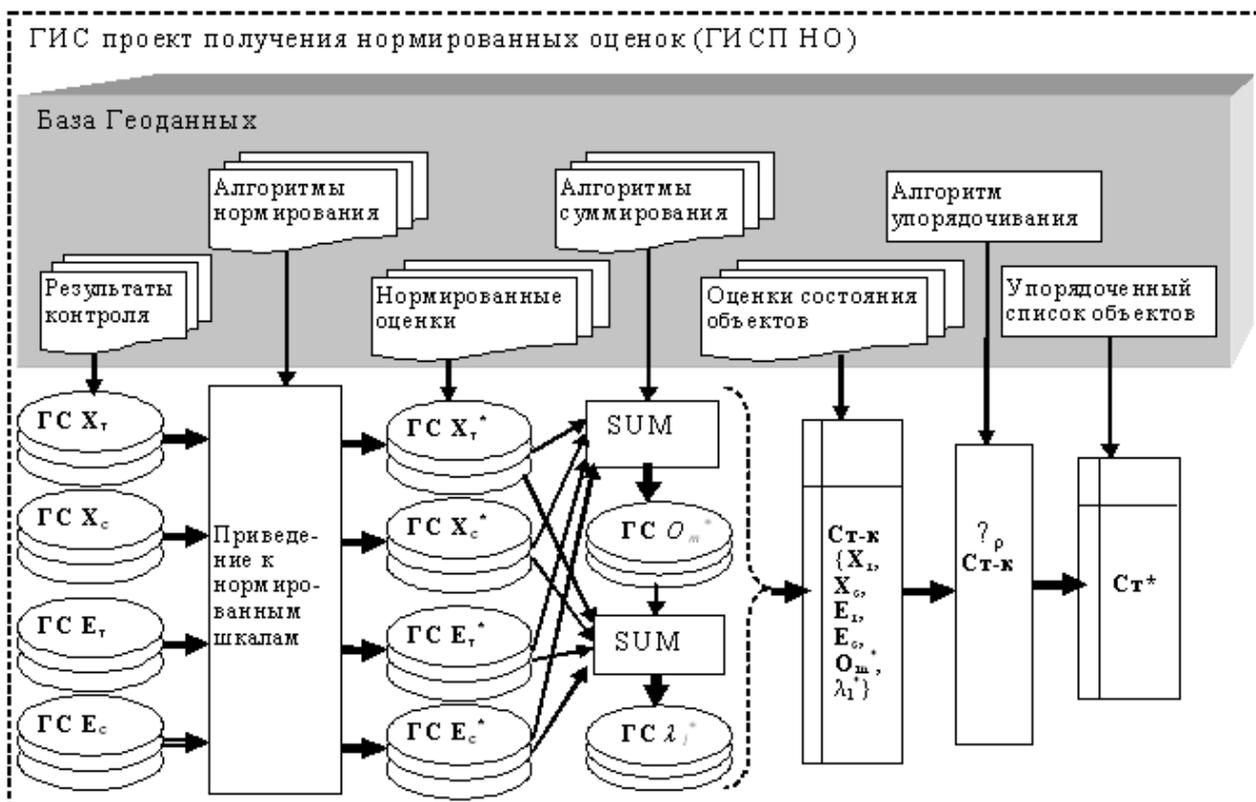


Рисунок. 4. Структура «ГИС проекта нормированной оценки состояния ИС и ранжирование ИС по результатам анализа».

В соответствии с методикой:

1. Все створы упорядочиваются в соответствии с убыванием оценки опасности (степени разрушения) подтопления $O_{ctl\ max} = SUM_1\{X_{cl}, E_{cl}\}, \dots, \rightarrow O_{ctl\ min} = SUM_1\{X_{cl}, E_{cl}\}$, где l – номер створа, принадлежащий множеству контролируемых створов L .

2. Для критических створов на ГИС основе определяется территория подтопления, которая может включать несколько территориальных подсистем разного назначения – $G_{ctl}^* = \{g_1, g_2, \dots, g_{kl}, \dots\}$, площадь которой равна $S_{ctl} = \Sigma S_{gkl}$.

