



УДК 681.20; 547.47

© В. В. Алексеев, Н. В. Орлова, 2010

ИИС МОНИТОРИНГА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАННЫХ ШКАЛ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ГИС

Алексеев В. В. – д-р техн. наук, проф. завкафедрой «Информационно-измерительные системы и технологии», тел.: (812) 234-93-93, e-mail: VVAlekseyev@mail.ru;
Орлова Н. В. – ас. кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии», тел.: (812) 234-93-93, e-mail: NVOrlova@mail.eltech.ru (СПбГЭТУ)

Рассмотрены вопросы построения геоинформационных проектов получения сложных интегральных и комплексных оценок по результатам контрольных измерений различных физических величин, имеющих разную нормативную базу, линейные и нелинейные шкалы. Геоинформационный проект является алгоритмической базой информационно-измерительной системы мониторинга сложных объектов, обеспечивающей автоматизацию решения задач оценивания, мониторинга, прогнозирования.

Problems of geoinformation project construction for obtaining complex assessments by the results of control measurements of various physical quantities with different standard base, linear and nonlinear scales are considered. The geoinformation project is an algorithmic base of the information-measuring system for monitoring complex objects that makes it possible to automate solution of evaluation, monitoring, and forecasting problems.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, ИИС, результаты контроля, сложная оценка, нормированная шкала, результаты контроля, геоинформационный проект, геоинформационный слой.

В ИИС мониторинга экологического состояния природных и техногенных объектов часто используются наряду с простыми индикаторами (простыми оценками) комплексные показатели, которые учитывают специфику и сложность объекта, его роль в экосистеме района или региона. В современных ИИС алгоритмическое и программное обеспечение работы с результатами контроля (хранение, поиск, анализ, обработка, представление и др.) объектов, занимающих большие территории и воздействующих друг на друга, строятся на базе геоинформационных технологий.

При получении комплексного показателя всегда возникает задача объединения данных контроля различного типа [1, 2]. Это связано с тем, что сложный объект характеризуется различными показателями, которые определяют его состояние и, в конечном счете, меры или виды управления, обеспечивающие его стабильное состояние.

Объединение данных контроля показателей качества объекта представляет собой достаточно сложную задачу с точки зрения обеспечения достоверности полученной оценки, возможности ее применения для принятия управляющих решений.

Сложность заключается в том, что разные, контролируемые физические, химические, биологические и другие величины имеют разную природу, единицы измерений, диапазоны изменения и степени связи с показателями качества контролируемого объекта. При измерении разных величин используются разные методики и средства измерений, дающие разные точности результатов в разных диапазонах. Поэтому формирование результирующей оценки, объединяющей все важные показатели качества контролируемого объекта, должно проводиться на основе соблюдения принципа единства измерений. Сложная оценка может быть получена только на основе представления результатов измерений в системе нормированных шкал, с обеспечением определенной степени достоверности результатов контроля. Авторы имеют опыт по формированию нормированных шкал для получения оценок значений различных физических, химических и других величин [1, 2, 3].

Геоинформационные технологии позволяют автоматизировать процессы сбора, обработки и представления данных. При этом появляется возможность создание систем мониторинга экологического (или другого важного с точки зрения жизнедеятельности района) состояния района, оперативного анализа протекания процессов, поддержки принятия решений и прогнозирования развития ситуаций после формирования тех или иных воздействий или в случае их стихийного возникновения.

Для создания систем такого класса необходимо разработать основные этапы формирования элементов геоинформационного проекта (ГИП), обеспечивающего автоматическое выполнение необходимых преобразований и алгоритмов, решение поставленных пользователем задач.

Формирование программно-алгоритмического обеспечения получения нормированных оценок, прежде всего, требует определения типа объекта, его свойств, цели контроля, мониторинга, оценивания и управления, т. е. требует выполнения следующих этапов.

1. Создание исходной информационной структуры ГИП для построения системы нормированных шкал.
2. Описание свойств экосистемы – создание геоинформационной модели объекта (объектов).
3. Определение основных целей: оценка состояния с целью наказания, оценка состояния с целью управления, мониторинг с целью оценки динамики и формирования политики управления, анализ с целью прогнозирования раз-



вития ситуации или проектирования в задачах рационального природопользования и др.

