

УДК 519.711:004.8:621.513

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДЕКСОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

Сарычева Л. В., Качанов А.В.

*Національний горний університет,
sarycheval@ntu.org.ua, kachanov@alex29.dp.ua*

У статті аналізується сукупність показників десяти глобальних загроз, що породжують «конфлікт ХХІ сторіччя», для 105-ти країн світу. Досліджується структура взаємозв'язків між показниками. У геоінформаційній системі моделюються просторові закономірності розподілу окремих загроз по материках.

Ключеві слова: моделювання, сталий розвиток, головні компоненти, регресійний аналіз, геоіконічне моделювання, ГІС

A set of basic global threats indicators for 105 countries that spawn the “Conflict of XXI Century” is analyzed in the paper. The structure of indicator relations is studied. Modeling of spatial threat distribution patterns for continents is provided using GIS.

Keywords: modeling, sustainable development, principal components, regression analysis, geoiconic simulation, GIS

В статье анализируется совокупность показателей десяти глобальных угроз, порождающих «конфликт ХХІ столетия», для 105-ти стран мира. Исследуется структура взаимосвязей между показателями. В геоинформационной системе моделируются пространственные закономерности распределения отдельных угроз по материкам.

Ключевые слова: моделирование, устойчивое развитие, главные компоненты, регрессионный анализ, геоиконическое моделирование, ГИС

1. Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими задачами. Устойчивое развитие (sustainable development, УР), согласно терминологии международной комиссии по окружающей среде и развитию, – “такая согласованность экономического, экологического и человеческого развития, которая удовлетворяет потребности нынешнего поколения, не подрывая возможностей будущих поколений удовлетворять их собственные потребности”. Теория устойчивого развития стала одним из самых приоритетных и быстро развивающихся направлений науки, стала базовой идеологией всех концептуальных и стратегических государственных и международных документов последнего десятилетия [1-7].

Важной проблемой на пути воплощения концепции устойчивого развития является формирование системы измерений (индексом и индикаторов) для количественной и качественной оценки этого сложного процесса. На международном уровне в настоящее время разработан проект из 134 индикаторов устойчивого развития [6, 8]. Индикаторы устойчивого развития – это соответствующие показатели и критерии, осуществляющие оценку эффективности используемых средств и уровня достижения поставленных целей устойчивого развития.

Рассмотрим совокупность десяти основных глобальных угроз, порождающих «конфликт ХХІ столетия» [1, 3, 5]:

1) энергетическая безопасность (ES – Energy Security Index) – уровень баланса «изготовление - потребление» энергии, которая получается за счет газа, нефти, урана и угля;

2) биологический баланс (FB – Footprint Balance Index) – нарушение баланса между биологической способностью Земли и потребностями человечества в биосфере и изменение мировой демографической структуры (измеряется в общих гектарах на душу населения);

3) неравенство между странами и людьми (GINI – coefficient) – измерение статистического отклонения, используемого для определения неравенства распределения доходов или неравенства распределения благосостояния;

4) уровень коррупции (CP – Corruption Perception Index) – степень восприятия коррупции на уровне государственных чиновников и политиков;

5) ограниченность доступа к питьевой воде (WA – Water Access Index) – процент населения, не имеющего доступа к питьевой воде;

6) глобальное потепление (GW – Global Warming Index) – измеряется по количеству выбросов углекислого газа;

7) детская смертность (CM – Children's Mortality Index) – измеряется количеством детей на 100 родившихся, которые умерли в возрасте до 5 лет;

8) уязвимость к природным катастрофам (ND – Natural Disasters Index) – измеряется на основе общего количества людей, которые гибнут ежегодно вследствие землетрясений, засух, ураганов и наводнений;

9) государственная нестабильность (SF – State Fragility Index) – измеряется на основе ключевых факторов функционирования государства, а именно: безопасности, управления, экономики и социального развития;

10) уязвимость к глобальным болезням (GD – Global Diseases Index) – исчисляется по суммарному количеству людей (млн. в год), которые умерли от рака, ишемической болезни сердца, инсульта (паралича), СПИДа, туберкулеза и малярии.

В работе [5] по нормированным (от 0 до 1) значениям перечисленных десяти показателей для 105-ти стран мира проведен анализ суммарного влияния совокупности угроз на различные страны путем сопоставления с каждой страной нормы Минковского вектора угроз. Приведена классификация стран мира (на пять классов) по этой норме (как степени удаленности от влияния совокупности угроз).

Данная статья посвящена анализу совокупности показателей десяти глобальных угроз, а именно моделированию структуры взаимосвязей между ними и моделированию пространственного распределения отдельных угроз в геоинформационной системе.

2. Постановка задачи. Пусть x_{ij} – значения эколого-социально-экономических (ЭСЭ) показателей (глобальных угроз), которые характеризуют заданное множество регионов в определенный момент времени ($i=1, 2, \dots, n$ – номер региона, n – число регионов (стран), $j=1, 2, \dots, m$ – номер показателя).

