

DOI: 10.18287/2542-0461-2020-11-1-153-158

Дата: поступления статьи / Submitted: 09.01.2020

УДК 33

после рецензирования / Revised: 14.02.2020



Научная статья / Scientific article

принятия статьи / Accepted: 26.02.2020

Е.П. РостоваСамарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Российская ФедерацияE-mail: el_rostova@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6432-6590>

Разработка математической модели показателя экологического ущерба региона с учетом пространственных связей

Аннотация: В статье исследуются вопросы оценки экологического ущерба региона с учетом пространственных связей. В качестве математического аппарата использован инструмент пространственной корреляции, рассмотрены различные виды матрицы весов. Разработанная модель позволяет учесть влияние экологической обстановки соседних регионов.

Ключевые слова: экологический ущерб, риск, пространственная корреляция, математическое моделирование.

Цитирование. Ростова Е.П. Разработка математической модели показателя экологического ущерба региона с учетом пространственных связей // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2020. Т. 11. № 1. С. 153–158. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-1-153-158>.

Информация о конфликте интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

E.P. Rostova

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: el_rostova@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6432-6590>

Development of a mathematical model of the indicator of environmental damage of a region taking into account spatial links

Abstract: The article examines the issues of assessing the environmental damage of the region taking into account spatial relationships. The mathematical apparatus is a spatial correlation tool for various types of weight matrix. The developed model allows us to take into account the impact of the environmental situation in neighboring regions.

Key words: environmental damage, risk, spatial correlation, mathematical modeling.

Citation. Rostova E.P. Development of a mathematical model of the indicator of environmental damage of a region taking into account spatial links. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and management*, vol. 11, no. 1, pp. 153–158. (In Russ.) DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-1-153-158>.

Information on the conflict of interest: author declares no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

© Елена Павловна Ростова – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры математических методов в экономике, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

© Elena P. Rostova – Candidate of Economic Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mathematical Methods in Economy, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

Введение

В настоящее время вопрос об экологических рисках и влиянии на них промышленных предприятий становится все более актуальным. Можно сказать, что данная проблема имеет два аспекта уве-

личения объема выброса веществ, загрязняющих атмосферу, – из-за устаревшего оборудования, и по причине увеличения объема производства. Под устаревшим оборудованием можно понимать системы очистки выбросов и основные фонды, непосредственно участвующие в производстве продукции. Обновление оборудования требует вложения средств, которые могут быть потрачены на расширение основного производства с целью увеличения дохода предприятия. Нарастивание производственных мощностей, которое ведет с одной стороны к увеличению дохода, с другой стороны, влечет за собой возрастающие выбросы загрязняющих веществ, а также потребление природных ресурсов.

Выбросы веществ, загрязняющих атмосферу, распространяются на все прилегающие территории и не ограничиваются границами региона или округа. В этой связи целесообразно рассматривать данную проблему с учетом географических связей.

Вопросам исследования пространственных связей посвящены работы Балаш В.А [1–3], Файзлиева А.Р. [4], Anselin L. [5–7] Chen Y. [8] и других. С помощью математического аппарата пространственной корреляции исследуются экономические показатели, миграционные процессы, проблемы экологического влияния соседних регионов и многие другие актуальные вопросы.

Постановка задачи

Техногенные катастрофы влияют на окружающую среду, на здоровье и условия жизни населения. Требуется учесть влияние промышленных рисков не только на регион, в котором находится предприятие – источник риска, но и на соседние регионы. Также следует учесть объем производства регионов – валовый региональный продукт (ВРП), поскольку его величина связана с промышленным риском. С увеличением объема производства возрастает нагрузка на производственные мощности, что ведет к износу оборудования и увеличению вероятности наступления непредвиденного события. Также увеличение производимой продукции влияет на размер возможного ущерба: использование химических реактивов, сырья, прочих веществ в больших объемах приводит к возрастающему ущербу. Для разработки показателя промышленного риска требуется учитывать факторы риска данного региона и соседних, что можно сделать с помощью аппарата пространственной корреляции.