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

5. Формирование базы алгоритмов получения простых и сложных нормированных оценок (классификация оценок по видам измеряемых величин: физические, химические, биологические, медицинские и другие; анализ и объединение оценок в зависимости от функциональной связи значения оценки и качественной характеристики объекта: простая – линейная, сложная – нелинейная (с масштабированием), степенная – десятичная, нормальная, двоичная или др.). Структура алгоритма: измеряемая величина – нормативная функция – нормирующий алгоритм – шкала.

6. Формирование алгоритмического обеспечения получения нормированных оценок (простых и сложных).

7. Формирование алгоритмического обеспечения вычисления показателей качества анализируемого объекта, определения управляющих решений.

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

Рассмотрим подробнее вопросы построения системы нормированных шкал для анализа состояния природных объектов в геоинформационной технологии.

1. Создание исходной информационной структуры ГИП для построения системы нормированных шкал

На первом этапе средствами стандартной геоинформационной системы формируется необходимая информационная основа:

– база карт, содержащая всю необходимую информацию об объекте (тематические карты объекта, схемы водопользования, схемы постов контроля и др.);

– база данных – словарь параметров, содержащая описание сущности контролируемого параметра, его единицы измерения, допустимые пределы; библиотека алгоритмов нормирования для оценок с различными нормативными шкалами;

– база нормативных данных, содержащая значения нормативных величин для каждого параметра для оценки различных экологических ситуаций; библиотека функциональных преобразований, описывающих целевые функции различного вида.

2. Описание свойств экосистемы – создание геоинформационной модели объекта (объектов)

Этап посвящен созданию базы для системы анализа и оценки состояния экосистемы.

Цель: формирование слоев, описывающих основные географические, гидрофизические, экологические и другие характеристики.

Например, для экосистемы водоема:

– географические: система водосбора, схемы выпадающих и вытекающих водотоков и их характеристики, профиль береговой линии в географических координатах с заданной точностью, рельеф местности системы водосбора, площадь и другие;

– гидрофизические: карта глубин, схема течений и их характеристики, температурные зоны по сезонам и глубинам, зоны солености, общий запас воды и ее обновление, схема движения судов и другие;

– экологические: схемы зарастания береговой линии по типам растений, известные характеристики химического биохимического состояния и другие.

В результате выполнения этапа определяются необходимые геоинформационные характеристики, обеспечивающие формирование оценок разного типа и возможности представления результатов анализа непосредственно на геоинформационной модели объекта.

3. Определение основных целей: оценка состояния с целью наказания, оценка состояния с целью управления, мониторинг с целью оценки динамики и формирования политики управления, анализ с целью прогнозирования развития ситуации или проектирования в задачах рационального природопользования и др.

Этап посвящен созданию базы, характеризующей систему водопользования, и определению основных целевых функций, которые должна решать разрабатываемый ГИП.

Цель: формирование слоев, определение систем показателей качества для решения задач оценки состояния, формирования управляющих решений, прогнозирования изменения состояния или развития ситуаций.

Для экосистемы водоема – это:

– формирование слоев результатов контроля (структура оценок) – оценки состояния:

простая

x – значение контролируемой физической величины,

сложная (вид оценки)

$$\lambda = \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n \alpha_k x_k,$$

где k – индекс параметра из множества контролируемых параметров, входящих в сложную оценку (список параметров формируется на основе нормативной документации или на основании мнений экспертов), n – количество параметров в списке, α_k – значимость параметра в общей оценке;

комплексная (вид оценки)

$$v = \text{SUM}_{i \in I_0} \{ x_i^*, \lambda_i^*, a_i \},$$



где SUM – оператор суммирования; x_i^* , λ_i^* – простая и сложная оценки, входящие во множество контролируемых характеристик; I_o – множество контролируемых характеристик; α_j – значимость характеристики в общей оценке. Оценка представляет собой характеристику, полученную путем суммирования простых и сложных оценок. Указанные характеристики определяют систему показателей качества для решения задач оценки состояния водного объекта. Они являются основой для формирования управляющих решений:

– формирование управляющих решений связано с определением вектора управляющих воздействий, направленных на улучшение показателей качества объекта

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} = F_{i \in I_c} \{x_i, \lambda_i^*, v_i\},$$

где F – оператор соответствия вектора возможных управляющих решений c_1, c_2, \dots, c_n (воздействий) результатам контроля; x_i, λ_i^*, v_i – простая, сложная и комплексная оценки, входящие во множество контролируемых характеристик; I_c – множество контролируемых характеристик;

– прогнозирование изменения состояния или развития ситуаций с помощью анализа изменения во времени (экстраполяции и оценки вероятности наступления того или иного события) контролируемых характеристик:

простых

$x(t)$ – значение контролируемой физической величины,

сложных

$$\lambda(t) = \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n \alpha_k x_k(t),$$

комплексных

$$v(t) = SUM_{i \in I_o} \{x_i(t), \lambda_i(t), \alpha_i\}.$$

В результате выполнения этапа определяются основные целевые функции, связывающие задачи оценки состояния, управления и прогнозирования с физическими, химическими и другими величинами, контроль которых необходимо обеспечить.

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

На основании результатов предыдущего этапа в зависимости от сложности объекта и целей (целевых функций) его исследования должны быть определены оцениваемые характеристики. В список контролируемых величин включаются как простые индикаторы x_i (параметры, значения которых является показателем определенного состояния контролируемого объекта), так и величины, входящие в сложные показатели состояния или качества объекта λ_i, v_i (параметры, объединенные некоторой функциональной зависимостью

критерия качества), которые с помощью оператора соответствия F связаны с вектором возможных управляющих решений c_1, c_2, \dots, c_n .

В результате параметры выводятся в ранг рабочих параметров проекта – вектор контролируемых величин $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_\theta, \dots, x_\theta\}$, где $\theta = 1, \theta$ – индексы контролируемых параметров (физические, химические, биологические, гидрофизические, гидрохимические и др.) из списка параметров в базе данных ГИС (см. п. 1). Если параметр (контролируемая величина) не входит в соответствующую базу данных, необходимо добавить недостающую информацию п. 1 и перейти к следующему этапу.

5. Формирование базы алгоритмов получения простых нормированных оценок

На основании имеющихся данных классификации оценок по видам измеряемых величин (п. 1): физические, химические, биологические, медицинские, и др.; функциональной связи значения оценок и качественной характеристики объекта: простая – линейная, сложная – нелинейная, степенная – десятичная, нормальная, двоичная определяется состав алгоритмов, обеспечивающих получения нормированных оценок для всех контролируемых величин.

Структура алгоритма: измеряемая величина \rightarrow нормативная функция \rightarrow нормирующий алгоритм – шкала.

1) Перечень измеряемых величин определен в п. 4 – $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_\theta, \dots, x_\theta\}$, где $\theta = 1, \theta$.

2) Для каждого параметра с помощью словаря (классификатор контролируемых величин) определяется его физическая сущность (единицы измерения, возможный диапазон измерений и др.), шкала оценивания, нормативная база (значения показателя воздействия – вредности).

3) Для каждого параметра в соответствии с нормативной базой определяется алгоритм нормирования, который в виде процедуры нормирования используется при формировании вектора оценки данного параметра (геослой данных) в матрице нормированных оценок контролируемого объекта

$$\mathbf{X}_n = \{A_1(x_1), A_2(x_2), \dots, A_\theta(x_\theta), \dots, A_\theta(x_\theta)\} = \{x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{\theta n}, \dots, x_{\theta n}\},$$

где A_1, A_2, \dots – алгоритмы нормирования соответствующих величин в зависимости от их нормативной функции [3].

Если настоящий пункт не может быть выполнен по причине отсутствия в базе алгоритмов нормирования для контролируемой величины, необходимо перейти к п. 1 и добавить эти алгоритмы в базу данных.

