

Распределение продукции фондообразующего сектора:

$$X_1^{(n)} = I_0^{(n)} + I_1^{(n)} + I_2^{(n)} + I_{\text{экол}}^{(n)}, n = 1, 2,$$

где  $I_{\text{экол}}^{(n)}$  – инвестиции в обеспечение экологического равновесия в  $n$ -м регионе.

Распределение продукции материального сектора:

$$X_0^{(n)} = a_0^{(n)}X_0^{(n)} + a_1^{(n)}X_1^{(n)} + a_2^{(n)}X_2^{(n)}, n = 1, 2.$$

Внешнеторговый баланс:

$$q_0^{(n)}Y_0^{(n)} = q_1^{(n)}Y_1^{(n)} + q_2^{(n)}Y_2^{(n)}, n = 1, 2.$$

Обоснованием к применению предложенной открытой трехсекторной модели экономики применительно к двум приграничным регионам выступает необходимость реализации программ взаимной эколого-экономической активности приграничных регионов в рамках совместной инвестиционной деятельности с привлечением прямых иностранных инвестиций.

Открытая трехсекторная модель экономики применительно к двум приграничным регионам является примером реального макроэкономического описания международных экономических отношений с учетом экологических факторов. Практическая значимость предложенной открытой трехсекторной модели экономики применительно к двум приграничным регионам состоит в реализации программ взаимной эколого-экономической активности приграничных регионов в рамках реализации совместной инвестиционной деятельности с привлечением ПИИ. Перспективой к ее применению может выступать разработка прогнозных сценариев совместного экономико-экологического развития приграничных регионов на основе имитационных вариантов расчетов модели.

<http://edoc.bseu.by>

## МЕТОДИКА ШКАЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Матковская О.Г. кандидат экономических наук, доцент кафедры статистики УО «Белорусский государственный экономический университет»*

**Резюме.** Рассматривается методика выявления взаимосвязанных изменений показателей экологического и экономического положения отдельных территорий Республики Беларусь с помощью применения многомерного шкалирования.

## THE METHOD OF SCALING ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL TERRITORIES

*Matkovskaja O.G.*

**Summary.** Discusses methods of identification of interrelated changes in indicators of environmental and economic situation of certain territories of the Republic of Belarus through the use of multidimensional scaling.

**Введение.** Большое значение в экономических исследованиях имеет выявление и изучение зависимостей и взаимосвязей между множеством явлений и процессов с помощью многомерного статистического анализа. Это направление имеет большое практическое значение, особенно в связи с возможностью использования вычислительной техники. Многомерные статистические методы позволяют определить скрытые, неявные закономерности, объективно существующие в исследуемых социально-экономических процессах, но не поддающиеся непосредственному измерению. Одним из перспективных методов, применяемых в экономических исследованиях, выступает метод формаль-

ного описания сложных трудно моделируемых процессов – многомерное шкалирование (МНШ) [1, 2].

В методе МНШ в качестве исходных данных выступает матрица расстояний, которая в нашем случае исчисляется с применением евклидовой метрики. Цель МНШ заключается в том, чтобы преобразовать информацию о конфигурации исходных многомерных данных, заданную матрицей расстояний, в геометрическую конфигурацию точек в многомерном пространстве.

Алгоритм реализации МНШ в нашем исследовании базируется на метрическом методе Торгерсона [2, с. 415]. Общий алгоритм, базирующийся на подходе Торгерсона, в основе которого лежит дистанционная модель методов МШ, включает следующие шаги:

1. систематизация данных статистического наблюдения, экспертных оценок и т. п., и представление результатов в виде матрицы различий симметрического вида. На главной диагонали этой матрицы расположены нули (меры различия одних и тех же стимулов), отражающие полное сходство;

2. переход от матрицы различий к матрице с двойным центрированием, которая в последующем позволяет выявлять латентные признаки;

3. определение латентных признаков ( $F_i$ ) с помощью метода главных компонент, или какого-либо из методов факторного анализа;

4. интерпретация аналитических результатов при необходимости их визуальное (графическое) представление.

