

В. Е. Гвоздев, д-р техн. наук, проф., wega55@mail.ru,
О. И. Христовуло, д-р техн. наук, проф., o-hristodulo@mail.ru,
Уфимский государственный авиационный технический университет

Информационная поддержка принятия решений в задачах управления отходами на основе математико-геоинформационного моделирования*

Излагаются основные составляющие проблемы управления твердыми коммунальными отходами с позиции рассмотрения системы управления отходами как открытой сложной системы с нечеткими целями. Выделены системообразующие факторы формирования территориально-распределенной системы управления отходами. Рассматриваются функциональные задачи системы информационной поддержки управления отходами, приведена структура информационной системы. Предложен подход к решению задачи районирования территориальной системы на основе как частных, так и по совокупности характеристик состояния, с использованием математико-геоинформационного моделирования. Приведен пример решения задачи районирования территории Республики Башкортостан по частным и совокупности показателей, характеризующих воздействие отходов на состояние природной среды и здоровье населения.

Ключевые слова: система управления отходами, информационная поддержка принятия решений, математико-геоинформационное моделирование, районирование территории по частным и совокупным показателям

Введение

Современное развитие экономики Российской Федерации характеризуется ростом объема и уровня промышленного производства. Вместе с увеличением произведенной промышленностью продукции естественным образом растет количество отходов производства, большая часть которых отправляется к местам захоронения или длительного хранения.

Геотехнические системы, представляющие собой неделимое единство природного, техногенного и социального компонентов, являются разновидностью сложных систем. Это обстоятельство служит основанием для научно обоснованной адаптации признанных методов и подходов, используемых при управлении сложными системами, применительно к реализации стратегий, программ и проектов, связанных с управлением отходами на территории промышленно-развитых регионов РФ.

Одна из задач многоаспектной проблемы управления отходами — оценивание текущего

экологического состояния исследуемой территории с точки зрения населения.

В статье описаны особенности систем управления отходами; выделены системообразующие факторы, позволяющие сформировать территориально-распределенную систему управления отходами; определены локальные контуры управления; сформулированы цель и задачи координации управления в локальных контурах применительно к системе управления отходами; представлена технологическая основа информационной поддержки управления отходами, включая математико-геоинформационный анализ показателей состояния системы управления отходами. Приведены примеры решения одного из классов задач математико-геоинформационного анализа — районирование территории Республики Башкортостан по частным показателям, характеризующим влияние отходов на компоненты окружающей среды.

Особенности систем управления отходами

Система управления твердыми коммунальными отходами (далее ТКО) относится к классу открытых сложных систем с нечеткими целями

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-08-00885-а.

ми. В управление ТКО вовлечены различные заинтересованные стороны, имеющие различные мотивы и разные персональные онтологические модели проблемной ситуации, обусловленной возникновением, хранением, транспортировкой и переработкой отходов. Это делает необходимым совершенствование методов выработки консолидированных решений, признаваемых всеми заинтересованными сторонами, что создает основу скоординированной деятельности различных государственных органов, уполномоченных на решение комплекса задач, связанных с проблемой управления ТКО. Методологическую основу получения консолидированных решений в условиях нечетких целей управления и мотивов неоднородных акторов, вовлеченных в решение управленческих задач, могут составить положения теории конвергентного управления и эвергетики [2, 3].

Управление отходами приходится осуществлять не только в условиях нечетких целей управления и различия мотивов представителей государственных структур, бизнеса и населения в урегулировании проблемной ситуации, но и при наличии фундаментальной и измерительной неопределенности, обусловленной недостатком знаний о механизмах влияния отходов на состояние территориальных систем; недостаточной изученностью причинно-следственных связей между состоянием отходов и состоянием окружающей природной среды и здоровьем населения; ограниченностью данных и информации, присутствующих в ведомственных информационных системах и так или иначе связанных с возникновением, сбором, хранением, переработкой отходов. Отмеченные обстоятельства обуславливают необходимость выработки консолидированного решения по урегулированию проблемной ситуации с привлечением аксиологических знаний акторов, вовлеченных в урегулирование проблемной ситуации [2]. Элементами коммуникационной платформы при этом являются структурированные персональные знания субъектов, а также результаты разноаспектного анализа данных и информации, включая геоданные и геоинформацию [3], существующих в ведомственных информационных системах, уполномоченных на решение разноплановых задач, связанных с обеспечением экологической, техногенной безопасности и управления состоянием здоровья населения.

