

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭКОМОНИТОРИНГА И  
УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ  
ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ**

---

*olga.ivashuk@mail.ru*

**Ивашук О.А., д-р техн. наук, доц.,  
Константинов И.С., д-р техн. наук, проф.,  
Ивашук О.Д., канд. техн. наук,  
Федоров В.И. аспирант**  
*Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет*

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные результаты полученные в ходе выполнения проекта РФФИ № 14-41-08055 «Исследование и разработка распределенной автоматизированной системы интеллектуального экомониторинга и управления экологической безопасностью городских территориальных агломераций», а именно представлены функциональная и структурная модель системы, модель экологической безопасности, как объекта управления, методы комплексной оценки и прогнозирования экологической ситуации городских агломераций. Представлена реализация системы для конкретных территорий.

**Ключевые слова:** биотехносфера городских территориальных агломераций, интеллектуальный анализ данных, ситуационное моделирование, экологическая ситуация, интегральная оценка.

Важнейшей составляющей национальной безопасности любого современного государства является экологическая безопасность его территорий различного назначения. Следует особо выделить городские агломерации, качественное состояние природной среды которых оказывает значительное воздействие на здоровье и жизнедеятельность людей. Сегодня нет стран, в которых бы не уделялось должного внимания проблемам экологии. Одним из основных направлений снижения и предотвращения возникновения и развития техногенных и природных экологических рисков – активной мерой – является создание эффективных систем мониторинга, прогнозирования и управления

экологической безопасностью. Следует отметить, что и в России, и за рубежом, даже в регионах, где функционируют системы автоматизированного экологического мониторинга с развитой сетью стационарных и мобильных станций, обеспеченные современными датчиками и приборами слежения, использующие геоинформационные и аэрокосмические технологии, современные расчетные методики, не наблюдается принципиального улучшения экологической ситуации. Это во многом связано с тем, что подобные системы, эффективно реализуя сбор и первичную обработку данных, позволяют осуществлять адекватную оценку текущего состояния природной среды, мощность негативного техногенного воздействия, выявлять источники загрязнения, однако, наделены очень слабыми функциями поддержки принятия управленческих решений. При этом не осуществляется процесс прогнозирования динамики биотехносферы, ситуационное моделирование, формирование и оценка результативности возможных сценариев управления, без чего крайне затруднительно трансформировать полученную эоинформацию в оперативные рациональные управленческие решения по предотвращению и значительному снижению экотехногенных рисков, ее использование в стратегическом планировании преобразования биосферы и развития региональных техногенных систем на основе биосферосовместимости. Задача усложняется многогранностью и высокой динамикой взаимодействия природных и техногенных объектов, значительной пространственной распределенностью элементов объектов мониторинга и субъектов управления.

Целью научных исследований являлось создание научно-методологических основ построения и сопровождения систем, обеспечивающих поддержку и реализацию объективных, высоко результативных управленческих решений по предотвращению и снижению (ликвидации) негативного техногенного воздействия на биосферу территорий различного уровня, как следствие – повышение качества жизни населения регионов России.

Проведенный комплексный анализ существующих подходов к поддержке принятия решений в сфере управления экологической безопасностью городских агломераций показал, что сегодня для получения и обработки информации, необходимой для выработки управляющих решений, только в некоторых крупных городах используются современные автоматизированные системы экомониторинга и прогнозирования. В остальных регионах проводится выборочный контроль отдельных компонентов окружающей среды на

базе специализированных лабораторий. Выявлены основные недостатки существующих систем, определяющие снижение их результативности как основы информационного обеспечения процесса управления:

- слабая связь с задачами поддержки принятия управленческих решений;
- отсутствие комплексной оценки экологической ситуации по совокупному состоянию различных компонентов биотехносферы,
- отсутствие оценки и прогнозирования экологической ситуации, сложившейся на рассматриваемой территории.

Были определены требования к функциональности разрабатываемой системы, решающей задачи мониторинга, прогнозирования и управления, и построена ее функциональная модель (рисунок 1). На данном рисунке  $I_0$  – информация о параметрах состояния экологической безопасности;  $I_{01}$  – обработанная информация;  $I_1$  ( $I_1 = \{I_{11}, I_{12}\}$ ) – результаты первичных оценок ( $I_{11}$ ) и прогнозов ( $I_{12}$ );  $I_2$  – результаты прогнозирования, оценки сценариев управления;  $I_3$  ( $I_3 = \{I_{31}, I_{32}\}$ ) – модели;  $I_C$  – выбранные для реализации сценарии управления.

