

пролина было повышено по сравнению с контролем в 2–4 раза, что соответствует высокому уровню химического загрязнения. Следовательно, изменчивость азотного обмена, в частности степень накопления стресс-индуцированного пролина в хвое изучаемых растений, является объективным показателем уровня загрязнения территорий, который можно использовать при оценке загрязнения природных сред как специфическими, так и общепромышленными загрязнителями при движении автомобильного транспорта.

Литература

1. Брянцева З. Н. Азотный и фосфорный обмен кукурузы в связи с изменением интенсивности её роста // Физиологические механизмы адаптации и устойчивости растений. Новосибирск. 1973. С. 67–76.
2. Кретович В. Л. Молекулярные механизмы усвоения азота растениями. М. 1980. 29 с.
3. Стаценко А. П. О криозащитной роли аминокислот в растениях // Физиология и биохимия культурных растений. 1992. Т. 24. № 6. С. 560–564.
4. Bates, Z. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant and Soil. 1973. V. 39. № 1. P. 205–207.

УДК 004.9

Опыт реализации ГИС-технологий для задач комплексного исследования территории района хранения и уничтожения химического оружия

© 2010. М.В. Телегина, доцент, к.т.н.,

Ижевский государственный технический университет,
e-mail: mari_tel@mail.ru

В статье предложено применение экспертного анализа для расстановки пунктов экологического мониторинга. На основе математической модели трансформации описана система визуализации динамики выброса соединений мышьяка объектом уничтожения химического оружия. Приведена система оценки взаимосвязи отдельных пространственно-распределённых факторов.

The article discusses utilizing expert analysis for the purpose of putting stages of ecological monitoring in order. The system of visualizing the dynamics of arsenic compounds leak by the chemical weapons decommission plant is described on the basis of mathematical pattern of transformation. The system of estimating the interconnection between different factors that are distributed in space is presented.

Ключевые слова: ГИС-технологии, экологический мониторинг,
объект уничтожения химического оружия

Key words: gis-technologies, ecological monitoring, chemical weapons decommission plant

Для оценки экологического состояния территорий объектов уничтожения химического оружия (ОУХО) и охвата всех основных взаимосвязей системы «объект–природа–население» необходима возможность анализа всего комплекса экологических, медицинских и социальных показателей. В настоящее время для визуализации и анализа экологической информации широко используются геоинформационные системы (ГИС), функциональные возмож-

ности которых определяются их проблемной ориентацией как систем сбора, представления в цифровом виде, обработки и представления пространственно-координированных данных в форме тех или иных табличных, графических, картографических документов. В данной работе предложен пакет программ для решения задач комплексного исследования территории района хранения и уничтожения химического оружия, реализованных с помощью ГИС-технологий.

Расстановка постов и пунктов мониторинга

Классическая схема пробоотбора системы экологического мониторинга ОУХО с расположением точек пробоотбора по двадцати четырём румбам учитывает выброс веществ и их перемещение только воздушным путём [4]. Несомненным достоинством данной системы является совмещение принципа репрезентативности выбора точек с требованиями обеспечения корреляции расчётных моделей.

Однако данная схема обладает существенными недостатками. В частности, при расстановке пунктов отбора проб почвы и биоты не учитываются особенности рельефа, растительности, почвы и типов материнской породы. И, как следствие, при большом количестве расставленных постов эффективность их использования невелика, так как заведомо в точках пробоотбора вероятность нахождения продуктов деструкции будет незначительна. Расположение постов и пунктов мониторинга требует комплексного подхода, так как должны быть учтены и критерии равномерности размещения пунктов, и особенности ландшафта, в частности рельефа и лесорастительных условий, минимума антропогенного «шума» –

хозяйственной деятельности, промышленного техногенеза, дорог с интенсивным движением, плотной застройки. Для реализации системы расстановки постов разработана экспертная геоинформационная система [2, 3], состоящая из базы данных, блока картографической информации, блока расстановки пунктов, блока построения буферных зон, блока анализа положения точек, базы правил, блока принятия решений по смещению точек и блока визуализации картографической и табличной информации (рис. 1).

Входной информацией блока расстановки постов является необходимое количество постов. На предварительно выбранном участке (отмечаются границы участка) эксперт в интерактивном режиме отмечает точки, где размещение постов обязательно. При этом учитываются и уже существующие пункты государственного экологического мониторинга, и особенности местности, и закономерности процессов стока в ландшафтах, неоднородности почвенно-растительного покрова. Далее с помощью триангуляции Делоне осуществляется автоматическая расстановка недостающего количества постов.

Исходными точками для треугольников служат точки обязательного пробоотбора, расставленные экспертом, а также вспомога-

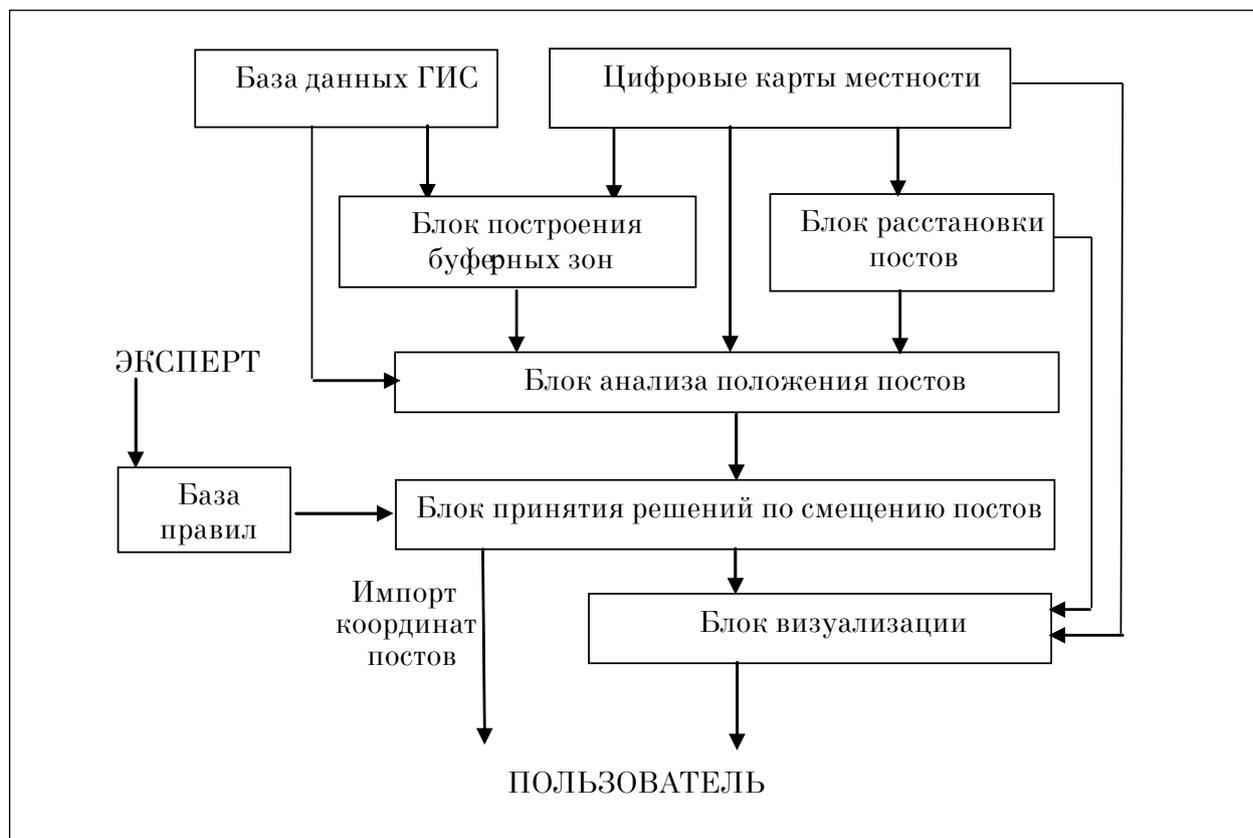


Рис. 1. Структура системы автоматизированной расстановки постов

тельные точки по углам изображения. Общее количество расставляемых точек можно регулировать, что обеспечивает учёт заданной плотности и регулярности расставленных постов для достоверного отображения данных с применением методов пространственной интерполяции по измеренным данным.

Блок построения буферных зон предназначен для возможности исключения антропогенного «шума» при расстановке постов. Размер зоны может быть фиксирован или меняться в зависимости от характеристик объекта (площадь объекта, степень антропогенной нагрузки и т. д.).

В блоке анализа положения постов мониторинга происходит анализ данных местности (слоёв карт), куда попали расставленные посты. Необходимо проанализировать области, где взятие проб нецелесообразно или невозможно. Точки, попавшие на эти объекты (или слои), исключаются. В качестве таких областей выступают объекты слоя гидрографии, буферные зоны определённых объектов и т. д. При необходимости посты, попадающие в буферные зоны объектов, можно сместить автоматически за край зоны по направлению от центра объекта.

Далее анализируются тип растительности, почвы и значения крутизны ската (слой рельефа) по атрибутивным данным для каждого расставленного поста. Именно по совокупности этих данных определяются правила автоматического редактирования размещения постов мониторинга.

В базе правил системы должны храниться условия редактирования положения постов в зависимости от типов растительности и почвы, значений крутизны ската, представляющие собой набор правил, определяемых экспертом. Возможны следующие варианты решения по редактированию размещения постов: удалить пост, оставить без изменения и сместить по направлению ската до начала объекта в слое «Растительность» или «Почва». Для возможности изменения структуры системы, правил анализа и принятия решений по смещению поста в разрабатываемой системе предусмотрена гибкая изменяемая база правил принятия решений. Блок принятия решений по смещению точек учитывает рельеф, растительность и попадание пункта в буферную зону.

По окончании процедуры смещения точек происходит сохранение географических координат расставленных пунктов пробоотбора биологических объектов и печать таблицы

точек с координатами. Программа на данном этапе реализована для постов и пунктов биомониторинга [3].

Визуализация

Среди функций ГИС можно выделить построение пространственного распределения показателей в виде так называемых тематических карт. К графическим средствам наряду с раскраской относятся штриховки, виды символов и такие методы представления, как графики и круговые диаграммы.

Когда подсистема визуализации данных экологического мониторинга является частью сложной системы производственного экологического мониторинга, целесообразно разрабатывать собственные программные модули, осуществляющие импорт векторных слоев карты, созданных при помощи коммерческих ГИС. Такие подсистемы снабжаются специально разрабатываемыми для конкретной задачи функциями анализа и обработки данных. Данный способ отображения экологической информации реализован в составе системы производственного экологического мониторинга ОУХО в Курганской области [4, 5]. По координатам из базы данных на карте отображаются пункты пробоотбора и расположение автоматизированных стационарных постов. Разработаны инструменты для работы с картой: послойная визуализация, возможность визуализации отдельных слоёв, изменение порядка визуализации слоёв, увеличение, уменьшение, добавление/удаление слоёв. Для управления процессом анализа и обработки данных предусмотрена возможность визуализации данных в виде графика за любой временной период мониторинга объекта, как по отдельному компоненту, так и общий. Пространственная визуализация распределения расчётных данных (среднесуточных, среднемесячных и т. д.) по выбранной компоненте производится в виде непрерывного растра и в режиме изменения прозрачности растрового слоя распределений с использованием метода линейной интерполяции.

Визуализация трансформации отравляющих веществ

При известном источнике выбросов имеется достаточно много способов численного моделирования выброса примесей в атмосферу. Можно отметить функции визуализации концентрации отравляющих веществ (ОВ)

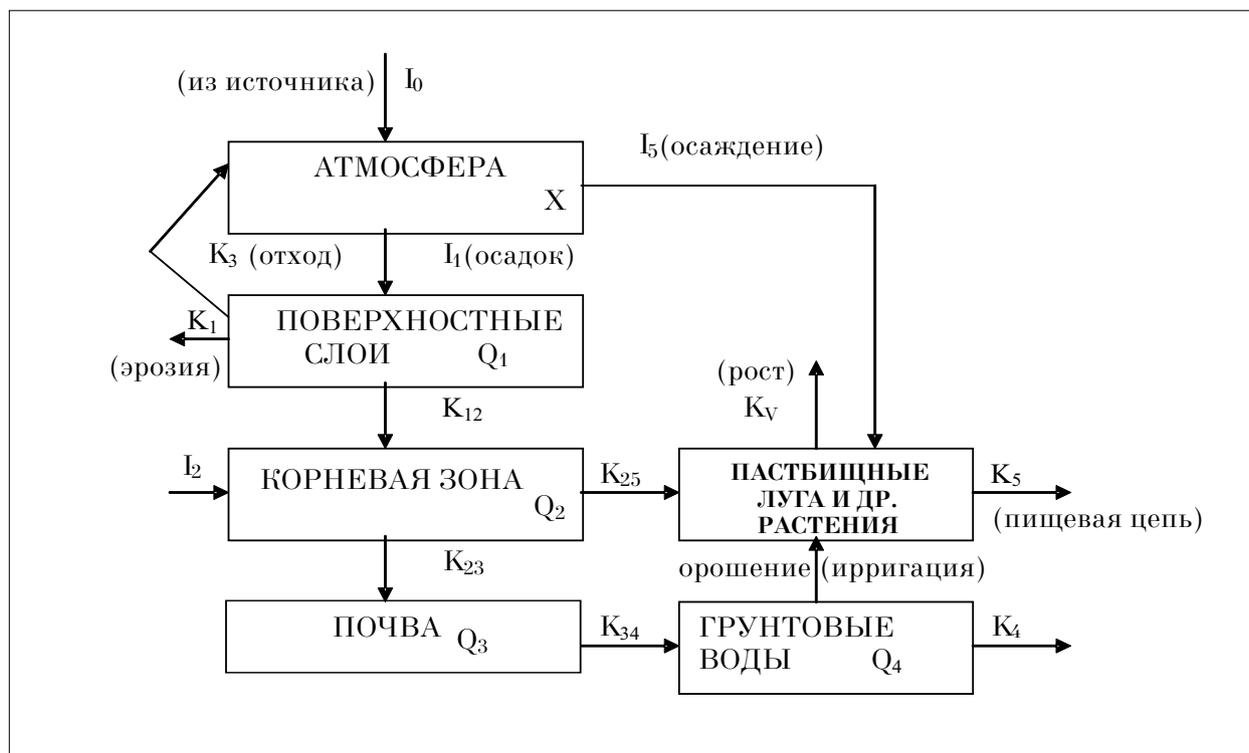


Рис. 2. Компоненты модели

в атмосферном воздухе при возможных аварийных ситуациях, разработанной в той же системе визуализации данных ПЭМ ОУХО в Курганской области [5]. Однако учесть дальнейшую временную динамику отравляющих веществ достаточно сложно.

Особое место в методах анализа и создания экологических карт занимает визуализация концентрации ОБ в компонентах окружающей среды (воздух, почва, растения и т. д.). Предлагается новый подход к автоматизированной обработке данных с использованием геоинформационной системы для прогноза динамики выброса соединений мышьяка объектом уничтожения химического оружия на основе математической модели трансформации [6]. При этом должен производиться расчёт данных динамики мышьяка в разных компонентах окружающей среды по известным параметрам выброса с ОУХО. Характеристика химических форм мышьяка среди ОБ, поступающих в почву, получает высокую степень приоритетности. Природные механизмы превращений неорганических соединений мышьяка работают в направлении понижения концентрационного уровня содержания токсичных форм этого элемента за счёт миграции продуктов его трансформации в естественных природных циклах. Это одна из важнейших специфических особенностей мышьяка, имеющая общий характер для всех

компонентов окружающей среды, включая биоту [6]. Поэтому важно предсказать, как при выбросах мышьяк будет рассеиваться в атмосфере, накапливаться на поверхности земли, ассимилироваться в растениях, включаться в цепь питания и мигрировать в грунтовые воды. Сложность расчёта и визуализации динамики мышьяка обусловлена разнообразием видов почв и их характеристик. На практике однородность почвенного покрова на территории, достаточной для оценки, встречается редко. Чем разнообразнее почвы, тем шире разброс в содержании мышьяка.

Применение ГИС-технологий в данной задаче обусловлено формой исходной информацией – цифровыми картами с координатами источника выброса и необходимыми параметрами для расчёта модели. Необходимо визуализировать распространение соединений мышьяка в отдельных компонентах окружающей среды (поверхностный слой почвы, корневая зона, глубинная почва) на заданный момент времени.

За основу расчёта взята зависимая от времени прогнозирующая модель, позволяющая рассчитать предполагаемую покомпонентную концентрацию [7]. Компоненты модели введены на рис. 2.

Различные компоненты связываются между собой коэффициентами переноса. Модель рассматривает отложение выброса I_0 на

поверхности почвы (I_1) и на листьях растений (I_5). Уровень загрязнения, проникающего непосредственно в почву (внесение удобрений), обозначен I_2 . Уравнения, определяющие динамику металла в компонентах окружающей среды, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_1 &= I_1 + Q_5 K_{51} - Q_1 (K_1 + K_{12}) \\ Q_2 &= I_2 + Q_1 K_{12} - Q_2 (K_{25} + K_{23}) \\ Q_3 &= R_2 K_{23} - Q_3 K_{34} \\ Q_4 &= Q_3 K_{34} - Q_4 (K_4 + K_{45}) \\ Q_5 &= I_5 + Q_4 K_{45} + Q_2 K_{25} - Q_5 (K_2 + K_{51}), \end{aligned}$$

где Q_i – количество металла в компонентах окружающей среды;

K_j – межкомпонентные коэффициенты переноса.

В данной системе коэффициенты трансформации должны определяться специалистами соответствующей области опытным путём для каждого компонента и/или их комбинации. Значения этих коэффициентов заносятся в базу данных ГИС.

Для получения достоверных значений предлагается расставить сеть точек, рассчитать в них значения концентрации, зависящие от расстояния до источника выброса, размера выброса, особенностей и параметров почвы, растительности и рельефа. С учётом коэффициентов трансформации, данных из базы ГИС, вычисленного расстояния до источника, параметров рельефа происходит расчёт содержания мышьяка индивидуально в каждой поставленной точке. Сеть точек с рассчитанными значениями содержания мышьяка используется для процесса визуализации, предполагающего создание интерполяционной картины распределения мышьяка с выбором среды и времени после выброса.

Функциональная схема работы представлена на рис. 3. Разработаны следующие режимы визуализации: области распределения в виде непрерывного растра; области распределения, в которых значения превышают определённый задаваемый уровень (например, ПДК); и в режиме изменения прозрачности растрового слоя. На рис. 4 (см. цветную вкладку) приведен пример визуализации динамики мышьяка в поверхностной почве и слое растительности.

Анализ взаимосвязи данных

Наглядное представление результатов экологического мониторинга позволяет увидеть динамику изменения данных по компонентам

и средам во времени и в пространстве, выявить отклонения от нормативных показателей экологической обстановки. Однако не менее актуальны на сегодняшний день определение направления изменения экологических показателей (прогноз) и оценка эффективности проводимых природоохранных мероприятий. Поэтому для создания предпосылки для определения мер по исправлению создающихся негативных ситуаций необходима оценка взаимосвязи отдельных пространственно распределённых факторов. При отдельном анализе по слоям проблема анализа отдельных слоев цифровой карты не имеет корректного решения. Требуется обеспечить компенсацию потери информативности распространения экологического загрязнения на территории при разделении её на участки, методов отображения структурных элементов и одновременный учёт пространственной зависимости определённого рода информации от экологических данных (заболеваемости проживающего населения, уровня смертности и т. д.). Это связано с тем, что характер распространения и влияния отдельных факторов может быть различным не только на различных анализируемых территориях, но и на различных участках рассматриваемой территории, что исключает возможность полноценного учёта взаимосвязи. Программно реализованная система определения взаимосвязи пространственно-распределённых факторов имеет следующие функции [8, 9]:

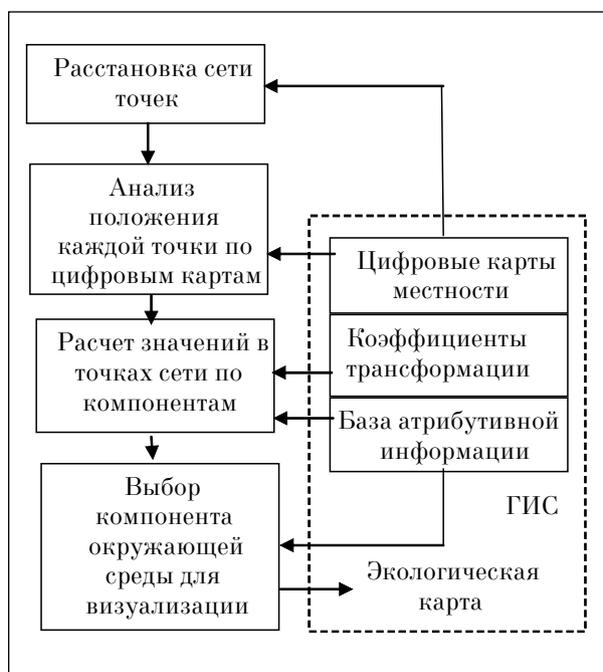


Рис. 3. Функциональная схема расчёта и визуализации

- выбор опций сетки, которая делит анализируемую территорию на зоны;
- построение билинейной интерполяции по точечным данным;
- расчёт дискретных значений, значений интерполяции в каждой анализируемой зоне;
- построение непрерывной функции анализируемых свойств территории в виде поверхности;
- визуализация среза поверхности по уровню предельно допустимой концентрации содержания компонента в выбранной сфере анализа;
- расчёт значений корреляции между пространственно-распределёнными данными по значениям интерполяции, по дискретным данным и по значениям непрерывной функции анализируемых свойств территории.

На рис. 5 (см. цветную вкладку) приведён пример поверхности, построенной по вычисленным коэффициентам корреляции между данными по пробам почвы за 2006 год и данными анализа биоиндикаторов на мышьяк 2008 года. Было выявлено, что наиболее значимы коэффициенты корреляции для сеток с размерами анализируемой зоны 500 метров.

Предлагаемый метод позволяет, используя построенную непрерывную поверхность свойств объектов территории и одновременно применяя метод разбиения на зоны, достоверно оценить действие влияния объектов в любом выделенном участке и точке территории, оценить экологические показатели в каждой зоне и проанализировать их корреляцию также с медицинскими и социальными показателями.

Выводы

Таким образом, предложен и частично реализован комплексный подход к информационному обеспечению задач контроля и анализа экологической безопасности территорий ОУХО. Именно новое комплексное применение ГИС-технологий от расстановки пунктов контроля и визуализации до получения прогноза развития ситуации на основе расчётных операций и экспертного анализа пространственных данных поднимет технологии обработки данных экологического мониторинга на новый уровень, позволит принимать наиболее обоснованные управленческие решения

и планировать расположение необходимых объектов как промышленного, так и социального и природоохранного характера.

Литература

1. Чупис В.Н. Экологический мониторинг объектов уничтожения химического оружия – опыт создания и перспективы развития // Теоретическая и прикладная экология. № 2. 2007. С. 35–41.
2. Алексеев В.А., Телегина М.В., Цапок М.В. Основные принципы геометрической расстановки постов наблюдения атмосферного воздуха в зонах влияния химически опасных объектов. // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии: Докл. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб, 2007. С. 50.
3. Телегина М.В., Янников И.М. Применение ГИС-технологий и методов экспертного анализа для расстановки постов биомониторинга // Лесной вестник. № 3 (66). 2009. С. 146–152.
4. Алексеев В.А., Телегина М.В. Применение нормирования параметров экологического мониторинга для визуализации // Наука и общество на грани тысячелетий: Матер. I-й Междунар. науч.-практ. конф. Киев: СофтПринт, 2009. С. 14–17.
5. Телегина М.В., Коробейников А.А., Богомолов В.Н. Обеспечение оперативности принятия решений при аварийных ситуациях на объекте УХО и визуализация результатов моделирования // Химическое разоружение-2009: итоги и аспекты технологических решений, экоаналитического контроля и медицинского мониторинга «СНЕМДЕТ-2009»: Матер. III Всерос. конф. Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2009. С. 136–141.
6. Янников И.М., Габричидзе Т.Г., Алексеев В.А., Телегина М.В. Прогноз динамики выброса соединений мышьяка потенциально опасным объектом с использованием геоинформационной системы // ГЕО-Сибирь-2008: Матер. IV Междунар. конгресса в 2 частях. Ч. 2. Т. 3. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Новосибирск: СГГА, 2008. С. 8–13.
7. Bignoli J., Sabbioni E. Environmental assessment of arsenic released from potential pollution sources // Environ. monit. and assessment. 1984. V. 4. № 1. P. 65–93.
8. Телегина М.В. Решение задачи выявления корреляции пространственно распределённых данных биомониторинга с дозой загрязнений // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Матер. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием в 2 частях. Ч. 2. Киров: Изд-во «О-Краткое», 2008. С. 86–89.
9. Телегина М.В. Оценка урбанизированных территорий для определения взаимосвязи данных и управления // Проблемы урбанизированных территорий. № 3. 2008. С. 24–27.