

Применение кластерного анализа для решения задачи выбора оптимального месторасположения мусороперерабатывающих предприятий в муниципальных районах Республики Башкортостан

О.И. Христодуло
Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: o-hristodulo@mail.ru

В.Е. Гвоздев
Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: wega55@mail.ru

Э.Б. Фахретдинова
Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: fbelvina1395@mail.ru

Аннотация¹

Статья посвящена применению кластерного анализа для решения задачи выбора оптимального месторасположения промышленных предприятий по переработке отходов в муниципальных районах Республики Башкортостан. В результате были выделены группы районов, являющиеся наиболее перспективными при выборе места под строительство мусороперерабатывающих предприятий.

1. Введение

Система управления отходами относится к классу открытых сложных систем. Одной из задач управления сложными объектами, имеющей важное экономическое и социальное значение, является задача эффективной природоохранной деятельности, связанная с антропогенным загрязнением окружающей среды, которая в условиях наращивания промышленного производства и увеличения численности населения приобретает угрожающие масштабы [1, 2].

Сегодня переработка и утилизация отходов является одной из самых острых проблем экологии. Существующая в России практика обращения с отходами характеризуется возрастающим негативным воздействием на окружающую среду и здоровье человека, неэффективным использованием материальных и энергетических ресурсов.

Ежегодный объем образования отходов в Республике Башкортостан постоянно растет, и согласно Программе [3] в 2010 году он составил 1,7 млн. т, причем на одного жителя республики приходится в год в среднем около 250-300 кг отходов. На сегодняшний день главной проблемой в области обращения с отходами является неумение грамотно и эффективно ими распоряжаться. Более 40% от всего объема образованных отходов можно использовать в качестве вторичного сырья, но на данном этапе на переработку идет всего лишь 3-4%. Если не менять сложившуюся систему управления отходами, то уже в ближайшем будущем площадь, которую займут свалки, будет вполне сопоставима с площадью двух Азовских морей.

Чтобы устранить мусорную катастрофу, требуется постройка мусороперерабатывающих предприятий, выбор местоположения которых является одной из серьезных проблем при управлении отходами. На данный момент существует множество стратегий и практик выбора оптимального местоположения на основе математических, статистических, геоинформационных и др. подходов. В связи с этим

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

встает вопрос поиска оптимальной стратегии выбора места под строительство промышленных предприятий по переработке отходов, в условиях как различия, так и совпадения интересов субъектов, вовлеченных в урегулирование проблемной ситуации, связанной с управлением отходами на уровне муниципальных образований. А для этого необходимо своевременное обеспечение лиц, задействованных на разных уровнях управления сложными объектами достоверной, полной и качественной информацией о текущем состоянии объекта.

В настоящее время много внимания уделяется разработке теоретических, методических, модельных основ управления сложными системами и разработке инструментальных средств для решения задач управления. Но, как правило, такие системы предназначены для выполнения некоторой функции, с четко заданной человеком целью. Так, например, для решения задачи выбора местоположения предприятий по переработке отходов представляется перспективным использование таких подходов, как QFD, RCA, FTA-методологий, специальных математико-статистических методов обработки малых выборок, аппарата экстремальных статистик, формального аппарата задач транспортной логистики и др.

Но учитывая сложность и взаимосвязанность протекающих природных и техногенных процессов, недостаточную изученность их механизмов широкое распространение получили территориальные системы, характеризующиеся нечеткостью и изменчивостью целей. Так, например, задача выбора местоположения предприятия по переработке отходов зависит от таких факторов, как характер свалок, особенность системы проживания, менталитет проживающего народа, а также территориальный аспект, связанные с тем что постройке нового мусороперерабатывающего завода проживающее население с одной стороны, может быть рада, так как во-первых решается экологическая проблема, во-вторых на заводах появляются дополнительные рабочие места, но кроме этого, зачастую население оказывается и недовольным, так как выбор нового места под постройку предприятия по переработке отходов выбирается в большинстве случаев рядом с жилыми районами, а также, при выборе места не учитывалось количество и занятость населения близлежащих к заводу населенных пунктов, не нуждающихся в рабочих местах. При этом необходимость информационной поддержки управления территориальными системами привело к необходимости использования ГИС-технологий, основное назначение которых состоит в создании интегральной платформы для ведения и анализа территориально привязанных данных.

