

УДК 621.3

О.С. Бутенко

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

## СИНТЕЗ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*Предложен сценарий построения прогноза дальнейшего распространения антропогенных аномалий на основе комплексного подхода к процессу обработки и анализа данных мониторинга. При анализе учитывалась нестабильность и синергичность анализируемых объектов. В зависимости от результатов классификации процессов их развития разработана последовательность действий операторов эволюции. Последовательность действий при прогнозировании в соответствии с особенностями и выявленными свойствами различных анализируемых объектов, показана в виде схематического представления концепции прогнозирования процессов развития аномалий на основе комплексирования данных мониторинга экосистем.*

**Ключевые слова:** прогноз, неопределенность, анализ, динамика, априорная информация, специфика.

### Введение

Специфика своевременного обеспечения информационной поддержки совместного анализа данных космического мониторинга и экспериментальных данных обусловлена тем, что мониторинг пространственно-временной динамики экосистем требует регулярного выполнения серии наблюдений. Для построения оперативного прогноза динамики выявленных изменений в экосистемах с оценкой возможных последствий этих изменений необходимо наличие эффективных способов обработки данных, полученных не только по результатам дистанционных методов зондирования Земли, но и контактных. При этом регулярное пополнение баз знаний и баз данных с максимально полным описанием условий их получения с возможностью использования для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач является неотъемлемой частью при оценке состояния и динамики экосистем в целом.

В настоящий момент проведение такого рода исследований требует значительных материальных и временных затрат. В результате теряется своевременность этих данных и снижается показатель оперативности построенного на основе их анализа прогноза. Поскольку оперативность является основным фактором при принятии решений о состоянии различных антропогенных аномалий и экосистем в целом, возникает ряд задач, связанных с комплексированием имеющихся в наличии разновременных разнородных данных при построении временных рядов для прогнозирования процессов развития аномалий.

Методы интеграции технологий обработки разновременных данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий, математического обеспечения для классификации информации о местности, методы математической статистики для построения моделей экологических объектов с оценкой их состояния, обработки временных рядов и построения различных прогнозов в последнее время приобрели приоритетное значе-

ние не только в Украине, но и за рубежом. Значительное количество публикаций и научных работ известных украинских и зарубежных ученых посвящено данным вопросам. Следует отметить, что современные подходы к интеграции технологий обработки данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий с использованием экспертных оценок для принятия решений в условиях неопределенности, связанной с ограничением имеющейся в наличии информации об анализируемых объектах и явлениях, являются одним из способов оперативного анализа и прогнозирования развития процессов взаимодействия антропогенных, природных и социальных факторов.

**Постановка проблемы.** Противоречивость использования большого количества параметров при моделировании обусловлена тем, что, с одной стороны, это приводит к усложнению математической модели, а с другой – к снижению погрешности, вносимой этой моделью. Однако при большой размерности моделей существенной становится составляющая ошибки, вносимой неточностью применяемых аналитических и численных методов и увеличением времени обработки данных в реальном масштабе времени. За счет использования процесса автоматизации и применения сложных математических методов на ЭВМ значительно повышается обоснованность и эффективность принимаемых оперативных решений [1].

Методы снижения ошибок и повышения точности при определении составляющих пространства управления можно условно разделить на две основные группы [2]:

1. Искусственная компенсация влияния неточной информации с использованием стандартных детерминированных алгоритмов.

2. Переход при наличии неточной информации на специальные алгоритмы (стохастические, нечеткие, интервальные).

В работе использовался комплексный подход, сочетающий в себе правила из обеих групп.

Для первой группы методов повышения точности наиболее характерным является усреднение и взвешивание данных. Процедура была проведена для оценки комбинаторного влияния факторов и для оценки других параметров при формировании бифуркационного множества. Дополнительно, такой подход использовался в случае, когда оценивалось совместное влияние различных факторов с разными начальными условиями в пределах бассейна одного и того же аттрактора. В рассмотренных случаях, при использовании первой группы методов целесообразно введение инвариантной меры, для которой имеет место следующее соотношение [3]:

$$M(\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_n) = M(\Omega_1) + M(\Omega_2) + \dots + M(\Omega_n),$$

где  $\Omega$  – ограниченная область фазового пространства;  $M(\Omega)$  – мера, равная отношению числа параметров, принадлежащих  $\Omega$ .

Однако использование только первого направления с применением классических процедур оптимизации является неэффективным, ввиду следующих сложностей: при решении задач в детерминированной постановке с увеличением количества управляющих параметров возникают большие проблемы с устойчивостью оптимизационных задач. Возрастает чувствительность к начальным данным (малые причины имеют большие следствия) [4]. Как следствие, накладываются дополнительные предельные (граничные) ограничения, из-за которых возникает проблема устойчивости.

В связи с этим, дополнительно использовались методы восстановления отсутствующих данных, интерполирования и экстраполирования, робастные алгоритмы [5]. Как известно [5], робастные алгоритмы дают лучшие результаты. Свойство робастности позволяет выделить класс процедур, нечувствительных к небольшим изменениям исходных (начальных) данных. Поэтому только представление ряда ограничений как нечетких и использование при этом интервальных оценок дает возможность получать устойчивое решение в условиях погрешности информации и нечеткости введенных ограничений с указанием снижения степени допустимости, т.е. в виде функций принадлежности. Также постановка задачи в нечеткой форме значительно снижает возможность получения несовместимых решений при расчете и оптимизации [3].

Учет условий окружающей обстановки и условий наблюдения за прогнозируемым объектом в разные временные интервалы с помощью применения аппарата нечетких множеств, позволяет добиться робастности алгоритмов, т.е. их нечувствительности к малым отклонениям от предположений, например, о нестационарности процесса.

При использовании стохастических моделей возникает целый ряд трудностей, связанных со сложностью получения плотностей распределения вероятностей для управляющих параметров, поскольку чувствительность к начальным данным вы-

сока, а точность самих исходных данных довольно низкая. Поэтому в задачах расчета и оптимизации целесообразно использование методов устойчивого приближенного решения некорректно поставленных задач [2]. Эти методы основываются на использовании дополнительной априорной информации об искомом решении.

### Комплексирование методов анализа данных мониторинга экосистем в условиях информационной неопределенности (рис. 1)

Весь процесс анализа и обработки априорных данных, в соответствии с разработанным методом формализации алгебраических операций при интеграции разновременных и разнородных данных [6], можно условно разделить на три основных блока. В первом блоке решаются задачи, связанные с обработкой изображений и снятием топологических характеристик с локализованной аномалии. Результатом решения задач обработки, к которым относятся выявление, локализация, идентификация фрагментов различных аномалий с их фотограмметрической нормировкой и разбиением на ячейки по географическим координатам, определение степени принадлежности к ним критериальных элементов, а также задача получения разностных «критериальных деревьев», является супералгебра  $A$ , представляющая собой прямую сумму четырех колец, каждому из которых соответствует свой этап обработки изображений [7]. Операции, представленные каждым из колец, выполняют автономную автоматическую обработку внутри блока. Во втором блоке рассмотрен механизм анализа и оценки состояния экосистем на основе операций атомарных алгебр  $A_{ij}^{Knm}$  и  $B_{ij}^{Knm}$ . Для анализа используются логико-алгебраические модели комплексирования разнородных данных, построенные на основе суперпозиции методов алгебры нечеткой логики и теории динамического хаоса, методы определения возмущающих факторов, восстановления причинно-следственных связей возникновения аномалии и метод формирования значений возможных откликов. Результатом применения перечисленных методов в условиях неопределенности является композиционная алгебра  $C_{AB}^{Knm}$ . Такой подход позволяет формировать вектор параметров, состоящий из качественных и количественных характеристик в единой шкале [7]. Построение прогноза, рассмотренного в третьем блоке, осуществляется с использованием разработанных методов определения управляющих параметров, точек бифуркации и формул для расчета поправок к предполагаемым координатам объекта. Результат применения критериев перехода аномалий к катастрофам, разработанных на основе сформулированных аксиом с использованием динамического хаоса и теории катастроф, определяет оценку возможных последствий для экосистемы после такого перехода



[6, 7]. Для автоматизації операцій, представлених в цьому блоці, використовуються композиційні алгебри  $S_{AB}^{K_{nm}}$ . В загальному вигляді схема алгебраїчного підходу до процесу обробки та аналізу вихідних даних, а також прогнозування подальшого розвитку аномалій представлена на рис. 2. Слід зауважити, що при побудові прогнозу подальшого розповсюдження аномалій з оцінкою можливості переходу до катастрофи, враховувалась синергетичність нестабільних екологічних об'єктів.

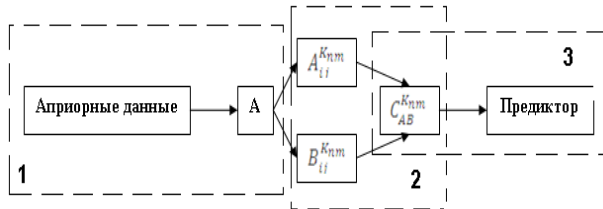


Рис. 2. Загальна схема алгебраїчного підходу до обробки та аналізу даних

В залежності від результатів класифікації процесів їх розвитку розроблена послідовність дій визначення операторів еволюції. Послідовність використання розроблених методів та логіко-алгебраїчних моделей, в відповідності з особливостями та виявленими властивостями різних аналізованих об'єктів, показана в вигляді схематичного представлення концепції прогнозування розвитку аномалій на основі комплексного аналізу даних моніторингу екосистем та представлена на рис. 1.

### Заклучение

Програмна реалізація послідовного застосування методів, представлених на рис. 1, показала правильність запропонованого підходу до побудови прогнозу розвитку різноманітних аномалій антропогенного походження та цілеспрямованість їх

використання для підвищення точності визначення передбачуваних меж розповсюдження аномальних явищ в природних екосистемах. Запропонована схема є основою продукційних правил для побудови багатопараметричної розподіленої геоінформаційної системи прогнозування динаміки екологічно нестабільних об'єктів з оцінкою можливості їх переходу до катастрофи.

### Список литературы

1. Бондур В.Г. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф / В.Г. Бондур, В.Ф. Крапивин, В.П. Савиных. – М.: Научный мир, 2009. – 696 с.
2. Орловский А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 206 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. Нестационарные структуры и диффузионный хаос / [Т.С. Ахромеева, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий, А.А. Самарский]. – М.: Наука, 1992. – 544 с.
5. Обработка случайных сигналов и процессов: учеб. пособие / [А.Н. Беседин, А.А. Зеленский, В.В. Лукин, Г.П. Кулемин]. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2005. – 469 с.
6. Бутенко О.С. Систематизация методов прогнозирования процессов развития антропогенных аномалий на основе логико-алгебраических моделей / О.С. Бутенко, Г.Я. Красовский, А.Н. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць Ін-ту телекомунікацій і глобал. інформ. простору НАНУ і Київ. нац. ун-та буд-ва і архіт. – К., 2011. – Вип. 8. – С. 21-54.
7. Бутенко О.С. Алгебраический подход к операциям с изображениями при разработке единой концепции для создания универсальной многопараметрической геоинформационной системы / О.С. Бутенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НГУ», 2009. – Вип. 3 (11). – С. 36-40.

Поступила в редколлегию 3.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### СИНТЕЗ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

О.С. Бутенко

Запропоновано сценарій побудови прогнозу подальшого поширення антропогенних аномалій на основі комплексного підходу до процесу обробки та аналізу даних моніторингу. При аналізі враховувалась нестабільність і синергетичність аналізованих об'єктів. В залежності від результатів класифікації процесів їх розвитку розроблено послідовність дій визначення операторів еволюції. Послідовність дій при прогнозуванні відповідно до особливостей і виявлених ними властивостями різних аналізованих об'єктів, показана у вигляді схематичного подання концепції прогнозування процесів розвитку аномалій на основі комплексного аналізу даних моніторингу екосистем.

**Ключові слова:** прогноз, невизначеність, аналіз, динаміка, априорна інформація, специфіка.

### SYNTHESIS OF THE COMPLEX DATA ANALYSIS ECOSYSTEM MONITORING CONDITIONS OF INFORMATION UNCERTAINTY

O.S. Butenko

In article was proposed a scenario forecasting, further spread of anthropogenic anomalies in an integrated approach to the processing and analysis of the data. In the analysis takes into account the synergies valas unstable and analyzed objects. Depending on the results of the classification of their development processes designed sequence of definition of evolution. The procedure for forecasting in accordance with the characteristics and identified-governmental properties of different objects to be analyzed, is shown in a schematic representation of the concept of forecasting processes of anomalies based on complex data ecosystem monitoring.

**Keywords:** forecast, uncertainty analysis, dynamics, a priori information, the specifics.