

На правах рукописи

Орлова Наталья Вячеславовна

**АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
ПРИРОДНОГО ОБЪЕКТА**

Специальность 25.00.35 — Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2010

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
Алешин Игорь Владимирович

кандидат технических наук, доцент
Шишкин Анатолий Дмитриевич

Ведущая организация: ОАО «Информационные телекоммуникационные технологии»

Защита состоится 22 декабря 2010 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 19 декабря 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.197.03

доктор технических наук, профессор

П.П. Бескид

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Решение проблем экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов при постоянно возрастающем антропогенном воздействии, вызванным активной хозяйственной деятельностью человека, невозможно без знаний об их текущем состоянии, без получения достоверной и исчерпывающей информации о степени загрязнения, как в количественной, так и в качественной характеристике, и получении на этой основе оценок состояния природных объектов. Оценка помогает дать ответ на вопрос о благополучии состояния природных объектов, указать, чем именно оно обусловлено, определить действия, направленные на его нормализацию или указать благоприятные ситуации, наличие природных возможностей.

Использование геоинформационных систем, как систем предназначенных для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах, позволяет провести сбор, обработку и обобщение пространственно-распределенных данных, обеспечивает интеграцию данных и знаний о территории для эффективного использования при решении задач, связанных с учетом, анализом, моделированием, прогнозированием и выработкой управляющих решений.

ГИС обеспечивают эффективное решение задач, связанных с анализом целостности и устойчивости природных объектов, с оценкой их состояния, при которой необходимо соединять результаты обработки данных, получать оценку в соответствии с критериями качества по различным параметрам и дать общую качественную оценку в соответствии с функцией использования, а также, прогнозированием изменения состояния этих объектов, определением возможной их деградации. Использование основных преимуществ ГИС – автоматизации процессов анализа и визуализации дает возможность понимать ситуацию и отражать скрытые ранее тенденции и особенности, которые практически невозможно увидеть при табличной организации данных.

Целью работы является разработка алгоритмического обеспечения и методики формирования ГИС-проекта оценки состояния природного объекта на основе данных контроля.

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

1. Анализ вопросов получения достоверной информации на основании результатов контроля, обеспечение единства измерений при формировании оценок состояния природного объекта;

2. Анализ возможности объединения данных контроля для получения оценки состояния природного объекта на метрологической основе;
3. Анализ и разработка алгоритмов получения сложных и комплексных оценок состояния природного объекта;
4. Разработка алгоритмов формирования нормированной шкалы простой, сложной и комплексной оценки состояния природного объекта;
5. Анализ метрологических характеристик линейных и логарифмических нормированных шкал;
6. Разработка методики создания ГИС-проекта формирования оценки состояния природного объекта на основе нормированных шкал.

Методы исследования

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

Научная новизна определяется тем, что впервые разработано алгоритмическое обеспечение и методика формирования ГИС-проекта на основе нормированных шкал для получения оценки состояния природного объекта.

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

1. Модель представления результатов контроля для получения оценок состояния природного объекта, позволяющая получать оценки с соблюдением принципа единства измерений;
2. Алгоритм формирования нормированной шкалы с масштабированием на разных участках, обеспечивающий получение симметричной оценки и алгоритм формирования логарифмической нормированной шкалы, обеспечивающий отражение всего диапазона событий через значение логарифма нормированной величины результата контроля с шириной коридоров, имеющих значения одного порядка;
3. Алгоритмы получения простых, сложных и комплексных оценок состояния природного объекта на основе данных контроля, позволяющие реализовать задачу получения оценок в автоматическом режиме при помощи ГИС технологии;
4. Методика создания ГИС-проекта для получения комплексной оценки состояния сложного объекта на основе простых и сложных оценок, позволившая получить оценку, провести анализ и выявить тенденции изменения состояния природного объекта.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что:

1. Разработанные алгоритмы формирования нормированных шкал позволяют автоматизировать процесс получения комплексной оценки

состояния природного объекта, объединяя результаты простых и сложных оценок на основе результатов контроля характеристик;

2. Представление результатов контроля характеристик, простых и сложных оценок в виде слоев геоинформационной системы позволяет достоверно и наглядно оценить состояние природного объекта, а оперативность и актуальность представленной информации сокращает время принятия решений;

3. Разработанная методика формирования геоинформационных проектов дает возможность создания систем оценивания состояния природных объектов в автоматическом режиме.

Внедрение и реализация результатов работы. Достоверность научных и практических положений и рекомендаций подтверждены результатами испытаний и экспериментов, а также полученными оценками состояния водных объектов и результатами внедрения.

Результаты диссертационного исследования использованы при разработке методологии формирования комплексной оценки, прогнозирования и предупреждения техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (ПМЧС-11, 2009-2010 гг), при обучении магистров в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» по дисциплинам: «Интегрированные измерительные системы на базе ГИС технологий» и «Обработка пространственных данных», в научной и практической деятельности Балтийской дирекции по техническому обеспечению надзора на море и лаборатории экологического нормирования при Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров (СПб ГТУРП), в практическую деятельность ООО «Гидроэконорма».

Апробация работы.

На XII и XIII международных конференциях пользователей ESRI & Leica Geosystems в России и странах СНГ (Москва, 2008 и 2009 гг), международном конгрессе «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов (Санкт-Петербург, 2009 и 2010 гг), 63-ей научно-технической конф. ППС СПбГЭТУ (Санкт-Петербург, 2010), XIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2010) (Санкт-Петербург, 2010).

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 16 работ, в том числе монография и 5 статей в ведущих журналах и изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы включающей 118 наименований и приложений. Основная часть работы изложена на 122 страницах машинописного текста. Работа содержит 31 рисунок и 28 таблиц.

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 «Оценка состояния природных объектов на основе результатов контроля» рассматриваются проблемы оценивания состояния природных объектов.

На примере оценки состояния водного объекта, показано, что при получении показателей качества воды в соответствии с типом водопользования (функциональным назначением), предъявляются различные критерии качества, характеризующие степень загрязненности, степень устойчивости и др. Эти показатели качества могут быть как простыми, так и сложными, то есть отражать общую загрязненность исследуемого природного объекта смесью нескольких загрязнителей.

