

На правах рукописи



Скнарина Надежда Анатольевна

**РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Лябах Николай Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Цветков Виктор Яковлевич

кандидат технических наук, научный сотрудник
Матвеев Александр Станиславович

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Знак Почета научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф. Н. Красовского»

Защита диссертации состоится «16» февраля 2012 г. в 10 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, г. Москва, Гороховский пер. д. 4, зал заседаний Учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Автореферат разослан «12» января 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Климков Ю. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Устойчивое и эффективное развитие общества зависит от степени его защищенности от опасных природных и техногенных процессов. В связи с резким изменением климата планеты, увеличивающейся антропогенной нагрузкой на геологическую среду актуализируются проблемы активизации таких экзогенных процессов как оползни и сели. Достаточно проанализировать события последних лет в России (например, Краснодарский край, апрель, 2011 год), Китае, ряде европейских стран, и других странах.

Оползневые процессы представляют серьезную угрозу, оказывают прямое или косвенное воздействие на природу, экономику и социальное благополучие населения, а иногда их активизация приводит к человеческим жертвам и материальным потерям.

В этой связи становится необходимой разработка геоинформационной технологии исследования оползневых процессов, представленной автоматизированной, постоянно функционирующей системой геоинформационного мониторинга оползней, способной оценить в реальном масштабе времени степень опасности, спрогнозировать возникновение опасных тенденций, заблаговременно оповестить, и по возможности упредить негативные явления.

Для решения поставленной задачи необходимо шире внедрять цифровые методы обработки информации, полученной с помощью геоинформационного моделирования и полевых наблюдений.

Успешное решение задачи разработки технологии геоинформационного исследования оползневых процессов основывается на выявлении комплекса взаимосвязанных проблем:

- инженерно-геологических (исследование свойств грунтов, строения грунтового массива и характера влияния на них различных природных и техногенных факторов);
- технологических (обеспечение системного построения геоинформационной системы мониторинга);
- технических (выбор средств геоинформационной системы мониторинга объекта исследования, организации каналов связи, вычислительных средств);
- информационных (хранение, отображение и использование полученной информации для анализа, прогноза и управления оползневой ситуацией);
- математических (построение и использование моделей исследуемых процессов и процедур принятия решений) и других.

Степень разработанности проблемы.

Проблемы создания геоинформационных систем исследования сложных природных и техногенных объектов освещены в трудах: Т. А. Барабошкиной, Ю. Б. Баранова, В. Г. Бондура, В. К. Епишина, И. Г. Журкина, В. Е. Закруткина, А. Д. Иванникова, А. П. Камышева, В. П. Кулагина, С. В. Козловского, В. И. Коробкина, В. А. Королева, И. К. Лурье, С. И. Матвеева, В. И. Осипова, А. В. Погорелова, А. Л. Ревзона, В. П. Савиных, А. Н. Тихонова, В. Т. Трофимова, Ю. А. Федорова, Н. М. Хансиваровой, В. Я. Цветкова, М. А. Шубина и других авторов.

Инструментальные средства (математические, информационные, программные, технические) представлены в работах П. П. Бескида, Г. В. Демьянова, А. Г. Дружинина, Е. Б. Ключина, С. М. Ковалева, И. Ф. Куштина, С. Лоусона, И. К. Лурье, Н. Н. Лябаха, А. А. Майорова, Ю. И. Маркузе, И. Б. Фоминых, З. Б. Хакиева, В. Я. Цветкова, В. А. Шабельникова, Б. В. Щукина, В. А. Явны и других авторов.

Вопросы генезиса оползней исследованы в работах: В. П. Ананьева, Г. К. Бондарика, В. В. Виноградова, А. Г. Гликмана, Е. П. Емельяновой, Г. С. Золотарева, И. А. Клевцова, В. В. Кюнтцеля, Н. Н. Маслова, И. В. Ниязова, В. И. Осипова, А. П. Павлова, Ф. П. Саваренского, К. Терцаги, Н. Ф. Петрова, Г. П. Постоева, А. Л. Ревзона, И. Н. Сафронова и других авторов.

Механизмы расчета параметров оползневых процессов разрабатывались Э. В. Калинин, Н. Моргенштерном, Н. Н. Масловым, С. И. Маций, В. В. Пендиным, Г. П. Постоевым, К. Терцаги, Д. Тейлором, И. О. Тихвинским, Р. Р. Чугаевым, А. Л. Рогозиным, Г. И. Тер-Степояном, К. Ш. Шадунцем, Г. М. Шахунянцем, А. И. Шеко, Л. Шукле и другими авторами.

Проблемы создания геоинформационных систем мониторинга оползневых процессов освещены в трудах: С. К. Дулина, В. К. Епишина, О. В. Зеркаля, С. В. Козловского, В. С. Круподерова, В. А. Королева, С. И. Матвеева, И. Н. Розенберга, В. Т. Трофимова, М. А. Харькиной, Н. Л. Шешени и других авторов.

Вместе с тем, ряд проблем разработки геоинформационной технологии исследования оползневых процессов (архитектура, алгоритмы синтеза и функционирования, математическое обеспечение моделирования и принятия решений) в настоящее время не решен.

Цель и задачи исследования.

Данное диссертационное исследование предпринималось в соответствии со следующими целями:

- анализ современного состояния и развитие геоинформационной технологии исследования оползневых процессов;

- обозначение роли и места цифрового моделирования при создании геоинформационных систем мониторинга оползневых процессов;
- развитие математических методов и алгоритмов идентификации и классификации динамических процессов, характеризующих оползнеопасные ситуации;

Достижение поставленных целей раскрывается в последовательном решении следующих задач:

1. Обоснование необходимости построения специализированной технологии исследования оползневых процессов, разработка математического, программно-технического обеспечения синтезируемой системы.
2. Разработка комплексного подхода к физическому, аналитическому, имитационному моделированию оползневых процессов.
3. Развитие формализованных методов классификации оползней.
4. Анализ существующих подходов к организации и техническому исполнению систем мониторинга оползневых процессов.
5. Разработка авторского варианта геоинформационной системы мониторинга оползней (ГИСМО).
6. Внедрение результатов диссертационного исследования в научные и практические разработки.