Входные данные представляют собой матрицу $(X_1: X_2: \dots: X_m)$ типа «объект-признак», $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})^T$ – вектор-столбец значений j -го показателя для n регионов, $X^i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ – вектор-строка значений m показателей i -го региона, $j=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n$.

Требуется: 1) установить структуру взаимосвязей между X_j (хотя $X_j, j=1, 2, \dots, m$, и являются выходными агрегированными величинами, рассчитанными по различным множествам исходных ЭСЭ-показателей, между ними могут существовать регрессионные зависимости, усиливающие влияние отдельной угрозы); 2) построить геоэкономические модели [9, 10] с целью выявления пространственных закономерностей распределения угроз по материкам.

3. Моделирование взаимосвязей между показателями угроз

Исходные данные для моделирования – численные показатели (индексы) перечисленных десяти глобальных угроз 105-ти стран мира за 2005 год, размещенные на сайте центра данных по устойчивому развитию [3], представляют собой таблицу «объект-признак» размерностью 105×10, десять строк из которой приведены в табл. 1. Обозначим:

- X_1 – энергетическая безопасность (ES),
- X_2 – биологический баланс (FB),
- X_3 – неравенство между странами и людьми (GINI),
- X_4 – чувствительность к коррупции (CP),
- X_5 – ограниченность доступа к питьевой воде (WA),
- X_6 – выбросы CO₂ (GW),
- X_7 – детская смертность (CM),
- X_8 – уязвимость к природным катастрофам (ND),
- X_9 – политическая нестабильность (SF),
- X_{10} – уязвимость к глобальным болезням (GD).

Таблица 1.

Показатели глобальных угроз (0 – максимальная, 1 – минимальная угроза)

№	СТРАНА	ES	FB	GINI	CP	WA	GW	CM	ND	SF	GD
14	Франция	0,031	0,429	0,673	0,730	1,000	0,800	0,980	1,000	0,960	0,773
15	Германия	0,028	0,412	0,717	0,780	1,000	0,673	0,980	1,000	1,000	0,721
20	Великобритания	0,044	0,384	0,640	0,840	1,000	0,673	0,976	1,000	0,920	0,734
25	Латвия	0,141	0,307	0,623	0,480	0,990	0,900	0,956	1,000	1,000	0,479
30	Польша	0,027	0,217	0,655	0,420	1,000	0,733	0,972	1,000	1,000	0,612
32	США	0,028	0,449	0,592	0,720	1,000	0,313	0,972	0,998	0,920	0,721
38	Белоруссия	0,018	0,123	0,703	0,210	1,000	0,780	0,952	1,000	0,880	0,421
50	Украина	0,010	0,106	0,719	0,270	0,960	0,767	0,932	1,000	0,800	0,379
63	Россия	0,562	0,225	0,601	0,230	0,970	0,647	0,928	0,999	0,720	0,321
73	Китай	0,066	0,095	0,553	0,350	0,770	0,873	0,892	0,997	0,600	0,600
№	СТРАНА	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}

На первом этапе в системе STATISTICA проведен разведочный анализ исходных данных, включающий расчет парных коэффициентов корреляции, многомерное шкалирование, анализ главных компонент.

В табл. 2 приведены коэффициенты парной корреляции показателей $X_1 - X_{10}$. Отмечены коэффициенты, значимые для уровня значимости $\alpha=0,05$.

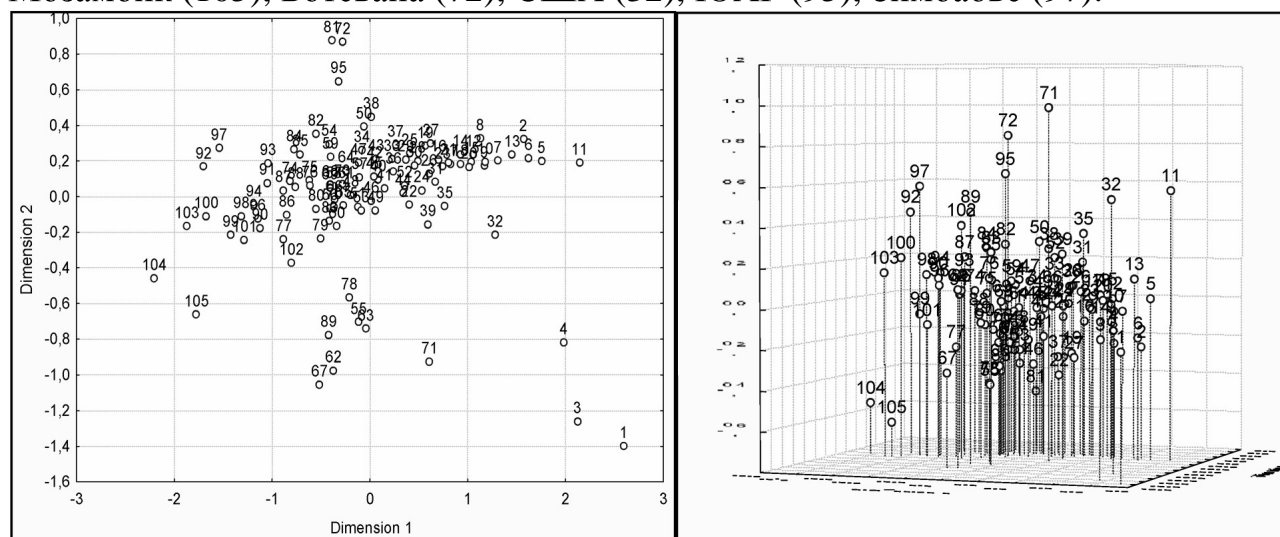
Таблица 2.