3. Для каждой территориальной подсистемы g_{kl} может быть получена оценка риска подтопления $r_{ckl} = v_{ykl} I_{okl}$, где коэффициент опасности подтопления I_{okl} и коэффициент уязвимости подтопления v_{ykl} .

Оценка риска подтопления территорий G_{ctl}^* , связанной с контролируемым створом l , в этом случае может быть получена по формуле

$$R_{cl} = \sum_{k=1}^K v_{ykl} I_{okl} \frac{S_{kl}}{S_{ol}},$$

где S_{ol} – площадь территории, для которой определяется коэффициент R_{cl} , $S_{ol} = \sum_{k=1}^K S_{kl}$,

K – число разбиений территории G_{ctl} * площадью S_{ol} на непересекающиеся территории g_{kl} площадью S_{kl} , для которых получены оценки коэффициента опасности подтопления I_{okl} и коэффициента уязвимости подтопления v_{ykl} .

4. Для каждого створа определенного в п.2, по результатам контроля рассчитывается оценка степени риска от подтопления

$$R_{ПСТl} = \text{SUM}_{g_{lk} \in G_{ctl}} \{R_{Пglk}\}, \quad (2)$$

и возможный нанесенный ущерб

$$Y_{ПСТl} = \text{SUM}_{g_{lk} \in G_{ctl}} \{Y_{Пglk}\}, \quad (3)$$

где $R_{Пglk}$ – оценка степени риска соответствующей территории, $Y_{Пglk}$ – оценка возможного нанесенного ущерба той же территории, (руб.).

5. На основании полученных оценок риска подтопления производится ранжирование створов, каналов, территорий. Так как все полученные оценки носят вероятностный характер, задача ранжирования створов по их опасности может быть сведена к анализу наиболее вероятных ситуаций – поиску критических створов.

В этом случае оценка опасности для заданного створа является сложной и может быть определена оценка степени риска от подтопления как $\lambda_{Rl} = f(O_l, R_{ПСТl}, p_{ol}, p_{Rl})$, где p_{ol} , p_{Rl} – вероятности нахождения соответствующих оценок в определенных областях шкал нормированных значений, а для оценки возможного нанесенного ущерба как $\lambda_{Yl} = f(O_l, Y_{ПСТl}, p_{ol}, p_{Yl})$, где p_{ol} – вероятность нахождения соответствующей оценки в определенной области шкалы нормированных значений, p_{Yl} – величина, характеризующая степень доверия к полученной оценке возможного нанесенного ущерба $Y_{ПСТl}$.

Упорядочивание результатов. В первом случае $\downarrow \text{Ст}(\lambda_{Rl}) = \{\text{Ст}_{\lambda R \max}, \dots, \text{Ст}_{\lambda R \min}\}$, где \downarrow – оператор упорядочивания по убыванию множества створов Ст , для которых определено значение оценки λ_R . В результате получается упорядоченный по степени опасности список створов.

Во втором – $\downarrow \text{Ст}(\lambda_{Yl}) = \{\text{Ст}_{Y R \max}, \dots, \text{Ст}_{Y R \min}\}$ получим упорядоченный список створов по величине возможного нанесенного ущерба.

В результате разработана методика формирования ГИС проектов получения оценок состояния территорий и ранжирования ИС СЗТП. Структура ГИС проекта «Оценка состояния территорий и ранжирование ИС по результатам анализа» показана на рисунке 5.