В качестве **объекта данного исследования** можно выделить территориально распределенные объекты природного ландшафта, урбанизированные территории, подверженные образованию и развитию оползней, а также специализированные геоинформационные системы (ГИС) различного назначения (мониторинг состояния мостов, туннелей, зданий и пр.).

Предметом исследования данной работы являются геоинформационные системы мониторинга оползней, а именно геоинформационные технологии исследования закономерностей формирования, анализа оползневых процессов при изменениях под воздействием природных и техногенных факторов.

Теоретико-методологической основой исследования послужили научные труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам генезиса оползней, синтеза геоинформационных систем, построения математических моделей оползневых процессов и процедур принятия решений в условиях неопределенности.

Информационно-эмпирическая база исследования формировалась на основе законодательных и нормативных актов РФ; материалах натурных обследований территорий Ростовской области и Краснодарского края; данных монографических исследований отечественных и зарубежных ученых, статистических сборников, фактах, приведенных в научной литературе и

периодической печати, а также информации из разнообразных Интернет-ресурсов и собственных авторских исследований диссертанта.

Для обеспечения достоверности выводов и рекомендаций были использованы результаты натуральных наблюдений ряда типичных объектов исследования:

- скально-обвально-оползневой косогор КМ 1929 ПК 5-9 перегона Чемитоквадже – Якорная Щель, СКЖД;
- оползневые процессы тоннеля №8 КМ 1977 ПК 10 перегона Мацеста – Хоста, СКЖД;
- оползневые процессы на участке Шахтинско - Донского водовода правобережья реки Дон.

Для решения поставленных задач был использован широкий **инструментально - методологический аппарат**, включающий принципы и методологические подходы системного анализа, методы и инструментальные технологии научного познания: когнитивное моделирование, функциональный анализ, теория распознавания образов, теория нечетких множеств, а также широкий спектр статистических методов: корреляционный, регрессионный анализы.

Основные результаты, выносимые на защиту.

1. Геоинформационная технология создания распределенной *геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов*, способной адаптироваться к изменяющимся условиям объекта мониторинга и окружающей среды.

2. *Геоинформационная динамическая модель оползней*, обеспечивающая возможность мониторинга исследуемого процесса по заранее выявляемым признакам.

3. *Геоинформационное моделирование оползневых процессов*, формализующее опыт и знания специалистов и формирующие новое знание для обучения человека принятию решений в данной среде.

4. *Геоинформационный мониторинг оползневых процессов*, обеспечивающий комплексное моделирование для принятия решений и контроля состояния объекта исследования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Усовершенствован категориальный аппарат исследования, уточнены понятия геоинформационной технологии исследования оползней, в частности: геоинформационной системы мониторинга оползней, индикативного и репрезентативного мониторинга оползневых территорий, физического, аналитического, имитационного моделирования оползневых процессов.

2. Предложено синтезировать геоинформационную систему мониторинга оползневых процессов на основе использования беспроводных сенсорных сетей (обеспечивается сбор и первичная обработка информации), систем радиосвязи (осуществляющих передачу информации в центр анализа и управления) и современных вычислительных средств (интеллектуальная обработка информации и принятие решений).

3. Предложена и обоснована концепция создания интеллектуальной геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов, широко использующей цифровые модели и в этой связи обладающей свойствами обучаемости, адаптивности к изменяющимся свойствам объекта и среды, содержащей блок расчета сценариев развития оползня и соответствующих управляющих воздействий.

4. Разработан новый подход к комплексному геоинформационному моделированию оползней, включающему цифровое (аналитическое, имитационное), натурное и физическое моделирование.

5. Предложен модернизированный вариант исследования оползневых ситуаций, использующий принципы и положения теории распознавания образов и возможности применения теории нечетких множеств к анализу лингвистически заданных и расплывчатых данных.

Теоретическая и практическая ценность исследования заключается в разработке универсальных подходов к построению комплекса геоинформационных моделей, развитию интеллектуальных технологий в ГИС мониторинга оползневых процессов. Результаты работы могут быть использованы при проектировании и разработке новых, а также совершенствовании уже существующих технологий исследования оползневых процессов.

Практическая значимость исследования заключается в том, что в рамках данной работы разработаны методы и алгоритмы, обеспечивающие функционирование ГИСМО.

Наиболее существенные результаты полученные автором:

1. Архитектура геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов.

2. Алгоритмы синтеза и функционирования интеллектуальной геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов.

3. Формализация процесса классификации оползневых территорий.

4. Основные требования к геоинформационной системе мониторинга оползневых процессов.

5. Понятийный аппарат комплексного геоинформационного моделирования оползневых процессов.

6. Анализ состояния и развитие геоинформационной технологии исследования оползневых процессов, общий анализ проблемы синтеза геоинформационной системы мониторинга оползней.

7. Техническое и программно-математическое обеспечение технологии геоинформационного исследования оползневых процессов, включающие средства идентификации состояния оползня и организации каналов передачи информации.

Апробация и внедрение результатов исследования.

Работа выполнена при участии автора в грантах РФФИ (№ 10-01-00058, № 10-07-00158, № 11-07-00075), гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» НШ-8030.2010.5, Государственного контракта № 02.740.11.0334 по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Получены справки об использовании и внедрении результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались на семинарах кафедры МИИГАиК, на конгрессе по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT` 11» (Дивноморск, 2011 г.), на VI-ых Щукинских чтениях (Москва, 2010 г.), на международных научно-практических конференциях: «ИнтеллектТранс-2011» (Санкт-Петербург, 2011 г.), «Безопасность движения поездов» (Москва, 2011 г.), «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии» (Москва, 2010 г.), «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» (Ростов-на-Дону, 2010 г.), на Российской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной «Году Планеты Земля»: «Планета Земля: актуальные вопросы геологии глазами молодых ученых и студентов» (Москва, 2009 г.), «Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка» (Москва, 2009 г.), «Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики» (Москва, 2006 г.), на III-ей Межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: «Молодежь XXI века - будущее Российской науки» (Ростов-на-Дону, 2005 г.).

Структура и объем работы. Диссертационное исследование последовательно раскрывает цель и задачи исследования и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 120 наименований и трех приложений. Работа проиллюстрирована 20 рисунком и 11 таблицами.

Общий объем диссертации составляет 164 страницы.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 20 работ (в том числе 13 без соавторов), три из которых в журналах, включенных в перечень ВАК.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе **«Народно-хозяйственное значение задачи геоинформационного исследования оползневых процессов»** дана характеристика объектов диссертационного исследования (на примере территорий правобережья Нижнего Дона), дана классификация оползнеопасных территорий, проведены анализ и систематизация существующих подходов и методов исследования оползней, обоснована актуальность построения геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов.

В частности введены понятия индикативного и репрезентативного мониторинга. Обоснована необходимость создания и определены основные принципы современной концепции построения ГИСМО, обеспечивающей эффективный и безопасный режим мониторинга.

Синтезируемая система мониторинга должна быть автономной, осуществлять автоматизированный непрерывный режим мониторинга, сохранять статистику наблюдений за объектом, мнения экспертов (нужны встроенные базы данных) и осуществлять интеллектуальный анализ данных (нужны встроенные базы знаний). Это позволит прогнозировать состояние объекта, собственно системы мониторинга и осуществлять упреждающее управление, не допуская сбоев и больших потерь от нарушения устойчивости склона.

Интеллектуальность ГИСМО предполагается развивать в двух направлениях:

- заимствование интеллекта у человека (опытное лицо, принимающее решение, обучает машину);
- генерация собственного интеллекта (машина содержит механизмы самообучения, которое происходит в процессе работы).

При составлении обучающей выборки для моделирования ЛПР вкладывает свой интеллект и опыт, задавая принадлежность ситуаций выделенным классам оползнеопасных объектов. Далее, осуществляя мониторинг, машина накапливает в автоматическом режиме данные этой же обучающей выборки, подтверждая принадлежность ситуации классам по итоговым результатам. Кроме того, машина осуществляет расчет решающих правил, предоставляя их и результаты принятия машинного решения человеку, обучая его.

Создание ГИСМО, имитирующей внешние возмущения и внутренние процессы, позволит заблаговременно рассчитывать и накапливать в базе знаний

возможные сценарии развития оползня. Эта информация в свою очередь позволит ввести упреждающее управление.

Отличительные особенности авторского видения ГИСМО состоят в следующем:

- содержит в своем составе блок цифрового моделирования оползневых процессов и процедур принятия решений, комплексно использует традиционные методы анализа, спутниковые технологии и технологии беспроводных сенсорных сетей;

- содержит динамическую модель оползней, и этим обеспечивается прогноз развития и упреждающее управление оползневыми процессами с учетом текущего и будущих состояний объекта исследования;

- обладает свойствами интеллектуально функционирующей системы мониторинга, формирующей новое знание и обучающей человека принятию решений в данной сфере, а также включает в формализованном виде опыт и знания специалистов;

- требует комплексного использования всего арсенала методов моделирования: аналитического, физического, имитационного, логико-лингвистического, обеспечивающего геоинформационное моделирование и геоинформационный мониторинг оползневых процессов.

Во второй главе «**Цифровое моделирование оползневых процессов**» раскрыта сущность и механизм взаимного использования физического, аналитического, имитационного, логико-лингвистического моделирования в геоинформационном исследовании оползневых процессов.

Анализ методов аналитического моделирования оползневых процессов дан обзорно с целью определения условий его адекватного применения и выделения проблем диссертационного исследования.

Предложены формализованные методы существующих классификаций оползневых территорий: умеренно-опасные территории (УОТ), опасные территории (ОТ), весьма опасные территории (ВОТ), чрезвычайно опасные территории (ЧОТ). Для этой цели введен ряд признаков, характеризующих оползневую ситуацию: x_1 – степень поражённости территории, %; x_2 – объем оползня, м³; x_3 – глубина смещения, м; x_4 – среднегодовые величины горизонтального смещения, м/год.

Разрабатываемый аппарат допускает расширение перечня учитываемых признаков.

Результаты наблюдений за признаками обучающего набора оползней сведены в соответствующую таблицу. Все переменные приведены к безразмерному и легко сравнимому виду по следующей формуле масштабирования переменных:

$$\tilde{u} = (u - \min u) / (\max u - \min u). \quad (1)$$

В каждом классе находится эталон – наиболее типичный представитель класса. Например, средние значения признаков:

$$x_j^{\text{ЭК}} = (\sum x_i) / p. \quad (2)$$

В формуле (2) обозначено: $x_j^{\text{ЭК}}$ – среднее значение j -го признака k -го эталона, p – число ситуаций, принадлежащих k -му классу в общей совокупности данных.

Определяются расстояния от исследуемой точки - ситуации до всех эталонов выделенных классов. Минимальное из этих расстояний и определяет класс, к которому принадлежит исследуемая ситуация.

Адекватная мера сравнения ситуаций определяется с помощью следующей процедуры.

1. На основе весов принадлежности оползневых ситуаций к заданному классу формируем совокупность точек обучающей последовательности. Веса μ задаются в табличном виде (см. таблицу 1). Это точки (объекты), информация о которых экспертам известна и служит для расчета неизвестных параметров искомой меры. К ним предъявляются требования типичности и репрезентативности.

Таблица 1. - Фрагмент двумерной функции принадлежности оползня к классу УОТ, заданной с помощью таблицы

$x_2 \backslash x_1$	20	40	60	80
0	1	0,8	0,6	0,3
2	0,7	0,5	0,3	...
3	0,4	0,3
4	0,2

2. Определяем пары сравниваемых объектов и находим «расстояние» между ними по формуле

$$d(A, B) = |\mu_A - \mu_B|. \quad (3)$$

3. Записываем выражение (4) для $d(A, B)$ через неизвестные параметры меры α_i при соответствующих значениях x_1 и x_2 .

$$d(A, B) = \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i (x_i^A - x_i^B)^P \right)^{\frac{1}{P}}. \quad (4)$$

4. На основании сравнения пунктов 2 и 3 алгоритма формируется система уравнений относительно неизвестных α_i . Т.к. исходные данные формируются экспертным путем и характеризуются наличием нечеткости и ошибок наблюдений необходимо, чтобы число уравнений было значительно больше числа неизвестных. Это позволит использовать статистические методы решения систем линейных алгебраических уравнений, компенсирующих ошибки данных.

5. Находим обобщенное решение полученной системы уравнений, минимизируя сумму квадратов отклонений левых и правых частей уравнений.

6. Подставляя найденные коэффициенты α_i в (4), получим искомую зависимость.

Данная процедура была реализована при классификации территорий правобережья Нижнего Дона. Рассмотрим конкретный пример. Используя данные таблицы 1, выберем три точки $A(0, 20)$, $B(2, 60)$, $C(3, 40)$. Для этих точек потенциалы соответственно равны: $\mu_A = 1$, $\mu_B = 0,3$ и $\mu_C = 0,3$. Реализуя (3) соответственно для AB , AC и BC , составим исходную систему в общем несовместных уравнений:

$AB: 4\alpha_1 + 1600\alpha_2 = 0,49$. $AC: 9\alpha_1 + 400\alpha_2 = 0,49$. $BC: \alpha_1 + 400\alpha_2 = 0$, которая с помощью процедуры минимизации среднеквадратического отклонения левых и правых частей этой системы уравнений преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} 98\alpha_1 + 7400\alpha_2 &= 6,5; \\ 1610\alpha_1 + 640800\alpha_2 &= 200,5. \end{aligned}$$

Ее решение дает искомые значения коэффициентов:

$$\alpha_1 = 0,0507, \alpha_2 = 0,0019. \quad (5)$$

Они определяют искомую меру введенного пространства:

$$d(A, B) = (0,0507 (x_1^A - x_1^B)^2 + 0,0019 (x_2^A - x_2^B)^2)^{0,5}. \quad (6)$$

Полученные значения α учитывают размерность, важность и масштаб переменных x_1 и x_2 .

Опираясь на понятие расстояния между ситуациями (точками признакового пространства) можно ввести понятие расстояния между точкой и классом. В частности, соотношение (2) использует эталон как представителя класса. В случае пограничных ситуаций, находящихся на пересечении классов, целесообразнее использовать иные постановки, например, в качестве расстояния между точкой X и классом V_j может также служить соотношение:

$$d_1(X, V_j) = \frac{k - k_j}{k}. \quad (7)$$

где k_j – число точек j -го класса среди K ближайших к X точек обучающей последовательности.

В работе приведен полный перечень аналитических соотношений, описывающих расстояние между текущей и выделенными эталонными классами ситуаций.

Целью второй главы было показать возможности формализованных методов анализа. Эталоны типов территорий хранятся в базе данных системы мониторинга. Текущее состояние определяется из показаний датчиков установленных на склоне (результатов измерений). Машина рассчитывает расстояния, сравнивает их между собой и оперативно сообщает ЛПР об изменении или сохранении степени опасности развития оползня.

Введя анализируемые данные в компьютерную модель, можно «проигрывать» различные варианты развития оползня, имитируя те или иные возмущающие воздействия. Для этих расчетов необходима информация о свойствах задействованных в сползании грунтов, которую можно получить с помощью физического моделирования.

Физическое моделирование призвано обеспечить аналитические и имитационные модели необходимой информацией о свойствах грунтов. Рассмотрим некоторые полученные модели.

1. По образцам грунта, взятым с объектов исследования, в лабораторных условиях определены зависимости сцепления, угла внутреннего трения от влажности грунта. По результатам экспериментальных замеров построены соответствующие регрессионные модели.

Реализованы однофакторные модели вида:

$$k = f(w). \quad (8)$$

Полученные модели аппроксимируются отрезками убывающих квадратичных и/или экспоненциальных зависимостей. При накоплении данных о свойствах различных грунтов возможна постановка задачи построения многофакторной модели, отражающей зависимость устойчивости склона не только от влажности, но и от иных факторов (состава грунта, внешних нагрузок и т.д.).

$$k = f(w, x, z, \dots). \quad (9)$$

2. Для осуществления предварительной обработки измеряемой величины были построены регрессионные модели по результатам показаний датчиков и реально измеряемой физической величины - влажности грунтов оползневых склонов. Полученные результаты используются в расчетной модели устойчивости склона.

Создание постоянно функционирующей динамической геоинформационной модели объекта при постоянном сборе и анализе информации об изменении свойств грунтов с помощью датчиков установленных на склоне позволит вносить управленческие решения по

стабилизации природно-технического объекта в зависимости от степени опасности и риска развития оползневого процесса.

Имитационным моделированием оползневых процессов определяются граничные условия устойчивости оползневых и оползнеопасных склонов, что дает возможность предвосхитить оползнеобразование на склонах различного функционального использования. Разработанные на основе результатов исследований предложения позволяют получить цельное представление об оползневой обстановке на описываемой территории, и повысить рациональность и эффективность принимаемых проектных решений по противооползневым мероприятиям, а следовательно – снизить стоимость и повысить эффективность последних.

Применяемый аппарат корреляционного анализа позволил разработать механизм расстановки датчиков на «поле» мониторинга с учетом требования – рациональное согласование различных критериев: максимизация точности собираемой информации, минимизация затрат на техническое оборудование мониторинга.

Были выделены две различные технологические задачи.

1. Восстановление сигнала (степени обводнения территории с заданной точностью).
2. Прогноз степени увлажнения грунтов.

Для решения первой поставленной задачи задается пороговое значение коэффициента корреляции R_3 , определяющее требуемую точность восстановления сигнала. Если между экспериментально установленными точками коэффициент корреляции меньше R_3 , то точки установки датчиков сдвигаются, если коэффициент корреляции больше R_3 , то точки разводят.

Для решения второй задачи - прогноз степени увлажнения грунтов рассмотрим точки, последовательно расположенные по склону, например, *A* и *E*. Фиксируем в этих точках с помощью датчиков через заданные промежутки времени степень увлажнения грунта, таблица 2.

Таблица 2. – Результаты натуральных наблюдений за изменением влажности грунта

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
w_A	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,9	0,7	0,1
w_E	0,15	0,25	0,4	0,5	0,43	0,57	0,9	0,75	0,9	0,9	0,95

Рассчитаем корреляцию исходных рядов $R_0(w_A, w_E)$, рядов, сдвинутых на один шаг наблюдений $R_1(w_A, w_E)$, два шага $R_2(w_A, w_E)$ и так далее. Получим:
 $R_0(w_A, w_E) = 0,67$, $R_1(w_A, w_E) = 0,77$, $R_2(w_A, w_E) = 0,86$, $R_3(w_A, w_E) = 0,80$.

На основе анализа полученных значений коэффициентов корреляций сделан вывод: показания второго датчика (ниже по склону) наиболее коррелируют со значениями первого датчика, опережающими на два такта измерения. Эти два такта и являются интервалом упреждения развития ситуации обводнения.

Логико-лингвистические модели анализа формировались на основе знаний экспертов об исследуемом процессе для автоматизации процедур машинного принятия решений. Рассмотрена процедура формализации знаний экспертов идентифицирующей степень опасности склонов оползневых территорий. Произведен расчет функции принадлежности исследуемого нечеткого множества (рис. 1).

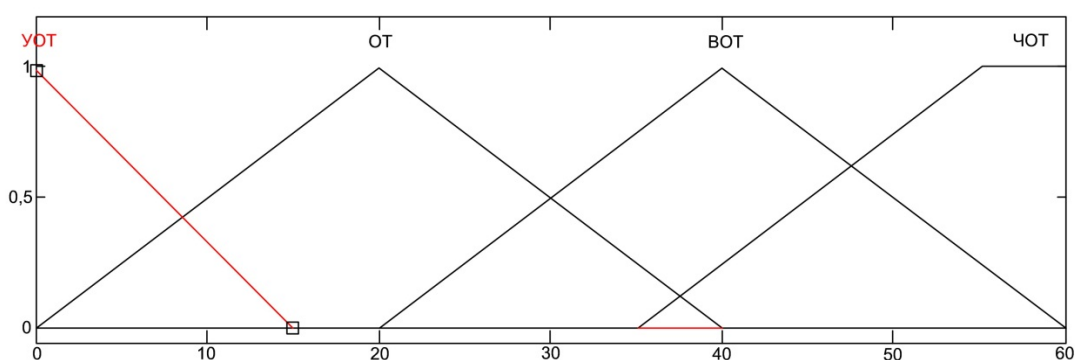


Рис. 1. – Функции принадлежности значений лингвистической переменной «степень опасности»

Для формирования базы правил в качестве входной лингвистической переменной использовалось состояние склона, характеризуемое рядом признаков: x_1, x_2, x_3, x_4 . В качестве выходной лингвистической переменной - степень опасности.

Третья глава «**Анализ состояния и развитие геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов**» посвящена общему анализу проблем синтеза геоинформационной системы мониторинга оползней, включающему спутниковые технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и технологии, основанные на беспроводных сенсорных сетях (БСС).

В частности, предлагается создать геоинформационную систему мониторинга оползневых склонов (ГИСМО) совместив технологии:

- мониторинг объекта с помощью БСС (обеспечивающий локальный мониторинг оползнеопасных склонов);
- спутниковые технологии (обеспечивающие региональный мониторинг).

Центр анализа и управления следует снабдить механизмом предсказания возникновения тех или иных ситуаций – интеллектуальный решатель

проблемы. В следующем разделе подробно описано структурное, функциональное и инструментальное содержание ГИСМО, в целом, и интеллектуального решателя, в частности.

В данном разделе разработан авторский вариант системы мониторинга оползневых процессов. Он основан на автоматизации интерактивных систем мониторинга оползневых ситуаций и включает алгоритмы синтеза и интеллектуального функционирования геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов. Синтез ГИСМО представлен следующими этапами, включающими в своем составе алгоритм функционирования.

1. На основании предварительного обследования объекта формируется вектор:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (10)$$

и рассчитывается приближенное выражение для функции:

$$J = f(X). \quad (11)$$

2. Подсистема сбора и первичной обработки информации БСС осуществляет постоянный мониторинг параметров (10).

3. По каналам радиосвязи полученная информация передается в блок принятия решений (БПР).

4. В БПР осуществляются:

- идентификация состояния объекта (выявляется принадлежность текущего состояния к одному из заданных порогов опасности);
- выдача информации ЛПР;
- документирование динамики состояния объекта, отражающее его поведение в зависимости от различных состояний среды и состояний собственно ГИСМО;
- коррекция геоинформационной модели.

Этапы 2-4 выполняются циклически.

Система предусматривает два вида обучения:

- начальное обучение (лабораторное);
- систематическую коррекцию параметров геоинформационной модели по результатам работы системы.

В обучаемой подсистеме принятия решений (рис. 2) накапливаются от датчиков с одной стороны данные и факты об исследуемом объекте (база факторов), и с другой возможные варианты предельно-допустимых состояний (база гипотез). Они сопоставляются в интеллектуальном решателе, ориентируясь на обучающие примеры, прогнозные модели объекта. Эти примеры являются эталонами принятия решений в детерминированной среде. Данные о состоянии объекта обработаны согласно правилам, сформированным

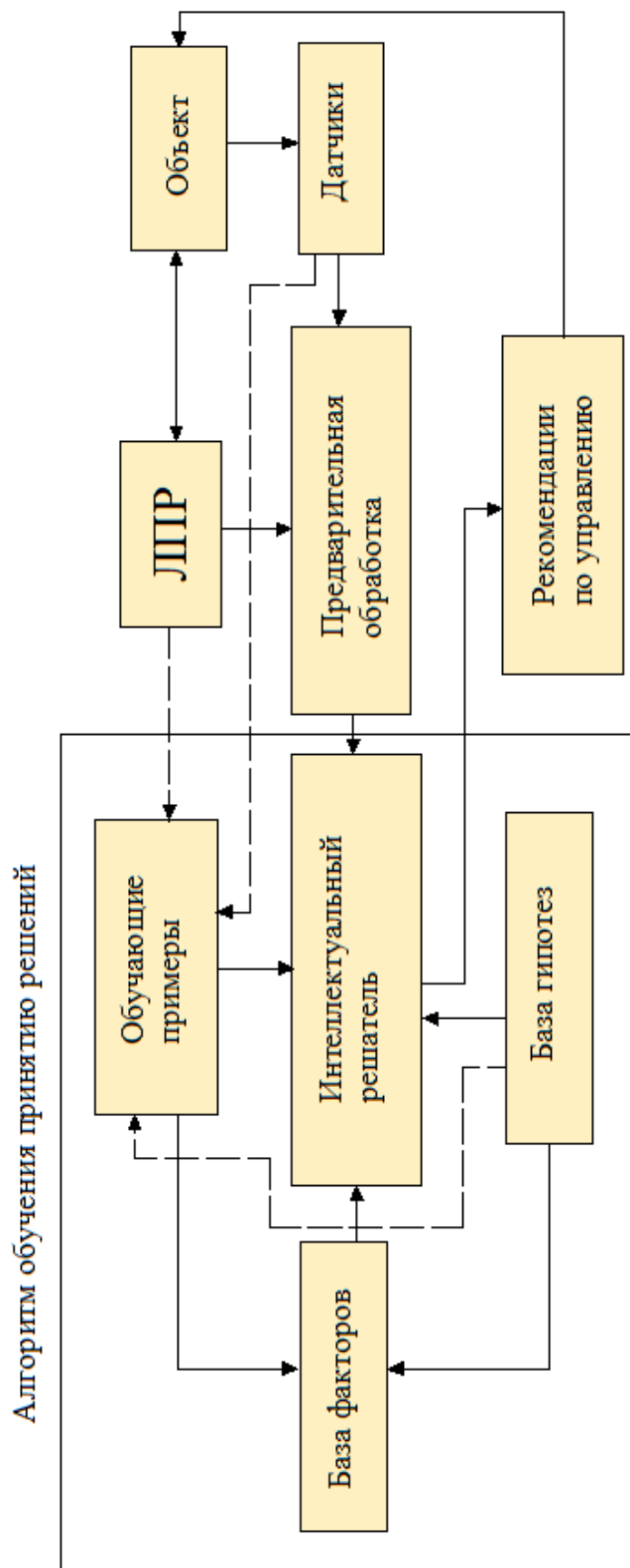


Рис. 2. Схема обучения и принятия решений ГИСМО

в подсистеме принятия решений, и полученные данные состояния в виде рекомендации по управлению (управляющих сигналов) поступают на пульт организации, осуществляющей контроль оползнеопасного объекта.

В четвертой главе «**Прикладные аспекты разработки и внедрения геоинформационной системы мониторинга оползневых процессов**» описано необходимое программно-математическое обеспечение системы, технические средства мониторинга оползневых процессов. Особое внимание в данном разделе уделено средствам идентификации состояния оползня, организации каналов передачи информации. Описано техническое обеспечение системы мониторинга оползневых склонов. Представлена схема организации каналов передачи информации ГИСМО. В завершении рассмотрены некоторые прикладные аспекты внедрения разработанных моделей, методов, подходов.

В этом разделе освещены прикладные аспекты разработки и внедрения геоинформационной технологии исследования оползневых процессов.

Особое внимание уделено анализу программно-математического обеспечения системы ГИСМО: программной платформе MeshLogic и интеллектуализации алгоритмов функционирования системы на основе применения средств Data Mining: ассоциация, последовательность, классификация, кластеризация, прогнозирование.

В частности проведен обзор систем интеллектуального анализа данных, который позволил раскрыть их потенциал для совершенствования функционирования ГИСМО. К ним относятся:

1. Предметно-ориентированные аналитические системы. В работе предложены авторские дополнения, учитывающие разработанные в диссертации подходы и методы.

2. Статистические пакеты.

3. Нейронные сети.

4. Системы рассуждений на основе аналогичных случаев (case based reasoning — CBR). Развитие этого метода видится в разработке формализованных механизмов отбора информативных признаков сравниваемых ситуаций, мер их сравнения.

5. Деревья решений. Рассмотрен конкретный пример выбора типа мониторинга оползня, развивающий представление об индикативном и репрезентативном мониторинге.

Точки ветвления на рисунке 3 обозначают: x_1 - наличие подвижек грунта, образование трещин; x_2 - возникновение опасных напряжений в грунте, конструкции искусственного сооружения; x_3 - степень обводнения территории.

Для каждого признака устанавливается порог. Если порог превышен – алгоритм отправляет на репрезентативный мониторинг, если нет – на индикативный.

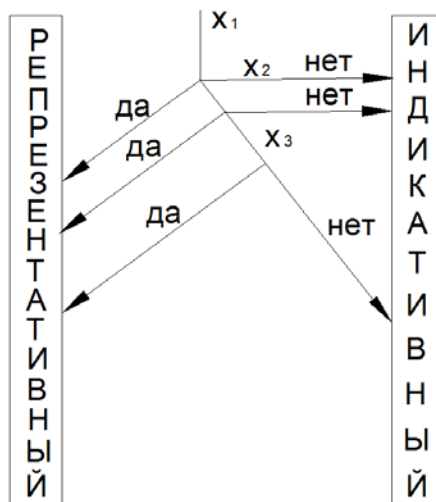


Рис. 3. – Задача выбора схемы мониторинга объекта

6. Методы нечеткой логики. При использовании нечетких систем следует учитывать:

- формулировка исходных правил для построения функции принадлежности осуществляется человеком и может оказаться неполной или противоречивой;
- вид и параметры функции принадлежности задаются человеком и могут так же не отражать действительность.

7. Нечеткие (гибридные) нейронные сети. Основная идея создавать нечеткие системы адаптивными, умеющими «подстраиваться» в процессе работы.

8. Нечеткий ситуационный вывод. Объединяя п.п. 5 и 6, в условиях отсутствия достоверной (для расчета вероятностей перехода по дереву) информации приходим к методу «нечеткий ситуационный вывод».

9. Когнитивные карты.

На рисунке 4 приведен фрагмент когнитивной карты, характеризующей взаимосвязь техногенных и природных воздействий на береговую опору железнодорожного моста, находящегося в зоне образования оползня.

Приведённая выше классификация средств анализа данных условна, так как многие программы включают в себя несколько альтернативных методов для решения одних классов задач.

У всех перечисленных выше систем есть две общие особенности.

Во-первых, все системы ориентированы на извлечение информации из данных (как числовых, так и текстовых) и превращения её в знания необходимые для принятия решений.

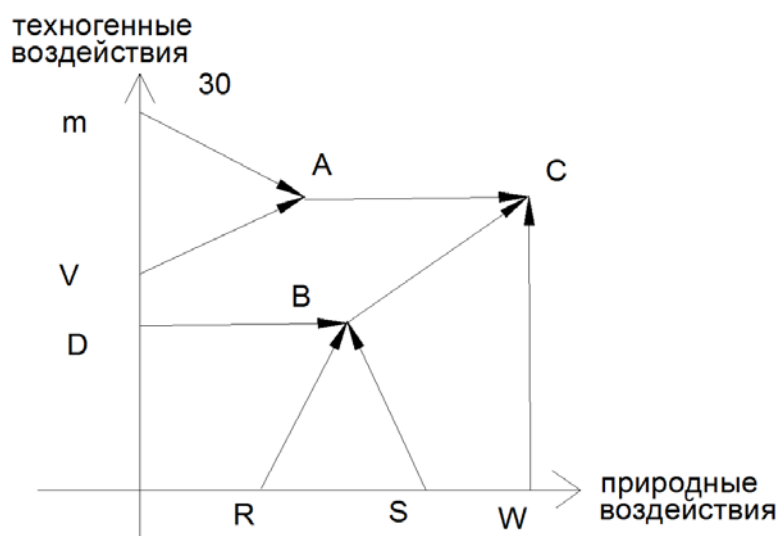


Рис. 4. – Когнитивная карта оползнеопасной территории: m – масса движущегося состава, V – скорость состава, D – дренаж воды по склону, R – осадки, S – уровень воды в реке, W – ветровая нагрузка на конструкцию, A – вибрационная нагрузка на искусственное сооружение, B – степень увлажнения грунта, C – степень опасности.

Во-вторых, в отличие от классических моделей статистики вид изучаемых связей и зависимостей не задаётся априори, а подбирается компьютером итеративно с целью наилучшего описания данных.

В **заключении** диссертации подведены итоги исследования и приведены основные выводы и результаты, которые отражены в следующих пунктах:

1. Определена совокупность требований и основные принципы создания ГИСМО, сформулирована логика смешанного (индикативно-репрезентативного) мониторинга, показаны возможности методов отбора информативных признаков для формирования набора индикаторов.

2. Сформулирована идея комплексного геоинформационного моделирования оползневых процессов, включающего физическое, аналитическое, имитационное, логико-лингвистическое моделирование, которые дают синергетический эффект совместного применения. Предложен авторский подход к построению динамической геоинформационной модели оползней.

3. Подробно раскрыт механизм построения признакового пространства исследования оползней: отбор информативных признаков, построение меры близости между ситуациями. Проанализированы возможности

корреляционного анализа для эффективной расстановки датчиков и прогноза их показаний. Приведен математический аппарат, формализующий процедуру классификации оползней на основе применения теории распознавания образов.

4. Рассмотрена процедура формализации знаний экспертов. Произведен расчет функции принадлежности исследуемого нечеткого множества.

5. Сформирована авторская концепция синтеза ГИСМО, опирающаяся на современные достижения и перспективные для внедрения интеллектуальные технологии принятия решений. Разработана архитектура и алгоритм синтеза и функционирования ГИСМО.

6. Произведен анализ программно-математического обеспечения ГИСМО на программной платформе MeshLogic и интеллектуализации на основе применения средств Data Mining: ассоциация, классификация, кластеризация, прогнозирование.

7. Рассмотрено техническое обеспечение мониторинга оползневых процессов, произведен анализ средств идентификации состояния оползня и разработана схема организации каналов передачи информации ГИСМО. В основе сбора данных предложено использовать систему беспроводных сенсорных узлов. Узлы должны содержать необходимые для измерения датчики влажности, акселерометры и инклинометры.

8. Приведены прикладные аспекты разработки и внедрения геоинформационной технологии исследования оползневых процессов. В частности приведены результаты полевых исследований ряда типичных объектов территорий Ростовской области и Краснодарского края.

По теме диссертации опубликованы следующие работы в печатных изданиях по перечню ВАК:

1. Скнарина Н. А. Эколого-геодинамическая оценка территории правого берега Нижнего Дона в связи с развитием оползневых процессов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – № 2, 2009. – с.106 - 109.

2. Скнарина Н. А. Роль и место физического и имитационного моделирования для оценки условий образования и динамики оползневых процессов // Вестник РГУПС, – № 1, 2011. – с. 107-110.

3. Скнарина Н. А. Моделирование оползневых процессов и процедур принятия решений в системах мониторинга искусственных сооружений железнодорожного транспорта // Вестник РГУПС, – № 2, 2011. – с. 70 - 73.

И другие работы:

1. Скнарина Н. А. Эколого-геодинамическая характеристика оползневых процессов на участке Шахтинско - Донского водовода в правобережье реки Дон // Тезисы докладов III Межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: «Молодежь XXI века - будущее Российской науки» - Ростов-на-Дону, Изд-во ООО «ЦВВР», 2005. – с.153 - 154.

2. Коробкин В. И., Коробкин А. В., Скнарина Н. А. Эколого-геодинамические условия эксплуатации водозаборных сооружений Шахтинско - Донского водовода в Ростовской области // Труды Международной научной конференции: «Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики». / Под редакцией В. Т. Трофимова и В. А. Королёва. - М.: Изд-во Московского университета, 2006. – с. 144 - 145.

3. Скнарина Н. А. Техногенные воздействия и их последствия на оползневых склонах правобережья Нижнего Дона // Сборник докладов: «Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и экологической геологии». Ростов-на-Дону, ЮФУ, 2008. – с. 190 - 196.

4. Скнарина Н. А., Андриенко Е. А. Расчет устойчивости оползнеопасных склонов на примере района Большого Сочи // Сборник докладов: «Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и экологической геологии». Ростов-на-Дону, ЮФУ, 2008. – с. 96 - 102.

5. Коробкин В. И., Скнарина Н. А. Исследование современных оползневых процессов в черте городских агломераций // Труды Международной научной конференции: «Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка». / Под редакцией В. Т. Трофимова и В. А. Королева. - М.: Изд-во Московского университета, 2009. – с.137 - 138.

6. Скнарина Н. А. Оползни как эколого-геологический фактор на примере правобережья Нижнего Дона // Материалы российской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной «Году Планеты Земля», «Планета Земля: актуальные вопросы геологии глазами молодых ученых и студентов» – М.: Изд-во МГУ, 2009. том 3. - с.67 - 72.

7. Скнарина Н. А. Изучение современной оползневой активности правобережья Нижнего Дона // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. // VI Щукинские чтения — Труды (коллектив авторов). М.: Географический факультет МГУ, 2010. – с. 221 - 222.

8. Коробкин В. И., Скнарина Н. А. Оценка влияния динамики развития оползневых процессов на биогеоценозы // Труды Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии». / Под редакцией В. Т. Трофимова и В. А. Королева.- М., Изд-во Московского университета, 2010. – с. 273.

9. Скарнина Н. А. Имитационное моделирование природных и техногенно обусловленных оползневых процессов // Сборник трудов VI международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». / Под редакцией Ю. Н. Федорова. Изд-во КМЦ "Копицентр", 2010. – с. 353 - 354.

10. Скарнина Н. А. Оценка опасности и риска развития оползневых процессов // Материалы II международная научно-практическая конференция «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа». - Владикавказ: Изд-во ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А. 2010. – с. 220 - 225.

11. Скарнина Н. А. Механизм функционирования интеллектуальной геоинформационной системы управления оползневыми процессами // Материалы III Межрегиональной научно-практической конференции «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края». Изд-во ПГУ, 2010. – с. 96 - 100.

12. Скарнина Н. А. Геоинформационная система мониторинга и управления оползнями // Электронный сборник тезисов Пятой Сибирской конференции молодых учёных по наукам о Земле. 29 ноября- 2 декабря 2010. Новосибирск. <http://sibconf.igm.nsc.ru>

13. Скарнина Н. А. Интеллектуализация функционирования геоинформационной системы мониторинга и управления оползнями // Труды молодых ученых ВГУ – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2010. – с. 102 - 105.

14. Шабельников В. А., Скарнина Н. А. Комплексная система управления рисками объектов транспортной инфраструктуры // Сборник материалов первой Международной научно - практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» - Спб: Изд-во ПГУПС, 2011. – с. 446.

15. Шабельников В. А., Скарнина Н. А. Формализация знаний эксперта в человеко-машинных комплексах // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT' 11». – М.: Физматлит, 2011. – Т.1. – с. 598.

16. Лябах Н. Н., Скарнина Н. А. Экспертно - аналитический метод построения признакового пространства исследования сложного объекта // Материалы IV - ой Международной НПК «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Т. 2. – М.: Физматлит, 2011. – с. 953 - 958.

17. Скарнина Н.А. Решение задач расстановки сети датчиков при организации геоинформационной системы мониторинга оползнеопасных склонов // Кибернетика № 6, 2011: Ганновер: Kybernetika-verlag. – с. 25 - 29.

Подписано в печать 11.01.2012
Заказ №798 Тираж 100 экз.
Печать трафаретная. Объем: 1,0 усл. п. л.
ООО «КопиПринт»

105064, г. Москва, Земляной вал, д. 24/32.