К системообразующим факторам, позволяющим выделить территориально-распределенную систему управления отходами, следует отнести:

а) объемы и особенности промышленных и бытовых отходов, возникающих, хранящихся

и перерабатываемых на различных участках территориальной системы;

б) территориально-временную динамику воздействия отходов на состояние природной среды и здоровье населения;

в) территориально-временные аспекты сбора, хранения, транспортировки и переработки отходов;

г) территориально-временные особенности отношения населения к проблеме управления отходами.

В качестве локальных контуров управления в системе управления отходами следует выделить:

а) управление негативным воздействием отходов на состояние окружающей среды и здоровье населения;

б) управление выбором мест постоянного и временного хранения отходов, мест строительства предприятий по переработке отходов с учетом соотношения объемов производимых и уже находящихся в местах хранения отходов разных видов (промышленных, бытовых), а также состояние транспортной сети на различных участках территориальной системы;

в) управление требованиями к деятельности предприятий в части переработки отходов;

г) управление экономическими последствиями хранения и переработки отходов, включая назначение тарифов на сбор, хранение, транспортировку и переработку отходов;

д) управление ценностями, стремлениями, поведением населения в вопросах управления отходами при одновременном изменении процессов, методов, стратегий, структуры системы управления отходами.

Приведенный перечень не является окончательным, его состав может корректироваться по мере накопления фундаментальных и аксиологических знаний, получаемых в ходе практической деятельности.

Для каждого локального контура управления определяются целевые группы клиентов и ассоциированные с ними цели управления; показатели результативности и эффективности управления; показатели качества управления. Подходом к координации целей управления в локальных контурах является взаимное согласование желаний и ожиданий неоднородных акторов. Подходами к координации процессов, соотносимых с локальными контурами управления, являются сбалансированное сочетание:

- прямой координации (начальник—подчиненный);
- стандартизации целей (установления целей для исполнителей, которые самостоятельно

выбирают средства их достижения с тем, чтобы достигнуть заданных целевых показателей управления);

- стандартизации деятельности в рамках реализации процессного подхода;
- стандартизации ценностей населения для повышения культуры населения в вопросах обращения с бытовыми отходами.

Построение конвергентного когнитива, содержанием которого является консолидированное мнение целевых групп акторов (население, государственные служащие, бизнесмены, общественные деятели, научное сообщество), вовлеченных в решение проблемы управления отходами и имеющих вместе с тем разную мотивацию, предполагает решение следующих классов задач:

- определение содержания проблемной ситуации, выделение локальных целей управления в каждом из контуров управления;
- построение на основе онтологических моделей акторов онтологических моделей групп акторов и построение на их основе посредством технологий конвергентного управления признаваемую всеми онтологической модели проблемной ситуации;
- разработка на основе онтологической модели ситуации стратегии управления отходами на территории, попадающей в зону ответственности системы управления; разработка на ее основе в рамках каждого локального контура управления стратегий управления отходами, дорожных карт реализации локальных стратегий, механизмов реализации составляющих дорожных карт.

Построение конвергентного когнитива начинается с выбора и идентификации доступной для формализации части проблемной ситуации, основу чего составляет разноаспектный анализ данных, содержащихся в различных источниках (официальных документах, отчетах, научных статьях и т.д.), а также изучения знаний экспертов.

Критически важными задачами управления являются:

а) выделение самоусиливающих процессов роста, создающих основу глубинных перемен в системе управления отходами;

б) выявление процессов, тормозящих позитивные изменения, определение причин и ограничивающих факторов, противодействующих изменениям; выработка подходов и реализация действий по парированию / устранению ограничивающих факторов.