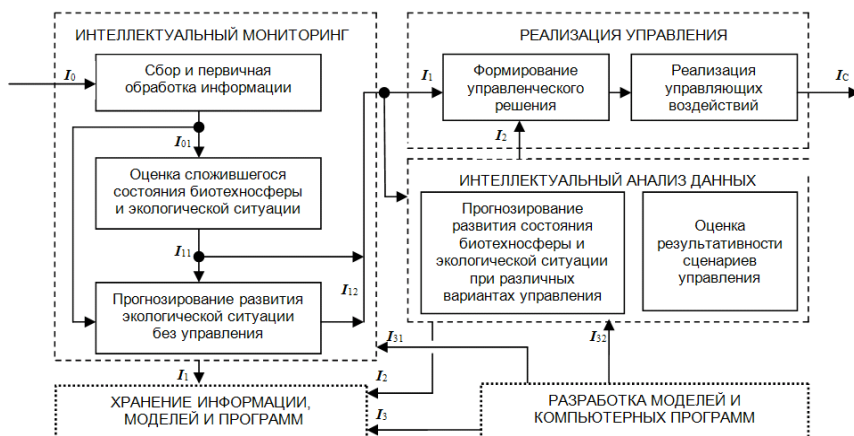


Рисунок 1 – Функциональная модель распределенной автоматизированной системы интеллектуального экологического мониторинга и управления экологической безопасностью городских территориальных агломераций

На основе проведенного анализа и выявленных функций построена структурная модель системы, показанная на рисунке 2.

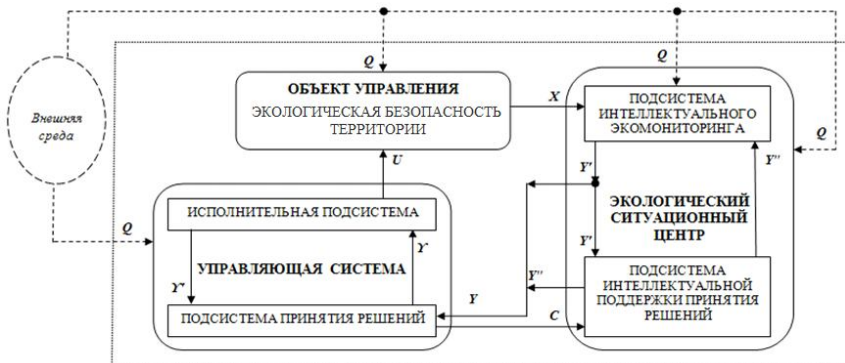


Рисунок 2 – Структурная модель распределенного мониторинга и управления экологической безопасностью городских территориальных агломераций

Определены следующие основные подсистемы: объект управления; управляющая система, формирующая управленческие решения  $Y$  и реализующая управляющие воздействия  $U$ ; экологический ситуационный центр (ЭСЦ), который объединяет интеллектуальные подсистемы мониторинга и поддержки принятия решений;  $X$  – параметры состояния объекта управления;  $Y$  – множество входных параметров управляющей системы, обеспечивающие поддержку принятия решений ( $Y'$  – обработанные данные интеллектуального мониторинга,  $Y''$  – результаты интеллектуального анализа данных,  $Y'''$  – модели);  $Y'$  – выбранные управляющие воздействия, изменения в параметрах территории и т.п.;  $C$  – параметры обратной связи в системе;  $Q$  – параметры влияния внешней среды.

Выбор параметров интеллектуального мониторинга, интеллектуального анализа данных, определение множества управляющих воздействий зависит от особенностей объекта управления. Построена и исследована его теоретико-множественная модель; проанализированы связи с внешней средой и достигнута замкнутость системы; выявлены основные компоненты и рассмотрены механизмы их взаимодействия между собой. В результате, экологическая безопасность городских агломераций представлена многокомпонентной системой (рисунок 3), состояние которой в каждый момент времени характеризуется определенной совокупностью параметров состояния природной ( $X_{TC}$ ), техногенной ( $X_{TC}$ ) и

социальной подсистем ( $X_{CC}$ ), параметров их взаимодействия  $X'_{PC}$ ,  $X'_{TC}$ ,  $X'_{CC}$  при условии влияния внешней среды  $Q_{BT}$ .



