

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДИКАТОРА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ КРИВЫХ РОСТА

*канд. физ.-мат. наук, доц. О.Н. БУДЬКО,
ст. преп. Т.В. СЕЛЮЖИЦКАЯ*

(Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Беларусь)

Обеспечение устойчивого снижения вредных воздействий на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности путем экологизации социально-экономического развития на национальном, отраслевом и региональном уровнях является одной из задач для достижения стратегической цели государственной политики в области охраны окружающей среды [1]. В связи с этим необходимо разработать либо систему экологических индикаторов устойчивого развития региона, либо интегральный индикатор, аккумулирующий в себе множество аспектов эколого-экономического состояния и развития региона. Получение прогнозных значений интегрального индикатора эколого-экономического состояния региона позволит осуществлять оперативный мониторинг возможного достижения целей устойчивого развития на региональном уровне.

В работе [2] на основе официальных статистических источников Белстата предложена и сформирована система из 16 показателей, характеризующих эколого-экономическое состояние областей Республики Беларусь и г. Минска; методом главных компонент факторного анализа построен интегральный индикатор эколого-экономического состояния регионов Республики Беларусь по панельным данным за 2008-2016 гг.; дана интерпретация каждого главного фактора.

Цель работы – осуществить прогноз интегрального показателя эколого-экономического состояния регионов на 2017-2018 гг. и оценить его качество.

Расчеты проводились в пакете Statistica и MS Excel. Использовались панельные данные (63 наблюдения), так как количество показателей (16) значительно превосходит количество наблюдений (7) за 1 период – год.

Метод главных компонент факторного анализа позволяет уменьшить количество исходных показателей путем их объединения в один или несколько главных факторов. На основе значений главных факторов можно вычислить интегральный индикатор и построить рейтинги объектов (областей), не используя, например, процедуру экспертного оценивания важности показателей [3, с.13; 4, 5].

Построенный рейтинг можно использовать как для сравнительного анализа позиций областей в пределах одного периода и в динамике, так и для формирования групп объектов (кластеров), внутри которых объекты схожи между собой, а объекты разных кластеров – различны по совокупности рассматриваемых показателей.

Используя вращение факторов квадримакс (*Quartimax raw*), все 16 показателей были сгруппированы в 5 главных факторов. Для расчета интегрального индикатора R_i каждого наблюдения использовалась формула (1).

$$R_i = 29,915 \cdot F_1 + 24,424 \cdot F_2 + 15,461 \cdot F_3 + 10,98 \cdot F_4 + 6,493 \cdot F_5, \quad i = \overline{1,63}. \quad (1)$$

Здесь F_k , $k = \overline{1,5}$ – значения главных факторов (*Factor Scores*), коэффициенты при них – процент сохраняемой дисперсии соответствующим главным фактором.

Наблюдения были ранжированы по интегральному индикатору и сгруппированы по областям за каждый год. В таблице 1 можно пронаблюдать динамику изменения интегрального индикатора по каждой области.

Таблица 1. – Динамика изменения интегрального индикатора эколого-экономического состояния областей Республики Беларусь за 2008-2016 гг.

Области	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Брестская	2,12	4,73	4,78	6,95	9,19	14,04	21,80	29,02	32,47
Витебская	8,05	16,76	17,51	23,29	35,88	50,06	66,17	79,49	68,97
Гомельская	-0,44	-7,16	0,45	22,09	52,16	94,06	65,63	75,10	72,32
Гродненская	-10,17	-3,28	-0,62	2,39	6,18	6,09	10,76	15,54	22,99
г. Минск	-106,9	-109,5	-92,71	-86,53	-78,52	-66,83	-60,37	-44,27	-30,41
Минская	-41,64	-33,02	-40,70	-36,71	-28,54	-22,67	-20,83	-20,04	-16,78
Могилевская	-13,28	-9,50	-4,79	0,30	10,49	10,32	3,16	7,55	17,41

Видно, что значение интегрального индикатора каждой области из года в год возрастает, количество областей с отрицательным значением R_i (ниже среднего уровня) уменьшилось, начиная с 2011 г. до двух. Первое и второе место с 2011 года, чередуясь, занимают Гомельская и Витебская области. На последнем и предпоследнем месте стабильно оказывались г. Минск и Минская область, в большинстве случаев пятое место занимала Могилевская область, Гродненская область – четвертое место, а Брестская область в последние годы занимала третье место, хотя в начале изучаемого периода была на втором.