В связи со всем вышесказанным необходимо заметить, что эффективное управление состоянием

нынешней системой управления отходами требует разноаспектной информационной поддержки, основанной на комплексном анализе имеющихся данных о ее состоянии. Основой информационной поддержки выработки консолидированного решения по урегулированию проблемной ситуации является представление в структурированном виде знаний и информации вовлеченных субъектов, разноаспектный анализ доступных данных, 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 хранения, транспортировкой отходов. Так с помощью данного анализа можно получить произвольные данные с целью эффективного управления процессом выбора местоположений промышленных предприятий по переработке отходов.

2. Выбор оптимального месторасположения мусороперерабатывающих предприятий на территории Республики Башкортостан на основе кластерного анализа

Для анализа перспективы строительства промышленных предприятий по переработке отходов в административных районах Республики Башкортостан был проведен кластерный анализ, исходными данными для проведения которого выступает информация о количестве образованных, использованных, обезвреженных и захороненных отходов в муниципальных районах Республики Башкортостан. Плотность населения, количество промышленных предприятий, количество свалок, полигонов ТБО, расположение мусоросортировочных станций – все это играет не последнюю роль при учете уровня загрязнения муниципальных районов Республики Башкортостан. В связи с этим, неоднородность обуславливает возможность выделения среди всей совокупности районов республики определенных групп (кластеров).

Кластеризация (или кластерный анализ) – это задача разбиения множества объектов на группы, называемые кластерами. Внутри каждой группы должны оказаться «похожие» объекты, а объекты разных группы должны быть как можно более отличны. Таким образом, с помощью кластерного анализа осуществляется группировка первичных данных, что составляет основу дальнейшей работы с полученной информацией.

Разные методы кластерного анализа соответствуют различным подходам к созданию групп, и применение различных методов к одним и тем же данным может привести к сильно различающимся результатам. Поэтому для того чтобы комплексно визуализировать системы организации и осуществления деятельности с целью управления

и анализа по сбору, транспортировке, обработке, утилизации, обезвреживанию и захоронению отходов, обратимся к нескольким методам кластерного анализа.

В качестве первого метода кластерного анализа воспользуемся существующей схемой обращения с отходами Республики Башкортостан, чтобы выявить наиболее проблемные на сегодняшний день районы с точки зрения управления отходами. При этом также главной характеристикой при выявлении кластеров здесь является географическая концентрация. Данная схема предполагает прием отходов из населенных пунктов, с территорий, расположенных на расстоянии не более 35 км от месторасположения полигона. Увеличение указанного расстояния в большинстве случаев нецелесообразно в связи со значительным ростом тарифа на услуги по вывозу отходов с мест их накопления. При вывозе отходов из населенных пунктов, находящихся на расстоянии более 35 км от полигона, необходимо строительство мусороперегрузочных станций (далее – МПС). Расстояние при этом не должно превышать 55 км. Для этого требуется проектирование и строительство сети МПС в Республике Башкортостан. А в целях селективного (избирательного) сбора отходов предполагается организация сети мусоросортировочных станций (далее - МСС). На данный момент на территории Республики Башкортостан уже построено и предполагается строительство 14 МСС различной производительности в городах Уфе (3 МСС), Стерлитамаке, Салавате, Нефтекамске, Октябрьском,

Белорецке, Ишимбае, Кумертау, Туймазы, Сибее, Мелеузе [3].

Для проведения анализа число кластеров было решено взять равное трем, чтобы выявить те районы, которые входят в 35-, 55-километровые зоны от мусоросортировочных станций, а также зоны, которые не попадают под существующую систему обработки отходов. Данные зоны как раз и будут наиболее перспективными под строительство новых мусоросортировочных станций, а для выбора места для мусороперерабатывающих предприятий целесообразнее учитывать расположение уже построенных предприятий по сортировке мусора. Состав каждого кластера в соответствии с проведенным анализом представлен в табл. 1.

В результате классификации муниципальных районов на основании существующей территориальной схемы обращения с отходами была построена карта, представленная на рис. 1.

Согласно данной карте можно заметить, что в северных и южных районах отсутствуют какие-либо предприятия по сбору, сортировке, утилизации или обработке отходов, несмотря на относительно малое количество образованных в данных районах отходов по сравнению с другими.

Альтернативным методом, позволяющим в наглядной форме отобразить именно те муниципальные районы Республики Башкортостан, в которых строительство промышленных предприятий по переработке отходов является наиболее перспективным, служит классификация с использованием иерархического кластерного анализа.