Рисунок 3 – Модель объекта управления

Реализация управления экологической безопасностью как сложной природно-социо-техногенной системой – состояние которой характеризуется как количественными, так и качественными параметрами, множественными и неоднородными исходными данными, для которой неправомерна постановка классической задачи оптимизации – должна основываться на технологиях искусственного интеллекта, ситуационном подходе и ситуационном моделировании.

Традиционно оценка экологической ситуации осуществляется на основании оценки негативных последствий для природных ландшафтов и здоровья населения. В данной работе предлагается другой подход: комплексная оценка, как с точки зрения возможности возникновения экологически опасных зон, так и необходимости реализации управленческих решений различного уровня.

Также следует учитывать, что одно и то же управляющее воздействие может вызвать изменение как выбранного для изменения параметра, так и другого параметра состояния данной подсистемы или любого из параметров другой подсистемы объекта управления, которые не рассматривались для вариации. Таким образом, необходима комплексная оценка: с точки зрения сохранения всех параметров качества исследуемых подсистем объекта управления в требуемых пределах.

Для описания экологической ситуации введена лингвистическая переменная:

$$\{EcSit, T, ES, G, H\},$$

где  $T$  – базовое терм-множество;  $ES$  – набор количественных характеристик;  $G$  – множество синтаксических правил для образования новых значений  $EcSit$ ;  $H$  – математические правила.

Минимальная точность оценки  $T = \{T_1, T'\}$ :  $T_1 =$  «благоприятная»,  $T' =$  «неблагоприятная»;  $T' = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5\}$ , где  $T_2 =$  «относительно напряженная»,  $T_3 =$  «напряженная»,  $T_4 =$  «конфликтная»,  $T_5 =$  «кризисная».

Проведенный выше анализ объекта управления показывает, что рассматриваемая лингвистическая переменная должна быть составной: где  $EcSit_{ПС}$  характеризует состояние природной подсистемы;  $EcSit_{ТС}$  – техногенной подсистемы. Аналогично  $EcSit$  введем лингвистические переменные  $EcSit_{ПС}$ ,  $EcSit_{ТС}$ . Минимальная точность оценки состояния природной и технической подсистем  $T_{ПС1} = T_{ТС1} =$  «удовлетворительное»,  $T'_{ПС} = T'_{ТС} =$  «неудовлетворительное».

Для задания введенных зависимостей строятся соответствующие наборы условных правил логического вывода, например, для  $EcSit$ :

$$\begin{aligned} & \text{если } (EcSit_{ПС} \text{ есть } T_{ПС1}) \text{ и } (EcSit_{ТС} \text{ есть } T_{ТС1}) \\ & \text{или } (EcSit_{ПС} \text{ есть } T_{ПСn}) \text{ и } (EcSit_{ТС} \text{ есть } T_{ТСm}) \\ & \dots \\ & \text{то } EcSit \text{ есть } T_l, \end{aligned}$$

где  $T_{ПСn}$  ( $n = \overline{1, N}$ ) и  $T_{ТСm}$  ( $m = \overline{1, M}$ ) – нечеткие термы, которыми оцениваются  $EcSit_{ПС}$  и  $EcSit_{ТС}$  соответственно,

$T_{ПСn} \in T_{ПС}$ ,  $T_{ТСm} \in T_{ТС}$ ;  $EcSit = T_l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) – значения, полученные на основе правил нечеткого логического вывода, представляющие собой оценку экологической ситуации по интегральному показателю, определяемому при синтезе знаний о состоянии подсистем, характеризующих состояние биотехносферы рассматриваемой территории.

На рисунке 4 представлен алгоритм реализации комплексной оценки как текущей, так и прогнозной экологической ситуации на рассматриваемой территории (по данным инструментального и компьютерного мониторинга), разработанный согласно изложенной выше технологии.

Предварительная комплексная оценка экологической ситуации формируется уже на уровне функционирования подсистемы

интеллектуального мониторинга; далее необходим ее детальный анализ для выработки рациональных управляющих решений.

