

УДК 330.43

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОЦЕНОК ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

¹Коротков П.А., ²Трубьянов А.Б., ³Загайнова Е.А., ¹Никоноров К.Н.

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, e-mail: KorotkovPA@volgatech.net;

²ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола, e-mail: true47@mail.ru;

³ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, e-mail: katenazag@yandex.ru

В статье предложен алгоритм проверки устойчивости (чувствительности) оценок экологической эффективности крупных городов к малым изменениям исходных экологических индикаторов, характеризующих воздействие на окружающую среду, состояние окружающей среды, управление окружающей средой. Проведен анализ устойчивости сводного индекса экологической эффективности и рейтинга крупных городов России. Установлено, что в целом используемые в работе оценки являются робастными к малым отклонениям исходных параметров, однако оценки городов из разных категорий (лидеры, «средняки», отстающие) по-разному реагируют на небольшие изменения, вызванные управляющими воздействиями; наиболее чувствительны к изменениям исходных экологических индикаторов сводные индексы, рассчитанные для крупных городов, входящих в группу «средняков». Рейтинг в целом обладает устойчивостью к малым изменениям исходных экологических индикаторов, максимальное изменение структуры рейтинга достигается в группе лидеров. Обозначены перспективы использования результатов анализа при осуществлении управляющих воздействий и прогнозировании экологической эффективности. Определено предельное значение изменений исходных экологических индикаторов, при котором не происходит качественного изменения экологической эффективности.

Ключевые слова: экологическая эффективность, оценка экологической эффективности, устойчивость, крупные города

ANALYSIS OF ESTIMATES ROBUSTNESS OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF MAJOR CITIES

¹Korotkov P.A., ²Trubyanov A.B., ³Zagaynova E.A., ¹Nikonorov K.N.

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: KorotkovPA@volgatech.net;

²Mari State University, Yoshkar-Ola, e-mail: true47@mail.ru;

³Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, e-mail: katenazag@yandex.ru

The article provides a test algorithm of estimates robustness of environmental performance of major cities in relation to small changes of initial ecological indicators which characterize the impact on the environment, environmental conditions and management. The analysis of estimates robustness of an aggregate index of environmental performance as well as rating of large cities of Russia was carried out in this article. It was found that the estimates used in this work are in general robust to small changes of initial characteristics although estimates of leaders, the middle-based regions and outsiders react in different ways to small changes caused by control actions. More sensitive to changes of initial environmental indicators are aggregate indexes calculated for major cities which correspond to the middle-based regions. As a whole rating is robust to small changes of initial environmental indicators and the maximum change of a rating structure is observed among leaders. In addition the perspectives of using the analysis results while conducting control actions and predicting environmental performance were also determined. The maximum value of changes of initial environmental indicators when there is no qualitative change of environmental performance is also defined.

Keywords: environmental performance, environmental performance estimates, robustness, major cities

Процесс урбанизации характеризуется не только ростом уровня жизни и производительности, но и возникновением экологических угроз, которые могут обесценить достигнутые экономические и социальные результаты. В отличие от развитых стран, которые урбанизовались постепенно, что позволяло им отрабатывать модели роста методом проб и ошибок, развивающиеся страны в условиях быстрой урбанизации не имеют такой возможности и уже сейчас нуждаются в моделях, обеспечивающих экономический рост при снижении ущерба

для окружающей среды и природных ресурсов. Для решения этой задачи используются индикаторы и рейтинги экологической эффективности [3].

Опираясь на концепции эко-эффективности и экологической результативности, авторы предложили подход к оценке экологической эффективности урбанизованных территорий, в соответствии с которым она определяется относительной экологичностью функционирования города в пределах экологической устойчивости природной среды и объемом мероприятий в сфере

управления окружающей средой [2]. В русле данного подхода была разработана модель оценки экологической эффективности крупных городов [6, 7], которая прошла верификацию [5]. В результате апробации данной модели был получен рейтинг крупных городов России по значениям сводного индекса экологической эффективности за 2008, 2009 и 2011 гг. [6, 7] и выполнен анализ динамики частных и сводного индексов экологической эффективности [4].

Вместе с тем полученные оценки экологической эффективности крупных городов должны быть не только достоверными, но и количественно устойчивыми. Предполагается, что малые изменения значений исходных экологических индикаторов не должны приводить к качественному изменению значений сводного индекса экологической эффективности. Именно на оценку устойчивости (чувствительности) сводного индекса экологической эффективности крупных городов направлена данная работа.