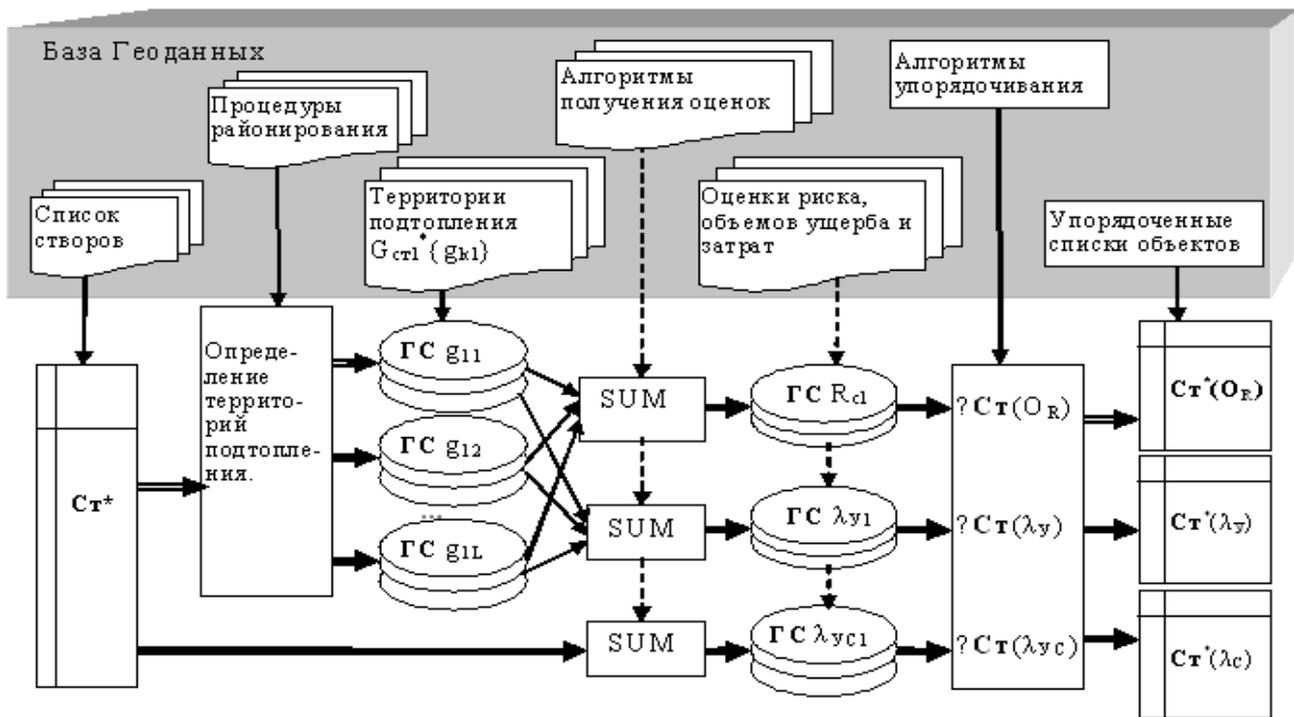


Рисунок 5. Структура ГИС проекта «Оценка состояния территорий и ранжирование ИС по результатам анализа».

В результате для каждого критического створа СЗТП на базе ГИС определяются вероятные территории подтопления и их характеристики, оценивается степень важности (опасности) возникшей ситуации.

В ГИС проекте также решается задача наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений. Для этого на основании оценки стоимости работ восстановления канала в заданном створе определяется показатель эффективности восстановления опасного створа, который может быть получен, либо путем анализа отношения возможного нанесенного ущерба и этих затрат – $\lambda_{Cю} = f(O_b, Y_{ПСТl}/C_{al}, p_{ob}, p_{yb}, p_{Cl})$, либо путем анализа абсолютных значений показателей затрат – $\lambda_{Cла} = f(O_b, Y_{ПСТl}, C_{al}, p_{ob}, p_{yb}, p_{Cl})$, где p_{Cl} – величина, характеризующая степень доверия к полученной абсолютной оценке стоимости работ восстановления канала в заданном створе. Поиск эффективного решения осуществляется путем полного перебора возможных решений с целевой функцией: максимум предотвращенного возможного ущерба $\max(\sum_l Y_{ПСТl})$ при ограниченных затратах на восстановление $(\sum_l C_{al}) \leq C$. В этом случае решается оптимизационная задача, и получаемое решение дает наиболее эффективный вариант на основании полученных ранее оценок.

В четвертой главе «Реализация ГИС проектов для решения задачи мониторинга состояния СЗТП и поддержки принятия управленческих решений»

рассматривается информационная организация ГИС мониторинга и оценки состояния территорий и ИС СЗТП, структура ее информационно-алгоритмического обеспечения.

Рассмотрена реализация ГИС-проектов оценки состояния СЗТП на примере территорий аэропорта Пулково и промзоны Шушары.