В результате выработки управляющих воздействий формируется сценарий управления биотехносферой, обеспечивающий динамику экологическую ситуации на рассматриваемой территории до состояния «благоприятная». На рисунке 5 показан алгоритм, разработанный в соответствии с вышеизложенными требованиями.

В рамках выполнения проекта были построены ситуационные модели на основе предложенных методов, с использованием аппарата нечеткой логики и ГИС-средств.

Для разработки программной реализации построенных моделей и обеспечения проведения оценок, прогнозов и формирования сценариев управления был использован язык программирования C#, с применением для построения нечетких моделей библиотеки FuzzyNet. Создан удобный интерфейс в среде Visual Studio Express, который позволяет специалисту – эксперту предметной области, не владеющему навыками моделирования и программирования, оперативно проводить имитационные эксперименты.

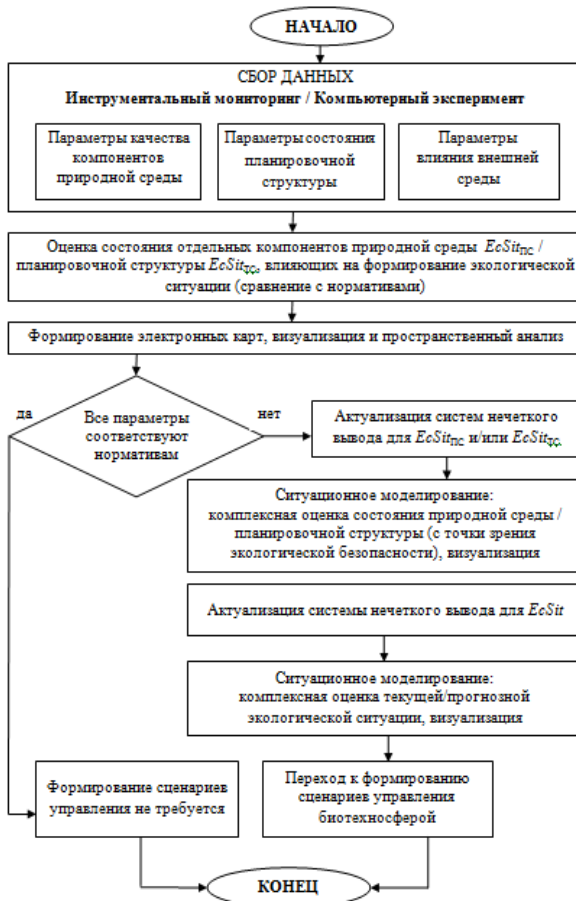


Рисунок 4 – Алгоритм комплексной оценки экологической ситуации





Рисунок 5 – Алгоритм формирования сценариев управления биотехносферой локальных урбанизированных территорий, обеспечивающих регуляризацию экологической ситуации

На рисунке 6 показан результат работы модели: а) оценка текущей экологической ситуации на территории г. Белгорода, где осуществляется строительство жилого дома, по совокупному состоянию природной среды (уровень загрязнения атмосферы, уровень негативного шумового воздействия, инфразвука, воздействия магнитных полей) и планировочной структуры территории с точки зрения экологической безопасности (уровень озеленения территории, уровень инсоляции, параметры транспортно-дорожного воздействия), б) оценка состояния после реализации управляющих воздействий, связанных с озеленением территории и изменении параметров транспортно-дорожного воздействия, в) оценка распределения образования отходов на территории Белгородской области.

Адрес:

Факторы отражающие качественное состояние природной среды

Коэффициент уровня загрязнения атмосферы:  доли ПДК

Эквивалентный уровень шума:  дБА

Общий уровень звукового давления (инеразук):  дБ лн.

Интенсивность магнитного поля:  мкТл А/м

Оценка состояния природной среды (промежуточная оценка):

Показатели состояния планировочной структуры с точки зрения экологической безопасности

Уровень озеленения:  шт./га

Продолжительность инсоляции:  мин.

Условия парковки автотранспорта:  м

Оценка состояния планировочной структуры (промежуточная оценка):

Оценка экологической ситуации:

а)

Адрес:

Факторы отражающие качественное состояние природной среды

Коэффициент уровня загрязнения атмосферы:  доли ПДК

Эквивалентный уровень шума:  дБА

Общий уровень звукового давления (инеразук):  дБ лн.