Цель работы – разработать и апробировать алгоритм проверки устойчивости (чувствительности) оценок экологической эффективности крупных городов.

Методика расчета сводного индекса экологической эффективности крупных городов, рассмотренная в [6, 7], предусматривает следующий алгоритм.

Сводный индекс I экологической эффективности крупных городов рассчитывался по формуле

$$I = \sqrt[3]{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3}, \quad (1)$$

где I_1 – частный индекс экологической эффективности функционирования города; I_2 – частный индекс экологической устойчивости; I_3 – частный индекс эффективности управления окружающей средой.

Частный индекс экологической эффективности крупного города I_1 «Экологическая эффективность функционирования города» рассчитывался по формуле

$$I_1 = \sum_{i=1}^{s_1} (c_{i1} \cdot \tilde{x}_{i1}), \quad (2)$$

где \tilde{x}_{il} ($i = 1, 2, \dots, s_l$) – i -е индикаторы экологической эффективности s_l интегральной характеристики l ($l = 1$ – эффективность функционирования города), а c_{il} – «веса» этих индикаторов, принятые равными. Частные индексы экологической устойчивости I_2 и эффективности управления окружающей средой I_3 представлены индикаторами экологической эффективности «Уровень загрязнения» (баллов) и «Доля текущих затрат на охрану окружающей среды в объеме промышленного производства» (%).

Исходные экологические индикаторы, характеризующие три составляющих экологической эффективности, включали:

1. «Экологическая эффективность функционирования города»:

$x_{1,1}$ – Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу от стационарных источников: всего на единицу объема промышленного производства (в сопоставимых ценах, 2009 = 1), т/руб.

$x_{2,1}$ – Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу от автомобильного транспорта: диоксид серы (SO_2) на душу населения, кг/чел.

$x_{3,1}$ – Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу от автомобильного транспорта: оксиды азота (NO_x) на душу населения, кг/чел.

$x_{4,1}$ – Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу от автомобильного транспорта: оксид углерода (CO) на душу населения, кг/чел.

$x_{5,1}$ – Удельный сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на единицу объема промышленного производства (в сопоставимых ценах, 2009 = 1), тыс. тыс. куб. м/млн руб.

$x_{6,1}$ – Вывезено спецтранспортом бытового мусора с территорий городов на душу населения, куб. м/чел.

$x_{7,1}$ – Удельный вес площади зеленых насаждений в общей площади земель в пределах городской черты, %.

2. «Экологическая устойчивость»:

$x_{8,2}$ – Уровень загрязнения, баллов.

3. «Эффективность управления окружающей средой»:

$x_{9,3}$ – Доля текущих затрат на охрану окружающей среды в объеме промышленного производства, %.

Для оценки чувствительности сводного индекса экологической эффективности крупных городов к малым изменениям значений исходных экологических индикаторов предлагается использовать следующий алгоритм.

Задаются новые значения исходных экологических индикаторов с шагом, равным 1% от медианы распределения значений соответствующего исходного экологического индикатора крупных городов в базовом году. Максимальное изменение задается равным 50% от медианы.

Новые значения исходных экологических индикаторов рассчитываются по формуле

$$x_{il,j}^{(k)} = x_{il,j}^{(0)} + k, \quad (3)$$

где $x_{il,j}^{(0)}$ – значение i -го ($i = 1, \dots, 9$) исходного экологического индикатора интегральной характеристики l ($l = 1$ – эффективность

функционирования города; $l = 2$ – эффективность управления окружающей средой) для j -го ($j = 1, \dots, 31$) крупного города в базовом году, k ($k = 0,01 \cdot M^{(0)}, \dots, 0,05 \cdot M^{(0)}, \dots, 0,5 \cdot M^{(0)}$) – задаваемый шаг изменения значений $x_{i,j}^{(0)}$, $M^{(0)}$ – медиана распределения значений $x_{i,j}^{(0)}$.

