

# СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПОСРЕДСТВОМ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУТАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА И ИНТЕРСУБЪЕКТНОГО АНАЛИЗА

STRATEGIC ENVIRONMENTAL  
MANAGEMENT USING  
THE IMPLEMENTATION OF INFORMATION  
AND COMMUTATION SYSTEM  
OF ENVIRONMENTAL AUDIT BASED  
ON SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS  
AND INTERSUBJECTIVE ANALYSIS

*Y. Romashevskaya  
I. Stepanovskaya*

#### Annotation

At the moment, the problem of fresh water shortage is an urgent one, so it requires to address control and maintaining issues of drinking water quality. In this paper offer of using an electronic environmental audit to support decision making in the implementation of environmental protection (in particular water protection) activity is made. Consideration is given to the structure of the automated data-collection system based on cloud technology. A software implementation of information support of cognitive multiagent expert-analytical system is described.

**Keywords:** synergetics, information technology, cognitive system, large systems, fractal technology, environmental audit, catchment area.

*Ромашевская Яна Андреевна  
Аспирант, Институт проблем управления  
им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва  
Степановская Ираида Александровна  
К.т.н., в.н.с., Институт проблем управления  
им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва*

#### Аннотация

На данный момент проблема дефицита пресной воды является актуальной, поэтому требуется решать вопросы контроля и сохранения качества питьевой воды. В данной статье предлагается использовать электронный экологический аудит для поддержки принятия решений при осуществлении природоохранной (в частности водоохранной) деятельности. Рассмотрена структура автоматизированной системы сбора данных, основанной на облачной технологии. Описана программная реализация информационной поддержки когнитивной мультиагентной экспертно-аналитической системы.

#### Ключевые слова:

Синергетика, информационные технологии, когнитивная система, крупномасштабная система, фрактальная технология, экологический аудит, водный бассейн.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время питьевая вода становится основным продаваемым ресурсом. Только 3% от мировых запасов воды приходится на пресные воды, для потребления же человечеством доступно лишь 1,5%. Этих 1,5% было бы достаточно для удовлетворения потребностей всего населения планеты в случае равномерного распределения запасов воды.

Преимущественное неравномерное ее распределение обуславливает все возрастающий дефицит пресной питьевой воды, который наиболее явно проявляется в следующих регионах: Северная и Южная Африка, Северный Китай, полуостров Сомали, Ближний и Средний Вос-

ток, Центральная Азия.

Согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, к 2030 г. проблема дефицита питьевой воды сильно обострится в связи с увеличением мировой потребности в воде на 60%.

Вместе с тем Российская Федерация занимает второе место после Бразилии по имеющимся ресурсам пресной воды и в будущем может стать одним из лидирующих экспортеров воды на мировом рынке [1].

Таким образом, подтверждается необходимость контроля и сохранения качества питьевой воды в крупном масштабе (в масштабе бассейнов).

Средством достижения этой цели может служить реализация экологического аудита. Необходимость осуществления экологического аудита как поддержки принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды и рационального природопользования регламентируется нормативно-правовыми актами и законами [2, 3].

В данной статье предлагается использовать электронный экологический аудит на основе информационных технологий, которые могут успешно применяться для поддержки принятия решений при осуществлении природоохранной (в частности водоохранной) деятельности.

Проблемы принятой на практике процедуры экологического аудита

В условиях все увеличивающейся техногенной нагрузки и существования трансграничных переносов загрязняющих веществ целесообразно акцентировать внимание на развитии и управлении именно крупномасштабными системами. Это подразумевает максимальную автоматизацию процессов документооборота (сбор, обработка, хранение информации) и использование автоматизированных экспертно-аналитических систем, т.е. трансформацию традиционного экологического аудита в контроллинг – электронный экологический аудит.

Существующие процедуры реализации экологического аудита позволяют собирать, накапливать, хранить и проводить первичную обработку поступающих данных, используя документооборот, поддержку географических, картографических и геоинформационных систем. Однако нет единой модели информационного взаимодействия всех агентов этой сложной системы (в частности, источников и приемников первичной, промежуточной информации и результатов ее преобразования и анализа).

Часто возникают сложности в верификации приведенных данных ввиду невозможности определения ответственного за их появление лица. Кроме того, обработка информации в большинстве случаев основана только на данных, при этом фундаментальные знания о закономерностях развития экосистем, распространении загрязнений в них, взаимодействиях и взаимопревращениях поллютантов и т.д. практически не принимаются в расчет.