Интенсивность магнитного поля:  мкТл А/м

Оценка состояния природной среды (промежуточная оценка):

Показатели состояния планировочной структуры с точки зрения экологической безопасности

Уровень озеленения:  шт./га

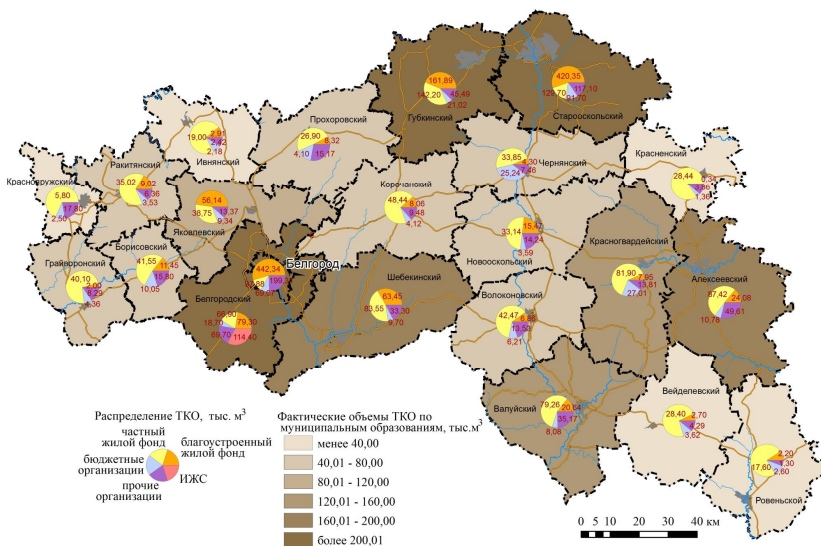
Продолжительность инсоляции:  мин.

Условия парковки автотранспорта:  м

Оценка состояния планировочной структуры (промежуточная оценка):

Оценка экологической ситуации:

б)



В)

Рисунок 6. – Результат работы модели по формированию и оценке управляющих воздействий

Разработанные методы, модели, алгоритмы и их программная реализация определили возможность разработки предварительных проектных решений и прототипа распределенной автоматизированной системы интеллектуального экомониторинга и управления экологической безопасностью городских территориальных агломераций.

Для примера функционирования прототипа были исследованы территории 241 двора (г. Белгород, г. Орел), для которых проведена комплексная оценка экологической ситуации на базе натуральных и компьютерных экспериментов по оценке отдельных компонентов биотехносферы и разработаны соответствующие рекомендации, продемонстрированные с помощью рисунка 7.

Проведена оценка экологического ущерба, нанесенного атмосфере от нарушения условий размещения автотранспорта на 30-ти различных дворовых территориях г. Белгорода, который составил около 50 млн. руб. в год. Предполагаемый экономический результат от реализации управляющих воздействий по снижению воздействия автотранспорта за

счет зонирования территорий и повышения коэффициента озеленения составляет более 30 млн. в год в ценах 2016 года.

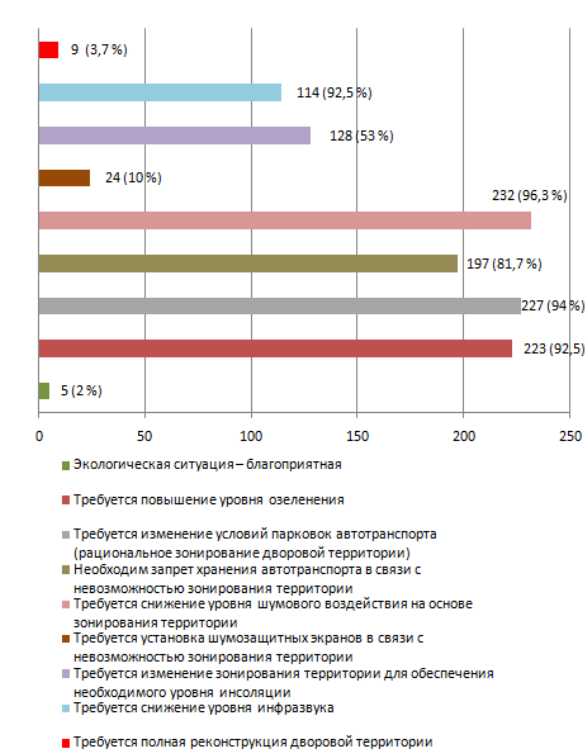


Рисунок 7 – Рекомендации по результатам комплексной оценки

Анализ результатов полученных при выполнении проекта позволяет утверждать, что задачи решены в полном объеме и в соответствии с предъявленными требованиями, включая обеспечение достоверности выводов.

Полученные при выполнении научно-исследовательской работы результаты могут быть эффективно использованы при осуществлении интеллектуального мониторинга городских территориальных агломераций, обеспечения интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении экологической безопасностью данных территорий на основе комплексных модельных оценок и

прогнозирования динамики состояния техносферной безопасности, оперативного формирования и оценки результативны сценариев управления. Кроме того, результаты исследования в виде моделей и их программной реализации целесообразно использовать при проектировании и строительстве новых промышленных и жилых объектов для оперативной, объективной оценки сложившейся и прогнозной экологической ситуации, разработки научно обоснованных сценариев управления экологической безопасностью территорий.

Применение полученных результатов снизит затраты на дорогостоящее оборудование, позволит значительно сократить негативное техногенное воздействие на окружающую среду.

Предлагаемая технология и прототип системы принципиально отличаются: возможностью интеллектуального анализа данных уже на уровне подсистемы мониторинга; включением не имеющей аналогов интеллектуальной подсистемы поддержки принятия решений, наделенной функциями кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования динамики экологической безопасности, формирования ситуационных и математических моделей с определением требуемых параметров состояния экологической безопасности, формирования альтернативных сценариев управления с оценкой их результативности.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08055 «р\_офи\_м».*

#### **Список литературы:**

1. Ivashuk O.A. Situational modeling for the control of technospheric safety/ Ivashuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. // JOURNAL OF CURRENT RESEARCH IN SCIENCE: 4 (1), 2016: 84-90
2. Константинов И.С., Польщиков К.А., Ивашук О.Д. К вопросу обеспечения связи в процессе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах строительства/ Константинов И.С., // Строительство и реконструкция 2016. № 64
3. Olga A. Ivashuk Electronic Model of Waste Treatment Scheme/ Olga A. Ivashuk etc. // Journal of Engineering and Applied Sciences, 2016. Volume 11. Pp. 688-690.
4. Gennadiy V. Averin. Data Intellectual Analysis Means Use for Condition Indicators Assessment of the Territorial and State Formations/Gennadiy V. Averin, Anna V. Zviagintseva, Igor S. Konstantinov and Olga A. Ivashchuk//Research Journal of Applied Sciences, 2015, Volume: 10, Issue: 8, Page No.: 411-414

5. Иващук, О.А. Ситуационное моделирование в автоматизированных системах мониторинга и управления экологической безопасностью. [Текст]/ О.А. Иващук, О.Д. Иващук, Д.А. Кванин, В.И. Федоров // Информационные системы и технологии, 2015. – № 2 (88) март-апрель. – С. 57-64.
6. Иващук О.А., Константинов И.С., Иващук О.Д. Моделирование в системах экомониторинга, прогнозирования и управления экологической ситуацией на территориях жилой застройки: монография [Текст]/ Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. 104 с.
7. Иващук О.А., Иващук О.Д., Федоров В.И., Кванин Д.А. Ситуационное моделирование при управлении биотехносферой территорий городских агломераций // Информационные системы и технологии, 2015. № 2 (88) март-апрель. С. 57-64.
8. Иващук О.А., Константинов И.С., Иващук О.Д. Моделирование в системах экомониторинга, прогнозирования и управления экологической ситуацией на территориях жилой застройки: монография [Текст]/ Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. 104 с.
9. Olga A. Ivaschuk, Modern Information Technologies in Environmental Sciences: Climate Wikiencie. / Ramon Antonio Rodrigues Zalipynis, Olga A. Ivaschuk, Igor S. Konstantinov // Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), September 24-26, 2015, Warsaw, Poland, Volume 2, Special Stream in Advanced IT in Environmental Sciences. – P. 593-598.
10. Иващук О.А., Константинов И.С. Концептуальные подходы к построению автоматизированной системы управления экологической ситуацией в горно-металлургических кластерах // Горный журнал. 2015. № 8. С. 99-102