Введем обозначения, применяемые при дальнейшем моделировании. Q_i – объем валового регионального продукта i -го региона, Y_i – ущерб окружающей среде, условиям жизни и здоровью населения от техногенных непредвиденных событий в i -м регионе. Требуется оценить промышленный риск региона с учетом воздействия на окружающую среду промышленных комплексов, расположенных в соседних регионах. При этом важно отметить, что соседство территориальное (наличие единой границы областей) не ограничивает круг объектов, которые могут оказать влияние на экологию анализируемой области. Степень близости может быть определена по-разному в зависимости от постановки задачи и характеристик исследуемого промышленного производства. Например, вредные выбросы в атмосферу распространяются с воздушными потоками. Вредные выбросы в водоемы ограничены границами данных водоемов и воздействуют на территории, расположенные ниже по течению от источника загрязнения. Таким образом, при оценке промышленного риска следует учитывать влияние промышленных комплексов, расположенных в соседних регионах.

Результаты

Применение пространственной корреляции при анализе данных является одним из актуальных направлений современных исследований [9–11]. Пространственная корреляция позволяет определить степень взаимосвязи исследуемого признака в различных регионах. Для этого будем использовать коэффициент Морана и пространственную диаграмму рассеивания Морана. Показатели пространственной корреляции рассчитываются на основе матрицы весов, которая позволяет учесть степень удаленности анализируемых регионов.

Матрицу весов рассмотрим в четырех видах:

- матрица граничных соседей,
- матрица ближайших соседей,
- матрица расстояний,
- матрица мощностей.

Принцип построения всех матриц основан на определении степени удаленности регионов друг от друга.

Матрица граничных соседей $W^1 = [w_{ij}^1]_{n \times n}$, где n – количество анализируемых регионов.

$$w_{ij}^1 = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j, \\ 1, & \text{если } i\text{-ый и } j\text{-ый регионы имеют общую границу,} \\ 0, & \text{если } i\text{-ый и } j\text{-ый регионы не имеют общую границу.} \end{cases} \quad (1)$$

Данная матрица позволяет учесть только ближайших соседей, исключая из анализа регионы, не имеющие общих границ. Преимуществом данной матрицы является простота построения. Недостаток – матрица не отражает влияние регионов, которые не имеют общую географическую границу, но оказывают друг на друга влияние.

Рассмотри далее матрицу ближайших соседей $W^2(k) = [w_{ij}^2(k)]_{n \times n}$.

$$w_{ij}^2(k) = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j, \\ 1, & \text{если } d_{ij} \leq d(k), \\ 0, & \text{если } d_{ij} > d(k). \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $d(k)$ – наименьшее расстояние k -го порядка между i -ым и j -ым регионами. В данной матрице понятие соседства учтено более широко и позволяет рассматривать в дальнейшем анализе связь не только соседних, но и близлежащих районов. В зависимости от значения k каждый регион имеет большее или меньшее количество «ближайших» соседей. Для i -го региона k -е наименьшее расстояние позволяет определить границу отсечения дальних регионов, влияние которых в дальнейшем не будет учитываться, поскольку считается несущественным из-за дальности расстояний.

Ближайшие соседи оказывают на регион большее влияние, чем регионы, находящиеся дальше. Для того, чтобы учесть степень отдаленности, используют матрицу расстояний $W^3(q) = [w_{ij}^3(q)]_{n \times n}$.

$$w_{ij}^3(q) = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j, \\ 1/d_{ij}^m, & \text{если } d_{ij} \leq D(q), \\ 0, & \text{если } d_{ij} > D(q). \end{cases} \quad (3)$$

Здесь d_{ij} – расстояние между региональными центрами i -го и j -го регионов, $D(q)$ – квартиль расстояний, $q = \overline{1, 4}$, $m = \overline{1, 10}$. Однако, как отмечает Балаш В.А. [12], степень чаще всего принимают рав-

ной двум $m=2$. В таком случае появляется аналогия с формулой силы гравитационного притяжения, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Применительно к анализу промышленных рисков возможно использование расстояния не между региональными центрами, а между крупными предприятиями, поскольку именно они являются источниками исследуемого риска. Как и предыдущие, матрицы, $W^3(q)$ также имеет недостатки – в ней не учитывается размер региона. Учесть это позволяет матрица мощностей $W^4(q)$.

$$w_{ij}^4(q) = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j, \\ R_j/d_{ij}^m, & \text{если } d_{ij} \leq D(q), \\ 0, & \text{если } d_{ij} > D(q). \end{cases} \quad (4)$$

Здесь R_j – «мощность» j -го региона. Под «мощностью» можно понимать площадь региона, его численность, валовый региональный продукт и т.п. В рассматриваемой модели мощность региона соответствует ВРП Q_i , $i = \overline{1, n}$.