Описанные выше трудности вкупе с огромными потоками данных не позволяют использовать существующие информационные технологии для адекватного ранжирования и обработки постоянно поступающей информации о состоянии окружающей среды и потенциально опасных объектах природного и техногенного происхождения. В результате осуществление рационального управления природно-антропогенной средой в крупных масштабах и

своевременного принятия решений, направленных на стабилизацию и улучшение экологической обстановки, не представляется возможным. Нехватка актуальной информации при большом объеме собираемых данных и необходимость постоянного присутствия оператора и его контроля за функционированием системы являются принципиальными проблемами для управляющих приложений охраны окружающей среды и экологического аудита.

Кроме того, обнаруживается необходимость создания новых методологических и технологических принципов компьютеризации и автоматизации природоохранной деятельности. Тем самым подтверждается актуальность предлагаемого авторами данной статьи подхода создания когнитивной информационно-коммуникационной технологии для многоагентной системы экологического аудита, способной к самоорганизации и саморегулированию.

Исследование связи синергетики и экологии, использование особенностей и принципов синергетических систем при создании и эксплуатации когнитивных систем реализации экологического аудита

Современная наука находится на постнеклассическом этапе своего становления, основной особенностью которого является междисциплинарность и осознание присутствия сложных взаимосвязей природных и антропогенных процессов. Апофеозом постнеклассического этапа является наука о самоорганизации сложных неравновесных систем – синергетика.

Именно такими сложными и неравновесными являются экологические системы (в том числе и экосистемы водных бассейнов), поскольку они включают многообразные химические, физические, биологические, гидрологические, геологические и технологические процессы. В последнее время на это обращают внимание все большее число исследователей [4, 5, 6, 7]. Следовательно, для реализации процесса экологического аудита очевидна необходимость привлечения синергетики при изучении и прогнозировании поведения экологических систем в ответ на антропогенные и техногенные воздействия.

Взаимосвязь основных характеристик синергетических систем, а именно: нелинейности динамики, открытости, саморегуляции, целостности, наличие бифуркационных процессов, применительно к экологическим системам и влияющим на них факторам внешней среды проиллюстрирована в виде блок-схемы (рис. 1).

Синергетичность экологических систем подразумевает их постоянное взаимодействие с внешними факторами, результатом чего является появление флуктуаций и переход экосистемы на новый уровень развития при про-

