

## ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)

Басуров В.А.<sup>1</sup>, Зазнобина Н.И.<sup>1</sup>, Молькова Е.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, e-mail: basurov@mail.ru

Работа посвящена определению уровня антропогенного воздействия на территории, с учетом особенностей конкретных социо-эколого-экономических систем (СЭЭС) на примере регионов Приволжского федерального округа. На основе официальных показателей Федеральной службы государственной статистики была сформирована база данных для СЭЭС Приволжского федерального округа за 2009 г. Учитывая, что субъекты ПФО являются разноразмерными территориями, в работе использован подход для уменьшения влияния указанного обстоятельства и корректного сопоставления СЭЭС. Для сравнения СЭЭС регионов, характеризующихся разноразмерными показателями, использовалась методика расчета обобщенной функции желательности. Проанализирована пространственная динамика распределения значений обобщенной функции желательности по экологическим показателям для выбранных регионов. В статье проведен сравнительный анализ результатов оценки экологической обстановки с использованием обобщенной функции желательности и концепции экологического следа.

Ключевые слова: социо-эколого-экономическая система, антропогенная нагрузка, функция желательности, экологическое зонирование, биоемкость, экологический след.

## EVALUATION OF SPATIAL DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL SITUATION ON THE BASIS OF THE GENERALIZED DESIRABILITY FUNCTION (ON THE EXAMPLE OF THE PRIVOLZHISK FEDERAL DISTRICT)

Basurov V.A.<sup>1</sup>, Zaznobina N.I.<sup>1</sup>, Mol'kova E.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, N. Novgorod, e-mail: basurov@mail.ru

The work is devoted to determining the level of anthropogenic impact on the territory, taking into account the specific features of socio-ecological and economic systems (SEES) by the example of as exemplified by the regions of the Volga Federal District. Based on the official indicators of the Federal State Statistics Service, a database was created for the SEES of the Volga Federal District for 2009. Considering that the subjects of the Volga Federal District are different size, the approach which reduces the influence of this issue and allows a correct comparison of the SEES was employed. To compare the SEES of regions characterized by different-sized indicators, the method of calculating the generalized desirability function was applied. The spatial dynamics of the generalized desirability function distribution by ecological indicators for selected regions is analyzed. The article compares the results of the environmental situation assessment with the aid of the generalized desirability function and the concept of an ecological trace.

Keywords: socio-ecological and economic system, anthropogenic load, desirability function, ecological zoning, bio-capacity, ecological footprint.

Разработка системы методов оценки уровня антропогенного воздействия на территории должна производиться с учетом специфики конкретных социо-эколого-экономических систем (СЭЭС). В этом отношении федеральный округ как административная единица, включающая регионы, разнообразные по ландшафтам, степени антропогенной трансформации, характеру использования территории, и обеспечивающая удовлетворение основных потребностей населения за счет собственных ресурсов, представляется привлекательным для исследования объектом [1].

Целью данной работы является анализ пространственной динамики СЭЭС на уровне Приволжского федерального округа с помощью обобщенной функции желательности, а также сравнительный анализ результатов оценки экологической обстановки с использованием обобщенной функции желательности и концепции экологического следа.

### **Материалы и методы**

Объектами исследований послужили субъекты Российской Федерации, входящие в состав Приволжского федерального округа.

В рамках настоящего исследования использованы материалы официального сайта Государственной статистики за 2009 год [2]. Экспертным путем было отобрано 12 показателей, которые можно разделить на 2 группы.

1. Показатели антропогенной нагрузки («нежелательные» показатели): выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников (тыс. т), выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от передвижных источников (тыс. т), забор воды из природных водных источников для использования (млн куб. м), сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (млн куб. м), образование отходов производства и потребления (тыс. т).

2. Показатели охраны природы («желательные» показатели): улавливание и обезвреживание загрязняющих атмосферу веществ, всего (тыс. т), использование (утилизация) загрязняющих веществ, всего (тыс. т), использование и обезвреживание отходов производства и потребления, всего (тыс. т), текущие затраты на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата (млн руб.), текущие затраты на охрану земли от загрязнения отходами производства и потребления (млн руб.), текущие затраты на охрану и рациональное использование водных ресурсов (млн руб.), лесовосстановление, всего (га).

Учитывая, что субъекты ПФО являются разноразмерными территориями, был использован подход для уменьшения влияния указанного обстоятельства. Он предполагает получение удельных показателей путем деления абсолютных значений на площадь территории субъекта, что позволяет соотнести антропогенную нагрузку с компенсационными возможностями социо-эколого-экономических систем. Этот подход ранее неоднократно использовался для сравнительного анализа объектов и систем разного уровня [3; 4].

Для адекватного объективного сравнения исследуемых СЭЭС, характеризующихся большим количеством разноразмерных показателей, была использована процедура свертывания информации, предусматривающая применение функции желательности, которая уже показала свою эффективность при сравнении объектов разного масштаба (на

уровне предприятия, города, региона, страны) [5-10]. Частная функция желательности ( $d \in [0,1]$ ), обычно обозначаемая буквой  $d$  (от французского *desirable* – желательный), представляет собой способ перевода натуральных значений в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. Перевод в единую для всех показателей числовую шкалу снимает затруднение, связанное с разной размерностью, и дает возможность объединять в единый показатель самые разные параметры. На основе частных функций желательности по формуле среднего геометрического взвешенного набора вещественных чисел рассчитывают обобщенную функцию желательности (ОФЖ), обозначаемую буквой  $D$ . Величина обобщенной желательности может служить некоторой интегральной мерой отклонения состояния системы от нормы. Для идеально функционирующей системы «желательная» величина  $D$  должна быть равна 1, однако, если хотя бы одна из величин  $d_i$  окажется равной 0 (т.е. «нежелательной»), очевидно, что и  $D = 0$ . Математическая сторона расчета частных и обобщенной функций желательности подробно описана в предыдущих работах [5-9].

Издание «Экологический след субъектов Российской Федерации» [11] представляет собой попытку ранжирования регионов России на основе данных официальной государственной статистики за 2009 год. В последующие годы работы такой направленности и масштаба с публикацией результатов, вероятно, не проводились. Методика расчета величины экологического следа и биоемкости достаточно подробно описана в [12].

В наиболее общем виде экологический след рассчитывается с помощью уравнения:

$$\text{ЭС} = C/P,$$

где ЭС – экологический след;  $C$  - годовой спрос на какой-либо продукт,  $P$  - величина производства этого продукта за год.

Биоемкость является суммарным показателем общего количества имеющихся площадей, оцениваемых с точки зрения их продуктивности. Биоемкость выражает способность биосферы производить продукты питания (пашня), сельскохозяйственных животных (пастбища), лесоматериалы (лес) и морепродукты (рыболовственные зоны), а также способность ее лесов поглощать  $\text{CO}_2$ . Показатель биоемкости также учитывает, какая часть этой биопродуктивной земной поверхности занята под объекты инфраструктуры (застроенные земли). Одним словом, величина биоемкости отражает способность имеющихся у страны территорий и акваторий предоставлять экологические услуги. Биоемкость для любого вида землепользования высчитывается следующим образом:

$$B = T \times \Phi П \times \Phi Э,$$

где  $B$  - биоемкость,  $T$  - имеющиеся территории с определенным типом землепользования, а  $\Phi\Pi$  и  $\PhiЭ$  - соответственно факторы продуктивности и факторы эквивалентности для этого типа землепользования в конкретной стране.

Величины экологического следа биоемкости выражаются в универсальных стандартизованных единицах измерения - глобальных гектарах (гга). Глобальный гектар - это условная единица, обозначающая гектар биологически продуктивной территории или акватории со средним мировым показателем биопродуктивности за определенный год. На практике глобальные гектары высчитываются с помощью двух видов факторов. Первый вид - это факторы продуктивности, которые позволяют сравнить среднюю продуктивность с одного гектара в конкретной стране со средней мировой продуктивностью с гектара в одной и той же категории землепользования. Второй вид факторов - это факторы эквивалентности, которые определяют относительную продуктивность разных типов территорий и акваторий, сравнивая их между собой.

Представляется интересным сопоставить результаты экологического зонирования, полученные традиционным научным методом с помощью ОФЖ, с результатами инновационного подхода с использованием экологического следа, имеющего в России пока сравнительно незначительную научную базу.

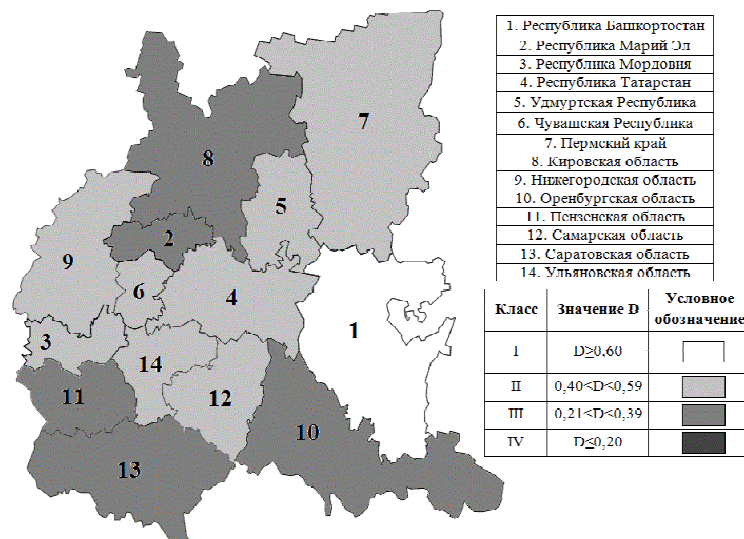
#### Результаты и их обсуждение

Для исследования пространственной динамики СЭЭС был проведен расчет ОФЖ для регионов ПФО по соответствующему подмножеству показателей за 2009 год. Для интерпретации полученных значений ОФЖ и характеристики экологической обстановки в регионах ПФО экспертным путем были предложены 4 класса (таблица).

Градации экологической ситуации по значению функции желательности

Класс	Значение $D$	Характеристика экологической ситуации
I	$0,6 \leq D \leq 1,0$	Экологическая норма (удовлетворительная)
II	$0,40 < D < 0,59$	Экологический риск (условно удовлетворительная)
III	$0,21 < D < 0,39$	Экологический кризис (умеренно напряженная)
IV	$D \leq 0,20$	Экологическое бедствие (напряженная)

На основе полученных значений ОФЖ проведено зонирование территории ПФО по степени экологического неблагополучия, результаты которого приведены на рисунке 1.



*Рис. 1. Экологическая обстановка в СЭЭС ПФО за 2009 г. на основе ОФЖ с использованием значений удельной площади регионов*

Сравнительный анализ распределения СЭЭС на основе ОФЖ, рассчитанной с использованием значений удельной площади регионов, позволил установить, что только в республике Башкортостан экологическая обстановка характеризуется как «удовлетворительная» (рис. 1). Для этого региона отмечаются высокие значения частных функций желательности по показателям «лесистость», «лесовосстановление», «зеленые массивы и насаждения в городах», а также текущих затрат на охрану окружающей среды, в том числе на рациональное использование водных ресурсов и охрану атмосферного воздуха. В Кировской, Пензенской, Саратовской, Оренбургской областях экологическая обстановка характеризуется как «умеренно напряженная» (рис. 1). В Кировской и Пензенской областях отмечаются низкие значения частных функций желательности показателей экономических затрат на охрану окружающей среды, в том числе на охрану водных ресурсов, атмосферного воздуха, земель от загрязнения отходами производства и потребления, а также улавливания, обезвреживания, использования, утилизации загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников. Саратовская и Оренбургская области характеризуются малой площадью, занятой лесами, и высокими значениями выброса загрязняющих веществ.

Экологический след - это площадь биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства потребляемых человеком ресурсов и поглощения отходов. Для оценки уровня антропогенного давления на конкретную территорию проводится сравнение экологического следа и биоемкости, под которой понимается способность экосистем восстанавливаться и при этом обеспечивать человека необходимыми экосистемными услугами.

Общий экологический след включает в себя 3 типа потребления: 1) краткосрочное потребление, расходы на которое несут домохозяйства; 2) краткосрочное потребление, расходы на которое несет правительство – обеспечение полиции соответствующей техникой, оборудование государственных школ, приобретение канцелярских принадлежностей для административных учреждений; 3) долгосрочные товары и услуги, или «валовые накопления основного капитала» (например, возведение домов, мостов, дорог и фабрик). С точки зрения конечного потребления биоёмкости, основным источником экологического следа России являются домохозяйства с их краткосрочным потреблением, на долю которого приходится 70% всего спроса на ресурсы. Высоким запасом биоёмкости характеризуется Кировская область, средним – республики Марий Эл, Удмуртская, Мордовия, а также Пермский край. Остальные регионы ПФО относятся к категории субъектов с низкой биоёмкостью (рис. 2).



*Рис. 2. Отношения дефицита и запаса биоёмкости в регионах ПФО за 2009 г.*

По соотношению экологический след/биоёмкость регионы ПФО могут быть разделены на 5 групп (классов) (рис. 3).

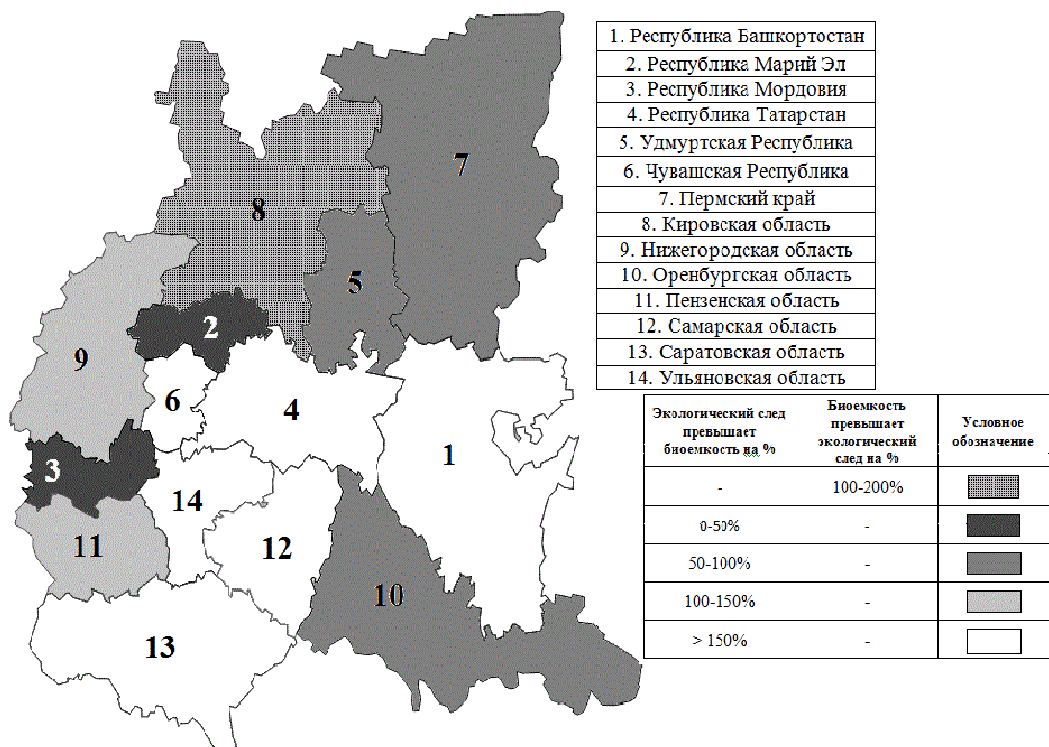


Рис. 3. Соотношение экологический след/биоемкость в регионах ПФО

Из рис. 3 видно, что высокорейтинговые с точки зрения инвестиционной привлекательности (с учетом таких параметров, как уровень доходности инвестиций, законодательная база и правоприменительная практика, качество человеческого капитала, транспорт и др.) регионы ПФО: Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Нижегородская и Самарская области - формируют вклад порядка 11% в экологический след России, а также испытывают довольно серьезный дефицит биоемкости.

### Заключение

Результаты, полученные с помощью методик расчета экологического следа и обобщенной функции желательности, являются непротиворечивыми и могут дополнять друг друга для комплексного выявления причин изменения состояния социо-эколого-экономических систем регионов. Анализ этих изменений может служить эффективным инструментом изучения разнокачественных регионов, давать возможность понимать причины изменения состояния их социо-эколого-экономических систем. На основе полученных результатов возможно принятие грамотных управленческих решений, нацеленных на уменьшение негативных воздействий на окружающую среду с учетом антропогенных нагрузок.

## Список литературы

1. Басуров В.А. Оценка экологической обстановки на основе обобщенной функции желательности (на примере Нижегородской области) // Актуальные вопросы современной науки. – 2013. - № 25. - С. 6-13.
2. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики, 1999-2017. - URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 10.06.2017).
3. Басуров В.А. Использование методов многомерной статистики в экодиагностике территорий (на примере Нижегородской области) // Материалы научно-практической конференции «Проблемы регионального экологического мониторинга». – Н. Новгород, 2002. - С.11-13.
4. Гелашвили Д.Б., Басуров В.А., Розенберг Г.С. и др. Экологическое зонирование территорий с учетом роли сохранившихся естественных экосистем на примере Нижегородской области // Поволжский экологический журнал. – 2003. - № 2. – С. 99–108.
5. Гелашвили Д.Б., Зазнобина Н.И., Лисовенко А.В. Количественные методы оценки состояния урбоэкосистем // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Ч. VII. – Н. Новгород: ННГУ, 2011. – С. 80-110.
6. Гелашвили Д.Б., Королев А.А., Басуров В.А. Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщённой функции желательности (на примере Нижегородской области) // Поволжский экологический журнал. – 2006. - № 2. – С. 129-138.
7. Гелашвили Д.Б., Лисовенко А.В., Безруков М.Е. Применение интегральных показателей на основе функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод // Поволжский экологический журнал. – 2010. – № 4. - С. 343–351.
8. Гелашвили Д.Б., Лисовенко А.В., Зазнобина Н.И., Королев А.А. Применение обобщенной функции желательности для оценки экологической обстановки на объектах разного масштаба: город, регион // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 2. – С. 83-88.
9. Гелашвили Д.Б., Снегирева М.С., Солнцев Л.А., Зазнобина Н.И. Экологическая характеристика Приволжского федерального округа на основе обобщенной функции желательности // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 130-138.
10. Зазнобина Н.И., Молькова Е.Д., Гелашвили Д.Б. Сравнительная динамика социо-эколого-экономических систем России и некоторых стран большой двадцатки (G20) на основе обобщенной функции желательности // Карельский научный журнал. – 2016. – Т. 5, № 3 (16). – С. 45-48.
11. Экологический след субъектов Российской Федерации / общ. ред. П.А. Боев;



Всемирный фонд дикой природы (WWF). - М.: WWF России, 2014. - 88 с.

12. Borucke M. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework // Ecological Indicators. – 2013. – V. 24. – P. 518–533.