Для Гродненской, Минской областей и г. Минска были построены адекватные линейные регрессионные модели и на их основе осуществлен точечный и интервальный прогноз на два периода – 2017 и 2018 гг. (таблица 2).

Таблица 2. – Линейные модели, критерии адекватности и прогноз

Области	Модель (p<0,05)	R ²	DW	r(1)	Точечный прогноз	Нижняя граница	Верхняя граница
Гродненская	$\hat{Y} = -10,72 + 3,25 t$ $2,5 \cdot 10^{-8}$	0,990	1,54	–	Y ₂₀₁₇ = 21,78	19,04	24,51
					Y ₂₀₁₈ = 25,03	22,13	27,92
г. Минск	$\hat{Y} = -121,52 + 9,22 t$ $1,5 \cdot 10^{-8}$	0,992	0,95	0,312	Y ₂₀₁₇ = -29,33	-36,50	-22,16
					Y ₂₀₁₈ = -20,11	-27,70	-12,52
Минская	$\hat{Y} = -43,55 + 2,93 t$ $2,4 \cdot 10^{-5}$	0,932	1,08	0,293	Y ₂₀₁₇ = -14,23	-21,0	-7,46
					Y ₂₀₁₈ = -11,30	-18,46	-4,134

Так как p-значения коэффициентов моделей меньше 0,05, то они достоверно отличны от нуля. Коэффициент детерминации у всех моделей очень высокий, больше 0,9.

Проверялось наличие автокорреляции остатков моделей по критерию Дарбина-Уотсона (DW). Для уровня значимости $\alpha=0,05$, числа наблюдений $n=9$ и количества объясняющих переменных $m=1$ табличные статистики Дарбина-Уотсона равны: $d_n=0,82$, $d_b=1,32$ и $4-d_b=2,68$. Так как для модели Гродненской области расчетное значение статистики Дарбина-Уотсона $DW=1,54$ попадает в интервал от $d_b=1,32$ до $4-d_b=2,68$, получаем, что автокорреляции в остатках отсутствует, и модель можно считать адекватной.

Для модели г. Минска $DW=0,95$ находится в промежутке от $d_n=0,82$ до $d_b=1,32$, значит, критерий Дарбина-Уотсона не дает ответа на вопрос о наличии автокорреляции остатков (зона неопределенности). Воспользуемся коэффициентом автокорреляции первого порядка $r(1)$, который вычисляется по остаткам двух соседних наблюдений e_t и e_{t-1} по формуле (2).

$$r(1) = \frac{\sum e_t e_{t-1}}{\sum e_t^2} \quad (2)$$

Табличное значение $r_{\text{табл}}(1) = 0,802$. Так как $r(1) = 0,312 < 0,802$, значит, для модели г. Минска из таблицы 2 автокорреляции в остатках нет, модель является адекватной. Аналогичная ситуация наблюдается и для модели Минской области.

По построенным моделям осуществлен точечный и интервальный прогноз на два периода: 2017 и 2018 гг. Согласно полученному прогнозу, г. Минск и Минская область должны повысить значения своих интегральных показателей, несмотря на это они останутся отрицательными – ниже среднего уровня.

Ситуацию с г. Минском, который оказался в наихудшем положении, можно объяснить тем, что многие показатели исчислялись на единицу площади и оказались слишком большими, некоторые имели нулевое значение.