Таким образом, основная особенность метрического шкалирования заключается в том, что оценке подвергаются не тривиальные значения признаков, характеризующих развитие эколого-экономических процессов, а пространственное расположение наблюдаемых объектов (областей). При этом принимается во внимание, что любой объект, представленный набором признаков, сам по себе может давать искажения, демонстрировать маскирующие эффекты, но становится строго различим, прогнозируемым по поведению, если известно его расположение относительно других объектов в идентифицированной системе координат.

### **Формирование системы статистических показателей для анализа эколого-экономических процессов**

Выбор системы исходных показателей во многом предопределяет результаты анализа и поэтому является очень ответственным этапом исследования. В нашем исследовании предлагается выделить две группы показателей, описывающих основные направления развития эколого-экономических процессов на отдельных территориях. Переменные, входящие в эти группы, по-разному влияют на развитие исследуемого процесса, некоторые из них вызывают положительный эффект, другие – замедляют темпы и снижают значения отдельных характеристик. Одни показатели при увеличении своих расчетных значений одновременно говорят о росте экономической составляющей, и в то же время о снижении экологической составляющей.

В первую группу вошли следующие показатели, отражающие развитие экономической составляющей исследуемого процесса:

- $X_1$  – объем промышленного производства в сопоставимых ценах 2010 г. в расчете на душу населения, тыс. руб.;
- $X_2$  – число промышленных предприятий, ед.;
- $X_3$  – уровень рентабельности реализованной промышленной продукции, %;
- $X_4$  – розничный товароборот в сопоставимых ценах 2010 г. в расчете на душу населения, тыс. руб.;
- $X_5$  – грузооборот автомобильного транспорта всех отраслей экономики, млн. ткм.;
- $X_6$  – доля промышленно-производственного персонала в общей численности населения, %;
- $X_7$  – производство потребительских товаров в сопоставимых ценах 2010 г. в расчете на душу населения, тыс. руб.;
- $X_8$  – среднедушевые денежные доходы населения в сопоставимых ценах 2010 г., тыс. руб.;
- $X_9$  – плотность населения, человек / км<sup>2</sup>;
- $X_{10}$  – обеспеченность населения легковыми автомобилями, шт. на 1000 чел. населения.

Вторая группа представлена следующими показателями, отражающими развитие экологической составляющей исследуемого процесса:

- $X_{11}$  – плотность выбросов вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников, тыс. т. / км<sup>2</sup>;
- $X_{12}$  – количество выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, приходящееся на человека, кг / человек;
- $X_{13}$  – число стационарных источников выбросов, тысяч ед.;
- $X_{14}$  – удельный вес проб воздуха, превышающих максимально разовую ПДК, %;
- $X_{15}$  – плотность выбросов вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух от мобильных источников, тыс. т. / км<sup>2</sup>;
- $X_{16}$  – количество выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников, приходящееся на человека, кг / человек;
- $X_{17}$  – коэффициент озеленения территории, %.
- $X_{18}$  – объем потребления воды в расчете на одного жителя, тыс. м<sup>3</sup>/чел.;
- $X_{19}$  – объем сброса загрязненных сточных вод, млн. м<sup>3</sup>.

Цель применения многомерного шкалирования – получить пространственное расположение наблюдаемых объектов (областей) в идентифицированной системе координат и выяснить, какова тенденция взаимосвязанных изменений показателей экологической и экономической ситуации в каждой из них.

В ходе исследования было рассмотрено 19 названных выше характеристик по каждой из шести областей Республики Беларусь и г. Минска отдельно за 2010 и 2015 годы.

### **Оценка пространственного распределения областей по комплексу признаков, представляющих экономическое и экологическое положение**

На начальном этапе исследования исходные данные, характеризующие эколого-экономическое положение регионов, были стандартизованы:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j},$$

и для всех пар областей определялись расстояния с учетом значений каждой группы показателей, а затем по всем группам, расстояния исчислялись с применением евклидовой метрики [2, с.406]:

$$d_{ij}^k = \left( \sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{1/2}$$

На основании исходной матрицы расстояний ( $D_0$ ) и производной от нее матрицы скалярных произведений ( $D_0^*$ ), из известного равенства Торгерсона:

$$D_0^* = X^T * X$$

приложением метода главных факторов получена матрица координат стимулов –  $X^*$ . Полученные координаты стимулов позволяют поместить их в теоретическое пространство шкал  $X_1, X_2$  и перейти к рассмотрению сложившейся конфигурации (см. рисунок 1).