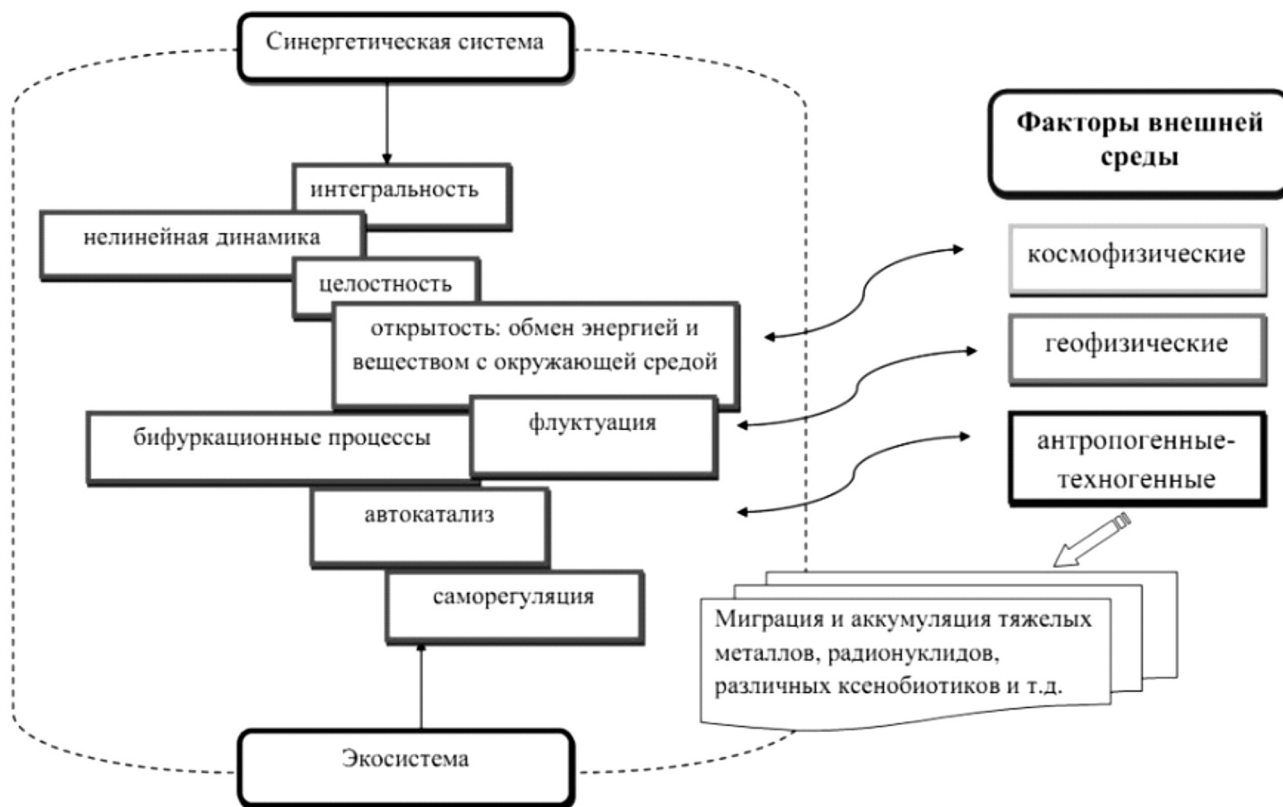


Рисунок 1. Соответствие экологической системы принципам синергетики с учетом воздействия факторов внешней среды.

хождении точки бифуркации.

Переизбыток внешних факторов (большой частью техногенных и антропогенных), негативно влияющих на окружающую среду в целом и отдельные экосистемы в частности, делает практически невозможным улучшение качественного состояния экосистемы. Поэтому важной задачей предлагаемой авторами когнитивной системы экологического аудита является определение интенсивности флуктуации экологической системы и предупреждение прохождения ее через точку бифуркации путем выявления существующих и потенциально возможных антропогенных нагрузок и принятия превентивных мер.

Фрактальная технология аудита развития крупномасштабных нелинейных систем

Источниками сведений о степени вмешательства в экосистему, используемых экспертно-аналитической системой экологического аудита, являются следующие внешние информационные ресурсы (агенты):

- ◆ мониторинг качества поверхностных вод;
- ◆ мониторинг качества подземных вод;
- ◆ мониторинг качества атмосферного воздуха;

- ◆ мониторинг концентраций загрязняющих веществ в сбросах, выбросах, отходах производства и потребления предприятий-природопользователей (например, на основе отчетов по формам 2-ТП-воздух, 2-ТП-водхоз и 2ТП-отходы);

- ◆ мониторинг осуществления природоохранных мероприятий и их финансирования;

- ◆ нормативно-правовая база в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Каждый из перечисленных агентов мультиагентной системы является сложным, поскольку включает в себя множество подуровней, например: мониторинги содержания в объектах окружающей среды и сбросах, выбросах, отходах предприятий конкретных загрязнителей и их сочетаний; мониторинг качества природных сред, осуществляемый территориально распределенными датчиками; особенности установленных на рассматриваемой территории нормативов содержания загрязнителей и пр.

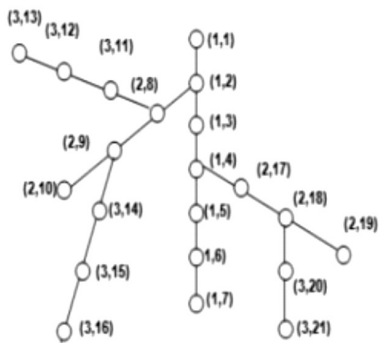
Для эффективного принятия решений в области управления охраной окружающей среды и природопользованием необходимо учитывать данные системного многолетнего мониторинга данных, на основе которых можно

провести анализ динамики состояния объекта. Реализация когнитивной мультиагентной экспертной системы экологического аудита в масштабе водного бассейна предполагает построение имитационных моделей системной динамики экологической обстановки и профилей загрязнений.

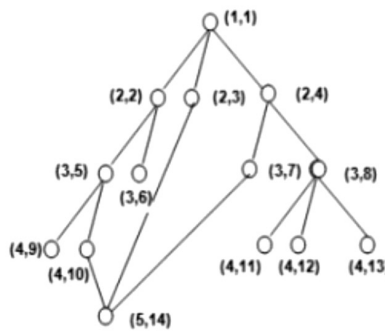
Нелинейность рассматриваемых крупномасштабных систем обуславливает необходимость применения синергетического подхода и учета синергетических эффектов: реакция системы даже на незначительные воздействия может проявляться как в краткосрочной, так и в

долгосрочной перспективе, причем отклик не всегда пропорционален силе воздействия и может обладать различной интенсивностью в зависимости от воздействий различных факторов. Таким образом, исследовать крупномасштабную систему водного бассейна необходимо в ее динамике.