6. Формирование алгоритмического обеспечения получения сложных и комплексных нормированных оценок

В соответствии с сформулированными целями п. 3 формируются алгоритмы вычисления простых и сложных оценок в виде векторов оценок (геослой данных) в матрице нормированных оценок контролируемого объекта:

– сложная нормированная оценка



$$\lambda_n = \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n \alpha_k x_{nk} ,$$

– комплексная нормированная оценка

$$v_n = \text{SUM}_{i \in I_0} \{ x_{in}, \lambda_{in}, \alpha_i \} .$$

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

$$Q = \left\{ \begin{array}{c} x_{1n} \\ \dots \\ x_{\theta n} \\ \dots \\ \lambda_{in} \\ v_n \end{array} \right\} ,$$

где $x_{\theta n}$, λ_{in} , v_n – вектора соответствующих нормированных оценок, которые представляют собой нормированные значения результатов измерений соответствующих величин, обработанные разработанным алгоритмическим обеспечением и могут быть представлены в виде соответствующих слоев геоданных.

Если настоящий пункт не может быть выполнен по причине отсутствия в базе нормативных данных функций или алгоритмов, которые требуются эксперту (заказчику), необходимо перейти к п. 1 и добавить эти алгоритмы в нормативную базу данных.

7. Формирование алгоритмического обеспечения вычисления показателей качества анализируемого объекта, определения управляющих решений

Этап непосредственно связан с формированием ГИС-проекта, в котором все результаты, полученные на предыдущих этапах, связываются в виде программной структуры. Все уровни геоинформационной системы взаимодействуют через базу данных (БД).

Результаты контрольных измерений $X^* = \{x^*_1, x^*_2, \dots, x^*_\theta, \dots, x^*_\theta\}$, привязанные к географическим координатам контролируемого объекта, записываются в БД. Для каждого контролируемого параметра, определенного в п. 4, формируется слой геоданных (СГ). В БД также имеется нормативная документация для контролируемой величины (п. 1) и сформированное алгоритми-

ческое обеспечение для проведения операции нормирования (п. 5). Операция нормирования оформляется как процедура в ГИП.

Далее, для определенных сложных характеристик объекта (п. 3), на основании простых показателей и сформированного в п. 6 алгоритмического обеспечения, формируются процедуры получения этих характеристик. В результате реализации процедур формируются соответствующие СГ. Каждый СГ является элементом БД в ГИП.

Полученные результаты могут служить для выработки управляющих решений, если таковые определены (п. 3). Связь между результатами анализа контрольных измерений (полученные нормированные оценки) и управляющими воздействиями устанавливается соответствующими процедурами ГИП и записывается в БД в виде матрицы соответствия.

Описанная последовательность действий может быть представлена в следующем виде

$$\mathbf{X}^* = \begin{Bmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ \dots \\ x_\theta^* \end{Bmatrix} \Rightarrow \mathbf{Q}^* = \begin{Bmatrix} x_{\theta n}^* \\ \dots \\ \lambda_{in}^* \\ v_n^* \end{Bmatrix} \Rightarrow F_{i \in I_c} \{x_i^*, \lambda_i^*, v_i^*\} \Rightarrow \mathbf{C} = \\
 = \begin{Bmatrix} c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1n} \\ c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2n} \\ \dots \\ c_{m1}, c_{m2}, \dots, c_{mn} \end{Bmatrix},$$

