

УДК 621.3

О.С. Бутенко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## ФОРМИРОВАНИЕ ШКАЛЫ ОЦЕНОК СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Рассмотрены основные принципы разработки единой шкалы для многокритериального оценивания комплекса геоинформационных моделей, описывающих различные состояния объектов открытых систем. Анализируется возможность введения единой шкалы для формализации алгебраических операций при работе с данными аэрокосмических изображений и результатами лабораторных исследований. Представлена методика унификации разнородных показателей состояния экологических объектов для оценивания геомоделей, построенных на основе синтеза разновременных данных, имеющих различную структуру в единой шкале с учетом специфики их получения.*

**Ключевые слова:** шкала, параметры, открытая система, динамика, данные, специфика.

### Введение

Существенным затруднением для синтеза известных методов прогнозирования при определении процессов вероятного развития аномальных антропогенных и природных объектов и явлений является узкоспециализированная, адаптированная под конкретные начальные условия, система формирования единой шкалы для измерения и описания параметров элементарных структур и событий в экосистемах. Как правило, это связано с тем, что на этапе формирования вектора параметров для оператора эволюции не учитывается тот факт, что атомарные объекты, составляющие такие структуры, представляют собой открытые системы с соответствующей спецификой.

Анализ наиболее известных методик прогнозирования хорошо себя зарекомендовала на узком классе экологических задач. Наиболее точные прогнозы строятся по методикам, в основе которых лежит синергетический подход [1]. Однако отсутствие единого функционально полного математического обеспечения, комплексно реализующего все стадии обработки разнородных разновременных априорных данных, не позволяет описывать объекты, представляющие собой открытые системы в рамках единого, унифицированного информационного подхода вне зависимости от того, какие элементарные объекты и структуры обеспечивают их функционирование [2].

Для возможности синтеза и унификации методик обработки разнородных разновременных данных с применением методов нелинейной динамики и теории хаоса необходимо введение единой шкалы для формализации алгебраических операций при работе с данными аэрокосмических изображений и результатами лабораторных исследований. Интеграция разновременных и разнородных данных осуществляется за счет дескриптивного подхода к алгебре изображений при построении геомоделей [2, 3].

### 1. Постановка проблемы

В основе метода унификации процессов получения прогнозных оценок при создании сценариев возможного развития природных объектов, являющихся открытыми системами, лежит принцип построения и коррекции обучающей выборки с учетом специфики получения исходных данных и изменениями значений матрицы откликов, соответствующих значениям признаков объекта [4]. Однако, совокупность полученных прогнозных оценок по каждому их факторов влияния на изменение топологических, геометрических характеристик и структуры объекта в целом, не позволяет правильно определить тенденцию дальнейшего его развития. Поскольку исследуются объекты и явления, представляющие собой открытые системы, то каждая из таких оценок может рассматриваться в качестве кратковременного прогноза на уровне подсистемы. При построении общего прогноза максимальные значения ошибок будут наблюдаться на стыках подсистем на этапе описания их взаимосвязи, а именно в точках максимальной энтропии. Анализ изменений в пределах «камерных» подсистем по каждому из факторов возможного влияния на объект показал, что эти изменения между собой никак не соотносятся. Стыковки возможны только для зависимостей, построенных для очень коротких временных интервалов. Следует отметить, что повышение точности прогнозных оценок возможно за счет опроса большого количества экспертов и анализа еще большего количества априорных данных, что требует значительных временных и материальных затрат.

Возможно построение прогноза за счет определения соответствия взаимосвязи воздействий и возможных откликов «методом вероятностного взвешивания». При этом ошибки прогнозных оценок накапливаются при определении степеней рисков в зависимости от стандартных отклонений откликов с учетом случайных воздействий. Внутри «камерных»

подсистем распределение ошибок прогноза вероятных изменений по совокупности факторов может быть рассмотрено как нормальное и может оцениваться с помощью числовых характеристик (математического ожидания, дисперсии и т.д.) [4].

В общем виде для определения количественных характеристик точности предварительных прогнозных оценок могут использоваться следующие уравнения поправок [5]:

$$\sigma_u = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega}\right)^2 \sigma_\omega^2},$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \dots, \sigma_\omega$  – среднеквадратичные отклонения прогнозных оценок по каждому из факторов влияния;  $u = f(x, y, z, \dots, \omega)$  – общая ошибка прогноза внутри «камерной» подсистемы при «комбинаторном влиянии совокупности анализируемых факторов (среднеквадратичное отклонение функции независимых аргументов).

Разработка универсальной шкалы для построения прогноза на основе анализа разрозненных разнородных оценок и определение их функциональной взаимосвязи является сложной и до конца нерешенной проблемой [2]. Не существует возможности в рамках единого, информационного подхода описывать самые различные типы объектов, составляющих открытые системы. Как правило, все используемые методы унификации ориентированы на моделирование возможных сценариев развития явлений в строго определенных условиях при заданных начальных параметрах. Однако при таком подходе исключается значительное число случайных факторов возмущений.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о необходимости комплексного подхода к введению унифицированной шкалы оценки разнородных и разновременных показателей состояния объекта, оценивания значений матрицы откликов для построения примитивов «стандартных изменений» в различных классах природных объектов с гомогенной структурой или объектов и явлений, объединенных другими общими признаками, составляющих базу данных.

## 2. Методика унификации шкалирования разнородных показателей состояния экологических объектов

Для повышения точности прогноза динамики объектов, являющихся частью открытых систем, а именно, при формировании вектора параметров, характеризующих их текущее состояние, определяемые количественные оценки должны соответствовать значительному количеству критериев. Однако в настоящий момент проблема многокритериального оценивания геомodelей, построенных на основе синтеза разновременных разнородных данных, имеющих различную структуру и, как следствие, оценивания качества определенных на их основе

прогнозных моделей, является не до конца решенной. Прежде всего, трудности связаны с корректным выбором методики построения моделей, учета специфики получения данных и их адаптацией для решения широкого класса экологических задач. При выборе методик построения моделей необходимо учитывать тот факт, что объекты, являющиеся частью открытых систем, как правило, должны описываться совокупностью разнообразных или комбинированных моделей. Дополнительно, на этапе построения логико-алгебраических и логико-лингвистических моделей целесообразно комплексно использовать операции классической логики и нечеткой. При этом не следует забывать об одной из основных особенностей геоинформационных и прогнозных моделей – привязке к временному фактору, особенно при оценивании их качества и описании текущего состояния объектов, имеющих существенную структурную динамику. Для унификации процессов получения прогнозных оценок и устойчивости моделирования в изменяющихся начальных условиях, как правило, вводятся дополнительные параметры, избыточность, которых устраняется в результате совместного использования модифицированного алгоритма Флойда применительно к значениям весовых коэффициентов, полученных по анализу графа усиления, методов статистического анализа и логических операций [5].

Возможность проводить детальный анализ снимков одной и той же территории через определенный период времени предусматривает проведение различных алгебраических и геометрических операций при совместном использовании априорных данных, имеющих как количественные, так и качественные характеристики. Для возможности синтеза и унификации методик обработки разнородных разновременных данных с применением методов нелинейной динамики и теории хаоса необходимо введение единой шкалы для формализации алгебраических операций при работе с данными аэрокосмических изображений и результатами лабораторных исследований. Интеграция этих данных осуществляется за счет дескриптивного подхода к алгебре изображений при построении геомodelей [2, 3].

Дополнительно на каждом этапе работы с данными мониторинга, для оценки качества геомodelей возможно совместное использование непараметрических критериев, дихотомической шкалы и метода нормированного размаха Херста [5]. Предполагаемая по изображениям оценка возможной динамики объекта и смежных с ним фрагментов может быть получена без определенных количественных характеристик. Для получения количественных характеристик необходимо перейти от дихотомической шкалы по непараметрическим критериям к показателю Херсту. При этом уровень значений показателя Херста должен определяться в соответствии с наложением нечеткого множества на четкое множество. В результате наложения каждому значению нечет-

кого множества соответствует интервал из четкого, для чего выбирается середина соответствующего интервала, формируются массивы значений вектора состояния и скорости его изменения  $dx/dt$ , где  $dx/dt \approx X(k) - X(k-1)$  [6].

Таким образом, согласно предложенной шкале каждому значению лингвистической переменной соответствует определенное нечеткое множество со своей функцией принадлежности. Возможные значения нечеткого множества по показателю Херста, в соответствии со шкалой качественных термов. Для перехода от дихотомической шкалы, в которой определен результат применения непараметрических критериев к количественной шкале, в которой определено отношение детерминированного фактора к случайному, с помощью показателя Херста для оценки бинарных признаков возможно использование байесовской процедуры. В итоге результатом применения непараметрических критериев будет апостериорная вероятность классификации признаков в количественной шкале. Полученные таким образом оценки далее могут рассматриваться как обобщенный результат применения непараметрических критериев, а апостериорная вероятность – как обобщенный классификационный признак [5].

Таким образом, методика унификации процессов формирования единой шкалы для оценивания гео- и прогнозных моделей, характеризующих различные состояния экологических объектов, должна быть основана на комплексном подходе к обработке данных мониторинга. При этом, на каждом этапе построения решающих правил о состоянии объекта необходимо учитывать специфику получения данных ДЗЗ и их разнородную структуру.

### **2.1. Оптимизация способов получения и восприятия входной информации.**

На данном этапе производится предварительный анализ объекта наблюдений для выявления его особенностей в рамках поставленной задачи, оцениваются требования к оперативности и точности прогноза для выбора оптимальных методов решения, анализируются исходные данные с учетом специфики их получения, особенности подстилающей поверхности. На основе проведенного анализа с учетом заданной и определенной специфики объекта и условий наблюдений производится выбор оптимального инструментария и диапазонов съемки. При этом необходимым является формирование требований к глубине выборки при проведении «метода исторической аналогии», и на основе комплексного анализа данных ДЗЗ и контактных методов на объект исследований ограничить зону наблюдения для отсева избыточных данных и снижения требований к информационным ресурсам при автоматизации процессов прогнозирования.

### **2.2. Комплексный анализ и обработка данных мониторинга.**

Анализ и обработка данных производится по сценарию, который заключается в иерархическом

построении данных входящих изображений в виде «критериальных деревьев» [4, 5] для формализации правил сегментации гомогенных фрагментов как единичных, так и совокупности разновременных снимков наблюдаемых объектов; выделении ветвей «критериальных деревьев» к которым применимы стандартные методы обработки и дешифрирования; комплексном анализе разнородных разновременных данных на зону исследований; отсева избыточных данных (с анализом построенных заранее графов комбинаторного усиления факторов влияния на изменение наблюдаемого объекта); первичном формировании комплексного вектора параметров, соответствующих выделенным ветвям «критериального дерева»; сегментации фрагментов изображений к которым стандартные методы обработки могут быть применены условно и формировании для них вектора параметров косвенных дешифровочных признаков и установлении взаимосвязи между косвенными дешифровочными признаками и данными контактных исследований.

### **2.3. Определение зон информативности поиска решений.**

Этот этап включает в себя выявление изменений неоднородностей экосистем на основе оверлейных операций с «критериальными деревьями» и определения степени их принадлежности к заданному классу объектов; расчета их площади по изображению; выделение областей «джокеров» и «русел» (со стабильным или непредсказуемым изменением параметров) с расчетом их функций принадлежности [1, 4, 5]; определение зоны их возможного влияния; определение границ интервалов перехода объекта исследований из одного состояния в другое (вычисление точек устойчивости на детерминированных участках выявление зоны чувствительности к начальным условиям, определение точек максимальной энтропии и пр.); получение количественных оценок скорости изменения состояния объекта (изменение количества точек максимальной энтропии, площади «русел» и «джокеров» за анализируемый временной период и установление взаимосвязи между прошлым и текущим состояниями объекта.

### **2.4. Формирование шкалы принятия решений о тенденциях изменения состояния объекта.**

Для определения значений антецедентов при построении продукционных правил основным этапом является формирование атомарных алгебр на основе параметров соответствующих анализируемым «ветвям критериального дерева». При этом элементарные алгебры строятся по гомогенным фрагментам изображений (математически каждый фрагмент – супералгебра (при автоматизации процесса – результат применения операций алгебры колец)), а элементарные алгебры строятся по данным контактных исследований. В качестве значений шкалы принятия решений о тенденциях изменения состояния объекта будут композиционные алгебры,

построенные на основе атомарных и определяющие результаты операций с пространственными индексами, значениями приоритетов вершин деревьев и значениями временных рядов.

Как известно [6] для построения решающих правил необходимо наличие множества описаний различных состояний объектов, для которых достоверно известна принадлежность составляющих их признаков к различным классам. На основе сформированной обучающей выборки строятся решающие правила. Следовательно, решающие правила о прогнозируемом состоянии объекта строятся на основе заключений, полученных на каждом этапе обработки [5, 6].

### 2.5. Коррекция эталонов прогнозных оценок.

Согласно методу построения эталонов (усреднённых оценок, характеризующих степень возможных изменений состояния объекта по обучающей выборке) [7] для каждого класса по обучающей выборке строится эталон, имеющий значения признаков:

$$\bar{x}^0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_N^0\},$$

где  $x_i^0 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{ik}$ ,  $K$  – количество ветвей «критериального дерева» с соответствующим значением

результатов композиционных алгебр более 0,5 по всему «критериальному дереву» (все значения отнормированы относительно 1);  $i$  – номер признака.

В данном случае аналогом значениям множества всех возможных объектов каждого образа в соответствие поставлены значения матрицы всех возможных откликов на вероятные воздействия на объект исследований).

В результате такого подхода при построении решающих правил относительно возможных тенденций изменения анализируемого объекта, когда на вход системы поступает некоторый вектор параметров, характеризующий текущее его состояние  $x^*$ , от каждого из параметров объекта измеряются расстояния до эталонов всех его возможных состояний (откликов). Критерием выбора оценки сценария возможных изменений является минимум расстояния до эталона. Расстояние целесообразно определять с помощью функции-нормы [8]. Введение такой функции позволяет сравнивать модели, характеризующие различные состояния аномалии, в соответствии с их изображением на числовой оси. Введение числовой характеристики для лингвистической переменной характеризует изменение расстояния от начальных условий в окрестности точки, рассматриваемой в качестве точки перехода объекта в другое состояние. Иначе говоря, необходимо определить функцию-норму от математического объекта для его оценки. Введение нормы порождает понятие эквивалентности – соответствие одному и тому же числовому значению нормы различных математических объектов или моделей одного объекта, но описывающих различные его состояния [8].

## Заключение

Установлено, что статистические методы определения оператора эволюции для открытых систем используют ряд допущений, в которых все факторы полагаются случайными или неопределёнными и непосредственно связаны со спецификой получения данных и особенностями наблюдаемой местности. Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о необходимости комплексного подхода к введению унифицированной шкалы оценки разнородных и разновременных данных и совместного использования результатов контактных и аэрокосмических исследований при формировании и коррекции базы правил принятия решений о текущем (прогнозируемом) состоянии объекта в условиях неопределённости.

## Список литературы

1. Малинецкий Г.Г. Сценарии, стратегические риски, информационные технологии / Г.Г. Малинецкий. – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2002. – 124 с.
2. Бутенко О.С. Алгебраический подход к операциям с изображениями при разработке единой концепции для создания универсальной многопараметрической геоинформационной системы / О.С. Бутенко // Системы управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць Центрального науково-дослідного інституту навігації і управління. – К.: ДП «ЦНДІ НІУ», 2009. – Вип. 3(11). – С. 36-40.
3. Гуревич И.Б. Построение алгебр изображений на основе дескриптивного подхода / И.Б. Гуревич, Ю.И. Журавлев, Ю.Г. Сметанин // Доклады 9-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов». – М., 1999. – С. 33-36.
4. Бутенко О.С. Метод формирования возможных откликов при определении тенденции развития аномалий техногенного происхождения / О.С. Бутенко, В.А. Жилин // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2010. – Вип. 2(24). – С. 150-152.
5. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря / [О.С. Бутенко, С.М. Андреев, С.И. Березина и др.]. – К.: Інформаційні системи, 2010. – 302 с.
6. Соколов А.Ю. Применение нечетких множеств в экспертных системах и системах управления: учеб. пособие / А.Ю. Соколов. – Х.: Гос. Аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 1999. – 64 с.
7. Гаврилов А.В. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие в 2-х ч. – Ч. 1 / А.В. Гаврилов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 67 с.
8. Бутенко О.С. Использование тензорного анализа для определения точек бифуркации в процессе прогнозирования состояния неустойчивой системы экологического происхождения / О.С. Бутенко, С.И. Березина // Системи обробки інформації: зб. наук. праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2010. – Вип. 2(83). – С. 30-36.

Поступила в редколлегию 12.09.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Я. Красовский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

**ФОРМУВАННЯ ШКАЛИ ОЦІНОК СТАНУ ЕКОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

О.С. Бутенко

*Розглянуто основні принципи розробки єдиної шкали для багатокритеріального оцінювання комплексу геоінформаційних моделей, які описують різні стани об'єктів, що є відкритими системами. Аналізується можливість введення єдиної шкали для формалізації алгебраїчних операцій при роботі з даними аерокосмічних зображень і результатами лабораторних досліджень. Представлено методика уніфікації різномірних показників стану екологічних об'єктів для оцінювання геомodelей, що побудовані на основі синтезу різночасових даних, які мають різну структуру, в єдиній шкалі з урахуванням специфіки їх отримання.*

**Ключові слова:** шкала, параметри, відкрита система, динаміка, дані, специфіка.

**CREATION OF EVALUATION SCALE OF CONDITION FOR ECOLOGICAL OBJECTS BASED ON AEROSPACE RESEARCH DATA**

O.S. Butenko

*The main principles of creation unified scale for multicriteria evaluation of geoinformational models complex, describing different objects' conditions of open systems, were considered. Possibility of inputting unified scale for algebraic operations formalization, working with aerospace image data and laboratory research results is analyzing. The methodology of unification dissimilar indicators of ecological objects' condition for evaluating geomodels, that were built based on synthesis of different time data, having different structure in unified scale, specific to their obtaining, was presented.*

**Keywords:** scale, conditions, open system, dynamics, data, specificity.