Таблица 1
Описание кластеров

Номер кластера	Количество районов, входящих в кластер	Перечень муниципальных районов, составляющих кластер
1 кластер	20	Аургазинский, Белорецкий, Бирский, Благовещенский, Гафурийский, Дюртюлинский, Еремеевский, Иглинский, Ишимбайский, Калтасинский, Краснокамский, Кушнаренковский, Куюргазинский, Мелеузовский, Мишкинский, Нуримановский, Стерлитамакский, Туймазинский, Уфимский, Янаульский
2 кластер	19	Абзелиловский, Альшеевский, Архангельский, Бакалинский, Балтачевский, Белебеевский, Благоварский, Буздякский, Бураевский, Илишевский, Кармаскалинский, Кугарчинский, Миякинский, Стерлибашевский, Учалинский, Федоровский, Чекамагушевский, Чишминский, Шаранский
3 кластер	15	Аскинский, Баймакский, Белокатайский, Бижбулякский, Бурзянский, Давлекановский, Дуванский, Зианчуринский, Зилаирский, Караидельский, Кигинский, Мечетлинский, Салаватский, Татышлинский, Хайбуллинский

Применение кластерного анализа для решения задачи выбора оптимального месторасположения мусороперерабатывающих предприятий в муниципальных районах Республики Башкортостан

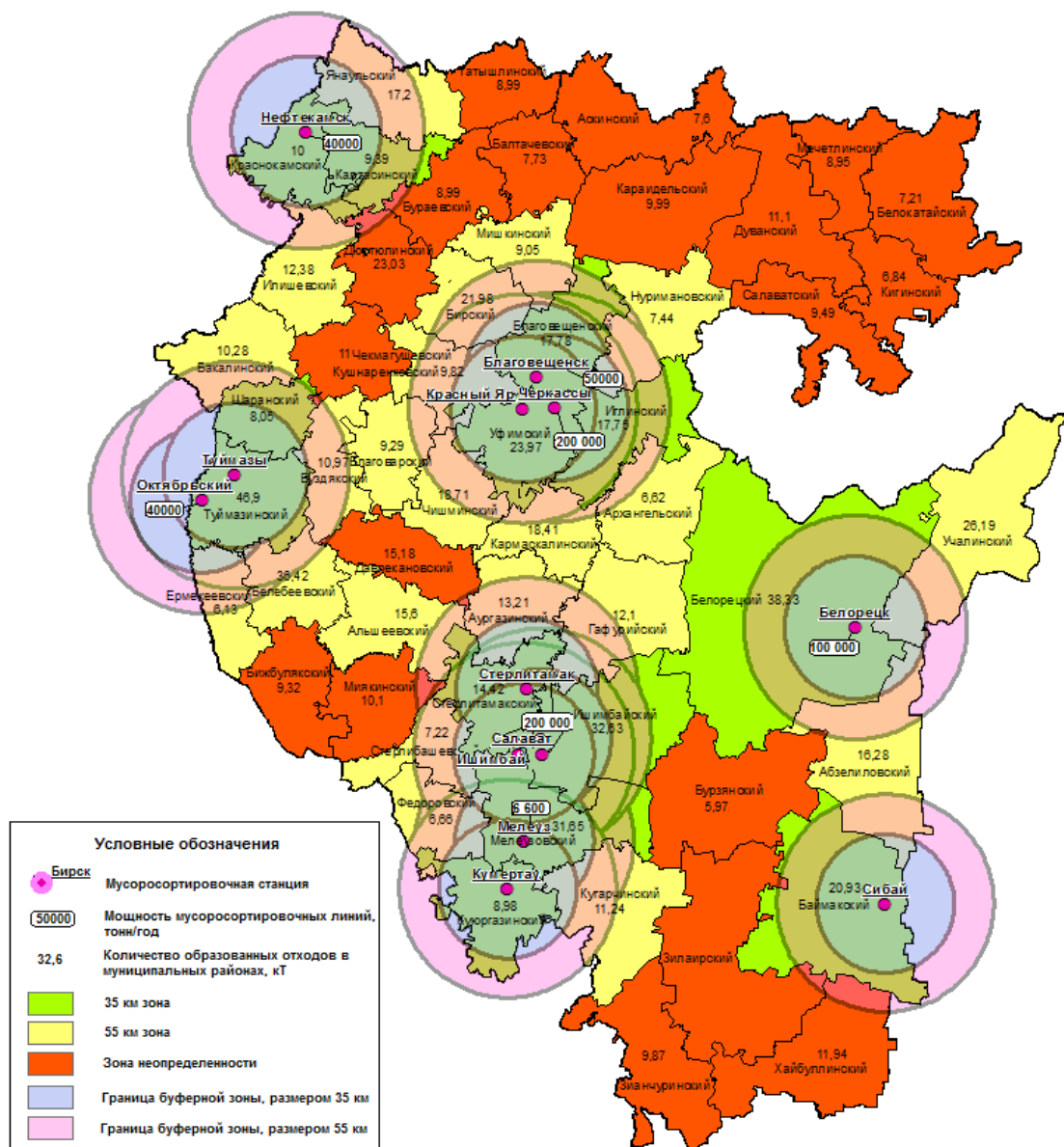


Рис. 1. Кластерный анализ территории Республики Башкортостан на основе имеющейся территориальной схемы обращения с отходами

Решение задачи выражается в классификации территорий по значениям характеристик состояния. Классификация участков территорий основана на разработке формальных методов регуляризации пространственных данных, позволяющих отнести каждый участок территории к тому или другому классу состояния.

В общем случае задача классификации представляется в виде:

$$\phi(x, y) \rightarrow S(x, y). \quad (1)$$

где $\phi(x, y)$ – рельеф поверхности, образуемый характеристиками состояния, $S(x, y)$ – пространственная мозаика, образуемая участками

исследуемой территории, причем каждому элементу мозаики ставится в соответствие определенный класс состояния территориальной системы [4].

В процедуре кластерного анализа используется метод Уорда (Ward's method). Данный метод построен на принципе минимизации дисперсии внутри кластеров, что отвечает задаче получения однородных по степени отклонения от значений групп факторных и результативных признаков. Метрика расстояний для получения однородных групп объектов задается как обычное Евклидово расстояние, что соответствует случаю, когда признаки одинаково важны для классификации.

В качестве примера полученных результатов на Решение задачи классификации заранее выделенных участков территорий по показателям состояния должно соответствовать уровням управления: оперативного, тактического и стратегического. Целесообразно ввести понятие «абсолютная» и «относительная» классификационная шкала.

Целью построения абсолютной классификационной шкалы является создание информационной основы для сравнительного анализа состояния территорий по совокупности временных срезов. Целью построения относительной классификационной шкалы является

представление в наглядной картографической форме текущей обстановки, соответствующей 1-му условию исследований. При этом в качестве элементов выборки выступают данные $z^{(1)}(x_i, y_i)$ ($i = 1; N$), соответствующие 1-му условию исследований [4].

На рис. 3 представлены результаты зонирования территории РБ по данным об объеме образованных отходов за 2010 год (зонирование с использованием относительной классификационной шкалы). Выделение данных классов будет способствовать адекватному выбору стратегии управления отходами.