Таким образом, при исследовании пространственной корреляции можно пользоваться бинарными матрицами W^1 или $W^2(k)$, либо матрицами $W^3(q)$ или $W^4(q)$.

Проверка гипотезы о существовании пространственной корреляции осуществляется с помощью показателя общей пространственной автокорреляции, или индекса Морана I .

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

Здесь Y_i – значение ущерба i -го региона, \bar{Y} – среднее значение исследуемого признака, w_{ij} – элементы матрицы весов. В данной формуле не конкретизируется, какая именно матрица весов используется при подсчете, поскольку любая матрица может быть использована в данной формуле (5).

Визуализация разброса значения исследуемого признака осуществляется при помощи пространственной диаграммы рассеяния Морана. По оси абсцисс откладываются значения стандартизованного исследуемого признака $\hat{Y}_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_Y}$, ($i = \overline{1, n}$), где σ_Y – среднее квадратическое отклонение признака ущерба Y . По оси ординат откладываются значения взвешенных средних признака в соседних регионах $h_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} Y_j$, ($i = \overline{1, n}$). На диаграмме строим линию регрессии, наклон которой равен коэффициенту общей пространственной автокорреляции I . В результате плоскость построения пространственной диаграммы рассеяния делится на четыре области. Каждая из областей, называемых квадрантами, характеризуется определенным типом пространственной близости.

Применение аппарата пространственной корреляции позволяет сформировать следующую формулу для показателя промышленного риска региона.

$$R_i = M[Y_i] + \sum_{j \in \Omega} w_{ij} M[Y_j], \quad (6)$$

$$\Omega = \{j | r_{ij} > 0,7, i \neq j\}$$

r_{ij} – парная корреляция переменных Y_i и Y_j , $j = \overline{1, n}$,

$M[\cdot]$ – математическое ожидание случайной величины.

В (6) учтен риск i -го региона и влияние соседних регионов. При этом следует отметить, что в качестве весов w_{ij} можно использовать веса любой из матриц (1)–(4). Также в формуле (6) учтены только те регионы, которые имеют взаимосвязь с i -м регионом. Математическое ожидание случайной величины ущерба позволяет учесть размер ущерба и вероятность его наступления.

Заключение

Полученная формула (6) позволяет учитывать промышленный риск анализируемого региона и влияние соседних областей, что дает возможность учесть влияние техногенных аварий более полно. Техногенные факторы, воздействуя на окружающую среду, не имеют границ регионов. Распространение вредных выбросов не ограничивается государственными или иными границами. В этой связи проблема оценки промышленного риска региона в совокупности с воздействием соседних промышленных комплексов может быть решена с помощью предложенного показателя промышленного риска с учетом пространственных связей.

Библиографический список

1. Балаш О.С. Пространственный анализ размещения торговых предприятий Саратова // Поволжский торгово-экономический журнал, 2010. № 4. С. 13–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17025663>.

