

В. Е. Морозова^{1✉}, М. В. Мишенин²

Экологический мониторинг регионов России

¹ Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: v.morozova2@g.nsu.ru

Аннотация: В статье представлен подход к построению экологического рейтинга регионов России, рассчитанного с применением метода главных компонент на основе экологических и социально-экономических показателей за 2023 год, отражающих уровень антропогенной нагрузки, степень природоохранной деятельности и состояние окружающей среды в регионах. Итоговое значение рейтинга рассчитывалось как сумма произведений значений переменных на соответствующие веса и доли объяснённой дисперсии. Проведённый анализ позволил выявить закономерности пространственного распределения экологического благополучия: в число регионов-лидеров вошли преимущественно малонаселённые и слабо индустриализированные субъекты с высокой долей природных территорий и минимальной нагрузкой на окружающую среду. В числе аутсайдеров оказались высоко урбанизированные и промышленно развитые регионы, характеризующиеся высокой концентрацией загрязняющих выбросов и интенсивным использованием природных ресурсов. Полученные результаты могут быть использованы при формировании экологической политики, а также при территориальном планировании и оценке устойчивого развития.

Ключевые слова: экологический рейтинг, экологическая устойчивость, мониторинг, метод главных компонент

V. E. Morozova^{1✉}, M. V. Mishenin²

Ecological monitoring of Russian regions

¹ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: v.morozova2@g.nsu.ru

Abstract. The article presents an approach to creating the ecological rating of Russian regions, calculated using the principal component method based on ecological and socio-economic indicators for 2023, reflecting the level of anthropogenic pressure, the degree of environmental protection activities and the state of the environment in the regions. The final rating value was calculated as the sum of the products of the values of the variables by the corresponding weights and fractions of the explained variance. The analysis revealed patterns in the spatial distribution of environmental sustainability: the leading regions included mostly sparsely populated and poorly industrialized regions with a high proportion of natural territories and minimal environmental impact. Highly urbanized and industrialized regions, characterized by high concentrations of polluting emissions and intensive use of natural resources, were among the outsiders. The results obtained can be used in the formation of environmental policy, as well as in territorial planning and assessment of sustainable development.

Key words: ecological rating, ecological sustainability, monitoring, principal component analysis

Введение

Актуальность данного исследования определяется необходимостью комплексного анализа экологического состояния регионов Российской Федерации с целью выявления их сильных и слабых сторон в контексте устойчивого развития. Углубляющееся антропогенное воздействие на природные системы актуализирует потребность в создании объективных и комплексных подходов к оценке экологической обстановки, направленных на достижение баланса между растущими потребностями общества и сохранением природных экосистем [1]. Одним из эффективных инструментов анализа выступает экологическое ранжирование, позволяющее оценить уровень экологической устойчивости территорий и проанализировать эффективность природоохранной политики.

Применение метода главных компонент при построении экологического рейтинга позволяет не только выделить регионы с наиболее и наименее благоприятной экологической ситуацией, но и выявить взаимосвязи между ключевыми экологическими и социально-экономическими индикаторами [2, 3]. Полученные результаты могут служить основой для формирования обоснованных рекомендаций по совершенствованию региональной экологической политики, обеспечению рационального природопользования и снижению техногенного давления на окружающую среду [4-6].

Цель исследования: разработка экологического рейтинга регионов России с использованием метода главных компонент.

Методическая часть

Метод главных компонент представляет собой эконометрический механизм анализа данных, применяющийся для уменьшения размерности пространства и линейной аппроксимации изучаемых наблюдений.

Пространство Z представляется как линейная комбинация стандартизированных исходных переменных и коэффициентов, отражающих вклад X в Z . Преобразование имеет следующий вид:

$$z_j = \sum_{i=1}^n \delta_{ji} x_i, \quad i = \overline{1, k},$$

где z_j – главная компонента ($j = \overline{1, m}$); x_i – стандартизированная исходная переменная, δ_{ji} – весовой коэффициент, отражающий долю переменной z_i в главной компоненте z_j [2].

Результаты расчетов

Для проведения анализа в качестве исходных данных были отобраны 17 количественных эколого-экономических показателей по 85 регионам России за 2023 год. Перечень используемых переменных и их обозначение в модели приведены в таблице 1.

Перечень используемых переменных

Атмосферные выбросы и их контроль	
<i>a</i>	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников (тысяч тонн)
<i>b</i>	Улавливание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников (тысяч тонн)
<i>c</i>	Доля уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферу веществ в общем количестве отходящих загрязняющих веществ от стационарных источников (%)
Водные ресурсы и загрязнение воды	
<i>d</i>	Использование свежей воды (млн куб. м)
<i>e</i>	Объем оборотной и последовательно используемой воды (млн куб. м)
<i>f</i>	Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (млн куб. м)
Финансирование и инвестиции в экологию	
<i>g</i>	Расходы на охрану окружающей среды (млн руб.)
<i>u</i>	ВРП на душу населения
Промышленная деятельность и инфраструктура	
<i>i</i>	Степень износа основных фондов (%)
<i>j</i>	Добыча полезных ископаемых
<i>k</i>	Обрабатывающие производства
<i>l</i>	Производство электроэнергии (млрд кВт·ч)
<i>r</i>	Электроемкость ВРП
Лесные ресурсы	
<i>n</i>	Доля площади лесных и нелесных земель, пройденная пожарами, в общей площади региона (%)
<i>o</i>	Доля площади зеленых насаждений в пределах городской черты в общей площади городских земель (%)
Транспорт	
<i>q</i>	Грузооборот автомобильного транспорта (млн т·км)
Социально-демографические показатели	
<i>v</i>	Среднесписочная численность населения

Матрица исходных данных была унифицирована в зависимости от направленности влияния факторов на экологическую обстановку регионов и центрирована для дальнейших расчетов, так как исходные данные были представлены в разных единицах измерения [7]. Вычисления главных компонент производилось с помощью программы R, предназначенной для анализа и визуализации многомерных данных.

Были рассчитаны значения главных компонент, которые не интерпретируются прямо [8] и используются для дальнейших вычислений. Так же были получены основные статистические характеристики ГК (табл. 2):

Основные характеристики главных компонент

	Собственные числа	Объясняемая дисперсия, %	Кумулятивная дисперсия, %
ГК 1	0,181	34,236	34,236
ГК 2	0,082	15,443	49,679
ГК 3	0,061	11,631	61,310
ГК 4	0,045	8,434	69,744
ГК 5	0,038	7,153	76,896
ГК 6	0,026	4,856	81,752
ГК 7	0,021	3,974	85,726
ГК 8	0,019	3,504	89,230
ГК 9	0,014	2,626	91,856
ГК 10	0,012	2,360	94,215
ГК 11	0,011	2,082	96,298
ГК 12	0,007	1,370	97,667
ГК 13	0,005	0,899	98,567
ГК 14	0,004	0,673	99,240
ГК 15	0,002	0,321	99,561
ГК 16	0,001	0,268	99,829
ГК 17	0,001	0,171	100,000

На рисунке 1 показаны вклады каждой компоненты в общую дисперсию исходного набора данных. По критерию Кайзера для отбора оптимального количества главных компонент, необходимо определить количество главных компонент, для которых их собственные числа корреляционной матрицы превосходят среднее собственных чисел. В данном случае для дальнейшего анализа достаточно оставить в модели первые пять главных компонент, при этом они суммарно объясняют 76,9% вариации исходных данных.

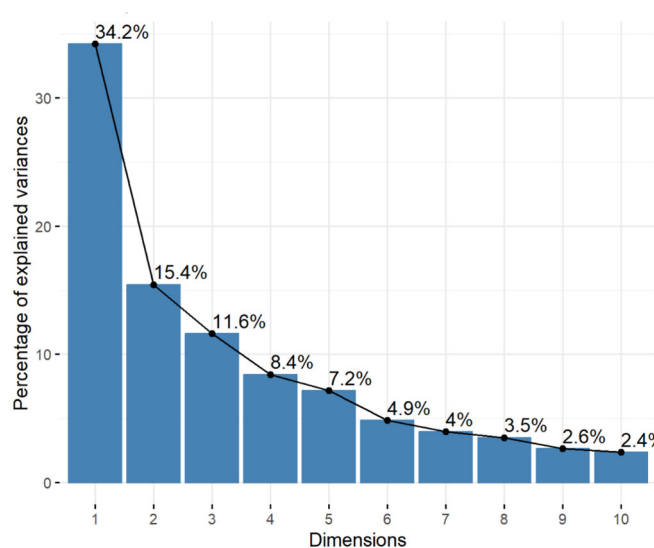


Рис. 1. Объясняемая главными компонентами дисперсия исходных данных.

Была рассчитана матрица весовых коэффициентов, с которыми унифицированные и стандартизированные исходные данные входят в главные компоненты (табл. 3):

Таблица 3

Матрица весов

	ГК 1	ГК 2	ГК 3	ГК 4	ГК 5
<i>a</i>	0,086	0,014	0,038	-0,075	-0,021
<i>b</i>	-0,102	0,045	-0,019	0,056	0,041
<i>c</i>	-0,135	0,246	0,030	-0,015	-0,011
<i>d</i>	0,133	0,044	0,047	-0,002	0,165
<i>e</i>	-0,169	-0,016	-0,077	-0,006	0,027
<i>f</i>	0,126	0,046	-0,075	0,045	-0,001
<i>g</i>	-0,108	-0,031	0,000	0,050	0,033
<i>i</i>	-0,005	0,003	0,183	0,091	-0,044
<i>j</i>	0,040	0,008	0,007	-0,002	-0,023
<i>k</i>	0,092	0,044	-0,059	0,046	-0,017
<i>l</i>	0,178	0,037	0,037	-0,048	0,000
<i>n</i>	0,003	-0,027	-0,012	-0,022	-0,017
<i>o</i>	-0,031	-0,039	0,033	0,047	0,024
<i>q</i>	0,132	0,032	-0,041	0,073	-0,049
<i>r</i>	0,021	-0,051	0,024	-0,032	0,006
<i>u</i>	-0,006	0,051	-0,007	-0,075	-0,024
<i>v</i>	0,103	0,040	-0,054	0,060	0,001

По взвешенному на доли объясненной дисперсии вкладу переменных в главные компоненты, наиболее значимыми оказались переменные, связанные с водными ресурсами и загрязнениями воды, автомобильным грузооборотом и производством электроэнергии. Наименее значимыми – электроемкость ВРП, инвестициями в ОК и лесными ресурсами.

Способ расчёта экологического рейтинга представляет собой взвешенную сумму произведений унифицированных и стандартизированных исходных значений показателей на соответствующие веса, с которыми эти показатели входят в главные компоненты, а также на доли дисперсии, объясняемой каждой из выбранных компонент [7]. Результаты расчетов представлены в таблице 4 и на рисунке 2.

Таблица 4

Экологический рейтинг регионов России за 2023 год

№	Регион	Рейтинг
1	Республика Алтай	100,00
2	Еврейская автономная область	99,14
3	Чукотский автономный округ	98,60
4	Республика Калмыкия	97,86

5	Камчатский край	97,73
6	Республика Ингушетия	96,87
7	г. Севастополь	96,63
8	Карачаево-Черкесская Республика	95,66
9	Республика Тыва	95,62
10	Ненецкий автономный округ	95,36
...	...	...
76	Волгоградская область	45,46
77	Ленинградская область	37,18
78	Иркутская область	36,64
79	Челябинская область	34,53
80	Республика Татарстан	34,13
81	Московская область	21,67
82	Ханты-Мансийский автономный округ	10,19
83	Красноярский край	6,78
84	г. Москва	4,04
85	Свердловская область	0,00

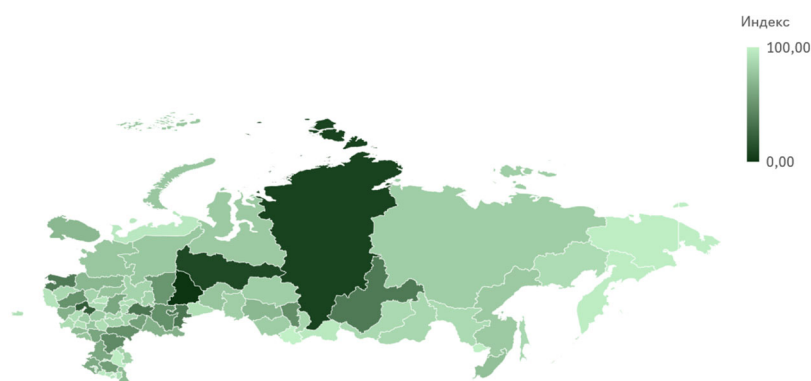


Рис. 2. Экологический рейтинг регионов России за 2023 год

В ходе анализа экологического рейтинга регионов наблюдается отчётливая дифференциация субъектов Российской Федерации по уровню экологической нагрузки. Топ-10 регионов, занявших лидирующие позиции в рейтинге, характеризуются низким уровнем индустриализации и экономической активности. Данные регионы обладают низким уровнем потребления природных ресурсов, а также демонстрируют минимальные объёмы выбросов и сбросов загрязняющих веществ, что обусловлено в том числе слаборазвитой промышленной инфраструктурой. Кроме того, в этих регионах наблюдается малочисленное население, что снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду. Таким образом, несмотря на относительно низкие экономические показатели, данные субъекты демонстрируют экологически благоприятные условия, что закономерно отражается в высоких позициях в итоговом рейтинге.

Последние 10 регионов в рейтинге характеризуются высокой степенью индустриализации и урбанизации, а также высоким уровнем потребления природных ресурсов. В данных субъектах наблюдается высокие значения ВРП на душу населения и численности населения, что сопряжено с ростом экологической нагрузки. Существенные расходы на охрану окружающей среды, наблюдаемые в этих регионах, направлены на решение уже имеющихся экологических проблем и выступают скорее следствием высокого уровня антропогенных загрязнений, чем признаком устойчивого природоохранного управления. В совокупности все эти факторы формируют отрицательный экологический баланс, что сигнализирует о необходимости более активного финансирования мер, направленных на охрану окружающей среды, в данных регионах [9].

Таким образом, с помощью метода главных компонент был проанализирован набор факторов, связанный с экологической обстановкой в регионах, при учете информативности и значимости данных факторов. Высокий экологический рейтинг характерен для слабо индустриализированных и малонаселённых регионов с низким потреблением природных ресурсов и низкой антропогенной нагрузкой. В то время как регионы с развитой промышленностью, высокой плотностью населения и урбанизацией, напротив, демонстрируют отрицательные экологические показатели, занимая худшие позиции в рейтинге.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках базового проекта НИР лаборатории 1105 ИНГГ СО РАН № FWZZ-2022-0029.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерлыгина Е. Г., Штебнер С. В. Экологическая устойчивость в концепции устойчивого развития // Бюллетень науки и практики. – 2022. – № 6.2.
2. Айвазян С. А., Мехтиев М. Е., Стефанюка Е. М. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
3. Николаев И. А., Ануфриева И. Е., Григорьев Л. М. Индекс антикризисной эффективности: аналитический доклад. – М.: Департамент стратегического анализа, 2009. – 34 с.
4. Коржубаев А.Г., Филимонова И.В., Эдер Л.В. О реальных перспективах комплексного освоения ресурсов нефти и газа востока России // Нефтегазовая вертикаль. – 2010. – № 20. – С. 22-26.
5. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Немов В.Ю., Комарова А.В. Структурные изменения в нефтедобыче России // Экологический вестник России. – 2018. – № 1. – С. 1-8.
6. Eder L.V., Filimonova I.V., Provornaya I.V., Nemov V.Yu. The current state of the petroleum industry and the problems of the development of the Russian economy // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources, KTDMUR 2017. – 2017. – С. 012012.
7. Жгун Т.В. Построение интегральной характеристики качества жизни субъектов Российской Федерации с помощью метода главных компонент // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – № 2 (50). – С. 186–202.
8. Поляк Б. Т., Гранат Р. А., Кривулин Н. К. Метод главных компонент: робастные версии // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 3. – С. 130–148.
9. Алешникова В. И., Бурцева Т. А. Интегральный измеритель экологического развития регионов // Российский социально-экологический университет (РСЭУ). – 2023. – № 2 (61).

© В. Е. Морозова, М. В. Мишенин, 2025