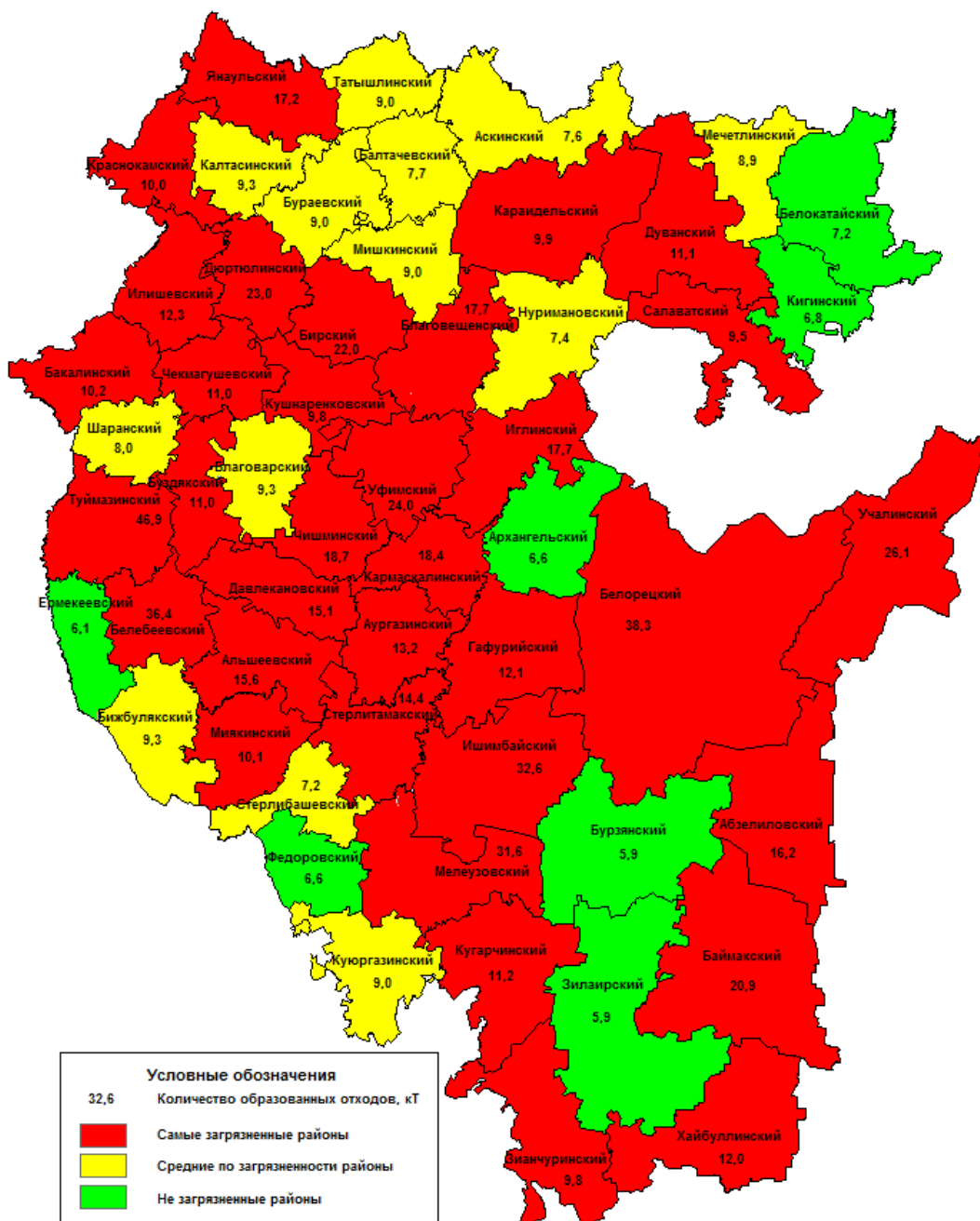


Рис. 3. Кластерный анализ территории Республики Башкортостан по количеству образованных отходов за 2010 год с использованием диаграммы Парето

Применение кластерного анализа для решения задачи выбора оптимального месторасположения мусороперерабатывающих предприятий в муниципальных районах Республики Башкортостан

Как видно из полученной карты, данный анализ не позволил выявить наиболее напряженные участки, в смысле бытовых отходов, поскольку не учитывалось ни географическая концентрация полигонов ТБО, ни количество образованных отходов на 1 кв. км, а также в состав загрязненных районов вошли и те, где количество образованных отходов не столь велико.

3. Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать вывод, что результаты кластерного анализа подаются в удобной наглядной форме, которая облегчает принятие решений в урегулировании проблемной ситуации, связанной с управлением отходами.

Проведение сравнительной оценки муниципальных районов Республики Башкортостан с применением различных методов кластерного анализа, позволило выделить группы районов, являющиеся наиболее перспективными при выборе места под строительство мусороперерабатывающих предприятий. Так, учитывая результаты кластерного анализа по количеству образованных отходов на территории Республики Башкортостан и имеющейся территориальной схемы размещения объектов сбора и сортировки отходов, можно заметить, что целесообразнее создавать предприятия по их переработке в городах Уфе, Стерлитамаке, Туймазы, Нефтекамске, Сибее, Кумертау.

Благодарности

Результаты исследований, представленные в статье, частично поддержаны грантом 18-08-00885 – А

«Методологические основы многокритериального управления процессом выбора местоположения промышленных предприятий по переработке отходов на основе положений эвергетики».

Список используемых источников

1. Христовуло О.И. Разработка информационной системы размещения объектов техногенной опасности с использованием нечеткой логики / О.И. Христовуло, И.Ф. Салимзянов, Н.Р. Гареева // Научный журнал «Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление». - Санкт-Петербург, Россия, 2015. Т.5 (229). С. 47 – 58.
2. Khristodulo O., Davletbakova 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.
3. Республиканская целевая программа «Совершенствование системы управления твердыми бытовыми отходами в Республике Башкортостан на 2011-2020 годы», утвержденная постановлением Правительства Республики Башкортостан от 18.11.2011 №412.
4. Статистическое исследование территориальных систем / М.Б. Гузаиров, В.Е. Гвоздев, Б.Г. Ильясов, А.Е. Колоденкова // М.: Машиностроение, 2008. – 187 с.