

УДК 332.871

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ СОЦИАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ И ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

© 2021 Е.В. Губарь, Н.Г. Гладышев, А.Ю. Богомолов

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

Развитие коммунального сектора приводит к появлению широкого спектра отходов. В подобных условиях важное место занимают проблемы экологической безопасности и устойчивого развития. Статья содержит многомерный анализ взаимосвязи между различными социальными аспектами и процессом утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО). Показано влияние экономических, культурных, законодательных и экологических факторов на эти отношения. Изучены методы утилизации ТКО в странах Европейского союза (ЕС). В результате, выявлено значительное количество информации по решению проблемы ТКО в странах ЕС. Также выделены и представлены группы показателей, обеспечивающие комплексную оценку состояния сектора обращения с ТКО. Сделаны выводы, что основная иерархия методов управления ТКО определяется принципами устойчивого развития. Система управления ТКО предполагает, что социальные, экономические, нормативно-правовые, управленческие, технические аспекты будут интегрированы. Перспективным направлением является применение хемометрического анализа для разработки и интерпретации выбранных сценариев развития сектора обращения с ТКО. Ключевые слова: утилизация ТКО, показатели развития, социальные аспекты, хемометрика, многомерный анализ данных, метод главных компонент, страны ЕС (Европейского союза).

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-47-52

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 0778-2020-0005.

ВВЕДЕНИЕ

Управление сферой обращения ТКО следует рассматривать в качестве сложной системы, на которую оказывают влияние многие факторы. На сегодняшний день организационно-экономическую систему управления ТКО в ряде стран можно охарактеризовать как недостаточно эффективную, неспособную радикально улучшить существующую практику. В свою очередь большинство стран с развитой экономикой стремятся перейти на экономику замкнутого цикла. В сложившейся ситуации важно определить не только сходства политики в сфере управления ТКО, но и наличие взаимосвязей между различными социальными аспектами и процессом утилизации в различных странах. Все это воз-

можно осуществить в результате применения методов многомерного анализа.

Целью работы является изучение влияния эффективности финансового сектора и уровня общественного благосостояния государства на объем и способы использования ТКО. Для исследования данной системы собраны обширные данные, количественно или качественно описывающие различные процессы утилизации ТКО и социальные аспекты функционирования различных стран Евросоюза.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа полученных данных использован метод главных компонент (МПК; англ. – Principal Component Analysis, PCA), позволяющий упростить данные путем их проекции на новое пространство латентных переменных [1]. МПК и другие проекционные методы анализа многомерных данных (хемометрики; англ. – chemometrics) позволяют эффективно исследовать внутреннюю структуру данных, находить скрытые взаимосвязи (корреляции) объектов и переменных. В качестве основной вычислительной платформы использован программный комплекс TPT-cloud [2].

Численные данные собраны в матрицу X. Строки этой матрицы – страны (36 стран), столб-

Губарь Елена Викторовна, аспирант кафедры химической технологии и промышленной экологии.

E-mail: e.v.gubar@mail.ru

Гладышев Николай Григорьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии.

E-mail: nick.gladishev@yandex.ru

Богомолов Андрей Юрьевич, доктор химических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Многомерный анализ и глобальное моделирование».

E-mail: ab@globalmodelling.com

цы – исследуемые переменные (24 признака). Каждой строке исходной таблицы (стране) соответствует точка на плоскости с определенными координатами.

С математической точки зрения МГК является декомпозицией исходной матрицы X , т.е. представление её в виде произведения двух матриц T и P согласно следующему уравнению:

$$X = TP^T + E = \sum_{a=1}^A t_a p_a^t + E$$

где T – матрица счетов (англ. – scores),
 P – матрица нагрузок (англ. – loadings),
 E – матрица остатков.

Число столбцов a в матрицах T и P выбирается аналитиком на основании различных признаков так, чтобы матричное произведение TP^T воспроизводило бы X с точностью до ошибки E с использованием минимального числа a . То есть a должно соответствовать эффективно-му рангу матрицы X . Эта величина называется числом главных компонент (ГК) и она, как правило, много меньше, чем число столбцов m в X . Результатом такого преобразования является одновременное сжатие данных и избавление их от нерелевантной информации (ошибки).