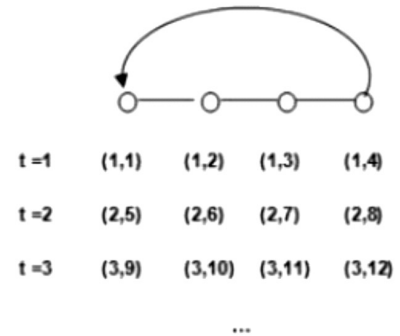
При изучении нелинейных динамических систем целесообразно использовать фрактальные модели, которые детерминируют основные свойства системы и фокусируются на обнаружении устойчивых процессов самоорганизации и саморазвития системы (рис. 2).



Стволовидная структура фрактала



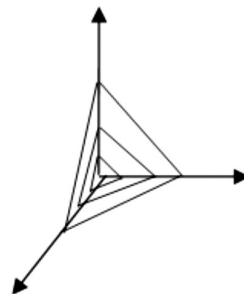
Ризомная структура фрактала



Итеративная структура фрактала



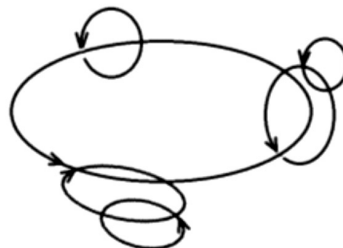
Иерархическая структура фрактала



Кратномасштабная структура фрактала



Вихревая структура фрактала



Поливихревая структура фрактала

Рисунок 2. Тип структур фракталов, используемые при визуализации системной динамики синергетических эффектов.

Стволовидные фракталы могут использоваться для визуализации структуры водного бассейна и определения масштабов проявления синергетических эффектов (распространение загрязнений, деградация экосистемы). Источником данных для построения фрактала такого типа является государственный водный реестр, адаптированный для эффективного использования предлагаемой информационно-коммутиционной экспертной системой.

Фракталы ризомной (диффузной) структуры целесообразно использовать для отображения этапов изменения и результатов интеграции различных синергетических эффектов. На базе данного фрактала строятся модели оценки изменения токсичности первичных и вторичных загрязнителей, устанавливаются обратные связи между существующим фоновым загрязнением водного объекта и его реальными источниками, моделируются фоновые профили концентрации основных химических загрязнителей и профили антропогенного загрязнения по особо токсичным поллютантам. Источниками информации являются международные реестры химических соединений.

Поскольку не только предприятия-природопользователи осуществляют периодическое воздействие на окружающую среду, но и природные явления также происходят с определенным интервалом, модель воздействия множества негативных факторов может быть представлена итеративным фракталом. Источниками документальной информации являются отчеты природопользователей (например, формы 2ТП-водхоз), мониторинг чрезвычайных ситуаций.

Иерархический фрактал отображает структуру источников негативного воздействия (отраслевую структуру предприятий-природопользователей) и используется для моделирования и прогнозирования комплексного влияния на объекты окружающей среды. Информационные источники: промышленные стандарты и реестры.

Задачи электронного аудита рисков и последствий комплексного влияния факторов негативного воздействия сводятся к: а) моделированию природоохранных мероприятий упреждающего управления (модели программно-целевого управления); б) моделированию профилей критического развития крупномасштабной системы (модель обоснования первоочередных неотложных задач природоохранной деятельности).

Семантическое ранжирование задач первого типа может быть визуализировано посредством иерархического фрактала, задач второго типа – стволовидным, кратномасштабным, вихревым и поливихревым фракталами, построение которых возможно на основе схем причинно-следственных связей, линейных и циклических контуров отрицательной обратной связи.

Источниками данных служат отчеты природопользо-

вателей и региональных администраций об осуществляемых и запланированных природоохранных мероприятиях.

*Таким образом автоматизированная когнитивная экспертная система, реализуемая на базе фракталов, выполняет следующие функции аудита:*

- ◆ построение модели максимально допустимого интегрального негативного влияния внешних факторов;
- ◆ обнаружение отклонения рассматриваемой экосистемы от нормы на ранних стадиях;
- ◆ определение и классификация потенциальных источников отклонений;
- ◆ проведение оценки рисков потери управляемости рассматриваемой природно-антропогенной системы;
- ◆ определение основных и первоочередных задач упреждающего управления.