Коэффициенты парной корреляции показателей $X_1 - X_{10}$

	ES	FB	GINI	CP	WA	GW	CM	ND	SF	GD
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
ES	1,00	0,12	-0,15	-0,06	-0,28	-0,11	-0,26	-0,10	-0,22	-0,17
FB		1,00	0,28	0,89	0,55	-0,74	0,54	0,20	0,71	0,63
GINI			1,00	0,27	0,11	-0,33	0,25	0,00	0,26	0,22
CP				1,00	0,57	-0,61	0,55	0,20	0,74	0,66
WA					1,00	-0,48	0,79	0,39	0,73	0,56
GW						1,00	-0,49	-0,20	-0,57	-0,40
CM							1,00	0,22	0,80	0,72
ND								1,00	0,24	0,14
SF									1,00	0,65
GD										1,00

Как видно из таблицы, коэффициенты парной корреляции индекса Джини (X_3), уязвимости к природным катастрофам (X_8) и энергетической безопасности (X_1) со всеми остальными девятью рассматриваемыми показателями низкие.

Результаты многомерного шкалирования данных в пространство R^2 и R^3 приведены на рис. 1. Дальше всех от других стран отстоят Канада (1), Норвегия (3), Австралия (4), Люксембург (11), Тринидад и Тобаго (71), Эфиопия (104), Мозамбик (105), Ботсвана (72), США (32), ЮАР (95), Зимбабве (97).

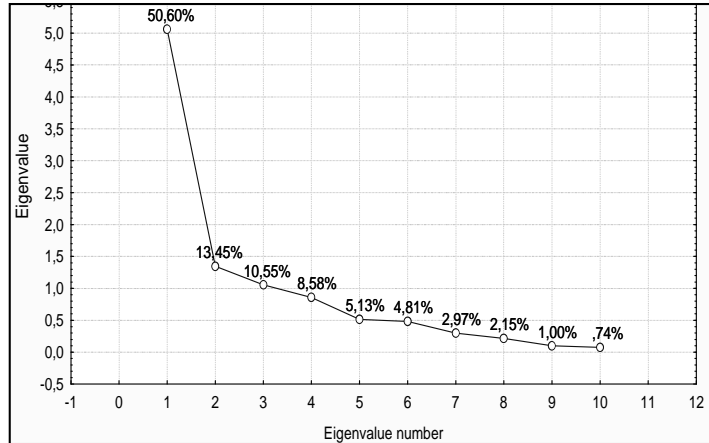
Рис. 1. Результаты многомерного шкалирования данных в пространство R^2 и R^3

Анализ главных компонент позволяет сделать такие выводы. Вклад первых двух главных компонент объясняет только 64%, трех – 74,6%, четырех – 83,2%, пяти – 88,3% общей дисперсии (рис. 2а). Представление объектов на плоскости первых двух главных компонент (рис. 2б) выделяет наиболее (Канада (1), Норвегия (3), Австралия (4)) и наименее (Эфиопия (104), Мозамбик (105))

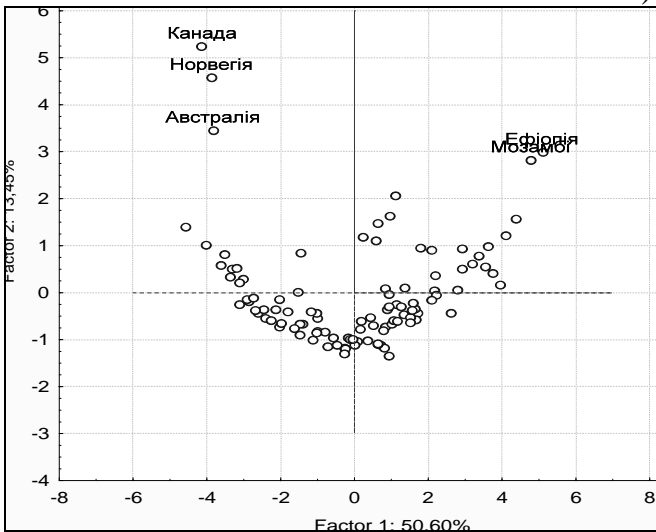
благополучные страны. Наибольший вклад в 1-й фактор вносит SF, во 2-й – ES, в 3-й – GINI, в 4-й – ND, в 5-й – CP, в 6-й – GD, в 7-й – GW, в 8-й – WA, в 9-й – CM, в 10-й – FB (рис. 2в).

Таблица 3.

	собств. знач.	% всего	накоп. собств. знач.	накоп. %
1	5,06	50,60	5,06	50,60
2	1,35	13,45	6,40	64,05
3	1,06	10,55	7,46	74,60
4	0,86	8,58	8,32	83,18
5	0,51	5,13	8,83	88,31
6	0,48	4,81	9,31	93,13
7	0,30	2,97	9,61	96,10
8	0,22	2,15	9,83	98,25
9	0,10	1,00	9,93	99,26
10	0,07	0,74	10,00	100,00



а)



б)

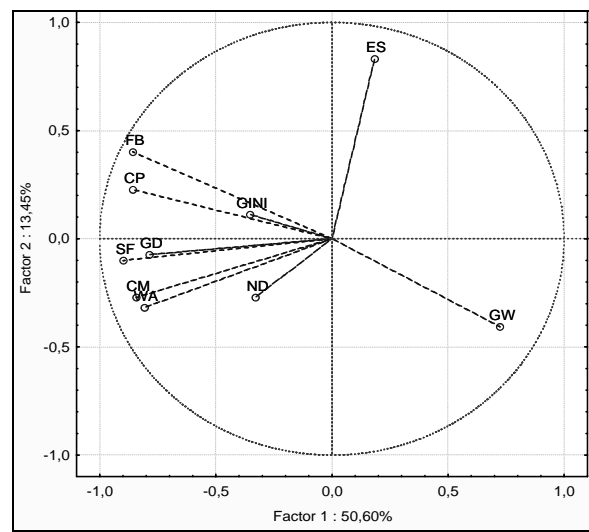


Таблица 4.

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6	Фактор 7	Фактор 8	Фактор 9	Фактор 10
ES	0,01	0,51	0,10	0,00	0,10	0,20	0,05	0,00	0,01	0,02
FB	0,15	0,12	0,00	0,00	0,08	0,02	0,01	0,02	0,06	0,56
GINI	0,02	0,01	0,46	0,37	0,01	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
CP	0,15	0,04	0,00	0,01	0,27	0,02	0,07	0,02	0,05	0,38
WA	0,13	0,07	0,04	0,00	0,13	0,01	0,06	0,47	0,09	0,00
GW	0,10	0,12	0,00	0,05	0,10	0,22	0,35	0,01	0,01	0,03
CM	0,14	0,05	0,00	0,03	0,21	0,06	0,00	0,04	0,47	0,00
ND	0,02	0,05	0,38	0,43	0,04	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00
SF	0,16	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,16	0,42	0,21	0,00
GD	0,12	0,00	0,01	0,09	0,07	0,33	0,26	0,00	0,10	0,00

в)

Рис. 2. Главные компоненты: а) собственные значения и их вклад в дисперсию; б) представление объектов на плоскости первых двух главных компонент и проекция признаков (угроз) на фактор-план; в) вклад признаков в главные компоненты

На основе данной информации могут быть найдены средние по совокупности стран показатели эластичности:

$$E_{yX_i} = b_i \frac{\bar{X}_i}{\bar{y}},$$

где \bar{X}_i – средние значения признаков, b_i – коэффициенты регрессионного уравнения для y (в роли y выступает в j -м уравнении $X_j, j=1,2,\dots,10$).

Например, для второго уравнения $X_2=0,02+0,19X_1+0,04X_3+0,57X_4+0,08X_5-0,32X_6-0,08X_7-0,004X_8+0,78X_9+0,17X_{10}$ коэффициент эластичности

$$E_{X_2X_4} = \frac{0,565 \cdot 0,434}{0,210} = 1,168$$

означает, что с ростом показателя X_4 на 1% величина показателя X_2 в среднем по совокупности регионов возрастет на 1,17% при неизменных X_1, X_3, X_5-X_{10} . Расчет коэффициентов эластичности говорит, что наибольшее воздействие на величину показателя X_1 оказывают показатели X_2, X_3, X_5 , а на X_2 – показатель X_4, X_6 : $E_{X_1X_2} = 1,02$; $E_{X_1X_3} = -1,34$; $E_{X_1X_5} = -2,21$; $E_{X_2X_6} = -1,25$.

Остальные коэффициенты эластичности (по модулю) меньше единицы, поэтому можно считать аналогичные воздействия незначительными.

На основе анализа диаграмм рассеяния пар показателей подбирался вид нелинейной регрессионной модели (например, $\lg X_2 = a_0 + a_1 X_1 + a_3 X_3 + \dots + a_{10} X_{10}$) и рассчитывались ее коэффициенты. При этом структура основных взаимосвязей изменилась незначительно. Поэтому можно считать объективно существующими зависимости:

$$\begin{aligned} X_1 &= f_1(X_2, X_3, X_5), & X_6 &= f_6(X_2, X_{10}), \\ X_2 &= f_2(X_1, X_4, X_6, X_{10}), & X_7 &= f_7(X_4, X_5, X_9, X_{10}), \\ X_3 &= f_3(X_1, X_5), & X_8 &= f_8(X_5), \\ X_4 &= f_4(X_2, X_7, X_9), & X_9 &= f_9(X_4, X_7), \\ X_5 &= f_5(X_1, X_3, X_7, X_8), & X_{10} &= f_{10}(X_2, X_6, X_7). \end{aligned}$$

Чаще других (четырежды) в этих зависимостях встречаются показатели X_2, X_5, X_7 (биологический баланс, доступ к питьевой воде, детская смертность), трижды встречаются показатели X_1, X_{10} (энергетическая безопасность, уязвимость к глобальным болезням).

4. Геоиконическое моделирование показателей глобальных угроз

Геоиконические модели основаны на иконическом способе отображения ЭСЭ-информации, упорядоченной с помощью географической карты. Геоиконическое моделирование в геоинформационной системе является эффективным инструментом поддержки принятия решений на различных уровнях регионального управления [11-13].

В геоинформационной системе ArcGIS создана база атрибутивных данных. Кроме исходных векторов угроз, в нее включены рассчитанные по моделям значения угроз, а также регрессионные остатки. Для каждой из угроз построены

три ранговые картограммы, пример которых для биологического баланса дан на рис. 3.

В ArcGIS построены две геоиконические модели (каждая из которых включает 10 карт), отражающие пространственное распределение наибольших и наименьших показателей глобальных угроз. Первая модель (рис. 4) построена с применением схемы классификации «стандартное отклонение» [14]. Темным цветом окрашена территория стран, для которых показатель X_j , $j=1,2,\dots,10$, больше, чем величина $(\mu_j+\sigma_j)$ – «среднее значение + стандартное отклонение», а светлым – территория стран, для которых показатель X_j меньше, чем $(\mu_j-\sigma_j)$.

Вторая модель (рис. 4) построена с применением схемы классификации «квантиль» [14]. Она выделяет 10% стран, для которых показатель X_j , $j=1,2,\dots,10$, имеет значения, большие чем $x^j_{0,9}$ (темным цветом) и 10% стран, для которых показатель X_j , $j=1,2,\dots,10$, имеет значения меньше $x^j_{0,1}$ (светлым). Значения $x^j_{0,1}$, $x^j_{0,9}$ – децили эмпирического распределения показателя.

В таблице 7 представлены обобщенные результаты, полученные на основе визуального анализа обеих моделей. Глобальная угроза для Австралии и Северной Америки – выбросы CO_2 (GW), для Южной Америки – неравенство и чувствительность к коррупции (GINI, CP), для Азии – уязвимость к природным катастрофам, глобальным болезням и чувствительность к коррупции. Шесть глобальных угроз (FB, GINI, GD, CP, CM, SF) характерны для Африки. Ни одна из восточноевропейских стран не входит в 10% регионов с наименьшими значениями X_j , $j=1,2,\dots,10$, ($X_j=0$ максимальная, $X_j=1$ – минимальная угроза). В то же время в Восточной Европе выделяются темным цветом страны с высокими значениями FB, GINI, CP, CM, ND, SF, WA, GD, поэтому в рассматриваемом аспекте здесь наилучшая ситуация.

Таблица 7.

Результаты классификации территорий по влиянию глобальных угроз

Территория	Стандартное отклонение		Квантиль	
	$X_j > \mu_j + \sigma_j$	$X_j < \mu_j - \sigma_j$	$X_j > x^j_{0,9}$	$X_j < x^j_{0,1}$
Европа (Восточная)	ES, FB, GINI, CP, SF	WA, GW, CM, GD	FB, GINI, CP, CM, ND, SF, WA, GD	
Европа (Западная)	ES, FB, GINI, CP, SF, GD		ES	GW, GD
Азия	ES	GW, ND, GD	ES	CP, ND, GD
Австралия	ES, FB, CP, GD	GW, CM	ES, FB, WA, CP, GD	GW
Северная Америка	ES, FB, CP, SF, GD	GW, CM	ES, FB, CP, WA, SF, GD	GW
Южная Америка		GINI		GINI, CP
Африка	ES	GINI, WA, SF, GD	GW	FB, CM, GD, GINI, CP, SF

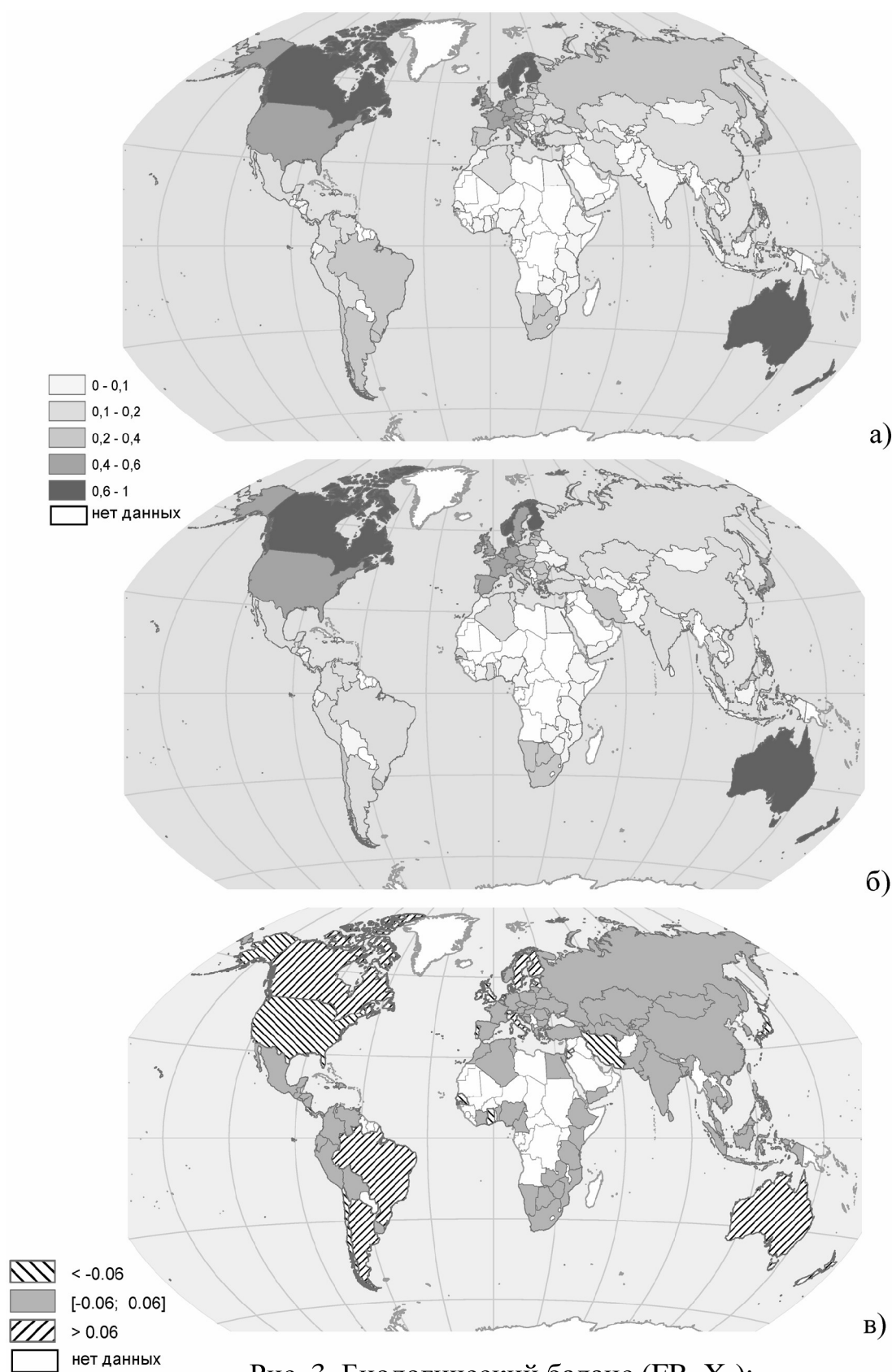


Рис. 3. Биологический баланс (FB, X_2):
 а) исходные значения показателя X_2
 б) рассчитанные по модели f_2 значения показателя X_2
 в) регрессионные остатки модели f_2

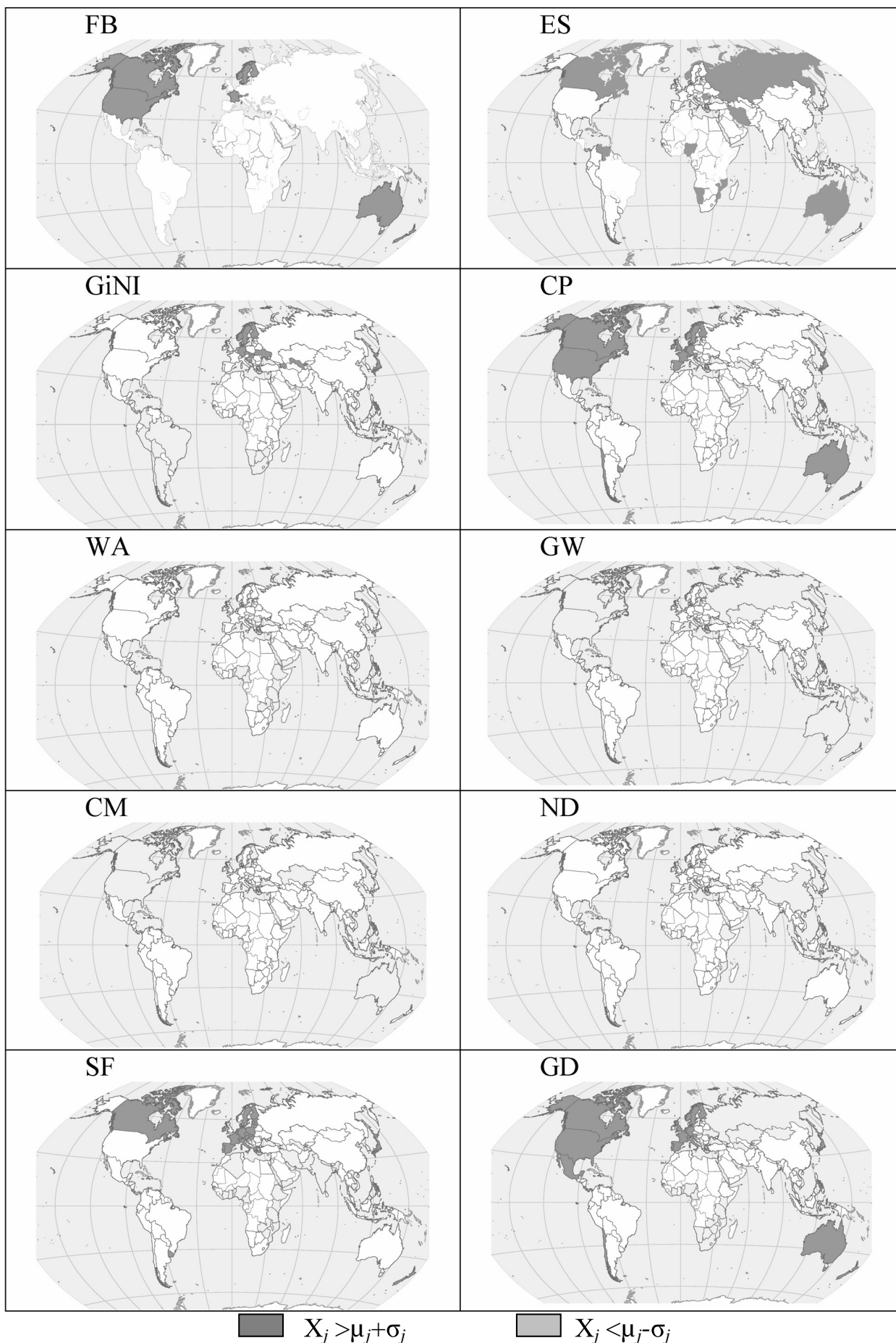


Рис. 4. Геоиконическая модель глобальных угроз «стандартное отклонение»