Отправной точкой для анализа МГК стали статистические показатели для государств-членов Европейского союза и государств, поддерживающих отношения с Евросоюзом за 2018 год:

1) 27 стран, входящих в Европейский союз: Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Греция, Германия, Дания, Италия, Ирландия, Испания, Кипр, Люксембург, Латвия, Литва, Мальта, Нидерланды, Португалия, Польша, Румыния, Словения, Словакия, Франция, Финляндия, Хорватия, Чехия, Швеция, Эстония.

2) 5 стран, имеющих статус кандидата: Албания, Северная Македония, Сербия, Турция, Черногория.

3) Государство, вышедшее из Евросоюза: Великобритания.

4) Страны, частично участвующие в союзной экономике и входящие в Шенгенскую зону: Норвегия, Швейцария, Исландия.

Исследуемые переменные условно можно разделить на три блока:

1. Вклады шести типовых операций управления ТКО (доля от общей массы образованных ТКО).

2. Социально-экономическим аспекты.

3. Индекс процветания стран (в развернутом виде) (табл. 1).

Следует обратить отдельное внимание на несколько переменных различных блоков. Так в практике зарубежных стран и научных исследованиях принято использовать термины «муниципальные отходы» и «управление муниципальными отходами». Термин «муни-

ципальные отходы» является более широким понятием по сравнению с ТКО, так как наряду с отходами, **образующимися в жилых помещениях**, включает отходы домашних хозяйств, крупногабаритные отходы, аналогичные отходы торговли, рынков, офисных зданий, учреждений и малых предприятий, а также отходы от уборки улиц и содержимое контейнеров для мусора. Этот показатель измеряется в килограммах на душу населения. Вышеперечисленные отходы собирают и обрабатывают муниципалитеты, ответственностью и полномочиями наделены городские власти [2].

Коэффициент Джини сравнивает совокупные пропорции населения с совокупными пропорциями доходов, которые они получают. Его значение колеблется между 0 в случае полного равенства и 1 в случае полного неравенства.

Индекс процветания стран мира Института Legatum (Legatum Prosperity Index) является комбинированным показателем, ранжирующим страны мира в зависимости от степени их общественного благосостояния и процветания. Показатели, используемые для составления индекса, объединены в девять субиндексов. Авторами индекса процветания применяется система оценивания, согласно которой наименьшему абсолютному значению субиндексов соответствует наиболее «высокая» оценка, а, следовательно, тем выше в общем рейтинге будет позиция страны. То есть наилучшей оценкой является 1 [14].

На начальном этапе выделения главных компонент в центр облака данных переносится новое начало координат – это нулевая главная компонента (ГК0). Далее было выбрано направление максимального изменения данных – «ВНД на душу населения» (48,13%). Это первая главная компонента ГК1. Для описания оставшихся изменений данных выбрано ещё одно направление ГК2 (вторая главная компонента), перпендикулярное к первому. В нашем случае это «Плотность населения» (9,77%). В результате большое количество переменных представлено в гораздо меньшей размерности. Для переменной ГК1 характерна большая изменчивость и большое значение абсолютной дисперсии и, соответственно, большие значения нагрузок. Переменная ГК1 объясняет 48,13% общей объясненной дисперсии.

Перед началом моделирования переменные X были взвешены методом автошкалирования (англ. - autoscaling). В результате этого преобразования степень влияния каждой переменной на хемометрическую модель выровнена. Автошкалирование заключается в вычитании среднего значения для данной переменной (по каждому столбцу) и делении на соответствующее стандартное отклонение. Необходимость взвешива-