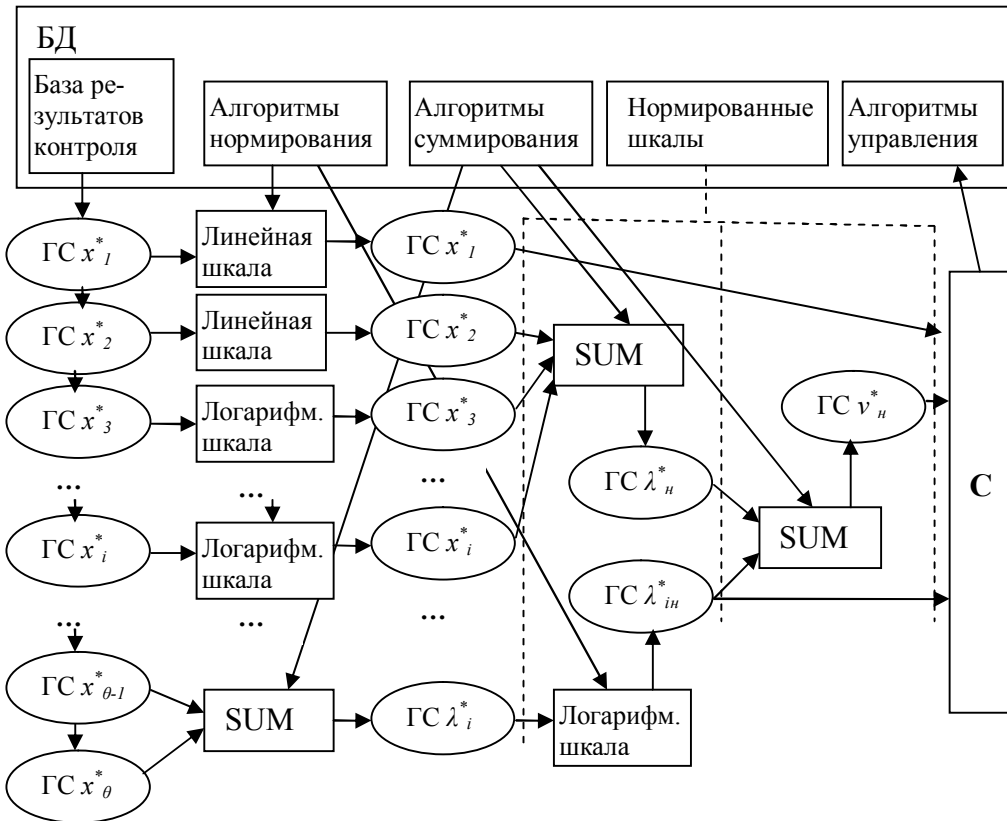
где x^* – результат измерения заданной величины (простая оценка);

$\lambda_n^* = \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^n \alpha_k x_{kn}^*$ – сложная оценка, полученная по результатам контроля; $v^* = SUM_{i \in I_0} \{x_i^*, \lambda_i^*, \alpha_i\}$ – комплексная оценка, полученная путем объединения простых и сложных оценок; m – число возможных ситуаций, которым соответствуют различные комбинации управляющих решений.

На рисунке показана структура ГИП построения системы нормированных шкал получения простых и сложных оценок.

На рисунке показана структура ГИП построения системы нормированных шкал получения простых и сложных оценок.

В результате в автоматическом режиме в виде ГП решается задача получения простых и сложных оценок, анализа полученных результатов стандартными средствами ГИС, формирования данных, связанных с принятием управляющих решений (выдача рекомендаций, если алгоритмы управления определены).



Структура ГП построения системы нормированных шкал получения простых и сложных оценок

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

В результате выполнения описанных выше этапов формируются стандартные для ГИС данные в виде ГС, векторов, таблиц. Поэтому для анализа результатов и их представления могут быть использованы все стандартные средства ГИС: представление на карте в виде полей, в виде различного вида диаграмм, таблиц, в виде форм документов, определенных пользователем, в виде сформированных отчетов.

Заключение

Таким образом, методика построения системы нормированных шкал для анализа состояния природных объектов может быть реализована в виде 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 (геоинформационного слоя) функционала оценки, важность каждого параметра, входящего в оценку данного уровня. ГИС поддерживает каждый уровень соответствующей базой данных и программой ее формирования, представления результатов в удобном виде.

Библиографические ссылки

1. Алексеев В. В. Информационные измерительные системы. Комплексная оценка состояния объектов окружающей природной среды на основе ГИС-технологии // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2001. № 3.
2. Информационно-измерительные и управляющие системы мониторинга состояния распределенных технических и природных объектов / В. В. Алексеев, П. Г. Королев, Н. И. Куракина, Н. В. Орлова // Приборы. 2009. № 10(112).
3. Алексеев В. В., Орлова Н. В. ИИС контроля состояния природных объектов. Обеспечение единства измерений при получении оценок на основе контрольных измерений // Приборы. 2010. № 2(116).