Единичные (простые) оценки, осуществляющие сравнение с нормативными значениями, не дают четкого представления о суммарном загрязнении водных объектов и не позволяют однозначно выражать степень качества воды с различным характером загрязнения.

Разработанный ряд стандартизированных методик позволяет дать оценку состояния либо по различным типам параметров (гидрохимическим, гидробиологическим, микробиологическим и др.), либо по комплексу параметров. Однако существующие методики не имеют единой критериальной основы, дают оценку по различному числу классов и имеют различные диапазоны и размерности оценки, что затрудняет получение оценки суммарного загрязнения водного объекта, не позволяют отобразить степень качества воды с различным характером загрязнения и сравнить оценки состояния нескольких водных объектов.

Задачу объединения данных разного рода для получения оценки состояния природного объекта можно решать на метрологической основе, объединяя разнородные величины с помощью нормированных шкал. При этом различные характеристики приводятся к единой шкале для сравнения или объединения.

Показано, что для множества разнородных данных, используемых при формировании оценки состояния природного объекта, представление результатов контроля в виде значения величины и характеристики неопределенности позволяет обеспечить достоверность измерительной информации (единство измерений или единую метрологическую основу) и возможность их объединения на основе нормированной шкалы качественных оценок. Таким образом, данные

контроля в геоинформационной системе должны представляться как сложный структурно-организованный вектор геоданных, который в своем составе имеет:

- Результаты контроля и значение неопределенности $s = \{s^*, \sigma_s\}$, где s^* - результат измерения, σ_s – среднеквадратическое отклонение результатов измерений;

- Координаты точки контроля в пространстве и времени
 $G_k = \{\text{долгота, широта, глубина (высота над уровнем моря), дата, время}\};$

- Нормативная и контрольно-методическая информация
 $G_n = \{\text{наименование контролируемой величины, единицы измерения, минимальное и максимальное значения контролируемой величины, нормативные значения контролируемой величины для различных целей использования контролируемого объекта, измерительное средство, методика контроля, метрологические характеристики средства и методики, и др.}\};$

- Атрибутивная геоинформация
 $G_r = \{\text{наименование объекта, тип объекта, физические характеристики объекта, географические характеристики объекта, технико-экономические характеристики объекта и др.}\}.$

Следовательно, результаты контроля параметров природного объекта в геоинформационной системе должны представляться в виде некоторой структуры геоданных, описывающей все необходимые для решаемой задачи свойства данных, т.е. в виде соответствующего множества параметров (модели)

$$S = \{s, G_k, G_n, G_r\}.$$

Показано, что технология ГИС дает возможность автоматизировать получение простых и сложных оценок на основе сформированных баз геоданных, базы нормативных данных, результатов контрольных измерений, экспертизы и др. Послойная организация данных обеспечивает построение системы получения простых, сложных и комплексных оценок, при этом результаты оценивания определяются как слои ГИС и используются для анализа состояния объекта.

Во второй главе «Анализ и разработка алгоритмов формирования нормированных шкал» рассмотрены алгоритмы формирования нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок.

При формировании нормированных шкал простых оценок рассмотрены два возможных подхода: первый – приведение контрольных измерений к нормированной качественной шкале оценок состояния природного объекта; второй – получение шкалы нормированных значений измеряемой величины и разбиение ее на интервалы качественной оценки.

Показано, что оба подхода представляют качественную оценку в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями. Например, $O = \{НТ, ЗН, НН, Н, ВН, ЗВ, ЧВ\}$: 0-1 – показатель имеет минимальные значения в пределах точности проводимых измерений (НТ), 1-2 –

значительно ниже нормы (ЗН), 2-3 – ниже нормы (НН), 3-4 – норма (Н), 4-5 – выше нормы (ВН), 5-6 – значительно выше нормы (ЗВ), 6-7 чрезвычайно высокая – (ЧВ), где цифры определяют номера границ коридоров шкалы качественной оценки. При этом вероятность принятия того или иного значения

качества на каждом из отрезков может быть определена как $P_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} p(s^*) ds$, $i=1 \div 7$, где $p(s^*)$ – вероятность нахождения результата контрольного измерения в соответствующем интервале значений контролируемой величины.

При этом второй подход дает возможность провести анализ динамики изменения состояния объекта во времени, спрогнозировать развитие ситуации.

При формировании нормированной шкалы интегральных оценок проведен анализ вариантов объединения простых оценок в интегральный показатель качества или состояния объекта, построенных на основе операции нормирования для обеспечения возможности объединения результатов контрольных измерений:

1. Нормирование путем деления на ПДК,
2. Приведение каждого результата к нормированной шкале качественной оценки,
3. Формирование для каждого показателя нормированной шкалы с последующим объединением и формированием нормированной шкалы для комплексного показателя.

Первый подход является стандартизированным при получении интегральных оценок в водной и воздушной средах при объединении результатов измерений концентрации веществ, но не применим для характеристик, не имеющих значения ПДК.

Второй подход позволяет формировать комплексную оценку, объединяя разные характеристики, но требует построения плоскости соответствия для каждого параметра и объединения параметров на уровне нормированной качественной шкалы. Вероятность нахождения полученной нормированной оценки в k -ом коридоре (вероятность нахождения контролируемой объекта в k -ом состоянии (качестве) определяется как

$$P_k = (\sum_{i=1}^n s_{ki}) / \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n s_{ki}, \quad \sum_{k=1}^K P_k = 1,$$

где i – номер контролируемого параметра, n – количество контролируемых параметров, k – номер коридора шкалы нормированного пространства, K – количество коридоров.

Третий подход позволяет формировать для каждого показателя нормированную шкалу с последующим объединением и формированием нормированной шкалы для комплексного показателя.

На примере числовых характеристик оценки устойчивости водоема к изменению параметров естественного режима показано, что третий подход может быть распространен на оценки, получаемые путем суммирования

взвешенных в соответствии с их значимостью нормированных параметров в соответствии с выражением

$$I_k = \left(\sum_{k=1}^n a_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n a_k s_k .$$

где a_k – коэффициент значимости суммируемого параметра, s_k – значение контролируемого параметра, k – индекс параметра из множества контролируемых параметров, входящих в сложную оценку, n – количество параметров в списке.