Таблица 1. Исследуемые переменные

№ п/п	Блок	Переменные	Источник
1	Типовые операции управления ТКО	Обработка ТКО, %	[4]
		Рециклинг материалов, %	
		Полигон, %	
		Сжигание ТКО, %	
		Производство энергии, %	
	Компостирование и анаэробное сбраживание, %		
2	Социально-экономические аспекты	Валовой национальный доход (ВНД) на душу населения, доллар США	[5]
		Коэффициент Джини	[6]
		Плотность населения, чел./км ² .	[7]
		Прирост населения, %.	
		Городское население, %	[8, 9, 10]
		Экологический налог, % ВВП	
		Патенты на экологические технологии, %	
		Женщины – парламентарии, %	[12]
Индекс восприятия коррупции	[13]		
3	Индекс процветания стран	Субиндекс «Экономика»	[14]
		Субиндекс «Бизнес»	
		Субиндекс «Управление»	
		Субиндекс «Образование»	
		Субиндекс «Здравоохранение»	
		Субиндекс «Безопасность и защита»	
		Субиндекс «Личная свобода»	
		Субиндекс «Социальный капитал»	
Субиндекс «Природная среда»			

ния переменных возникает из-за разницы единиц значений используемых признаков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты представлены на рис. 1,2. Графики счетов (рис. 1) и нагрузок (рис. 2) дополняют друг друга. Обычно в качестве осей графика фигурируют первые две ГК, как несущие основную информацию. Их совместное рассмотрение позволяет получить полную информацию о взаимосвязи социальных аспектов и процесса утилизации ТКО в анализируемых странах. Близость точек (стран на графике счетов или признаков на графике нагрузок) означает их общее сходство. То есть данные графики демонстрируют спроецированные взаимосвязи между странами в пространстве переменных (социальных аспектов), расположенные вдоль направлений выбранных главных компонент ГК1 и ГК2. График нагрузок определяет причины, на основании которых страны расположились на графике счетов.¹⁵ Для переменных, расположенных в одном и том же направлении от

центра, характерна положительная корреляция, для лежащих в противоположных направлениях – отрицательная [15].

ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследования выявлено несколько важных тенденций. На основе ВНД на душу населения страны разделились на две основные группы (рис. 1). В странах с развивающейся экономикой, имеющих низкий рейтинг индекса процветания Legatum (т.е. высокие абсолютные значения субиндексов) и высокие значения коэффициента Джини, широко используются полигоны для захоронения ТКО. Положение этих стран на графике счетов (рис.1) соответствует положению указанных переменных на графике нагрузок (рис.2). Среди вышеперечисленных стран только Албания и Северная Македония обрабатывают (собирают) 100% образованных ТКО. В свою очередь у Турции самый высокий показатель ВНД на душу населения. Этим можно объяснить отдаленное расположение данных стран по отношению к остальным.