Для ТС аэропорта Пулково и прилегающих территорий проведено районирование территорий по административной принадлежности, получена оценка степени воздействия системы водосбора каждой территории на ее инженерную систему защиты от подтопления и степень воздействия на прилегающие территории и их СЗТП. Результаты представлены в виде таблицы.

Для оценки состояния ИС СЗТП промзоны Шушары использованы результаты комплексного обследования в 2010 году. Структура каналов представлена в виде карты-схемы (рисунок 6).

Анализ состояния ИС СЗТП показал, что наибольшие повреждения имеют каналы: ОГР-1 створ №1 (ПТ №1); ОГР-1 створ №6 (ПТ №2); ОГР-2 створ №0 (ПТ №0); ОГР-2 створ №1 (РС №9); ОГР-2 створ №9 (ПТ №6-2); МК-1 створ №0 (ПТ №14); 5ТС-3 створ №0 (РС №22).

Для перечисленных створов на основе ГИС определены зоны возможного подтопления. На рисунке 7 показана зона возможного подтопления для створа ОГР-1 створ №1 (ПТ №1). Для каждой выделенной территории определены оценки степени риска подтопления и рассчитана степень опасности подтопления. Результаты расчета приведены в таблице 3.

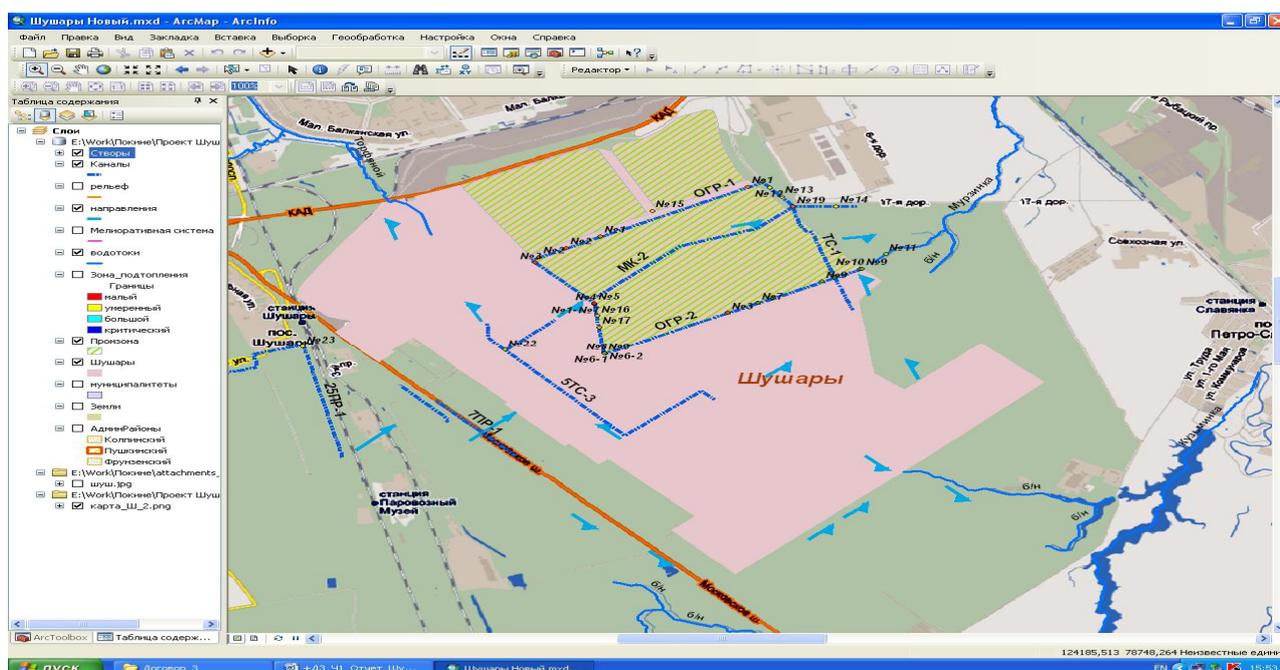


Рисунок 6. Структура каналов СЗТП территории промзоны Шушары

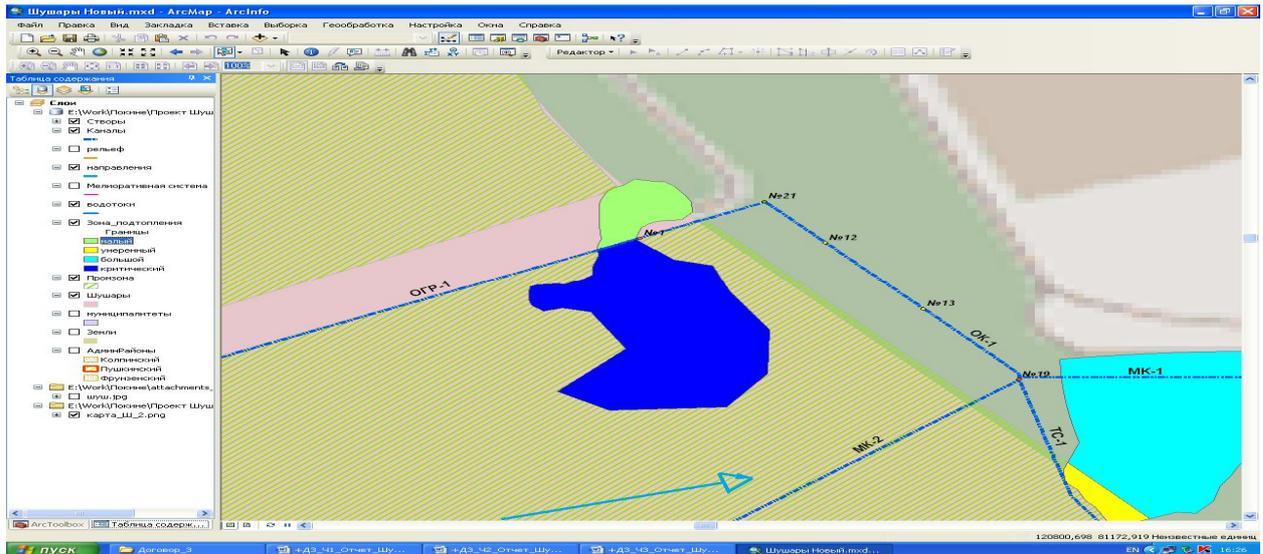