*Использование принципов деонтической логики и intersубъектного анализа при принятии управленческих решений экспертно-аналитической системой*

Экологический аудит и непосредственно принятие решений должны осуществляться по единым непротиворечивым правилам, определенным инструкциями и директивами. Целесообразнее всего организовать данные процедуры на основе языка деонтической модальной логики (логика норм). Особенность деонтической логики в том, что она характеризует высказывания (подразумевающие практические действия) относительно системы норм: анализируя высказывания, логика норм отделяет необоснованные схемы рассуждений от обоснованных и систематизирует последние. Результатом является теория нормативных умозаключений, запрещающих, обязывающих или разрешающих высказывание.

*В логике норм понятия "обязательно", "запрещено", "разрешено", "нормативно безразлично" взаимоотноделены и взаимообусловлены:*

- ◆ то, от чего не разрешено воздерживаться, и то, что запрещено не делать – *обязательно*;
- ◆ то, от чего обязательно воздерживаться, и все, что не является разрешенным – *запрещено*;
- ◆ то, от выполнения чего не обязательно воздерживаться, и все, что не запрещено – *разрешено*.

С целью автоматизации и упрощения процедуры обработки информации и представления знаний предлагается использовать метод визуализации формата "доски объявлений" [8]. Данный метод определяет правила саморегулирования системы: агенты мультиагентной системы (преимущественно природопользователи) фиксируют сведения о своих возможностях по развитию экосистемы (в масштабе водного бассейна), проведению превентивных мер по снижению и предупреждению угроз

и рисков, восстановлению стабильного гомеостаза исследуемой системы.

Интерсубъектная система электронного экологического аудита определяет проектирование системы мультиагентного экспертного мониторинга, организует управление компетенциями и задачами при проектировании, регистрацию агентов (экспертов и природопользователей) и распределении их компетенций, концептуальный дискурс (в рамках которого в дальнейшем проводится экспертиза), формирование, настройку и регулирование базы данных и знаний в формате "доски объявлений".

На рис. 3 проиллюстрированы основные принципы когнитивного представления знаний, сравнения альтернативных возможностей различных агентов, сокращение общего количества угроз в текущих или потенциально возможных (при рассмотрении заявки на разрешение строительства нового объекта) ситуациях и мотивированного выбора согласованных действий.

Шкале оценки текущих/потенциальных угроз и рис-

Градиентная оценка ожидаемого уровня снижения рисков

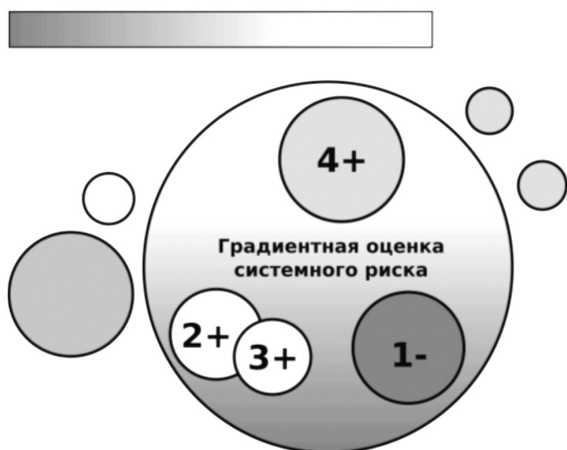


Рисунок 3. "Доска объявлений": пример правил саморегулирования системы.

ков развития системы соответствует градиентная заливка "Доски объявлений". Объявлениями на одноименной "доске" являются субъективные оценки способности агентов воздействовать на ситуацию, приведенные в сравнении между собой и с ситуацией в целом.

Предлагаемая оценка сопоставления согласуется с объявлением каждого агента на "доске", соответствующим градиентной шкале оценки синергетических эффектов и угроз, и заключается в визуализации данных таких категориях, как:

- ◆ активные и пассивные агенты (способные и неспособные оказать воздействие на динамику развития

системы) – изображаются на "доске" или снаружи ее соответственно;

- ◆ агенты, оказывающие положительное и отрицательное воздействие (уменьшают или увеличивают интегральные риски) – отмечаются знаками "+" и "-" соответственно ("обязательно" или "запрещено" на языке деонтической логики);

- ◆ агенты, способные к оказанию синергетического эффекта в различных областях опасности (сравнительно безопасных и чрезвычайно опасных, например, как 4 и 1);

- ◆ агенты, отличающиеся по степени и масштабу воздействия (через относительный размер символа и значение оценочной шкалы, например,  $2 < 3 < 4$ );

- ◆ группы некоррелирующих агентов (например, 3 и 4) и группы сходных по характеру воздействия агентов (например, 2 и 3) [8].