В процессе получения интегральной оценки параметров объекта λ^* значения частных оценок суммируются, при этом суммируются и их случайные составляющие погрешности

$$I^* = \sum_{k=1}^n a_k (I_k \pm g s_l),$$

где λ_k – оценка контролируемого параметра, σ_λ – среднеквадратическое отклонение оценки контролируемого параметра, g – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и закона распределения.

Показано, что полученные нормированные шкалы для интегральных оценок позволяют достаточно просто по нормированным значениям параметров идентифицировать состояние объекта, определить его класс и могут быть построены для любой группы параметров.

При этом для возможности объединения оценок необходимо при формировании шкал обеспечивать их одинаковую направленность и сравнимость – один порядок точности представления результатов, что является важным при формировании значений нормированной шкалы для параметров, у которых один из пределов не определен.

Сложные оценки состояния природных объектов определяются по сертифицированным методикам, позволяющим получить значение показателя качества на основании контрольных измерений. Как правило, шкалы этих оценок носят специфический характер и не нормированы, что затрудняет применение этих оценок для более сложного анализа.

Формирование нормированных шкал сложных оценок рассмотрено на примерах построения шкал для показателей качества воды и загрязнения воздуха. Показано, что полученные оценки могут быть сведены к нормированной шкале: для этого доопределяются граничные значения (если пределы не определены), а граничные значения диапазонов шкалы вычисляются в соответствии с алгоритмом нормирования. Значение дисперсии получаемых оценок будет зависеть от точности контрольных измерений соответствующих параметров по правилам суммирования погрешностей измерения.

Например, при формировании нормированной шкалы оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха, определяемой комплексным показателем, учитывающим загрязнение атмосферы при одновременном присутствии нескольких вредных веществ в зависимости от числа источников загрязнения

(табл. 1, где ПДК_{сс} – среднесуточная предельно допустимая концентрация), для каждого значения параметра «Число источников загрязнения» строится своя шкала.

Таблица 1

Число источников загрязнения	Уровень загрязнения атмосферного воздуха, ПДК _{сс}				
	Допустимый	Слабый	Умеренный	Сильный	Очень сильный
2-3	(0.0) - 2.0	2.1-4.0	4.1-8.0	8.1-16.0	16.0 – (20.0)
4-9	(0.0) - 3.0	3.1-6.0	6.1-12.0	12.1-24.0	24.0 – (30.0)
10-20	(0.0) - 4.0	4.1-8.0	8.1-16.0	16.1-32.0	32.0 – (40.0)
более 20	(0.0) - 5.0	5.1-10.0	10.0-20.0	20.1-40.0	40.0 – (50.0)

Данная оценка может быть сведена к нормированной шкале. Значения коридоров шкалы оценок доопределены (числа в скобках), а значения шкалы вычислены по выражению $s_{ин} = (s_i - s_{imin}) / (s_{imax} - s_{imin})$.

В результате получим нормированную шкалу сложной оценки – табл.2

Таблица 2

Число источников загрязнения	Уровень загрязнения атмосферного воздуха, о.е.				
	Допустимый	Слабый	Умеренный	Сильный	Очень сильный
2-3, ($\alpha 1k$)	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.8	0.8 – 1.0
4-9, ($\alpha 2k$)	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.8	0.8 – 1.0
10-20, ($\alpha 3k$)	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.8	0.8 – 1.0
более 20, ($\alpha 4k$)	0.0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	0.4 – 0.8	0.8 – 1.0

Однако представленная шкала отражает только отрицательную сторону, т. е. показатели хорошего состояния сводятся к нулю, что не всегда справедливо и затрудняет ее использование для более сложного анализа. Для устранения данного недостатка рассматривается вариант построения нормированной шкалы с неравномерным масштабированием на разных участках.

На первом участке нормированные значения шкалы вычисляется по выражению $s_{ин} = (s_i / ПДКs_i) 2^{-1}$, при $s_i \leq ПДКs_i$, а на втором участке по выражению $s_{ин} = (1 + s_i / s_{imax}) 2^{-1} = ((s_{imax} + s_i) / s_{imax}) 2^{-1}$, при $s_i > ПДКs_i$.

Полученная нормированная шкала отражает весь диапазон событий с шириной коридоров одного порядка. Преобразованная в соответствии с предложенным алгоритмом шкала, на примере одной строки приведена в табл.3.

Таблица 3.

Число источников загрязнения	Уровень загрязнения атмосферного воздуха, $\log_2(s_i / ПДКs_i)$							
	НТ	ЗНН	НН	Н	Слабый	Умеренный	Сильный	Очень сильный
2-3	(-3)–(-2)	(-2)–(-1)	(-1)–0	0–1.0	1.0–2.0	2.0–3.0	3.0–4.0	4.0–(5.0)

Получение комплексной оценки связано с решением задач, формированием сложных целевых функций, объединяющих для каждого конкретного случая простые и сложные характеристики контролируемых параметров природного объекта, учитывающих степень влияния того или иного фактора с учетом соблюдения требования единства измерений ко всем данным и операциям над ними.

Это может быть достигнуто, если все множество оценок организовать в виде нормированного многопараметрического пространства, с обязательным формированием характеристик достоверности (неопределенности) для каждого значения контролируемых параметров. Логику получения комплексной оценки удобно записать в виде алгоритма

$$v_n^* = \sum_{m \in M} \{s_m^*, \lambda_m^*, \alpha_m\},$$

где M – множество контролируемых параметров при получении комплексной оценки, s_m^* , λ_m^* – простая и сложная оценки, входящие в множество важных характеристик M , α_m – значимость характеристики,

$I_m^* = \sum_{j \in J_m} (s_{mj}^*, I_{mj}^*)$, $s_{mj}^* = \{s_{mj}^*, \mathbf{S}_{s_{mj}}\}$, $I_{mj}^* = \{I_{mj}^*, \mathbf{S}_{I_{mj}}\}$, m – индекс подмножеств параметров простых и сложных оценок, J_m – подмножество параметров сложной оценки.

Сформированная логика получения комплексной оценки состояния объекта окружающей природной среды может быть реализована в виде ГИС–проекта.

В третьей главе «Метрологический анализ алгоритмов формирования нормированных шкал. Разработка методики создания геоинформационных проектов для получения оценок состояния природного объекта» проводится метрологический анализ алгоритмов формирования нормированных шкал.

Показано, что обеспечение метрологической сопоставимости результатов контроля физических величин различными средствами измерений может быть достигнуто при выражении достоверности результатов контроля в виде неопределенности $s = s^* \pm g\sigma_s$ (например, $s = s^* \pm 3\sigma_s$ при заданной доверительной вероятности $P=0,997$), где s^* – значение контролируемого показателя, σ_s – значение среднего квадратичного отклонения.

Показано, что при формировании нормированных шкал и требований к получаемым оценкам, необходимо обеспечить их сравнимость – один порядок, что важно для параметров, у которых один из пределов не определен.

Метрологический анализ формирования линейной нормированной шкалы рассмотрен на примере контроля качества воды по группе параметров. Для каждой группы определяется значение показателя $f_j = \sum_{i=1}^N b_{ij} \cdot s_{ij}$ и значение

коэффициента $k_i = \sum_{p=1}^m a_p \cdot f_{jp}$, где s_{ij} – значение контролируемого показателя, b_{ij} –

вес параметра в группе (определяется экспертами), a_p – вес группы в значении коэффициента (определяется экспертами).

Значение оценки будет иметь вид

$$k_i^* = \sum_{p=1}^m a_p \cdot \sum_{i=1}^N b_{ij} \cdot s_{ijp} \pm \sum_{p=1}^m a_p \cdot \sum_{i=1}^N b_{ij} \cdot D_{ijp} = k_i \pm D_{ki},$$

где D_{ki} – значение дисперсии рассматриваемой оценки.

Если $\sum_{i=1}^N b_{ij} = 1$ и $\sum_{p=1}^m a_p = 1$, то значения оценок соответствуют определяемой

величине, а погрешность оценивания в большой степени определяется максимальной погрешностью измерений. Поэтому целесообразно предъявлять к системе контроля требование применения средств контроля, имеющих (обеспечивающих) одинаковую точность. В этом случае можно утверждать, что $D_{ij} \approx D_{jj} \approx D_{ki}$.

При этом, значения границ участков нормированной шкалы (например, при числе диапазонов равных шести) определяются в соответствии с выражением

$$f_{ln} = (f_l - f_{jmin}) / (f_{jmax} - f_{jmin}), \quad l=1,6,$$

$$k_{ln} = (k_l - k_{imin}) / (k_{imax} - k_{imin}), \quad l=1,6.$$

Нормированное значение рассматриваемых оценок определяется как

$$f_{jn}^* = (f_j^* - f_{jmin}) / (f_{jmax} - f_{jmin}),$$

$$k_{in}^* = (k_i^* - k_{imin}) / (k_{imax} - k_{imin}).$$

Значение дисперсии получаемых оценок зависит от точности контрольных измерений соответствующих параметров и определяется по правилам суммирования погрешностей измерения. Дисперсии нормированных оценок при этом будут определяться выражениями

$$D_{fjn} = D_{fj} / (f_{jmax} - f_{jmin}), \quad D_{kin} = D_{ki} / (k_{imax} - k_{imin}),$$

откуда средние квадратические отклонения определяются как

$$\sigma_{fjn} = \sigma_{fj} / \sqrt{f_{jmax} - f_{jmin}}, \quad \sigma_{kin} = \sigma_{ki} / \sqrt{k_{imax} - k_{imin}}.$$

Таким образом, если обеспечена однородность результатов измерений контролируемых величин – точность измерений соответствует одному классу, то обеспечивается «одинаковая» достоверность определения оценок на всем диапазоне нормированной шкалы.

Метрологический анализ формирования логарифмической шкалы нормированных оценок рассмотрен на примере уровня загрязнения атмосферного воздуха, определяемого комплексным показателем, когда для каждого значения параметра «Число источников загрязнения» строится своя шкала (см. табл. 3). Схема формирования анализируемой нормированной шкалы приведена на рис. 1.

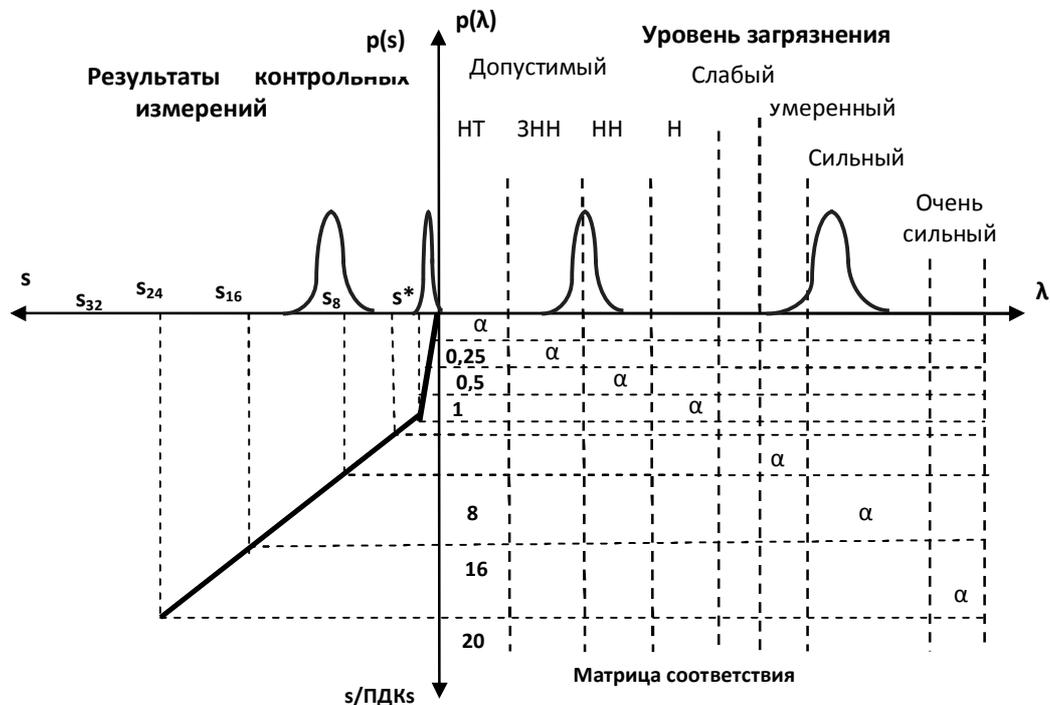


Рис. 1. Схема формирования нормированной шкалы загрязнения атмосферного воздуха с масштабированием на разных участках

Необходимость применения разных нормирующих коэффициентов на разных участках шкалы приводит к дополнительным алгоритмическим трудностям и дает разные метрологические характеристики получаемой оценки. Особенно это важно на границе «Норма» – «Слабый уровень загрязнения».