Характер распределения стимулов на рисунке 1 дает основания для идентификации координатных осей  $X_1, X_2$ .

Применительно к оси  $X_1$  правомерно говорить, что она представляет уровень экономического развития, а к оси  $X_2$  – снижение антропогенной нагрузки на природную среду по наблюдаемым объектам.

В теоретическом пространстве в 2010 г. параметрически выделяется четыре кластера:

I кластер – г. Минск;

II кластер – Гомельская область;

III кластер – Брестская и Минская области;

IV кластер – Витебская, Гродненская и Могилевская области.

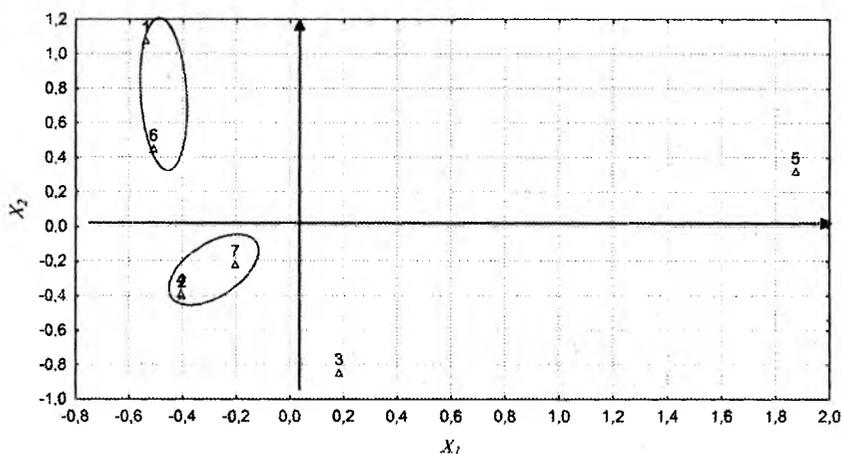


Рисунок 1 – Конфигурация областей и г. Минска по комплексу признаков, представляющих экономическое и экологическое положение в пространстве латентных факторов  $X_1$  и  $X_2$  по данным за 2010 г.<sup>1</sup>

По оси  $X_1$  (уровень экономического развития) наиболее выгодным представляется положение Минска, что вполне отвечает реальности, ведь столичный город отличают высокие показатели развития экономики, а именно:

- относительно большие объемы промышленного производства и розничного товарооборота в расчете на одного жителя;
- самый высокий уровень производства потребительских товаров;
- самые высокие показатели среднестатистических денежных доходов населения.

За Минском следует Гомельская область, обладающая также мощной производственной базой. Для области характерна высокая концентрация промышленных предприятий на ее территории. Также Гомельскую область отличают от других регионов самые высокие показатели рентабельности реализованной промышленной продукции. Кстати говоря, в сравнении с Минском, который в свою очередь находится в области положительных значений как по оси  $X_1$  так и по оси  $X_2$ , Гомельская область обладает самыми низкими отрицательными характеристиками по оси  $X_2$  (снижение антропогенной нагрузки на природную среду). И это не случайно, ведь именно в Гомельской области наращивание объемов производства происходит на фоне усиления антропогенного воздействия на окружающую среду, что имело свое отражение в снижении характеристик экологического положения.

Области Брестская и Минская находятся, также как и г. Минск, в зоне положительных значений по оси  $X_2$ , то есть для них характерно относительно благополучное экологическое положение. В то же время выделенные области обладают негативными характеристиками уровня экономического развития относительно г. Минска.

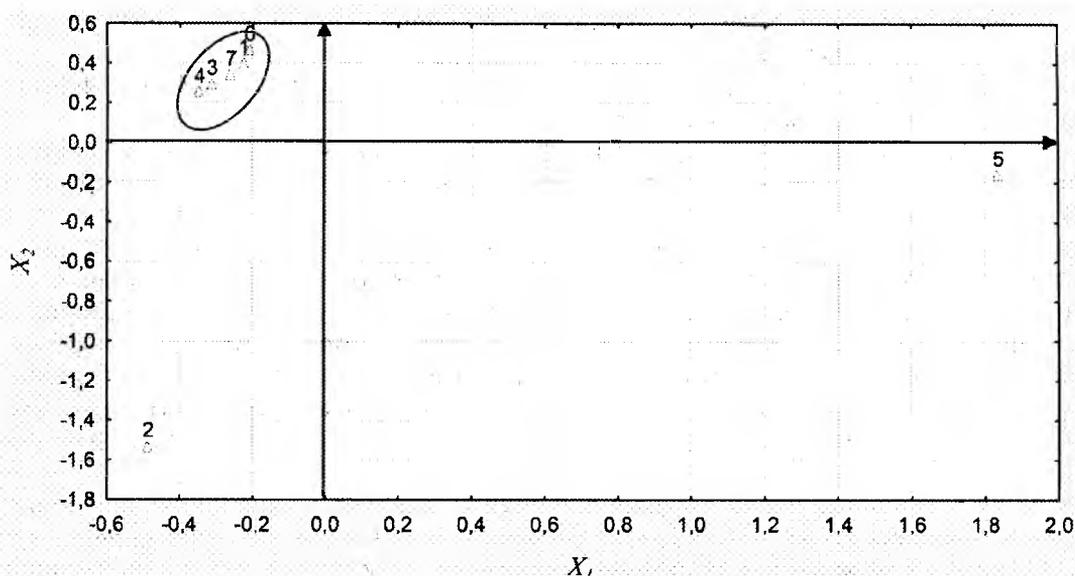
Негативными характеристиками по двум выделенным обобщенным признакам  $X_1$ ,  $X_2$  выделяются области четвертой группы: Витебская, Гродненская и Могилевская.

За период с 2010 по 2015 гг. положение областей в системе координат, обобщающей признаки эколого-экономических процессов, претерпело существенные изменения (см. рисунок 2).

Город Минск, который в 2010 г. можно было считать «идеализированным» объектом по эколого-экономическому положению относительно других регионов, в 2015 г. сместился в сторону отрицательных значений по оси  $X_2$ , что очевидно должно быть вызвано относительным ухудшением характеристик антропогенной нагрузки на окружающую среду города.

В то же время, 2015 г. по сравнению с 2010 г. в городе наблюдается снижение значения практически всех показателей, комплексно отражающих экологическое состояние. Так, к примеру, количество выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, приходящееся на человека, в 2015 г. составило 10 кг и сократилось в среднем на 40 % по сравнению с 2010 г. Практически такая же ситуация наблюдается и с динамикой количества выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников, приходящееся на человека. В 2015 г. значение данного показателя составило 65 кг против 85 кг в 2010 г., то есть его снижение составило в среднем 30 %. При чем, названные показатели в сравнении с такими же показателями других областей на территории столичного города действительно имеют минимальные значения. Такая аномалия вполне объяснима тем фактом, что г. Минск

<sup>1</sup> — Приняты обозначения: 1 – Брестская область; 2 – Витебская область; 3 – Гомельская область; 4 – Гродненская область; 5 – г. Минск; 6 – Минская область; 7 – Могилевская область.



**Рисунок 2 – Конфигурация областей и г. Минска по комплексу признаков, представляющих экономическое и экологическое положение в пространстве латентных факторов  $X_1$  и  $X_2$  по данным за 2015 г.**

отличает от других областей максимальная численность населения. Именно поэтому показатели, рассчитанные в среднем на одного жителя, имеют минимальные значения на территории столичного города.

В то же время, если рассматривать объемные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух приведенные на единицу площади, то столичный город, пожалуй, будет иметь самые высокие значения относительно других регионов. Так, плотность выбросов вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух от стационарных и мобильных источников в г. Минске превышает по своим значениям аналогичные показатели в других областях в среднем в 70 – 80 раз на протяжении всего изучаемого периода.

Город Минск выделяется среди других объектов своими самыми высокими значениями и такого показателя как  $X_{16}$ . Так, на протяжении 5-ти лет (2010 – 2015 гг.) в столице наблюдался самый высокий объем сброса загрязненных сточных вод 162 млн. м<sup>3</sup> превышающий аналогичный объем по другим объектам наблюдения в среднем на 15-20 %.

Таким образом, совместное влияние выявленных разнонаправленных тенденций и привело в итоге к смещению столичного города из зоны положительных значений по экологическим характеристикам в зону отрицательных значений в 2015 г.

Следует отметить в 2015 г. наблюдается рост компактности состава выделенных групп, исключая г. Минск и Витебскую область. Последнее свидетельствует о том, что совокупность областей становится более однородной по составу. Таким образом, в 2015 г. большинство областей образует довольно компактную группу, в которой уровень экономического развития ( $X_1$ ) находится в интервале от -0,209 до -0,345; а значения  $X_2$  (снижение антропогенной нагрузки на природную среду) составляют от 0,245 до 0,457. Смещение Гомельской, Гродненской и Могилевской областей происходит за счет улучшения показателей экологического положения. Так, на территории названных регионов количество выбросов загрязняющих веществ от мобильных источников, приходящееся на человека, в среднем сократилось на 20-30 %. Число стационарных источников выбросов также имеет тенденцию к снижению, правда более низкими темпами, в среднем 2-3 %.

Так, в 2015 г. в зоне негативного развития эколого-экономических процессов остается только Витебская область, для которой характерно:

- самое высокое количество выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, приходящееся на человека (94 кг, что практически в 2 раза превышает общереспубликанский уровень равный 48 кг);
- достаточно высокий объем сброса сточных вод (139 млн. м<sup>3</sup>);
- сравнительно небольшие объемы производства потребительских товаров на душу населения;

— самый низкий показатель численности промышленных предприятий и как следствие относительно невысокие объемы промышленного производства;

— уровень рентабельности реализованной промышленной продукции, составляющий 6,4 %, более чем на 25 % меньше уровня в целом по республике.

**Выводы.** Приложение многомерного шкалирования в нашем исследовании позволило получить пространственное расположение наблюдаемых областей в идентифицированной системе координат в 2010 и 2015 годах. В результате была четко установлена взаимосвязь изменений показателей экологической и экономической ситуации в каждой из них и определено влияние данных изменений на пространственное размещение каждого объекта относительно друг друга. При этом несмотря на оптимистичное поведение отдельных экономических показателей (объемы производства в промышленности; производства потребительских товаров; розничный товарооборот) экологическая ситуация в областях не стабилизировалась. Здесь наблюдаются прогрессирующие негативные тенденции развития экологических процессов (рост объемных показателей выбросов загрязняющих веществ, как от стационарных, так и от мобильных источников, нестабильность в уровне загрязнения водных объектов).

Обобщая полученные аналитические результаты, следует отметить, что в относительно неблагоприятных регионах по экономическому развитию отмечается высокий уровень загрязнения окружающей среды. В то же время, снижение степени антропогенной нагрузки на природную среду, как правило, сопровождается значительным улучшением экономического положения региона.

С учетом выявленных тенденций развития регионов, централизованное управление должно быть в первую очередь ориентировано на комплексное решение задач экономического и экологического характера. Отсутствие же позитивных подвижек в уровне негативного антропогенного воздействия на окружающую среду значительно снижает результативность мероприятий, направленных на стабилизацию экономического положения регионов.

---

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дэйвинсон, М. Многомерное шкалирование: методы наглядного представления данных / Пер. с англ. В.С.Каменского. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 254 с.
2. Сошникова Л.А. Многомерный статистический анализ в экономике: учеб. пособие для вузов / Л.А. Сошникова [и др.]; под ред. проф. В.Н. Тамашевича. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598с.
3. Охрана окружающей среды в Беларуси: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь – Минск, 2016. – 248 с.
4. Регионы Республики Беларусь: социально-экономические показатели: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. — Том 1. — Минск, 2016. — 774 с.