Приведенный способ представления знаний соответствует требованиям, предъявляемым к гибко масштабируемым образцам интерсубъективного знания:

- ◆ концептуально оформляется в предварительном проведении дискурс-анализа в режиме интерактивного обсуждения;

- ◆ применяется в качестве одного из основных составляющих интеллектуальной информационно-коммуникационной системы поддержки принятия управленческих решений в интерактивном режиме;

- ◆ позволяет переформатирование в программную систему режима реального времени, разделенную и по интервалам оценки текущей ситуации, и по ареалам применимости методов.

Таким образом, каждой модели/действию/методу присваивается электронный паспорт "услуг", который может быть использован при формировании GRID-систем самоактивизирующихся услуг (при мультиагентном мониторинге ситуации). Паспорт содержит информацию о SWOT-характеристиках ("Strengths" – сильные стороны, "Weakness" – слабые стороны, "Opportunities" – возможности, "Threats" – недостатки) "услуги" при рассмотрении ее в различных ситуациях. Для централизованного контура применяется как продукционная система "Оценка ситуации – рекомендуемые действия".

*Программная реализация предлагаемой информационно-коммуникационной технологии управления развитием крупномасштабных систем.*

Реализация разработанной концепции когнитивной информационно-коммуникационной технологии управления развитием крупномасштабных систем, продемонстрированная на примере мультиагентного интерсубъектного экологического аудита, состоит из двух частей:

- ◆ Интернет–портала, отвечающего за взаимосвязь и взаимодействие всех участников многоагентной системы и включающего в себя постоянно изменяющуюся и расширяющуюся Базу Данных;
- ◆ программы "Информационная поддержка для экспертно–аналитической системы intersубъектного экологического аудита", выполняющая роль вычислительного и аналитического центра.

*Интернет–портал как составная часть  
когнитивной мультиагентной  
экспертно–аналитической системы*

Рассматриваемая концепция когнитивного электронного экологического аудита предполагает трансформацию привычного документооборота в электронный Интернет–портал, осуществляет управление информационными потоками автоматически, опираясь на уже накопленные и проанализированные данные. Автоматическая работа предлагаемого документооборота детерминируется основными его свойствами: самоорганизацией и саморазвитием.

В системе происходит обмен между агентами не хаотическим набором данных, а сепарированными пакетами документации, например, пакетом картографических материалов, пакетом текстовых документов и т.д. Для систематизации приема, регистрации и накопления информации в системе используется номенклатура всех видов знаний, агентов, их взаимосвязи и взаимообусловленности. В соответствии с номенклатурой и выставляемыми пометками происходит рассылка и запрос информации между агентами системы, то есть осуществляется заказ потоков информации.

Интернет–портал представляет собой автоматизированную систему сбора данных, основанную на облачной технологии, и является специализированным пакетом сервисных средств межведомственной информационной интеграции разнотипных разноформатных документальных сводок, поступающих от разных территориально удаленных поставщиков данных – агентов мультиагентной системы intersубъектного экологического аудита.

С целью обеспечения достоверности получаемой информации ввод данных целесообразно сделать доступным только для зарегистрированных пользователей.

Перспективность порталной технологии сбора информации для экологического аудита и принятия решений по управлению охраной окружающей среды связана с отказом от ручного ввода данных, повышением достоверности фактических данных, повышением персональной ответственности участников многоагентной системы за истинность поставляемой информации, организация сбора данных в режиме реального времени, автоматиза-

ция интеграции документальных потоков данных, поступающих от различных агентов–источников.

*Основные функции Интернет–ресурса, реализация которых обеспечивает эффективную работу когнитивной мультиагентной экспертно–аналитической системы:*

- ◆ взаимосвязь и взаимодействие агентов мультиагентной системы intersубъектного экологического аудита;
- ◆ прием, регистрация, сбор и обработка поступающих от участников мультиагентной системы анкет интегрированных данных о состоянии объектов окружающей среды и объектов антропогенной нагрузки;
- ◆ формирование когнитивной постоянно расширяющейся Базы Данных и Знаний Экологического Аудита;
- ◆ перераспределение полученной/накопленной информации между агентами мультиагентной системы;
- ◆ направление данных в программу "Информационная поддержка для экспертно–аналитической системы intersубъектного экологического аудита" для их анализа;
- ◆ рассылка экспертного заключения (сформированного программой "Информационная поддержка для экспертно–аналитической системы intersубъектного экологического аудита") заинтересованным участникам мультиагентной системы.