Для остальных 4 областей построить адекватные линейные модели роста не удалось – присутствует автокорреляция остатков по критерию Дарбина-Уотсона (Брестская и Могилевская область) или по коэффициенту автокорреляции первого порядка $r(1)$. Попытка выполнить линейное авторегрессионное преобразование также не привела к успеху, что можно объяснить малым количеством наблюдений.

Анализ графиков показал, что лучше всего поведение интегрального показателя может быть описано логистической кривой (кривая Перла-Рида) (3). Она представляет S-образную кривую, где $y = K$ – прямая «насыщения».

$$Y_t = \frac{K}{1 + a_0 e^{-a_1 t}} \quad (3)$$

Произведя преобразования и логарифмируя, получаем линейное уравнение регрессии (4). При этом K должно быть известно (определим экспертным путем).

$$\ln\left(\frac{K - Y_t}{Y_t}\right) = \ln a_0 - a_1 t \quad (4)$$

В таблице 3 содержатся результаты построения логистических кривых роста – параметры a_0 , a_1 , и K уравнения (3), критерии адекватности линейных уравнений вида (4) и прогнозы на их основе. Точность аппроксимации – средняя относительная ошибка аппроксимации $A_{\text{отн}}$ плохая для кривых роста Гомельской и Могилевской области. Это можно объяснить наличием аномальных наблюдений.

Таблица 3. – Параметры логистических уравнений, критерии адекватности и прогноз

Области	a ₀	a ₁	K	р-значение	R ²	A _{отн}	DW	Точечный прогноз
							r(1)	
Брестская	26,76	0,417	50	2,08·10 ⁻⁷	0,982	8,93%	0,946	Y ₂₀₁₇ =35,39
							0,346	Y ₂₀₁₈ =39,31
Витебская	13,29	0,47	90	3,53·10 ⁻⁷	0,980	8,5%	1,067	Y ₂₀₁₇ =80,54
							0,30	Y ₂₀₁₈ =83,86
Гомельская	111,92	0,97	85	2,62·10 ⁻⁴	0,867	26,78%	1,052	Y ₂₀₁₇ =79,43
							0,330	Y ₂₀₁₈ =79,78
Могилевская	7,96	0,59	30	4,82·10 ⁻⁵	0,918	23,8%	1,647	Y ₂₀₁₇ =12,39
							–	Y ₂₀₁₈ =12,66

Таким образом, для прогнозирования значений интегрального индикатора было построено два вида кривых роста: линейный тренд для двух областей и г. Минска и логистические функции для четырех областей. Все модели являются адекватными. Построен прогноз на два периода: 2017 и 2018 гг. Прогноз показывает, что наметившаяся тенденция с 2014 г. к стабилизации рейтинга областей сохранится и на последующие два года: рейтинг не изменится. Значения интегрального показателя для всех отраслей увеличивается, но для г. Минска и Минской области по-прежнему будет ниже среднего уровня.

Литература

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. – 2015. – № 4. – С. 6–98.
2. Будько, О.Н. Построение интегрального показателя эколого-экономического состояния регионов Беларуси методами многомерного статистического анализа / О.Н. Будько, Т.В. Селюжицкая // Государство и бизнес. Современные проблемы экономики : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 25–27 апр. 2018 г. / Северо-Западный институт управления РАНХиГС при Президенте РФ. – СПб., 2018. – Т.1. – С. 108–111.
3. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : пер. с англ. / Дж.-О. Ким [и др.] ; под ред. И.С. Енюкова. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
4. Ляликова, В.И. Методологические аспекты ранжирования экономических объектов с помощью методов прикладной статистики / В.И. Ляликова // Весн. Гродз. дзярж. ўн-та імя Янкі Купалы. Сер. 5. Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. – 2010. – № 2. – С. 29–35.
5. Будько, О.Н. Применение методов прикладной статистики для оценки эффективности сельскохозяйственного производства в регионе / О.Н. Будько // Управление в социальных и экономических системах : материалы XXVI Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : МИУ, 2017. – С. 49–50.