Рисунок 7. Зона возможного подтопления для створа ОГР-1 створ №1 (ПТ №1)

Таблица 3

Площадь	Тип подтопления	Канал	Номер трубопереезда	Козф уязвимост	Стеень опасности подтоплени	Козф подтопле
34989,093164	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-1	ПТ №1	6	2,588	0,5
11415,46587	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-1	ПТ №2	1	0,413	0,5
43270,310447	Площадка размещения фирмы "Тойота"	МК-1	ПТ №14	1	0,474	0,5
40013,62069	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-2	PC №9	6	1,865	0,5
56701,099167	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-2	ПТ №6-2	1	0,43	0,5
72230,352798	Сельскохозяйственная зона	5ТС-3	Створ №22	1	0,335	0,5
35705,290269	Сельскохозяйственная зона	5ТС-3	Створ №22	1	0,165	0,5
9241,690591	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-2	ПТ №6-2	6	0,42	0,5
2419,493413	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-1	ПТ №2	6	0,525	0,5
5569,983376	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-1	ПТ №1	1	0,069	0,5
2406,827503	Площадка размещения фирмы "Тойота"	МК-1	ПТ №14	6	0,158	0,5
24369,38184	Площадка размещения фирмы "Тойота"	ОГР-2	PC №9	1	0,189	0,5

Далее створы ранжируются по степени опасности подтопления (табл. 4).

Таблица 4

П	Тип подтопления	Канал	Номер трубопереезда	Козф уязвимости	Стеень опасности подтопления	Козф подтопления
3	Площадка размещения фирмы	ОГР-1	ПТ №1	6	2,588	0,5
4	Площадка размещения фирмы	ОГР-2	PC №9	6	1,865	0,5
2	Площадка размещения фирмы	ОГР-1	ПТ №2	6	0,525	0,5
4	Площадка размещения фирмы	МК-1	ПТ №14	1	0,474	0,5
5	Площадка размещения фирмы	ОГР-2	ПТ №6-2	1	0,43	0,5
9	Площадка размещения фирмы	ОГР-2	ПТ №6-2	6	0,42	0,5
1	Площадка размещения фирмы	ОГР-1	ПТ №2	1	0,413	0,5
7	Сельскохозяйственная зона	5ТС-3	Створ №22	1	0,335	0,5
2	Площадка размещения фирмы	ОГР-2	PC №9	1	0,189	0,5
3	Сельскохозяйственная зона	5ТС-3	Створ №22	1	0,165	0,5
2	Площадка размещения фирмы	МК-1	ПТ №14	6	0,158	0,5
5	Площадка размещения фирмы	ОГР-1	ПТ №1	1	0,069	0,5

Таким образом, полученные результаты являются основой для принятия управленческих решений по проведению ремонтных и восстановительных работ соответствующих сооружений СЗТП развивающейся территории промзоны Шушары.

Основные результаты и выводы

1. Разработана методика проведения районирования по естественным, расчетным и оцененным характеристикам на ГИС основе, позволяющая автоматизировать определение состояния территорий и степени опасности от подтопления.

2. На основе проведенного анализа показано, что структуру и описание СЗТП удобно представлять в виде дерева или сети, имеющих однозначное представление ГИС-технологии, обеспечивающее автоматизацию проведения анализа их характеристик.

3. Разработаны алгоритмы формирования простых и сложных нормированных оценок по результатам измерений и экспертных оценок, методика формирования комплексной оценки на основе ГИС.

4. Разработана методика ранжирования ИС СЗТП по степени опасности, возможному нанесенному ущербу от затопления территорий.

5. Разработаны методики формирования геоинформационных проектов оценки состояния ИС СЗТП, анализа и ранжирования по степени опасности, представления результатов с целью поддержки принятия управленческих решений.

6. Разработана методика поддержки принятия управленческих решений, наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений.

7. Разработанная методика реализована в виде ГИС-проектов на примере территориальных систем аэропорта Пулково и поселка Шушары, которые внедрены в Санкт-Петербургском государственном казенном учреждении «Мелиоративные системы Санкт-Петербурга», ГУП «Экострой» и ГУП «Ленводхоз». О чем свидетельствуют акты внедрения.

По теме диссертации опубликовано 38 работ, основные из них:

В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Алексеев В.В., Шишкин И.А. ИИС мониторинга состояния системы инженерной защиты территории от подтопления на базе ГИС. Часть 1. Описание объектов.//Приборы.-2012.-№5.- С. 19-28.
2. Алексеев В.В., Шишкин И.А. ИИС мониторинга состояния системы инженерной защиты территории от подтопления на базе ГИС. Часть 2. Получение оценок, поддержка принятия управляющих решений.//Приборы.-2012.-№6.- С. 28-37.
3. Алексеев В.В., Шишкин И.А. Геоинформационная система оценки состояния технических сооружений защиты территории от подтопления/ науч. журнал

«Вестник ТОГУ».- Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та.-2012.-№4(27).- С. 69-78.

Статьи и другие публикации:

4. Шишкин И.А. Представление системы инженерной защиты территории от подтопления в ГИС с целью автоматизации оценки их состояния / МНТК «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», – СПб, 2011, 2011, с. 47-52. г.
5. Шишкин И.А. Оценка состояния подтопляемых территорий на ГИС основе / Сборник материалов Биос фрума. – СПб. 2012, с. 301 – 305.
6. Шишкин И.А., Антонов И.В., Епифанов А.В. «Методика инвентаризации мелиоративных каналов совхозов Санкт – Петербурга на базе геоинформационных систем». Сборник материалов XIV Международного Экологического форума «День Балтийского моря» - СПб, 2013, с. 66 – 67.
7. Алексеев В.В., Шишкин И.А. ГИС «Мелиорация». Цели и принципы организации. Материалы VI Международного конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов». – СПб, 2013, с. 79 – 84.
8. Алексеев В.В, Орлова Н.А., Шишкин И.А. ГИС «Мелиорация». Получение оценок состояния объекта на основе контрольных измерений. Материалы VI Международного конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов», СПб, 2013, с. 69 – 74.
9. Алексеев В.В., Шишкин И.А. Районирование территорий на базе ГИС с целью оценки степени риска от подтопления / МНТК «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», – СПб, 2011, с. 39-47.
10. Алексеев В.В., Орлова Н.В., Шишкин И.А. Оценка состояния системы инженерной защиты территории от подтопления на базе ГИС технологии / МНТК «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», – СПб, 2011, с. 34-39.
11. Геоинформационное районирование территорий с целью выявления взаимного влияния их водного баланса и оценки опасности подтопления / Алексеев В.В., Орлова Н.В., Шишкин И.А., Гусева Е.С., Жигновская А.С.; С.-Петербургск. гос. электротехн. ун-т. – СПб., – 2012. – 33 с.: 11 ил. – Библиогр. 11 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ. 27.04.2012 № 188-В2012.
12. ГИС мониторинга состояния инженерных сооружений защиты территории от

- подтоплений/ Алексеев В.В., Олова Н.В., Шишкин И.А., Гусева Е.С., Жигновская А.С.; С.-Петербургс. гос. электотехн. ун-т. – СПб; - 2012. – 27 с.: 10 ил. – Библиогр. 16 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ. 27.04.2012 № 193-В2012.
13. Алексеев В.В., Орлова Н.В., Гусева Е.С., Жигновская А.С., Шишкин И.А. Оценка возможного нанесенного ущерба от подтопления территории на базе ГИС/ Сборник материалов Биос фрума. – СПб. 2012, с. 297 – 301.
 14. Алексеев В.В., Шишкин И.А. Контроль и управление параметрами водовыпусков для обеспечения экологических стандартов. Сб. «Проблемы прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий» СПб 2003г. с. 14-18.
 15. Кондрашкова Г.А., Шишкин И.А. Модель управления водообеспечением в природно-технической системе района. Сб. Материалы Международной межотраслевой конференции «Организация системы управления природными ресурсами и повышением эффективности экологической безопасности», СПб, 2004г., с. 300-304.
 16. Применение ГИС технологий для разработки нормативов ПДВВ бассейна реки Невы [Текст]/ А.В. Епифанов, А.И. Шишкин, И.А. Шишкин // Сборник трудов международной научно-практической конференции: Ресурсо- и энергосбережение в целлюлозно-бумажной промышленности и городском коммунальном хозяйстве/ СПб ГТУРП. – СПб., 2005. – с. 173-176.
 17. И.А. Шишкин, Г.А. Кондрашкова, П.В. Луканин. «Управление и контроль параметров водохозяйственного комплекса с применением ГИС технологий». Сборник докладов и сообщений научно-практической конференции «Молодые ученые университета – ЛПК России». СПб, 2006г., с. 117-120
 18. И.В. Антонов, И.А. Шишкин, А.В. Епифанов. «Использование удельных показателей для оценки техногенной нагрузки с использованием геоинформационных систем». Материалы XVI межотраслевой международной конференции «Допустимое воздействие на окружающую среду и совершенствование системы экологической безопасности». СПб, 2008г., с. 105 – 108.
 19. В.А. Колосов, И.А. Шишкин, С.Н. Белякова, О.В. Глянцева. «Обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений, расположенных на территории Санкт-Петербурга». Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году /Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб, 2008г., с. 421-428
 20. В.А. Колосов, И.А. Шишкин, С.Н. Белякова, О.В. Глянцева. «Обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений, расположенных на

территории Санкт-Петербурга». Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2008 году / Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб, 2009г., с. 434-442

21. В.А. Колосов, А.В. Шувалова, И.А. Шишкин, С.Н. Белякова. «Гидротехническое обустройство устьевого участка р. Малая Сестра». Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2009 году / Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб, 2010г., с. 411-416
22. И.А. Шишкин, И.В. Антонов, А.В. Епифанов. «Квотирование нагрузки в рамках природно-технического комплекса в среде ГИС». IV Международный конгресс «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов», СПб, 2011 г., с. 53 – 58.