Данные, регистрируемые и накапливаемые в Базе Данных и Знаний Интернет–портала и используемые программой "Информационная поддержка для экспертно–аналитической системы intersубъектного экологического аудита" при проведении анализа, ситуационного моделирования и прогнозирования, включают сведения:

- ◆ о степени загрязненности компонентов природной среды (содержание основных загрязнителей в атмосферном воздухе, поверхностных и подземных водоисточниках, почве);
- ◆ о законодательно закрепленных нормах содержания основных показателей качества природной среды (предельно допустимые концентрации веществ в воздухе, воде, почве);
- ◆ об источниках загрязнений, прямо или косвенно определяющих экологическое состояние на рассматриваемой территории (род деятельности предприятий; основные технологические циклы; исходные и конечные продукты деятельности; направленные на защиту и охрану природной среды мероприятия и результаты их реализации);
- ◆ о гидрогеохимические, экологические и другие показатели, характеризующие данную территорию в интересующий момент времени и обусловленные природными особенностями и антропогенной нагрузкой;
- ◆ о метеорологические характеристики (температура, скорость и направление ветра) и т.д.

Наибольший интерес из перечисленных категорий данных представляют собой сведения об уровне антропогенного вмешательства (степени загрязненности компонентов природной среды) и источниках загрязнений.

Предлагаемая концепция электронного экологического аудита предполагает создание для каждого природного и техногенного объекта в данной географической точке информационной среды (паспорта), в которой содержатся данные обо всех учреждениях и организациях (включая точные названия, адреса, телефоны, направления деятельности и т.д.), обладающих информацией о состоянии рассматриваемого объекта.

*К таким организациям относятся, например:*

- ◆ организации, осуществляющие измерение содержания загрязнителей в различных компонентах окружающей среды, определяющие состав сбросов и выбросов от техногенных объектов и т.д. (измерительные лаборатории и центры);
- ◆ организации, регламентирующие возможность осуществление той или иной деятельности и выдающие разрешения при условии выполнения природопользователем условий, направленных на охрану окружающей среды (Министерство экологии и природопользования, Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ, ФГБУ Росрыбвод и т.д.);
- ◆ организации, осуществляющие учет существующих антропогенно-техногенных объектов и надзор за выполнением ими всех предписаний, в том числе проведение мероприятий по охране и защите окружающей среды (Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, частные и государственные организации, осуществляющие экологический контроль и аудит);
- ◆ организации, осуществляющие прием и учет налогов и иных платежей за пользование природными объектами (Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Федеральная налоговая служба и пр.) и т.д.

Проанализировав совокупность сведений, которыми обладают вышеперечисленные организации, можно проследить весь жизненный цикл техногенного объекта и/или всю историю проведения различных типов мониторинга и контроля (в том числе экологического) состояния природного объекта, что позволит принимать аргументированные и актуальные решения в сфере управления природопользованием.

Кроме того, имея полученные от гидрометеорологических станций сведения о температуре, скорости и направлении ветра и используя программный продукт [9] и ему подобные, можно с большей точностью определить находящиеся под угрозой загрязнения объекты, сплани-

ровать и предпринять на их территории превентивные меры [10].

Таким образом, для реализации ситуационного моделирования и прогнозирования надо учитывать закономерности распространения поллютантов в природной среде.

Закономерности распространения антропогенных загрязнений и описывающие их математические модели могут быть различны по типам среды (почва, вода, воздух), загрязнений и климатических районов.

Типовые модели распространения загрязнений были изучены и изложены в работах таких авторов, как: Карашев А.В., Фролов В.А., Родзиллер И.Д., Бабков В.С., Ткаченко Т.Ю., Сузан Д.В., Бурков А.И., Кундас С.П., Молокова Н.В.

Несмотря на различия в математическом описании рассматриваемых процессов, целесообразно сохранить единую методологию реализации когнитивной информационной системы для принятия наиболее эффективных управленческих решений в сфере рационального природопользования и защиты и охраны окружающей среды.

#### *Программная реализация информационной поддержки когнитивной мультиагентной экспертно-аналитической системы*

Программа "Информационная поддержка для экспертно-аналитической системы intersubъектного экологического аудита" является семантическим преобразователем накопленных в Базе Данных и Знаний данных мониторинга уровня загрязнения рассматриваемой экосистемы (например водного бассейна) и источников этих поллютантов.

Программа проводит обработку и интеграцию имеющихся сведений на основе описанного выше фрактального метода анализа данных. Результатом анализа являются профили концентрации основных химических загрязнителей и профили антропогенного загрязнения по особо токсичным показателям. Данные профили содержат информацию, структурированную в хронологическом порядке, и по сути представляют собой временные ряды.