Основной целью координации управления в локальных контурах является обеспечение

консонанса самоусиливающих процессов в локальных контурах управления.

Сложность решения слабоформализованных задач, связанных с построением локальных систем управления, обусловлена:

- необходимостью обоснования отбора в исходных описаниях территориальных систем необходимых знаний, позволяющих выделить системы управления из окружающей среды;
- необходимостью систематизации знаний о составных частях систем управления отходами и отражения их в смысловых понятиях, в базе которых будут в последующем строиться онтологические модели, которые составят коммуникационную основу решения задач управления отходами;
- необходимостью структуризации знаний о составных частях системы управления отходами для последующего представления их в виде структурированных формализованных моделей (когнитивных моделей).

Ситуационное управление — перспективный подход к решению задач управления отходами в реальном масштабе времени. Реализация ситуационного управления сводится к двум основным процедурам:

1) выявление на основе анализа онтологической модели ситуации [2] архетипа проблемной ситуации [3, 9];

2) соотнесение возникшей проблемной ситуации с содержимым ранее сформированной базы данных о способах урегулирования аналогичных проблемных ситуаций и полученных при этом результатах.

Ситуационный подход предполагает использование заранее подготовленных сценариев "ситуация—решение", которые затем выбираются субъектами управления в соответствии с текущими ситуациями. При решении задач управления распределенными системами, к числу которых относятся задачи управления отходами, реализация ситуационного подхода осложняется тем, что в силу территориальных особенностей воздействия отходов на состояние природной среды и здоровье населения решения, эффективные на одних участках территории, могут привести к негативным результатам на других участках. Кроме этого, в силу территориальных особенностей субъективной составляющей в решении задач управления отходами является, например, отношение населения городских и сельских муниципальных образований к сбору, транспортировке и переработке отходов.

Совокупность выделенных факторов во многих случаях приводит к отказу от моделирования как инструмента информацион-

ной поддержки управления, и решение задач управления полностью остается за субъектом-оператором. Из-за отсутствия капитального информационного фундамента способы решения задач управления субъектами-операторами являются интуитивными и во многих случаях в итоге оказываются нерациональными.

Технологическая основа информационной поддержки управления отходами

Основой информационной поддержки выработки консолидированных решений по регулированию проблемной ситуации является представление в структурированном виде данных, информации и знаний, характеризующих негативное влияние отходов на состояние окружающей среды и здоровье населения. Реализация этой деятельности создает основу формирования альтернатив решения задач, связанных со сбором, организацией временного размещения, транспортированием, захоронением, утилизацией и переработкой отходов. Технологическую основу создания информационной платформы системы управления составляют технологии визуализации и разноаспектного анализа геоданных и геоинформации; технологии выделения причинно-следственных связей и анализа структур, соответствующих различным точкам зрения на проблему управления отходами; технологии построения когнитивных карт и реализации когнитивного моделирования; технологии конвергентного управления; технологии математико-статистического анализа данных, в том числе малых по объему и низких по точности; технологии обработки нечетких и размытых данных. В данной работе фокусом обсуждения являются технологии математико-геоинформационного моделирования, основу которых применительно к задачам управления отходами составляет системное сочетание геоинформационных технологий и методов математико-статистического моделирования. Использование технологий геоинформационного моделирования создает основу для представления в сопоставимом виде (в виде тематических картографических слоев) информации и данных, характеризующих состояние природных компонентов геотехнических объектов; характеристик мест возникновения отходов различного происхождения (производственных, бытовых) на разных участках территориальной системы; мест размещения и захоронения отходов; характеристик транспортной сети. Использование математико-статистических методов создает фундамент ана-

лиза территориально-временной изменчивости показателей состояния компонентов территориальных систем в условиях неопределенности свойств взаимосвязанных процессов, обусловленных природными, социальными, технологическими факторами, в том числе процессами возникновения, хранения, транспортировки и переработки ТКО.

Информационная поддержка управления отходами должна обеспечивать единую информационно-технологическую цепочку сбора, хранения, обработки информации о размещении промышленных отходов и включать информационно-аналитическую базу данных, развивающиеся банки данных и систему обработки электронных векторных карт территории.

Функциональные возможности системы информационной поддержки принятия решений по управлению отходами должны обеспечивать для всех неоднородных акторов, причастных к проблеме управления отходами на территории субъекта РФ:

1) пополнение и редактирование справочника природопользователей, в том числе промышленных предприятий, участвующих в обращении с отходами;

2) пополнение классификационного каталога отходов видами отходов, которые образуются, транспортируются, утилизируются и хранятся на территории субъекта РФ;

3) анализ и вывод отчетов об объектах экологического мониторинга и потенциальной экологической опасности;

4) поддержание карт об объектах размещения промышленных отходов, предприятиях по переработке и утилизации отходов в актуальном состоянии и оперативное формирование необходимого картографического материала;

5) анализ и обработка пространственной информации для формирования карт пригодности к размещению объектов промышленных отходов;

6) анализ территориальных аспектов, нагрузки, оказываемой источниками отходов и местами хранения отходов на природную среду и состояние здоровья населения.

На рис. 1 приведена структура информационной системы управления отходами, которая реализована в Министерстве природопользования и экологии Республики Башкортостан. Одной из функциональных задач, решаемых представленной системой, является задача районирования территории Республики Башкортостан по частным и совокупным показателям, характеризующим воздействие отходов на состояние природной среды и здоровье населения.

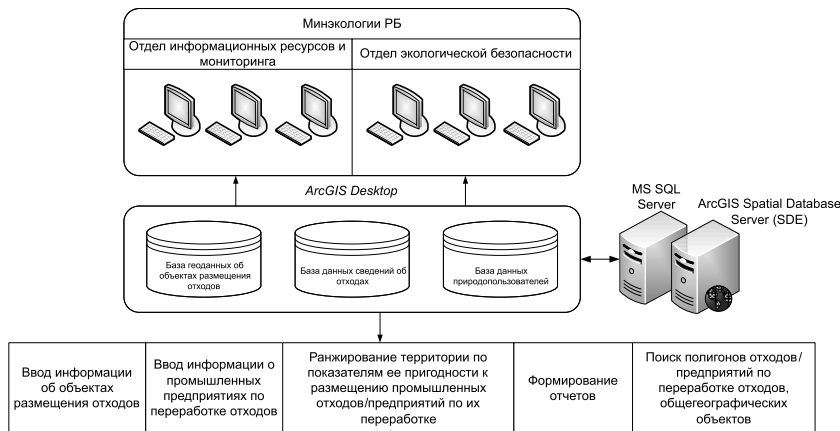


Рис. 1. Структура информационной системы управления отходами

Наименование	Содержание показателя	Локальный контур управления
Количество отходов на душу населения/км ² территории	Негативная нагрузка на состояние природной среды и здоровье населения	Управление негативным воздействием на состояние природной среды и здоровье населения
Количество использованных и обезвреженных отходов на душу населения/км ² территории	Парирование негативных воздействий отходов на состояние окружающей среды и здоровье населения	<ul style="list-style-type: none"> • Управление негативным воздействием на состояние природной среды и здоровье населения • Управление требованиями к деятельности предприятий в части переработки отходов

Методическая основа решения задачи районирования по показателям состояния территориальной системы

Основу оценки состояния системы управления отходами составляет территориально-временной анализ симптомов, косвенно характеризующих процессы, управление которыми осуществляется в локальных системах управления [12–14].

В таблице в качестве примера приводится описание отдельных показателей, косвенно характеризующих состояние территориальной системы с точки зрения негативного влияния отходов.

В работах, посвященных исследованию сложных систем, отмечается, что решение задачи классификации составляет основу анализа гетерогенных динамических объектов [1, 4, 6–8, 11]. Применительно к анализу состояния территориальных систем это выражается в классификации участков территории (в задаче управления отходами — муниципальных образований) по значениям характеристик состояния [10, 12, 15, 16]. Классификация участков территории основана на разработке формальных методов регуляризации пространствен-

ных данных, позволяющих отнести каждый участок территории к тому или иному классу состояний.

В общем случае задача классификации представляется в виде

$$\varphi(x, y) \rightarrow S(x, y), \quad (1)$$

где $\varphi(x, y)$ — рельеф поверхности, образуемой характеристикой состояния; $S(x, y)$ — пространственная мозаика, образуемая участками исследуемой территории, причем каждому элементу мозаики ставится в соответствие определенный класс состояния территориальной системы [5].

Основой преобразования $\varphi(x, y)$ в $S(x, y)$ является использование различных шкал, устанавливающих соответствие между диапазонами значений показателей рельефа характеристик и классами состояния территории, т. е.

$$\alpha_i \leq \varphi(x, y) \leq \beta_i \rightarrow C_i, \quad (2)$$

где α_i, β_i — границы i -го подынтервала классификационной шкалы; C_i — i -й класс состояния участка территории.

При решении практических задач, связанных с оценкой состояния территориальной системы, достаточно типичной является ситуация, когда вместо $\varphi(x, y)$ известны лишь выборочные значения рельефа характеристик состояния $Z(x_i, y_i) = \varphi(x_i, y_i), (i = \overline{1; N})$, соответствующие узлам неравномерной сетки измерений. В этом случае модель (1) преобразуется к виду

$$Z(x_i, y_i) \xrightarrow{P_\alpha} \hat{S}(x, y), (i = \overline{1; N}), \quad (3)$$

где $\hat{S}(x, y)$ — оценка $S(x, y)$, зависящая от N , местоположения узлов сетки измерений и выбранного способа P_α преобразования рельефа в пространственную мозаику.

При решении прикладных задач классификации территориальных систем достаточно часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда классификационная шкала априорно неизвестна. В этом случае \hat{P}_α должна стремиться по фактически доступным выборочным данным.

В работах [2–5] отмечается, что если $Z(x_i, y_i)$ представляют собой случайные величины, интегральной характеристикой статистического рельефа является функция распределения

$\hat{F}(z)$. В связи с этим процедура классификации должна строиться с учетом особенностей оценки $\hat{F}(z)$, получаемой по значениям $Z(x_i, y_i) (i = \overline{1; N})$, и модель (3) преобразуется к виду

$$\begin{array}{c} \hat{F}(z) \\ \nearrow \quad \searrow \\ Z(x, y) \rightarrow \hat{S}(x, y) \end{array} \quad (4)$$

Из этой модели следует, что качество мозаики $\hat{S}(x, y)$ определяется близостью оценки $\hat{F}(z)$ к закону распределения $F(z)$, которому соответствует выборка $Z(x_i, y_i)$.

Обобщенная схема классификации участков территориальной системы по выборочным данным основана на следующем:

- вся информация о состоянии территориальной системы содержится в выборочных данных, причем оценка $\hat{F}(z)$ является исчерпывающей (в смысле параметра z) характеристикой состояния;
- оценивание пространственной мозаики $\hat{S}(x, y)$ сводится к разделению территории на участки, причем каждый из участков соотносится с одним из классов состояния. Участкам, принадлежащим к одному и тому же классу, ставится в соответствие одинаковое значение характеристики рельефа, по которым может быть построена интегральная оценка $F_{\hat{S}}(z)$.

Таким образом, число классов состояния и границы непересекающихся классов должны выбираться таким образом, чтобы соблюдалось условие:

$$P_j [\hat{F}(z), F_{\hat{S}}(z)] \rightarrow \min, \quad (5)$$

где P_j — j -е правило сравнения оценок $\hat{F}(z)$, $F_{\hat{S}}(z)$.

Если исходить из того, что выборочные значения $Z(x_i, y_i), i = \overline{1; N}$, являются случайными величинами, которым соответствует функция распределения $\hat{F}(z)$, для формализации процедуры построения классификационной шкалы целесообразно использовать подход, основанный на группировании статистических данных. В работе [11] описываются различные подходы к построению оценок $\hat{F}(z)$ по выборкам конечного (в том числе малого) объема, а также разные подходы к решению задачи (5). Там же приводится описание инженерной методики, позволяющей полностью формализовать процедуру классификации территориальной системы на основе однородных выборок $Z(x_i, y_i), i = \overline{1; N}$.

Подходы к решению задачи классификации участков территориальной системы по показателям состояния должны увязываться с уровнями управления: тематическим, операционным. В связи с этим целесообразно ввести понятия "абсолютная" "относительная" классификационные шкалы. Целью построения "относительной" классификационной шкалы является представление в наглядной картографической форме текущей (оперативной) обстановки, соответствующей временному срезу. При этом в качестве элементов выборки выступают данные $Z^{(l)}(x_i, y_i), i = \overline{1; N}$, соответствующие l -м условиям исследований.

Целью построения "абсолютной" классификационной шкалы является создание основы для сопоставления состояния территориальной системы в разных временных срезах.

Абсолютная шкала формируется на основе данных, соответствующих совокупности временных срезов, и предназначена для сопоставления состояний территорий в различных временных срезах ($l = 1, 2, \dots, h$). В качестве элементов выборки в этом случае выступает объединенная выборка

$$\{z\} = \bigcup_{l=1}^h z^{(l)}(x_i, y_i), i = \overline{1; N}. \quad (6)$$

Ограничениями описанного подхода является необходимость соблюдения условия однородности выборочных данных, регистрируемых в узлах сетки измерений.

Рассмотрим пример решения задачи зонирования территории Республики Башкортостан в рамках разработанной информационной системы управления отходами по реальным значениям следующих показателей, косвенно характеризующих состояние территориальной системы с точки зрения негативного влияния отходов:

- 1) количество образованных отходов на душу населения, т;
- 2) количество образованных отходов на 1 км², т;
- 3) количество использованных и обезвреженных отходов на душу населения, т;
- 4) количество использованных, обезвреженных отходов на 1 км², т;

На рис. 2 (см. третью сторону обложки) приведены результаты районирования территории республики по нескольким частным показателям состояния территории Республики Башкортостан за 2015 год. В целях обеспечения сопоставимости результатов, соответствующих различным показателям, муниципальные районы были разделены на три класса, которые

соответствовали следующим признакам, отражающим состояние территории Республики Башкортостан с точки зрения негативного влияния отходов: "низкий уровень негативного воздействия"; "средний уровень негативного воздействия" и "высокий уровень негативного воздействия".

Результаты районирования территориальных систем по частным показателям состояния создают основу для оценки эффективности системы управления отходами.

В литературе приведено соотношение для расчета парного коэффициента корреляции между i -м и j -м признаками [5]:

$$r^{(i,j)} = \sin\left(\frac{\pi}{2} q^{(i,j)}\right).$$

Здесь $q^{(i,j)}$ определяется по правилу

$$q^{(i,j)} = p^{(i,j)} - q^{(i,j)},$$

где $p^{(i,j)}$ — доля совпадающих значений признаков, $q^{(i,j)}$ — доля несовпадающих значений признаков.

Применительно к результатам, представленным на рис. 2, $p^{(i,j)}$ — доля муниципальных образований, у которых классы состояний по разным признакам совпадают. Соответственно, $q^{(i,j)}$ — доля муниципальных образований, у которых значения признаков не совпадают.

Значение парного коэффициента корреляции для признаков "количество образованных отходов на душу населения / количество использованных и обезвреженных отходов на душу населения" составило $r^{(i,j)} = -0,5$. Для признаков "количество образованных отходов на 1 км² территории / количество использованных и обезвреженных отходов на 1 км² территории" значение парного коэффициента корреляции составило $r^{(i,j)} = -0,12$.

Результаты расчетов позволяют сделать заключение о недостаточной эффективности системы управления отходами. Это может служить исходной точкой (симптомом) для последующего углубленного анализа причин недостаточной эффективности системы управления, например, посредством анализа коренных причин возможных нежелательных событий — RCA (RootCauseAnalysis).

Заключение

Предлагаемый подход к информационной поддержке принятия решений в задачах управления отходами на основе математико-

геоинформационного моделирования позволяет сделать следующие выводы:

1. Необходимым условием повышения обоснованности управленческих решений в условиях фундаментальной неопределенности, недостатка объективных знаний о процессах, протекающих в сложных системах, противоречивости целей, соответствующих локальным контурам управления, является обеспечение доступности результатов разноаспектного анализа данных и сведений, поступающих из различных источников, для всех неоднородных акторов, причастных к решению задач управления отходами.

2. Картографические модели создают основу для обеспечения сопоставимости и комплексного анализа разнородных данных и информации, поступающей из различных источников. Картографическая визуализация первичных данных, информации и аксиологических знаний субъектов, причастных к решению различных задач управления отходами, создает основу для принятия консолидированных решений в условиях неопределенности состояния объекта управления и нечеткости целей управления.

3. Результаты математико-геоинформационного моделирования составляют основу для разноаспектного анализа эффективности управления состоянием территориальных систем.

Результаты исследований, представленные в статье, частично поддержаны грантом РФФИ 18-08-00885-а "Методологические основы многокритериального управления процессом выбора местоположения промышленных предприятий по переработке отходов на основе положений эвергетики".

Список литературы

1. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
2. Виттих В. А. Управление ситуациями в сложных развивающихся системах с применением интересубъективных теорий // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 12. С. 2–6.
3. Райков А. Н. Конвергентное управление и поддержка решений. М.: ИКАР, 2009. 244 с.
4. Бочаров М. К. Методы математической статистики в географии. М.: Мысль, 1971. 371 с.
5. Мирский Г. Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их изменения. М.: Энергоиздат, 1982. 320 с.
6. Гиг Дж. Ван. Прикладная общая теория систем. М.: Мир, 1981. Кн. 1. 341 с., Кн. 2. 730 с.
7. Губанов В. А., Захаров В. В., Коваленков А. Н. Введение в системный анализ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 232 с.
8. Дэйвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных / Пер. с англ. В. С. Каменского. М.: Финансы и статистика, 1988. 254 с.
9. Сенге П. М. Пятая дисциплина: искусство и практика самообучающейся организации. М.: ЗАО "Олимп Бизнес", 1999.

10. Михайлов Н. И. Физико-географическое районирование. М.: МГУ, 1985. 184 с.

11. Гузаиров М. Б., Гвоздев В. Е., Ильясов Б. Г., Колоденкова А. Е. Статистическое исследование территориальных систем. М.: Машиностроение, 2008. 187 с.

12. Христовуло О. И., Салимзянов И. Ф., Гареева Н. Р. Разработка информационной системы размещения объектов техногенной опасности с использованием нечеткой логики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. Т. 5 (229). С. 47–58.

13. Khristodulo O., Davlethakova Z., Gvozdev V. Spatial Information Processing for Decision-making Support of Siting Sources of Technogenic Hazards Using Computer Technologies // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Челябинск, 2017. P. 1–5.

14. Гвоздев В. Е., Христовуло О. И., Фахретдинова Э. Б. Информационная поддержка управления отходами на основе когнитивного, геоинформационного и математического моделирования // Сб. науч. Тр. Междунар. науч.-техн. Конф. Перспективные информационные технологии. Самара, 2018. С. 1110–1114.

15. Бахонина Е. И., Савоськина Р. Р. Ситуация с твердыми бытовыми отходами в Республике Башкортостан // Изв. Самар. Науч. Центра РАН. 2014. № 1 (6). С. 1689–1694.

16. Об осуществлении регионального государственного экологического надзора на территории Республики Башкортостан в 2014 году: гос. докл. М-во природопользования и экологии Республики Башкортостан. Уфа, 2015. 150 с.

V. E. Gvozdev, D. Sc., Professor, wega55@mail.ru,

O. I. Khristodulo, D. Sc., Professor, o-hristodulo@mail.ru,

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, 45008, Russian Federation

Information Support of Decision-Making in Waste Management Problems on the Basis of Mathematical and Geoinformation Modeling

The main components of the problem of municipal solid waste management are described from the point of view of the waste management system as an open complex system with fuzzy goals. The system-forming factors of the formation of a geographically-distributed waste management system are identified. The functional tasks of the waste management information support system are considered, the structure of the information system is given. An approach is proposed to solve the problem of zoning of the territorial system on the basis of both private and aggregate characteristics of the situation, based on mathematical geoinformation modeling. An example is given of solving the problem of zoning the territory of the Republic of Bashkortostan according to the private and aggregate of indicators characterizing the impact of waste on the environment and public health.

Keywords: waste management system, information support of decision-making, mathematical and geoinformation modeling, zoning of the territory by private and aggregate indicators

DOI: 10.17587/it.25.482-489

References

1. Aivazyan S. A., Buchstaber V. M., Enyukov I. S., Meshalkin L. D. *Applied statistics. Classification and dimension reduction*, Moscow, Finansy i statistika, 1989, 607 p. (in Russian).

2. Vittikh V. A. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2011, no. 12, pp. 2–6 (in Russian).

3. Raikov A. N. *Convergent management and solution support*, Moscow, IKAR, 2009, 244 p. (in Russian).

4. Bocharov M. K. *Methods of mathematical statistics in geography*, Moscow, Mysl', 1971, 371 p. (in Russian).

5. Mirsky G. Ya. *Characteristics of stochastic interrelation and their changes*, Moscow, Energoizdat, 1982, 320 p. (in Russian).

6. Gig Dzh. Van. *Applied General theory of systems*, Moscow, Mir, 1981, vol. 1, 341 p., vol. 2, 730 p. (in Russian).

7. Gubanov V. A., Zaharov V. V., Kovalenkov A. N. *Introduction to system analysis*, Leningrad, Publishing house of LGU, 1988, 232 p. (in Russian).

8. Dejvison M. *Multidimensional scaling: Methods of visual representation of data*, Moscow, Finansy i statistika, 1988, 254 p. (in Russian).

9. Senge P. M. *The fifth discipline: the art and practice of self-learning organization*, Moscow, ZAO "Olimp Biznes", 1999 (in Russian).

10. Mihajlov N. I. *Physical and geographical zoning*, Moscow, MGU, 1985, 184 p. (in Russian).

11. Guzaиров M. B., Gvozdev V. E., Il'yasov B. G., Kolodenkova A. E. *A statistical study of territorial systems: monograph*, Moscow, Mashinostroenie, 2008, 187 p. (in Russian).

12. Khristodulo O. I., Salimzyanov I. F., Gareeva N. R. *Nauchno-Tekhnicheskie Vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekomunikacii. Upravlenie*, 2015, vol. 5 (229), pp. 47–58 (in Russian).

13. Khristodulo O., Davlethakova Z., Gvozdev V. *2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2017, pp. 1–5.

14. Gvozdev V. E., Khristodulo O. I., Fahretdinova E. B. *Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhneskoj konferencii Perspektivnye informacionnye tekhnologii*, 2018, pp. 1110–1114 (in Russian).

15. Bahonina E. I., Savos'kina R. R. *Izv. Samar. Nauch. Centra RAN*, 2014, no. 1 (6), pp. 1689–1694 (in Russian).

16. **About** implementation of regional state ecological supervision in the territory of the Republic of Bashkortostan in 2014: state doc, M-vo prirodnopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, Ufa, 2015, 150 p. (in Russian).