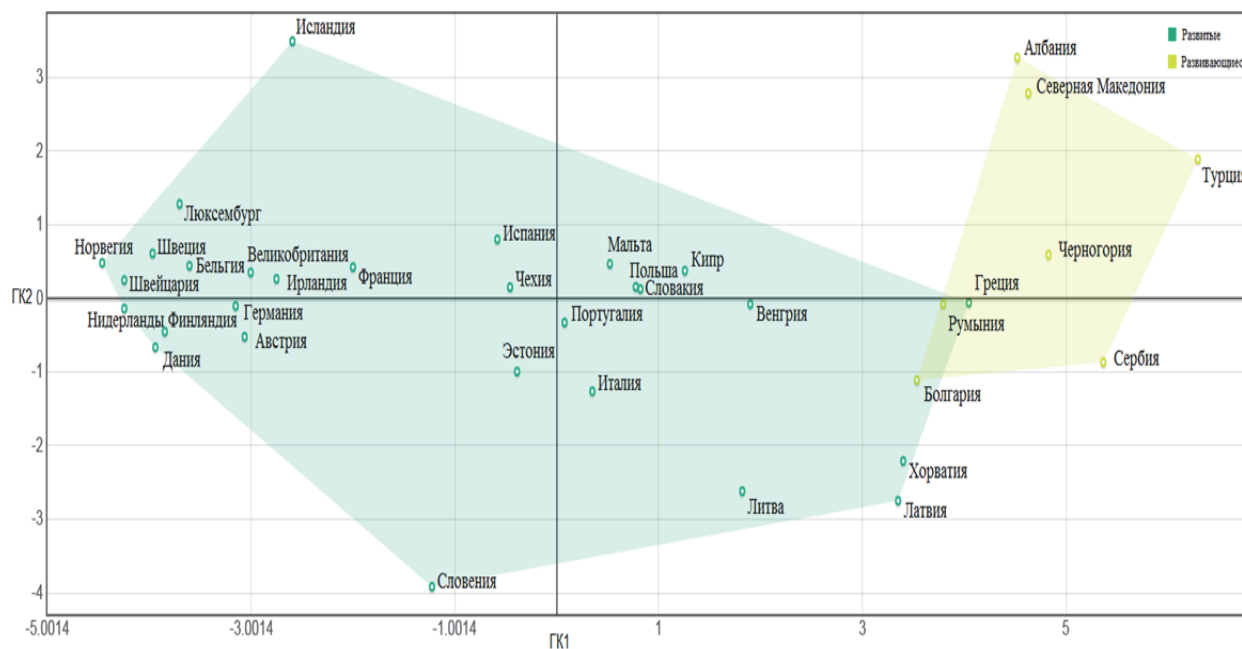


Рис. 1. График МГК-счетов



Рис. 2. График МГК-нагрузок

На рисунке 1 видно достаточно четкое разделение стран с развитой экономикой на два отдельных кластера.

В странах с развитой экономикой наблюдается наименьшее использование свалок для утилизации ТКО, за исключением Мальты (91,94%), Кипра (82,98%), Греции (80,06%), Хорватии (72,33%), Латвии (68,34%), Словакии (55,39%), Испании (50,96%), Португалии (50,92%), Венгрии (49,41%), Чехии (48,98%), Польши (41,58%) и Италии (23,3%). Что и стало причиной образование одного из кластеров. Среди стран данного кластера только четыре страны сжигают ТКО: Чехия (0,13%), Италия (0,66%), Словакия (1,33%), Польша (1,53%). Одновременно с этим наиболь-

ший процент компостирования и анаэробного сбраживания ТКО (23,04%) и рециклинга материалов (31,56%) наблюдается в Италии. Кроме этого, для Хорватии, Латвии и Литвы характерны наихудшие показатели по субиндексу «Здравоохранение», в результате этого они отдалены от данного кластера и ближе всех стран при сопоставлении графика счетов (рис.1) и графика нагрузок (рис.2) располагаются к субиндексу «Здравоохранение».

Страны с высоким значением ВНД на душу населения и более низким уровнем коррупции в значительной степени используют производство энергии: Финляндия (56,96%), Швеция (53,49%), Дания (51,15%), Норвегия (51,08%),

Швейцария (47,51%), Люксембург (43,67%), Бельгия (42,81%), Нидерланды (41,69%), Австрия (39,22%), Великобритания (3,88%), Франция (34,81%), Ирландия (32,34%), Германия (30,7%). Положение этих стран на графике счетов (рис.1) соответствует положению таких переменных, как ВНД на душу населения, индекс восприятия коррупции, производство энергии на графике нагрузок (рис.2). Этим объясняется формирование второго кластера среди стран с развитой экономикой. Исключение составляет Исландия: одновременно с высокими показателями по таким переменным, как ВНД на душу населения и индекса восприятия коррупции, в этой стране в незначительной степени используют производство энергии (0,89%), наименьшая плотность населения (3 чел./км²) и наибольшее значение сжигаемых ТКО (3,56%).

Следует обратить внимание на то, что в Эстонии высокое значение индекса восприятия коррупции и 43,76% ТКО используется для производства энергии. Одновременно с этим среди стран вышеуказанного кластера в Эстонии наименьшее значение ВНД на душу населения и объём обработанных (собранных) ТКО. Кроме этого, для данного государства является характерным низкий рейтинг по следующим субиндексам индекса процветания стран: «Личная свобода», «Социальный капитал», «Безопасность и защита», «Здравоохранение». По этим причинам Эстония на графике счетов расположилась со странами другого кластера.