Выбор медианы в качестве базы шага обусловлен стремлением получить одинаковые изменения значений исходного экологического индикатора для каждого крупного города. Среднее арифметическое не используется, поскольку вид распределения исходных экологических индикаторов неизвестен. Значения объема промышленного производства, численности населения крупного города и экологического индикатора «Уровень загрязнения» не изменяются. Изменение значений исходных экологических индикаторов может осуществляться по 4 сценариям: позитивному (значения $x_{1,1}, x_{2,1}, x_{3,1}, x_{4,1}, x_{5,1}, x_{6,1}$ снижаются, $x_{7,1}, x_{9,3}$ – растут), негативному (значения $x_{1,1}, x_{2,1}, x_{3,1}, x_{4,1}, x_{5,1}, x_{6,1}$ растут, $x_{7,1}, x_{9,3}$ – снижаются), «естественному» (значения $x_{1,1}, x_{2,1}, x_{3,1}, x_{4,1}, x_{5,1}, x_{6,1}$ снижаются, $x_{7,1}, x_{9,3}$ – снижаются), «препятствующему» (значения $x_{1,1}, x_{2,1}, x_{3,1}, x_{4,1}, x_{5,1}, x_{6,1}$ растут, $x_{7,1}, x_{9,3}$ – растут).

На каждом шаге k рассчитывается прирост сводного индекса экологической эффективности для каждого крупного города относительно его значения в базовом году по 4 сценариям:

$$\Delta I_j^{(k)} = \left[\left(\frac{I_j^{(k)} - I_j^{(0)}}{I_j^{(0)}} \right) \right] \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где $I_j^{(k)}$ – значение сводного индекса экологической эффективности j -го крупного города, построенного по новым значениям исходного экологического индикатора $x_{i,j}^{(k)}$, а $I_j^{(0)}$ – значение сводного индекса экологической эффективности j -го крупного города в базовом году.

Для наглядности и более детального анализа изменений на каждом шаге k рассчитывается относительный прирост сводного индекса экологической эффективности как медиана распределения прироста сводного индекса экологической эффективности в каждой из 3 групп крупных городов [4] (лидеры, «средняки», отстающие) по 4 сценариям:

$$\Delta I_g^{(k)} = M \left(\Delta I_{j,g}^{(k)} \right), \quad (5)$$

где M – медиана; $\Delta I_{j,g}^{(k)}$ – относительный прирост сводного индекса экологической

эффективности для j -го крупного города, входящего в группу g ($g = 1$ – лидеры, 2 – «средняки», 3 – отстающие).

Используется медиана, а не среднее арифметическое, поскольку вид распределения относительного прироста сводного индекса экологической эффективности крупных городов неизвестен. Анализировать изменение значения медианы распределения относительного прироста сводного индекса экологической эффективности для каждой из трех групп крупных городов в зависимости от изменения исходных экологических индикаторов.

Для оценки устойчивости рейтинга крупных городов по сводному индексу экологической эффективности предлагается использовать ранговый коэффициент перестановок [1]:

$$S = \frac{1}{n_g} \sum_{i=1}^{n_g} \left| N_i^{(0)} - N_i^{(1)} \right|, \quad (6)$$

где $N_i^{(0)}$ – ранг (номер) i -го крупного города, входящего в группу g , в базовом рейтинге по сводному индексу экологической эффективности; $N_i^{(1)}$ – ранг (номер) i -го крупного города, входящего в группу g в новом рейтинге; g – номер группы крупных городов ($g = 1$ – лидеры, 2 – «средняки», 3 – отстающие).