Каждое загрязнение поступает в объект окружающей среды, в данном случае поверхностный водный источник, не непрерывно, а оказывает порционное (квантовое) воздействие. В масштабе водного бассейна каждый такой квант создает свою волну загрязнения. То есть, поллютанты поступают в водный объект циклично, порождая волну за волной. Кроме того, существует множество пространственно распределенных по бассейну источников загрязнений, волны которых накладываются друг на дру-



га. Следовательно, анализировать полученные временные ряды методами статистического анализа не корректно. Для этих целей целесообразно применять метод анализа сингулярного спектра.

Для обнаружения общего тренда каждого загрязнителя, определения периодичности его проявления и сглаживания и подавления "шума" целесообразно применять метод анализа сингулярного спектра.

Анализ сингулярного спектра – метод исследования временных рядов, базирующийся на трансформации одномерного временного ряда в многомерный ряд с дальнейшей обработкой полученного многомерного ряда методом главных компонент. В настоящее время существует ряд программных продуктов, позволяющих осуществлять обработку загружаемых данных этим методом, например MATLAB.

Подробное математическое описание работы метода анализа сингулярного спектра не приводится, поскольку механизмы хорошо изучены и существуют различные программные приложения, осуществляющие обработку загружаемых данных этим методом, например MATLAB.

Использование данного метода позволяет обнаружить общий тренд каждого загрязнителя, определить периодичности его проявления, сгладить "шум".

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время становится особенно актуальным вопрос автоматизации экологического аудита в целях стратегического управления охраной окружающей сре-

ды. Кроме того, стали очевидными неадекватность применения методов статистического анализа при прогнозировании фронта распространения загрязнений в крупных масштабах (например, водных бассейнах). Для решения этих проблем авторами в данной работе предлагается создание когнитивной информационно-коммутиционной технологии для многоагентной системы экологического аудита, способной к самоорганизации и саморегулированию. Данный подход предполагает использование методов фрактальной технологии, синергетики, деонтической логики и анализа сингулярного спектра при анализе данных о состоянии объектов окружающей среды. Программная реализация предлагаемой информационно-коммутиционной технологии управления развитием крупномасштабных систем состоит из двух частей: Интернет-портала, отвечающего за взаимосвязь и взаимодействие всех участников многоагентной системы и включающего в себя постоянно изменяющуюся и расширяющуюся Базу Данных; программы "Информационная поддержка для экспертно-аналитической системы интeрсубъектного экологического аудита", выполняющей роль вычислительного и аналитического центра.

Формирование, варьирование параметров и регулирование базы данных и знаний осуществляется в формате "доски объявлений". Все это допускает унификацию используемых программных приложений, облегчает проведение экологического интeрсубъектного аудита, позволяет верифицировать используемую информацию и минимизировать временные затраты на анализ и прогнозирование состояния исследуемой экосистемы и стратегическое планирование мероприятий по управлению охраной окружающей среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцев В.А. Еще раз о участии России в мировом рынке воды.// Общество. Среда. Развитие. 2013. № 3. С. 237–246.
2. Федеральный закон № 7 "Об охране окружающей среды".
3. Проект Федерального закона "Об экологическом аудите, экологической аудиторской деятельности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
4. Пляцук Л.Д., Черныш Е.Ю., Пляцук Д.Л. Синергетика: экосистемные процессы. // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 6/2014 (89). Частина 1. С. 127–142.
5. Филобокова Л.Ю. Экологический аудит в системе устойчивого развития региона. // Экономика природопользования I (22) УЭкС, 2/2010.
6. Левина С.В. Применение синергетического подхода при изложении основ экологии.//Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14, No 2 (4), 2012. С. 911–913.
7. Симонян Г.С. Анализ состояния гидроэкологических систем в свете синергической теории информации. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции . Экологическая безопасность и природопользование: наука, инновации, управление. – Махачкала. АЛЕФ, 2013. С. 275–280.
8. Степановская И.А. Управляющие системы и технологии для кибер-физических систем. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVII Международной конференции (22–25 июня 2015 г.г. Самара, Россия)/Под ред.: акад. Е.А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттих. – Самара: Самарский научный центр РАН. 2015 г. С. 394–401.
9. Бережной Д.В., Ромашевская Я.А., Ставровский М.Е. Свидетельство № 2012661295 от 11.12.2012 г. о регистрации программы для ЭВМ "Анализ метеорологических факторов рассеивания примесей, влияющих на уровень загрязнения приземного атмосферного воздуха".
10. Ромашевская Я.А. Разработка программы для обработки метеорологических условий и анализа их влияния на уровень загрязнения приземного атмосферного воздуха, доклады IX всероссийской научно-технической конференции "Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности, образовании и экологии", 2010 г.