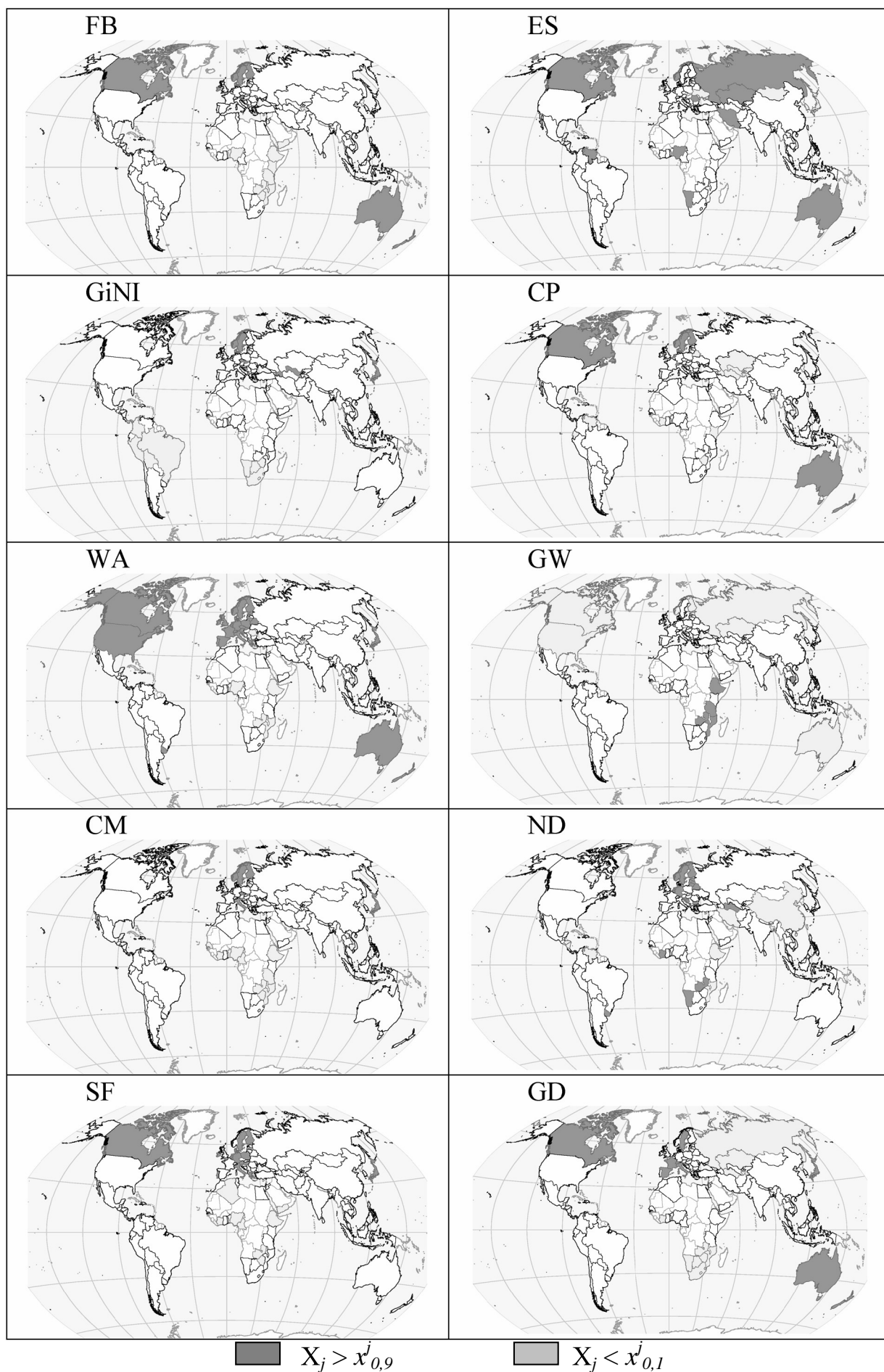


Рис. 5. Геоіконічна модель глобальних угроз «квантиль»

Выводы. Проведен анализ совокупности показателей десяти глобальных угроз для 105-ти стран мира. Определена структура взаимосвязей между показателями. В геоинформационной системе ArcGIS построены геоиконические модели, отражающие пространственные закономерности распределения отдельных угроз по материкам и показывающие, что в Восточной Европе наилучшая, а в Африке наихудшая ситуация в аспекте влияния совокупности глобальных угроз на устойчивое развитие регионов.

Литература

1. Humanity's Ecological Footprint // Эл. Ресурс. URL: http://www.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/footprint/
2. Людський розвиток регіонів України: методика оцінки та сучасний стан / Лібанова Е.М., Власенко Н.С., Власюк О.С.– Київ: СПД Савчина, 2002.– 123 с.
3. Analysis of sustainable development processes in the context of life security // Эл. Ресурс. URL: <http://wdc.org.ua/sites/default/files/sd/en/sd2008-3-analysis-of-global-threats-impact-en.pdf>
4. Данилов-Данильян, В. И. Экологический вызов и устойчивое развитие / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. - М.: Прогресс-Традиция, 2000. - 414 с.
5. М.З. Згуровский, А.Д. Гвишиани. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей (2005-2007/2008 годы). — К.: Издательство «Политехника», 2008. — 331с.
6. Human Development Report 2007/2008 // Эл. ресурс. URL: <http://hdr.undp.org>
7. Страны и регионы мира: экономико-политический справочник // Эл. ресурс. URL: <http://slovari.yandex.ru/dict/countries>
8. The Global Competitiveness Report, 2007-2008 // Эл. ресурс. URL: <http://www.weforum.org>
9. Сарычева Л.В. Интеллектуальный анализ показателей эколого-социально-экономического мониторинга регионов // Штучний інтелект.– 2008.– № 4.– С.137–148.
10. Сарычева Л.В. Геоиконическое моделирование показателей устойчивого развития регионов. – Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – Т.7. Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: Навч. книга, 2003. – С.116-133.
11. Сарычева Л.В. Компьютерный эколого-социально-экономический мониторинг регионов. Математическое обеспечение. – Монография. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 223 с.
12. Сарычева Л.В. Компьютерный эколого-социально-экономический мониторинг регионов. Геоинформационное обеспечение. – Монография. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 174 с.
13. Сарычева Л.В. Эколого-социально-экономический мониторинг: выделение аномалий регионального развития. – Сб. науч. тр. НГУ.– №18, Т.2. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – С.124-136
14. Сарычева Л.В. Качанов О.В. Схеми класифікації регіонів за показниками еколого-соціально-економічного моніторингу в геоінформаційній системі. – Геоінформатика, 2002, №4. – С.53-63.