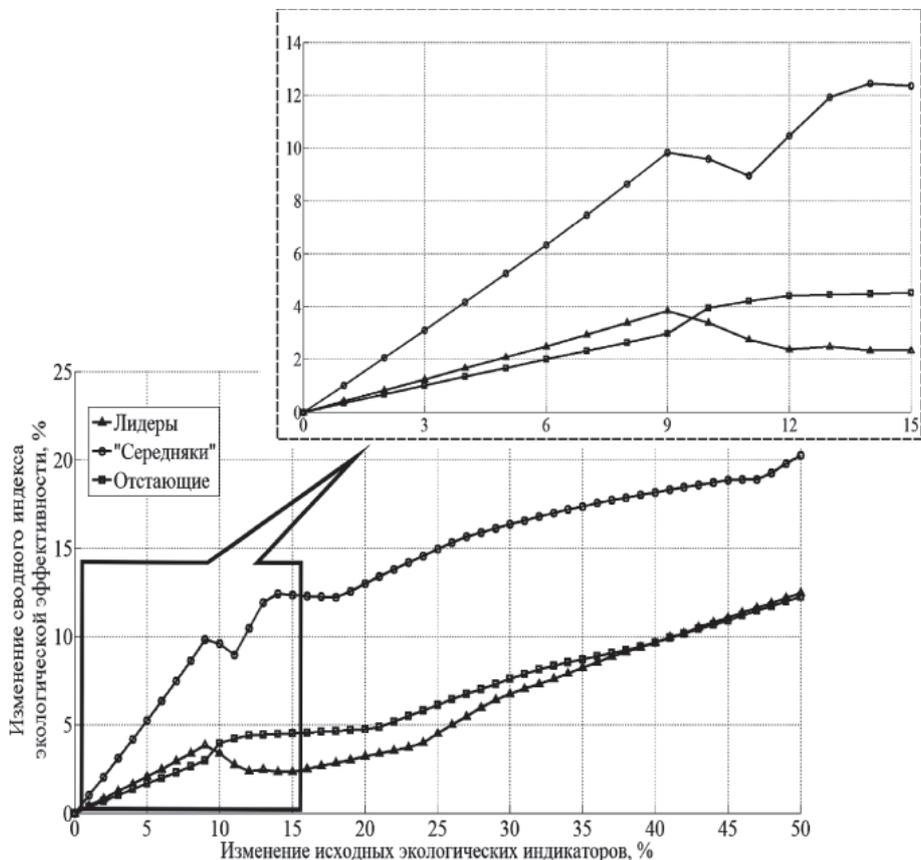
Коэффициент (6) показывает, на сколько мест в рейтинге в среднем передвигается крупный город при задаваемых изменениях исходных экологических индикаторов. Чтобы глубже проанализировать происходящие трансформации с рейтингом при изменении значений исходных экологических индикаторов, целесообразно изучать поведение коэффициента (6) для каждой из 3 групп крупных городов (лидеров, «средняков», отстающих). Это позволит оценить, какая часть рейтинга более чувствительна к изменениям.

Тестировался предложенный алгоритм оценки чувствительности сводного индекса экологической эффективности крупных городов к малым изменениям значений исходных экологических индикаторов. При расчетах за базовый год был принят 2011 г. В качестве исходных экологических данных использовались официальные статистические данные Федеральной службы государственной статистики, Государственного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» [6, 7].

При использовании разных сценариев были получены схожие результаты. Для наглядности на рисунке представлен только негативный сценарий, поскольку именно

при этом сценарии достигаются максимальные изменения значения сводного индекса экологической эффективности при изменении значений исходных экологических индикаторов.

В-третьих, наиболее устойчивы к изменениям исходных экологических индикаторов сводные индексы, рассчитанные для крупных городов, входящих в группы лидеров и отстающих.



Медианы изменений сводного индекса экологической эффективности в зависимости от изменений исходных экологических индикаторов (негативный сценарий)

Анализируя рисунок, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, при изменении исходных экологических индикаторов до значения 9% сводный индекс экологической эффективности изменяется линейно, а за пределом 9% зависимость становится нелинейной. Изменение вида зависимости сводного индекса экологической эффективности от изменений исходных экологических индикаторов свидетельствует о качественном изменении экологической эффективности.

Во-вторых, сводный индекс экологической эффективности крупных городов обладает устойчивостью к малым изменениям исходных экологических индикаторов: при 5% изменении исходных экологических индикаторов максимальное изменение значения медианы сводного индекса составляет 5,2%.

В-четвертых, наиболее чувствительны к изменениям исходных экологических индикаторов сводные индексы, рассчитанные для крупных городов, входящих в группу «средняков».

Выявленные особенности содержат в себе прогностический потенциал, требующий проведения дополнительных исследований. В связи с тем, что группа «средняков» оказалась наиболее чувствительной к малым изменениям исходных экологических индикаторов, политика применения внешних управляющих воздействий к крупным городам этой группы должна быть планомерной, так как при резких изменениях они могут, в зависимости от сценария, либо значительно улучшить свои показатели, либо оказаться в группе отстающих.

Результаты оценки устойчивости рейтинга крупных городов по сводному индексу экологической эффективности представлены в таблице.

Оценки устойчивости рейтинга крупных городов по сводному индексу экологической эффективности

Малое изменение исходных экологических индикаторов	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
Лидеры	0,0	0,4	0,8	0,8	1,06
«Средняки»	0,0	0,0	0,2	0,6	0,6
Отстающие	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
Итого	0,0	0,2	0,5	0,6	0,8

Видно, что рейтинг в целом обладает устойчивостью к малым изменениям исходных экологических индикаторов. Изменение исходных экологических индикаторов на 5% незначительно изменяет структуру базового рейтинга. Если анализировать устойчивость рейтинга по группам, то только в группе лидеров при изменении на 5% крупный город передвигается в среднем на одну позицию.