На графике счетов (рис. 1) заметно отделение Словении от всех основных кластеров. Это объясняется тем, что среди всех стран в Словении самый низкий показатель обработанных (собранных) ТКО (78,79%). Одновременно с этим самый высокий показатель рециклинга материалов (53,96%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые выполнен анализ взаимосвязи между различными социальными аспектами и процессом утилизации ТКО с применением хемометрического подхода. Метод главных компонент позволил определить социальный эффект от взаимосвязи переменных с различными единицами значений. Полученные данные подтверждают наличие связи между уровнем коррупции, эффективностью управления, степенью участия граждан в политической жизни страны, уровнем общественного благосостояния и методами использования ТКО. Можно сделать выводы, что данная проблема имеет экономические, культурные, законодательные и экологические аспекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Brereton, Richard G.* Applied chemometrics for scientists // Richard G. Brereton. p. cm
2. TPT-cloud: chemometrics online. URL: <https://tptcloud.com> (дата обращения: 21.12.2020).
3. Municipal waste. OECD Data. URL: <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm> (дата обращения: 21.12.2020).
4. Municipal waste by waste management operations. Eurostat. URL: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> (дата обращения: 21.12.2020).
5. GNI. THE WORLD BANK. URL: <https://databank.worldbank.org/data/download/GNI.pdf> (дата обращения: 21.12.2020).
6. Gini coefficient of equivalised disposable income. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tessi190&plugin=1> (дата обращения: 21.12.2020).
7. Countries in the world by population. WORLDOMETER. URL: <https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/> (дата обращения: 21.12.2020).
8. Environmental tax revenues. Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rt320&language=en (дата обращения: 21.12.2020).
9. Environmental taxation. OECD. URL: <https://www.oecd.org/environment/environmentaltaxation.htm> (дата обращения: 21.12.2020).
10. Environmental performance reviews North Macedonia [дата обращения: 21.12.2020]. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/epr/epr_studies/Synopsis/ECE.CEP.186_North_Macedonia_Synopsis.pdf
11. Total Patents on Environment Technologies. NationMaster. URL: <https://www.nationmaster.com/nmx/ranking/total-patents-on-environment-technologies> (дата обращения: 21.12.2020).
12. Proportion of seats held by women in national parliaments. THE WORLD BANK. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SG.GEN.PARL.ZS> (дата обращения: 21.12.2020).
13. Corruption perceptions index 2018. Transparency International. URL: <https://www.transparency.org/cpi2018> (дата обращения: 21.12.2020).
14. The Legatum Prosperity Index 2018.TWELFTH EDITION. 2019. С. 8.
15. *Эсбенсен К.* Анализ многомерных данных [пер. с англ. С.В. Кучерявского; под ред. О.Е. Родионовой]. Черногловка: ИПХФ РАН, 2005. 160 с.

**MULTIVARIATE ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP
BETWEEN VARIOUS SOCIAL ASPECTS AND THE PROCESS
OF UTILIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE ACROSS EUROPEAN COUNTRIES**

© 2021 E.V. Gubar, N.G. Gladyshev, A.Yu. Bogomolov

Samara State Technical University, Samara, Russia

The development of the municipal sector leads to the emergence of a wide range of waste. In such conditions, an important place is occupied by the problems of environmental safety and sustainable development. The article contains a multivariate analysis of the relationship between various social aspects and the process of utilization of municipal solid waste (MSW). The influence of economic, cultural, legislative and environmental factors on these relations has been presented. Methods of utilization of MSW in the countries of the European Union (EU) have been studied. As a result, a significant amount of information on solving the MSW problem in the EU countries has been revealed. Also groups of indicators have been identified and presented, which provide a comprehensive assessment of the state of the MSW management sector. It is concluded that the main hierarchy of MSW management methods is determined by the principles of sustainable development. The waste management system implies an integrated system of various aspects, namely social, economic, regulatory, managerial and technical. A promising area is the use of chemometric analysis for the development and interpretation of selected development scenarios for the MSW management sector.

Keywords: utilizing MSW, development indicators, social aspects, chemometrics, multivariate analysis, Principal Component Analysis, EU (European Union) countries.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-5-47-52

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of state task No. 0778-2020-0005.

Elena Gubar, Postgraduate Student of the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology.

E-mail: e.v.gubar@mail.ru

Nikolay Gladyshev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the department of Chemical Engineering and Industrial. E-mail: nick.gladishev@yandex.ru

Andrey Bogomolov, Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher of the «Multivariate Analysis and Global Modelling» laboratory. E-mail: a.bogomolov@mail.ru