2. Балаш О.С. Особенности пространственного моделирования геокодированных данных // Взаимодействие власти, бизнеса и общества в развитии цифровой экономики: материалы XI Международной научно-практич. конф. 2018. С. 21–24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36563893>.
3. Балаш О.С. Представление пространственных данных при статистическом анализе // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками: материалы VII Международной молодежной научно-практич. конф. Саратов, 2018. С. 26–31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37252689>.
4. Файзлиев А.Р. Математические методы и модели анализа пространственной структуры системы городской торговли: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Волгоград: Волгоградский гос. техн. ун-т, 2014. URL: http://www-tst.vstu.ru/files/autoabstract/6636/matematicheskie_metody_i_modeli_analiza_prostranstvennoy_struktury_sistemy_gorodskoy_torgovli.pdf.
5. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association — LISA // *Geographical Analysis*. 1995. Vol. 27 (2). С. 93–115. URL: <https://web.archive.org/web/20110919052807/http://www.drs.wisc.edu/documents/articles/curtis/cesoc977/Anselin1995.pdf>.
6. Anselin L. *Spatial econometrics: methods and models*. Dordrecht [u.a], Kluwer, 1988. DOI: 10.1007/978-94-015-7799-1.
7. Anselin L., Bera A. Spatian dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. A. Ullah, D.E. Gilles (eds), *Handbook of applied economics statistics*. New York: M. Dekker, 1998, pp. 237–289. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Spatial-Dependence-in-Linear-Regression-Models-with-Anselin-Bera/7effbf9d3ede7b29f29eeb212ec68288eb5fa9a6>.
8. Chen Y. New Approaches for Calculating Moran’s Index of Spatial Autocorrelation // 2013. PLoS ONE 8(7): e68336.
9. Coro ChascoYrigoyen. Course on Spatial Econometrics with Applications. Session 2: Spatial Effects. 2007. URL: http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/coro/docencia/doctorado/spateconUPC/Slides/Session2_Spatial%20effects_Notes.pdf.
10. Danlin Yu. Spatial Association and Spatial Statistic Techniques. 2003. URL: http://www.uwm.edu/People/danlinyu/Spatial_Association.ppt.
11. Introduction to Spatial Analysis. Invited Lecture. Population Science and GISWorkshop, UC Santa. 2006.
12. Балаш В.А., Файзлиев А.Р. Пространственная корреляция в статистических исследованиях // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2008. № 4 (23). С. 122–125. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12950379>.

References

1. Balash O.S. Spatial analysis of the location of trade enterprises in Saratov. *Povolzhskii torgovo-ekonomicheskii zhurnal*, 2010, no. 4, pp. 13–22. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17025663>.
2. Balash O.S. Spatial modeling of special data. In: *Interaction of government, business and society in the development of the digital economy: materials of the XI International research and practical conference*, 2018, pp. 21–24. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36563893>.
3. Balash O.S. Presentation of spatial data in statistical analysis. In: *Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management: materials of the VII International Youth research and practical conference*. Saratov, 2018, pp. 26–31. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37252689>.
4. Phaizliev A.R. Mathematical methods and models for analyzing the spatial structure of the city trade system: author’s abstract of Candidate’s of Economic Sciences thesis. Volgograd: Volgogradskii gos. tekhn. un-t, 2014, 24 p. (In Russ.) Available at: http://www-tst.vstu.ru/files/autoabstract/6636/matematicheskie_metody_i_modeli_analiza_prostranstvennoy_struktury_sistemy_gorodskoy_torgovli.pdf.
5. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis*, 1995, Vol. 27 (2), pp. 93–115. Available at: <https://web.archive.org/web/20110919052807/http://www.drs.wisc.edu/documents/articles/curtis/cesoc977/Anselin1995.pdf>.

6. Anselin L. *Spatial econometrics: methods and models*. Dordrecht [u.a], Kluwer, 1988. DOI: 10.1007/978-94-015-7799-1.
7. Anselin L., Bera A. Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In: *A. Ullah, D.E. Gilles (eds.) Handbook of applied economics statistics*. New York: M. Dekker, 1998, pp. 237–289. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Spatial-Dependence-in-Linear-Regression-Models-with-Anselin-Bera/7effbf9d3ede7b29f29eeb212ec68288eb5fa9a6>.
8. Chen Y. New Approaches for Calculating Moran's Index of Spatial Autocorrelation. 2013. *PLoS ONE*, July 2013, vol. 8, issue 7: e68336. DOI: 10.1371/journal.pone.0068336.
9. Coro Chasco Yrigoyen. *Course on Spatial Econometrics with Applications. Session 2: Spatial Effects*, 2007. Available at: http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/coro/docencia/doctorado/spateconUPC/Slides/Session2_Spatial%20effects_Notes.pdf.
11. Introduction to Spatial Analysis. Invited Lecture. *Population Science and GIS Workshop, UC Santa*, 2006.
12. Balash V.A., Phaizliev A.R. The spatial correlation in statistical researches. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta = Vestnik of Saratov State Socio-Economic University*, 2008, no. 4 (23), pp. 122–125. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12950379>.