Для устранения данного недостатка предложен алгоритм построения нормированной шкалы с использованием логарифмической шкалы оценки результата измерений.

В отличие от примера (рис. 1) нормированные значения шкалы вычисляются по выражению $s_{iH} = s_i / \text{ПДК} s_i$ на всем анализируемом диапазоне, а шкала строится относительно значения логарифма от нормированного значения $c_i = \log_2(s_{iH}) = \log_2(s_i / \text{ПДК} s_i)$ (табл. 3).

Нормированное значение результата контроля будет определяться как $c_{iH}^* = (\log_2(s_i / \text{ПДК} s_i) - \min \log_2) / (\max \log_2 - \min \log_2)$. Схема формирования нормированной логарифмической шкалы представлена на рис. 2.

В результате получена логарифмическая нормированная шкала, отражающая весь диапазон событий, ширина коридоров которой имеет значения одного порядка, что соответствует принятым требованиям (в рассмотренном случае ширина коридоров шкалы получилась одинаковой и равна 0,125) (табл. 4).

Таким образом, полученная нормированная логарифмическая шкала, предназначенная для формирования оценки, имеет равные коридоры, а

значения оценок имеют одинаковые (одного порядка) метрологические характеристики.

Таблица 4.

Число источников загрязнения	Уровень загрязнения атмосферного воздуха, $(\log_2(x_i/\text{ПДК}_{xi}) + 3)/8$.							
	Нет	ЗНН	НН	Н	Слабый	Умеренный	Сильный	Очень сильный
2-3	0,0–0,125	0,125–0,25	0,25–0,375	0,375–0,5	0,5–0,625	0,625–0,75	0,75–0,875	0,875–1,0

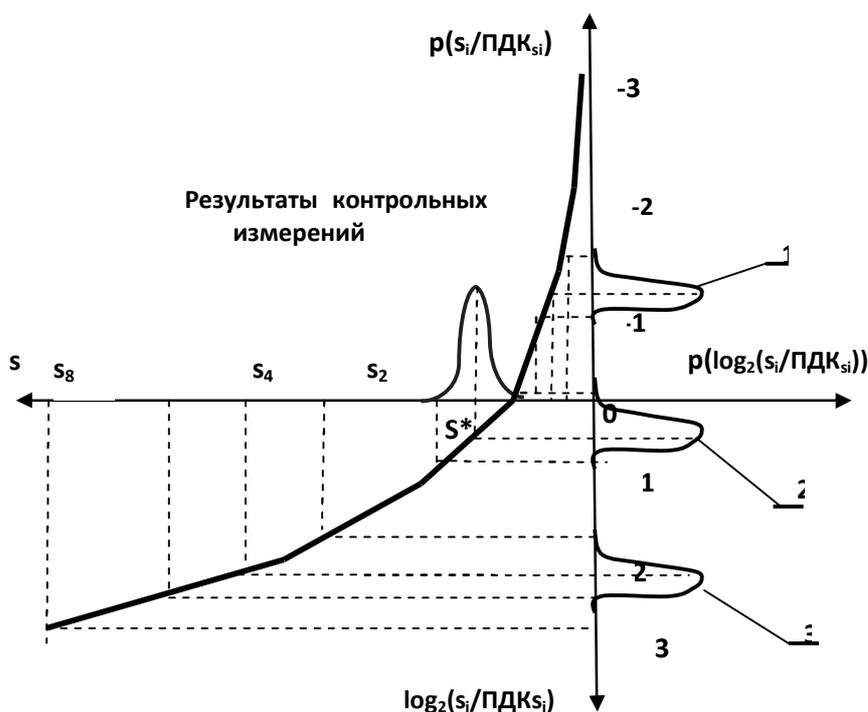


Рис.2. Схема формирования нормированной логарифмической шкалы.

Разработанные алгоритмы служат основой для формирования системы получения простых и сложных оценок на основе нормированных шкал, реализованной в виде ГИС-проекта (рис. 3).

Методика построения системы нормированных шкал для анализа состояния сложных объектов может быть реализована в виде ГИС-проекта, обеспечивающего получение нормированных оценок разной сложности в автоматическом режиме.

Алгоритм формирования ГИС-проекта включает ряд этапов.

1-этап. Создание исходной информационной структура ГИС для построения системы нормированных шкал – формирование базы карт, базы данных, библиотеки алгоритмов нормирования и базы нормативных данных.

2-этап. Описание свойств природного объекта – создание геоинформационной модели объекта (объектов) – формирование ГИС-слоев

(ГС), описывающих основные географические, гидрофизические, экологические и другие характеристики.

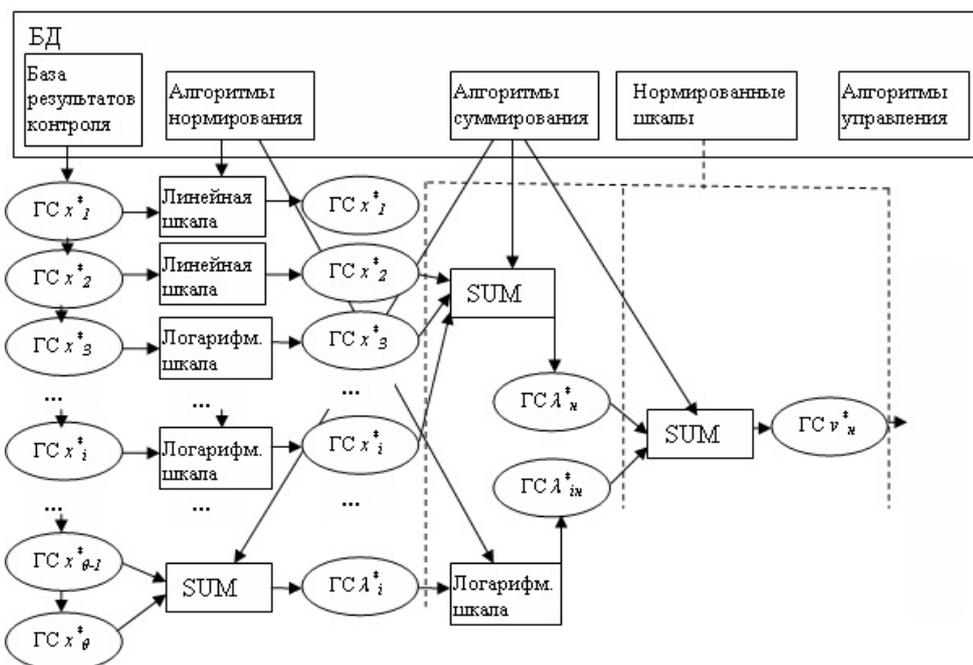


Рис 3. Структура ГИС-проекта построения системы нормированных шкал получения простых и сложных оценок

3-этап. Определение основных целей: оценка состояния для наказания или управления; мониторинг для определения динамики изменения состояния и формирования политики управления; анализ прогнозирования развития ситуации или проектирования в задачах рационального природопользования и др.

Для природного объекта – водоем на данном этапе формируются слои и определяется система показателей качества для решения задач оценки состояния. Формируются ГИС-слои результатов контроля (определяется структура оценок):

• простая $s = \{s^*, \sigma_s\}$ – значение контролируемой физической величины;

• сложная (вид оценки) $I = \left(\sum_{k=1}^n a_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n a_k s_k$,

где k – индекс параметра из множества контролируемых параметров, входящих в сложную оценку, n – количество параметров в списке, a_k – значимость параметра в общей оценке;

• комплексная (вид оценки) $v = \text{SUM}_{i \in I_0} \{s_i, \lambda_i, \alpha_i\}$,

где SUM – оператор суммирования, s_i, λ_i – простая и сложная оценки, из множества контролируемых характеристик, входящих в комплексную оценку, I_0 – множество контролируемых характеристик, α_i – значимость характеристики в общей оценке.

Указанные характеристики определяют систему показателей качества для решения задач оценки состояния водного объекта и являются основой для формирования управляющих решений.

4-этап. Определение перечня контролируемых параметров, алгоритмов оценивания, комплексных оценок, состав и структуру показателей качества для каждой целевой функции контролируемого объекта.

Формируется список контролируемых величин проекта

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_{\theta}, \dots, s_{\Theta}\},$$

где $\theta=1, \Theta$ – индексы контролируемых параметров (физические, химические, биологические, гидрофизические, гидрохимические и др.) из списка параметров в базе данных ГИС. При отсутствии контролируемой величины в нормативной базе, необходимо вернуться к первому этапу и добавить контролируемую величину с нормативной информацией в перечень параметров.

5-этап. Формирование базы алгоритмов получения простых нормированных оценок. Для каждого параметра из перечня измеряемых величин $S=\{s_1, s_2, \dots, s_{\theta}, \dots, s_{\Theta}\}$, где $\theta=1, \Theta$ в соответствии с нормативной базой определяется алгоритм нормирования, в виде процедуры нормирования используемой при формировании вектора оценки данного параметра (ГИС-слой данных) в матрице нормированных оценок контролируемого объекта

$$S_n = \{A_1(s_1), A_2(s_2), \dots, A_{\theta}(s_{\theta}), \dots, A_{\Theta}(s_{\Theta})\} = \{s_{1n}, s_{2n}, \dots, s_{\theta n}, \dots, s_{\Theta n}\},$$

где A_1, A_2, \dots – алгоритмы нормирования соответствующих величин в зависимости от их нормативной функции. При отсутствии алгоритма нормирования в базе алгоритмов, необходимо вернуться к первому этапу и добавить недостающий алгоритм нормирования.

6-этап. Формирование алгоритмического обеспечения получения сложных и комплексных нормированных оценок.

В соответствии с сформулированными целями (этап 3) формируются алгоритмы вычисления простых и сложных оценок в виде векторов оценок (ГИС-слой данных) в матрице нормированных оценок контролируемого объекта.

В результате выполнения этапов 5 и 6 формируется алгоритмическое обеспечение, направленное на создание базы нормированных оценок состояния объекта по результатам контрольных измерений – алгоритмическое обеспечение формирования таблицы нормированных оценок по результатам контрольных измерений

$$Q = \{s_{in}, \dots, s_{iq}, \dots, l_{in}, n_n\},$$

где $s_{\theta n}, l_{in}, v_n$ – оценки, представляющие собой нормированные значения результатов измерений соответствующих величин, обработанные разработанными алгоритмами, которые могут быть представлены в виде соответствующих слоев геоданных.

7-этап. Формирование алгоритмического обеспечения вычисления показателей качества анализируемого объекта, определение управляющих решений.

Результаты контрольных измерений $s^* = \{s_1^*, s_2^*, \dots, s_\theta^*, \dots, s_\Theta^*\}$, привязанные к географическим координатам контролируемого объекта записываются в базу геоданных (БГД). Для каждого контролируемого параметра, определенного на этапе 4, формируется слой геоданных. В БГД также имеется нормативная документация для контролируемой величины (этап 1) и сформированное алгоритмическое обеспечение для проведения операции нормирования (этап 5), оформленной в виде процедуры нормирования в ГИС-проекте.

Далее для определенных сложных характеристик объекта (этап 3), на основании простых показателей и сформированном на этапе 6 алгоритмическом обеспечении, формируются процедуры получения этих характеристик. В результате реализации процедур формируются соответствующие ГИС-слои. Каждый ГИС-слой является элементом БГД в ГИС-проекте (см. рис. 3).

Полученные результаты могут служить для выработки управляющих решений, если таковые определены (этап 3). Связь между результатами анализа контрольных измерений (полученных нормированных оценок) и управляющими воздействиями устанавливается соответствующими процедурами ГИС-проекта и записывается в БГД в виде матрицы соответствия.

Описанная последовательность действий может быть представлена в следующем виде

$$S^* = \begin{Bmatrix} s_1^* \\ s_2^* \\ \dots \\ s_q^* \end{Bmatrix} \Rightarrow Q^* = \begin{Bmatrix} s_{qn}^* \\ \dots \\ I_{in}^* \\ n_n^* \end{Bmatrix} \Rightarrow F_{i \in I_c} \{s_i^*, \lambda_i^*, v_i^*\} \Rightarrow C$$

где s^* результат измерения заданной величины (простая оценка);

$I_n^* = \left(\sum_{k=1}^n a_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n a_k s_{kn}^*$ – сложная оценка, полученная по результатам контроля;

$v^* = SUM_{i \in I_0} \{s_i^*, \lambda_i^*, \alpha_i\}$ – комплексная оценка, полученная путем объединения простых и сложных оценок, m – число возможных ситуаций, которым соответствуют различные комбинации управляющих воздействий (решений).

8. Представление результатов анализа (ГИС-слой, таблицы, диаграммы, формы отчетности).

Таким образом, методика построения системы нормированных шкал для анализа состояния природных объектов может быть направлена на создание геоинформационного проекта, который обеспечивает выполнение всех этапов получения нормированных оценок разной сложности в автоматическом

режиме. Оценка состояния объектов экосистемы может быть получена, если определена функция формирования оценки. Функция формирования комплексной оценки определяется специалистом-заказчиком или экспертом-профессионалом, которые вкладывают в нее свои знания и опыт. При этом поэтапно определяются структура каждого уровня (ГИС-слоя) функционала оценки, важность каждого параметра, входящего в оценку данного уровня. ГИС поддерживает каждый уровень соответствующей базой данных и программой ее формирования, представление результатов в удобном виде.

В четвертой главе «Практическая реализация методики создания геоинформационного проекта получения оценок состояния водного объекта» на основе разработанной методики сформирован ГИС-проект оценки состояния водного объекта – Семиозерье (Голубые озера), расположенного в Ленинградской области.

Структура формирования ГИС-проекта реализована в графическом редакторе ModelBuilder (рис.4).

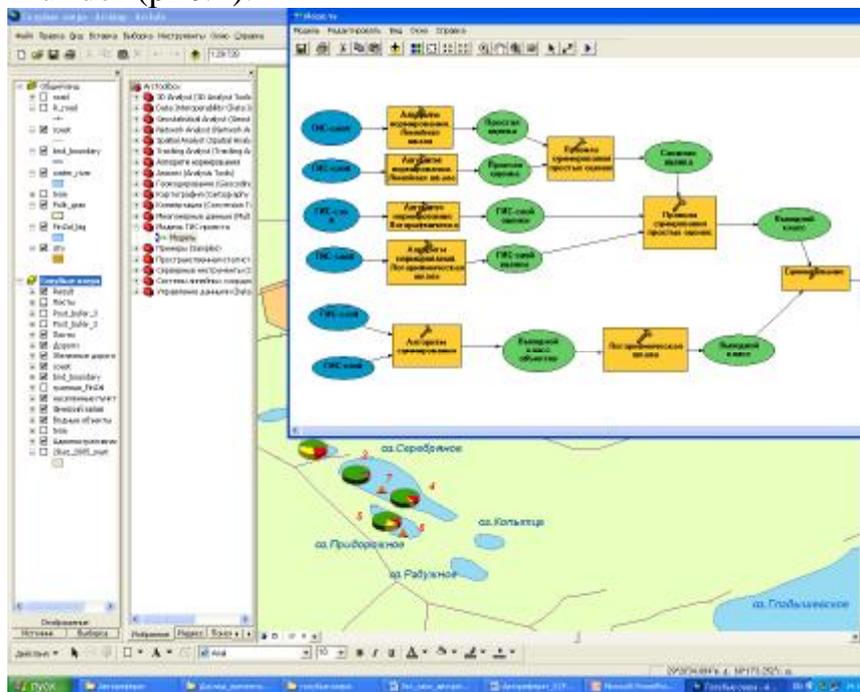


Рис 4. Реализация структуры ГИС-проекта в графическом редакторе ModelBuilder.

Информационная структура ГИС-проекта базируется на топографической основе, структурированной в виде слоев природных объектов; нормативной базе, содержащей перечень контролируемых параметров, единицы их измерения, допустимые пределы, нормативные величины для каждого параметра, классы их опасности и др.; перечне алгоритмов формирования контролируемых параметров.

Геоинформационная модель анализируемых водных объектов представлена отдельным слоем, атрибутивная таблица которого содержит описание и основные характеристики.

В соответствии с целью формируемого ГИС-проекта определен перечень контролируемых параметров и соответствующие им алгоритмы нормирования.

В процессе создания ГИС-проекта сформированы слои простых оценок по контролируемым параметрам (цветность, и т.д.), сложных, объединяющие простые оценки, согласно алгоритмам суммирования.

Опираясь на данные контрольных измерений, информационную структуру и геоинформационную модель на базе системы нормированных шкал, получена комплексная оценка. На рис.5 представлены комплексные оценки, полученные по каждому из постов, а также временные диаграммы изменения комплексных оценок во времени.

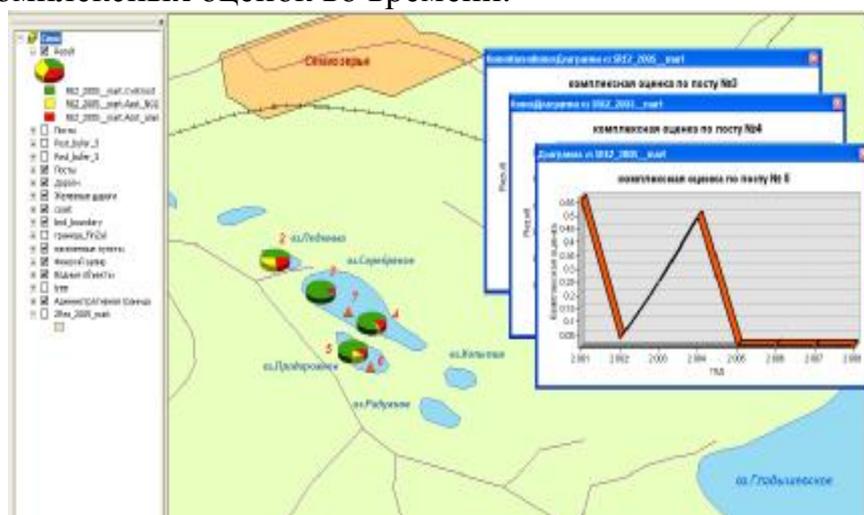


Рис. 5 Комплексная оценка по постам Семиозерья

Сформированный ГИС-проект позволяет:

- осуществлять сбор, классификацию и упорядочивание информации;
- исследовать динамику изменения состояния объекта в пространстве и во времени;
- по результатам анализа строить тематические карты;
- оценивать ситуацию.

Полученные результаты служат основой для выработки управляющих решений.

Основные результаты и выводы

1. На основе проведенного анализа показано, что для объединения данных разной размерности и разного типа для получения комплексной оценки состояния с учетом всех информативных параметров необходимо учитывать метрологические характеристики результатов контроля для построения системы нормированных шкал.

2. Предложена модель представления результатов контроля для получения оценок состояния природного объекта, включающая результаты контроля и значение неопределенности, координаты точки контроля в пространстве и времени, нормативную и контрольно-методическую информацию,

атрибутивную геоинформацию и обеспечивающая получение достоверных результатов анализа в автоматическом режиме.

3. Разработан алгоритм формирования нормированной шкалы с масштабированием на разных участках, отражающей весь диапазон событий, и обеспечивающей получение симметричной оценки.

4. Разработан алгоритм формирования логарифмической нормированной шкалы, отражающей весь диапазон событий через значение логарифма нормированной величины результатов контроля с шириной коридоров одного порядка, что позволяет получать значения сложных оценок на данной шкале с одинаковыми (одного порядка) метрологическими характеристиками.

5. Разработаны алгоритмы формирования нормированных шкал, позволяющие получить комплексную оценку состояния природного объекта, объединяя результаты простых и сложных оценок на основе результатов контроля характеристик, и учитывающие получение комплексных оценок на базе ГИС технологии.

6. Разработана методика формирования геоинформационных проектов оценки состояния природных объектов, обеспечивающая получение нормированных оценок разной сложности в автоматическом режиме.

7. Разработанная методика реализована в виде ГИС-проектов оценки состояния водных объектов в зоне деятельности Балтийской дирекции по техническому обеспечению надзора на море, лаборатории экологического нормирования при Санкт-Петербургского государственного технологического университете растительных полимеров (СПб ГТУРП), ООО «Гидроэконорма».

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Алексеев В.В., Орлова Н.В. ИИС контроля состояния природных объектов. Обеспечение единства измерений при получении оценок на основе контрольных измерений//Приборы.-2010.-№2.- С. 19-28.
2. Алексеев В.В., Королев П.Г., Куракина Н.И., Орлова Н.В. Информационно-измерительные и управляющие системы мониторинга состояния распределенных технических и природных объектов//Приборы.-2009.-№10.-С.28-42.
3. В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, О.А. Иващенко ИИС контроля состояния природных объектов на основе геоинформационных технологий. Формирование нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок// Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2010.-№8.-С. 77-84.
4. В.В. Алексеев, Н.В. Орлова, О.А. Иващенко ИИС контроля состояния природных объектов на основе геоинформационных технологий. Формирование нормированных шкал для простых, сложных и комплексных оценок// Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Известия СПбГЭТУ

«ЛЭТИ». – 2010.-№9.-С. 88-97

5. Алексеев В.В., Орлова Н.В. ИИС мониторинга сложных объектов. Методика построения системы нормированных шкал для анализа состояния природных объектов на базе ГИС/ науч. журнал «Вестник ТОГУ».- Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та.-2010.-№3(18).-С. 33-42.

Статьи и другие публикации:

6. Бескид П.П., Куракина Н.И., Орлова Н.В. Геоинформационные системы и технологии. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010.-173 с.
7. Обеспечение единства измерений при получении оценок на основе контрольных измерений в ИИС мониторинга/ Алексеев В.В., Королев П.Г., Орлова Н.В.; СПбГЭТУ - СПб., 2010.- 21 с.: Деп. в ВИНТИ 24.02.2010 № 109-B2010.
8. Методы построения нормированных шкал для объединения разного рода величин/ Алексеев В.В., Орлова Н.В.; СПбГЭТ - СПб., 2010.- 17 с.: Деп. в ВИНТИ 24.02.2010 № 108-B2010.
9. Алексеев В.В., Орлова Н.В. Методы построения нормированных шкал при формировании состояния объектов на базе ГИС-технологий//Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвузовский научный сборник; Уфимский гос. авиационный технич. университет.- Уфа:Изд-во УГАТУ.-2010. -С.5-9.
10. Алексеев В.В., Орлова Н.В. Методика формирования ГИС-проекта оценки состояния природного объекта / «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов: Материалы международного конгресса. Том 1. НТК «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», СПб., 12-13 ноября 2010.-СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2010.-С. 147-153.
11. Орлова Н.В., Покине А.С., Гусева Е.С. Оценка донных отложений в автоматическом режиме// «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов: Материалы международного конгресса. Том 1. НТК «Наукоемкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», СПб., 13-14 ноября 2010.- СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2010.-С. 153-154.
12. Алексеев В.В., Орлова Н.В. Методы проведения измерений с использованием нормированных шкал/ 63-я научно-техническая конференция ППС СПбГЭТУ: Сборник докладов студ., аспирант. и молодых ученых.- СПб, 26- января-6 февраля 2010.- СПб., Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ».-2010.-С.223-228.
13. Алексеев В.В., Орлова Н.В. Построение нормированных шкал для простых и сложных оценок в измерительных системах контроля

- состояния природных объектов/Вестник метрологической Академии СПб отд.- СПб.,:ЗАО «КопиСервис».-2009.-С. 9-25.
14. Алексеев В.В., Орлова Н.В. ИИС мониторинга чрезвычайных ситуаций. Построение нормированных шкал для простых и сложных оценок/ «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов: Материалы международного конгресса. Том 1. НТК «Транспортно-коммуникационная система Арктики в геополитическом взаимодействии и управлении регионами в условиях чрезвычайных ситуаций», СПб., 13-14 ноября 2009.-СПб.: ООО «ПИФ.СОМ», 2009.-С. 32-36.
 15. Орлова Н.В., Ковалева М.И. Модель экологической оценки донных отложений/Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвузовский науч. сб.; Уфимский гос. авиационный технич. университет.- Уфа:Изд-во УГАТУ.-2007.- С.75-76.
 16. Алексеев В.В., Куракина Н.И., Орлова Н.В Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки / ARCREVIEW.- 2006.-№1[36] – С.9