Выводы и заключение

Таким образом, можно констатировать, что сводный индекс экологической эффективности крупных городов, предложенный в [6, 7], а также рейтинг крупных городов, построенный по сводному индексу экологической эффективности, обладают устойчивостью к малым изменениям значений исходных экологических индикаторов. При этом наиболее чувствительны к изменениям исходных экологических индикаторов сводные индексы, рассчитанные для крупных городов, входящих в группу «средняков». Эта особенность содержит в себе возможности прогнозирования и предвещает повышенные требования к экологической политике, проводимой в отношении группы «средняков», – она должна быть планомерной, без резких управляющих воздействий. Предельное значение изменения исходных экологических индикаторов составляет 9% от медианы распределения этих индикаторов в базовом году. Превышение этого предела приводит к качественному изменению экологической эффективности крупных городов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта проведения научных исследований «Оценка экологической эффективности крупных городов развивающихся стран в условиях быстрой урбанизации», проект № 14-36-01223.

Список литературы

1. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Академическая результативность высших экономических школ России // Современная экономическая теория. – 2014. – Т. 12. – № 1. – С. 13–27.
2. Коротков П.А. Концептуальные подходы к оценке экологической эффективности // Современные проблемы и перспективы социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. – С. 283–288.
3. Коротков П.А., Никоноров К.Н. Показатели экологической эффективности урбанизированных террито-

рий: общий обзор // Международный научный институт «Education». – 2014. – Ч. 3, № 3. – С. 62–66.

4. Коротков П.А., Трубянов А.Б. Анализ динамики индексов экологической эффективности крупных городов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11 (5). – С. 1114–1117.

5. Коротков П.А., Трубянов А.Б., Загайнова Е.А., Никоноров К.Н. Сопоставительный анализ моделей оценки экологической эффективности крупных городов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/122-21064> (дата обращения: 03.08.2015).

6. Коротков П.А., Трубянов А.Б. Оценка экологической эффективности крупных городов в условиях быстрой урбанизации // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 102. – С. 1072–1098.

7. Korotkov P.A. The Approach to Major Cities Environmental Performance Measurement / P.A. Korotkov, L.P. Bakumenko, T.V. Sarycheva // Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015. – Vol 6, № 3 S7. – P. 333–344. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n3s7p333.

References

1. Balackij E.V., Ekimova N.A. Akademicheskaja rezultativnost' vysshih jekonomicheskikh shkol Rossii // Sovremennaja jekonomicheskaja teorija. 2014. T. 12. no. 1 pp. 13–27.
2. Korotkov P.A. Konceptualnye podhody k ocenke jekologicheskoy jeffektivnosti // Sovremennye problemy i perspektivy socialno-jekonomicheskogo razvitiya predpriyatij, otraslej, regionov. Joshkar-Ola: Povolzhskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet, 2014. pp. 283–288.
3. Korotkov P.A., Nikonorov K.N. Pokazateli jekologicheskoy jeffektivnosti urbanizirovannyh territorij: obshhij obzor // Mezhdunarodnyj nauchnyj institut «Education». – 2014. Ch. 3, no. 3. pp. 62–66.
4. Korotkov P.A., Trubyanov A.B. Analiz dinamiki indeksov jekologicheskoy jeffektivnosti krupnyh gorodov // Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 11 (5). pp. 1114–1117.
5. Korotkov P.A., Trubyanov A.B., Zagajnova E.A., Nikonorov K.N. Sopostavitelnyj analiz modelej ocenki jekologicheskoy jeffektivnosti krupnyh gorodov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. no. 2; URL: <http://www.science-education.ru/122-21064> (data obrashheniya: 03.08.2015).
6. Korotkov P.A., Trubyanov A.B. Ocenka jekologicheskoy jeffektivnosti krupnyh gorodov v uslovijah bystroj urbanizacii // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta. 2014. no. 102. pp. 1072–1098.
7. Korotkov P.A. The Approach to Major Cities Environmental Performance Measurement / P.A. Korotkov, L.P. Bakumenko, T.V. Sarycheva // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Vol 6, no 3 S7. pp. 333–344. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n3s7p333.

Рецензенты:

Рыжаков Е.Д., д.э.н., профессор экономики и финансов, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Бакуменко Л.П., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной статистики и информатики, ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола.