

УДК 628.312.5(470.341)

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

Д. Б. Гелашвили, М. С. Снегирева, Л. А. Солнцев, Н. И. Зазнобина

*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского  
Россия, 603950, Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23*

*E-mail: ecology@bio.unn.ru*

Поступила в редакцию 18.05.12 г.

**Экологическая характеристика Приволжского федерального округа на основе обобщенной функции желательности.** – Гелашвили Д. Б., Снегирева М. С., Солнцев Л. А., Зазнобина Н. И. – Верифицирован алгоритм применения обобщенной функции желательности, рассматриваемой как среднее геометрическое взвешенное, для сравнительного анализа объектов разного масштаба по показателям, имеющим различную размерность. Применение при расчете обобщенной функции желательности в качестве весовых коэффициентов классов опасности загрязняющих веществ позволило повысить степень дискриминации сравниваемых показателей. Полученный алгоритм применен для анализа экологической обстановки по показателям загрязнения объектов окружающей среды в субъектах Приволжского федерального округа в рамках концепции устойчивого развития.

*Ключевые слова:* устойчивое развитие, обобщенная функция желательности, оценка экологической ситуации, Приволжский федеральный округ.

**Ecological characteristics of the Volga (Privolzhsky) Federal District (Russian Federation) on the basis of generalized desirability function.** – Gelashvili D. B., Snegireva M. S., Solntsev L. A., and Zaznobina N. I. – An algorithm of application of the generalized desirability function considered as the geometric weighed average for comparative analysis of different-scale objects by indicators of various dimensions is verified. Its application for the calculation of the generalized desirability function as weight factors of pollutant danger classes allowed us to improve the discrimination degree of the indicators compared. Our algorithm has been applied to analysis of the environmental situation by pollution indicators of environmental objects in the regions of the Volga (Privolzhsky) Federal District within the concept of sustainable development.

*Key words:* sustainable development, generalized desirability function, assessment of ecological situation, Volga (Privolzhsky) Federal District.

## ВВЕДЕНИЕ

Преодоление угрозы глобального экологического кризиса связано с разработкой двух основных направлений исследований – созданием теории социальной эволюции и предупреждением необратимых антропогенных изменений биосферы. На решение минимизации неблагоприятных последствий хозяйственной деятельности и стабилизацию состояния окружающей среды направлена концепция устойчивого развития (Краснощеков и др., 2011). Экологический реализм, предполагающий научное понимание характера и силы экологических воздействий хозяйственной деятельности человека на природную среду, требует гармонизации взаимоотношений общества и природы, и поэтому лозунгом переходного периода к квазиустойчивому развитию должен стать «Вместе с природой» (Розенберг и др., 1996). Особенно важ-

но при этом понимать, что «устойчивое развитие» не только цель, но и процесс. Таким образом, устойчивое развитие рассматривается как единое пространство, характеризующееся состоянием экономики, общества и природы.

Традиционное применение различных показателей, характеризующих устойчивое развитие, предусматривает их изолированный анализ, т. е. анализ по отдельности каждого показателя. Между тем эти показатели совершенно естественным образом группируются по основным сферам жизни общества, например, экономической, социальной и природно-ресурсной, хотя возможны и другие принципы группировки. Таким образом, актуальна разработка методов интегральных оценок совокупностей показателей по указанным сферам жизни общества.

В качестве интегрального показателя качества сточных вод может быть использована обобщенная функция желательности (ОФЖ) (Адлер и др., 1976), которая, в свою очередь, рассчитывается на основе частных функций желательности. Эффективность применения обобщенной функции желательности для решения задач прикладной экологии была продемонстрирована в ряде работ (Федоров и др., 1981; Булгаков, 2002; Королев и др., 2007; Гелашвили и др., 2009; Волжский бассейн. Устойчивое развитие..., 2011). Однако в этих работах отсутствовало содержательное экотоксикологическое толкование весовых коэффициентов, входящих в формулу ОФЖ, которое было устранено в нашей работе (Гелашвили и др., 2010) и апробировано на примере комплексной оценки сточных вод промышленных предприятий.

Целью настоящей статьи явилась верификация алгоритмов оценки экологической ситуации (с акцентом на загрязнение объектов окружающей среды) в разномасштабных социо-эколого-экономических системах Приволжского федерального округа (ПФО) с помощью интегрального агрегированного индикатора на основе ОФЖ, рассматриваемой как среднее геометрическое взвешенное, т. е. с учетом в качестве весовых коэффициентов классов опасности загрязняющих веществ. Исходными материалами послужили данные, представленные субъектами Федерации для подготовки информационной справки к заседанию в 2011 г. Совета при полномочном представителе Президента Российской Федерации в Приволжском федеральном округе по вопросу «О деятельности органов государственной власти регионов Приволжского федерального округа в сфере охраны окружающей среды» за период 2008 – 2010 гг.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Получаемые в процессе экологического мониторинга сведения часто бывают трудно сопоставимы между собой и не всегда удовлетворяют требованиям метрологии, статистической воспроизводимости и другим условиям, которые позволили бы обоснованно использовать для их анализа традиционные методы математической статистики.

Методологической основой решений поставленных задач могут служить элементы теории нечетких (размытых) множеств (fuzzy sets) и нечеткой логики (fuzzy logic), предложенные американским математиком Лотфи Али Заде и предназначенные для преодоления трудностей представления неточных понятий, анализа и

моделирования систем, в которых участвует человек (Заде, 1976). Такой подход является, по сути дела, альтернативой общепринятым количественным методам анализа систем и дает приближенные, но достаточно эффективные способы описания сложных и плохо определенных систем, не поддающихся точному математическому анализу, в том числе и в экологии (Воробейчик и др., 1984; Гелашвили и др., 2009, 2010; Шитиков и др., 2011). Для решения многокритериальных задач используются различные методы построения интегральных показателей, причем одним из наиболее удобных способов является функция желательности, которая может быть использована как функция принадлежности, рассматриваемая в теории нечетких множеств.

Функция желательности представляет собой способ перевода натуральных значений в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами и является математическим инструментарием для отображения количественных шкал в обобщенные шкалы критериев качества. При этом граничные значения функции соответствуют градациям «плохо – хорошо». Необходимость введения функций желательности часто определяется различной размерностью переменных, входящих в интегральный показатель, что не позволяет усреднять их непосредственно. Перевод же в единую для всех числовую шкалу снимает это затруднение и дает возможность объединять в единый показатель самые разные параметры. Конкретные способы реализации функции желательности могут быть весьма разнообразны: экспертные функции желательности, простые аналитические функции желательности, функция желательности Харрингтона и др. (Адлер и др., 1976).

В общем виде обобщенная функция желательности рассчитывается по формуле среднего геометрического взвешенного набора вещественных чисел ( $d_1 \dots d_n$ ) с вещественными весами ( $\omega_1 \dots \omega_n$ ) и определяется как

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^{\omega_i}} = \sqrt[n]{d_1^{\omega_1} \cdot d_2^{\omega_2} \cdot d_3^{\omega_3} \dots d_n^{\omega_n}} = (d_1^{\omega_1} \cdot d_2^{\omega_2} \cdot d_3^{\omega_3} \dots d_n^{\omega_n})^{1/K}, \quad (1)$$

где  $d_i$  – частная функция желательности,  $n$  – число показателей,  $\omega$  – весовой коэффициент,  $K = \sum_{i=1}^n \omega_i$ . В том случае, если все веса равны между собой или  $\omega = 1$ , среднее геометрическое взвешенное равно среднему геометрическому.

Величина обобщенной функции желательности служит интегральной мерой отклонения состояния системы от нормы и определяется в интервале 0÷1. Для идеально функционирующей системы величина  $D$  (ОФЖ) будет равна 1, и, соответственно, чем меньше значение  $D$ , тем хуже состояние системы. Введение в формулу (1) весового коэффициента  $\omega$  позволяет учитывать степень значимости каждого показателя в изменении состояния всего объекта при изменении этого показателя. Ошибка обобщенной функции желательности может быть рассчитана как стандартная ошибка средней геометрической (Гелашвили и др., 2011). Для вычисления частных функций желательности ( $d_i$ ) используют различные выражения (Воробейчик и др., 1984). Чтобы избежать «зануления» обобщенной функции желательности ( $D$ ), возникающего при использовании линейной нормировки по «минимуму» (Воробейчик и др., 1984) для эмпирического ряда переменных с фиксированными

значениями  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$ , можно воспользоваться алгоритмом, основанном на свертке функций (Гелашвили и др., 2009, 2010). Для случая, когда увеличение натурального показателя ( $x_i$ ) является «желательным», вычисление частной функции желательности выполняется по формуле

$$d_i = \frac{2 \cdot (x_i \cdot x_{\max})}{x_i^2 + x_{\max}^2}. \quad (2)$$

В том случае, когда увеличение натурального показателя ( $x_i$ ) является «нежелательным», применяется формула

$$d_i = \frac{2 \cdot (x_i \cdot x_{\min})}{x_i^2 + x_{\min}^2}. \quad (3)$$

Очевидно, что частная функция желательности, вычисленная по формулам (2) и (3), так же, как и ОФЖ, определена на интервале  $[0,1]$ , но  $d_i = 0$  только при  $x_{\min}$  ( $x_{\max}$ ) = 0.

Введение в формулу (1) весового коэффициента  $\omega$  позволило учитывать степень опасности загрязняющего вещества, определяемую классом его опасности (Перечень..., 1999). Коэффициент  $\omega$  является величиной, обратной значению класса опасности вещества: для веществ 1-го класса опасности  $\omega = 1/1 = 1.0$ ; для веществ 2 – 4-го классов опасности, соответственно  $\omega = 0.5$ ; 0.33 и 0.25. Для показателей с неустановленными значениями класса опасности (взвешенные вещества, рН, БПК<sub>5</sub>, ХПК и др.) коэффициент  $\omega = 0.25$ .

Для обоснования значений ОФЖ целесообразно принять границы градаций функции желательности Харрингтона, которые позволяют дать приемлемую характеристику экологической ситуации (табл. 1; (Адлер и др., 1976)).

**Таблица 1**  
Градация экологической ситуации по значению функции желательности

| Значения функции желательности | Характеристика экологической ситуации |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1.00 ÷ 0.81                    | Очень хорошая                         |
| 0.80 ÷ 0.63                    | Хорошая                               |
| 0.62 ÷ 0.38                    | Удовлетворительная                    |
| 0.37 ÷ 0.21                    | Плохая                                |
| 0.20 ÷ 0.00                    | Очень плохая                          |

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокий природно-ресурсный потенциал ПФО, развитые промышленность и сельское хозяйство создают значительную антропогенную нагрузку на природную среду. На округ приходится около 20% общероссийского объема выбросов вредных веществ от автомобильного транспорта, 13% выбросов от стационарных источников и 19% сброса загрязненных сточных вод. Традиционными проблемами экологической сферы регионов ПФО являются: высокий уровень загрязнения атмосферы и поверхностных водных объектов; сбор, хранение и утилизация отходов производства и потребления, а также наличие в округе большого количества объектов накопленного экологического ущерба.

*Атмосферный воздух.* В табл. 2 приведены исходные данные и результаты расчета частных и обобщенных функций желательности для оценки экологической

ситуации в регионах ПФО по загрязнению атмосферного воздуха, по которым построена ситуационная карта пространственной динамики экологического состояния атмосферного бассейна в Приволжском федеральном округе в 2010 г. (рис. 1). Как следует из приведенных данных, наиболее благополучная экологическая ситуация наблюдается в Мордовии, Чувашии, Ульяновской и Пензенской областях, тогда как в 6 из 14 регионов имеет место очень плохое экологическое состояние воздушного бассейна. Несмотря на то, что в Чувашии и Марий Эл 79 – 80% выбросов в атмосферу от стационарных источников не подвергаются очистке, интегральная оценка экологического состояния в данных регионах квалифицируется как удовлетворительная. Это объясняется компенсацией другими показателями, например, низкими значениями выбросов от автотранспорта и небольшими количествами выбросов токсичных поллютантов (2-го и 3-го классов опасности).

**Таблица 2**

Сравнительная характеристика натуральных показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и частных функций желательности с учетом класса опасности для регионов ПФО в 2010 г.

| Показатели                                   | Значения   | Регионы            |          |          |          |           |          |         |               |                |                   |                 |                |                  |                  |
|----------------------------------------------|------------|--------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|---------|---------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|
|                                              |            | Нижегородская обл. | Башкирия | Марий Эл | Мордовия | Татарстан | Удмуртия | Чувашия | Пермский край | Кировская обл. | Оренбургская обл. | Пензенская обл. | Самарская обл. | Саратовская обл. | Ульяновская обл. |
| 1                                            | 2          | 3                  | 4        | 5        | 6        | 7         | 8        | 9       | 10            | 11             | 12                | 13              | 14             | 15               | 16               |
| Твердые вещества (4-й класс опасности)       | тыс. т/год | 8.50               | 18.67    | 6.12     | 3.32     | 14.90     | 6.91     | 1.62    | 16.95         | 22.53          | 40.16             | 2.50            | 21.78          | 8.46             | 4.78             |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.78               | 0.64     | 0.84     | 0.94     | 0.68      | 0.82     | 1.00    | 0.66          | 0.61           | 0.53              | 0.98            | 0.62           | 0.78             | 0.88             |
| Диоксид серы (3-й класс опасности)           | тыс. т/год | 25.05              | 40.90    | 1.36     | 0.40     | 17.10     | 3.66     | 0.85    | 10.28         | 20.68          | 159.6             | 2.20            | 48.08          | 5.74             | 3.72             |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.32               | 0.27     | 0.81     | 1.00     | 0.36      | 0.60     | 0.92    | 0.43          | 0.34           | 0.17              | 0.71            | 0.26           | 0.52             | 0.60             |
| Диоксид азота (2-й класс опасности)          | тыс. т/год | 34.22              | 44.38    | 6.46     | 8.25     | 38.80     | 12.96    | 6.36    | 45.35         | 38.43          | 32.61             | 5.20            | 29.39          | 8.31             | 4.87             |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.53               | 0.47     | 0.98     | 0.94     | 0.50      | 0.81     | 0.98    | 0.46          | 0.50           | 0.54              | 1.00            | 0.57           | 0.93             | 1.00             |
| Оксид углерода (4-й класс опасности)         | тыс. т/год | 26.36              | 81.60    | 6.17     | 6.02     | 62.20     | 27.42    | 7.93    | 98.31         | 135.48         | 285.16            | 4.30            | 78.61          | 9.97             | 5.60             |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.75               | 0.57     | 0.98     | 0.99     | 0.61      | 0.74     | 0.96    | 0.54          | 0.50           | 0.42              | 1.00            | 0.57           | 0.92             | 0.99             |
| Углеводороды (без ЛОС) (4-й класс опасности) | тыс. т/год | 23.62              | 88.33    | 10.49    | 16.63    | 34.70     | 30.95    | 12.33   | 103.54        | 9.69           | 42.66             | 5.00            | 32.36          | 42.19            | 16.02            |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.80               | 0.58     | 0.94     | 0.86     | 0.73      | 0.75     | 0.91    | 0.56          | 0.95           | 0.69              | 1.00            | 0.74           | 0.70             | 0.87             |
| ЛОС (3-й класс опасности)                    | тыс. т/год | 36.94              | 108.58   | 1.31     | 1.71     | 92.30     | 18.29    | 1.95    | 57.09         | 20.53          | 55.34             | 2.80            | 95.70          | 13.12            | 3.54             |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.42               | 0.29     | 1.00     | 0.99     | 0.31      | 0.53     | 0.97    | 0.36          | 0.51           | 0.36              | 0.92            | 0.30           | 0.59             | 0.87             |
| Прочие (4-й класс опасности)                 | тыс. т/год | 1.37               | 5.15     | 0.75     | 0.50     | 4.55      | 0.84     | 0.37    | 2.48          | 8.17           | 0.97              | 0.50            | 2.54           | 1.16             | 0.23             |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.75               | 0.54     | 0.86     | 0.93     | 0.56      | 0.84     | 0.97    | 0.65          | 0.48           | 0.82              | 0.93            | 0.65           | 0.78             | 1.00             |
| Уловлено и обезврежено (5-й класс)           | тыс. т/год | 256.24             | 51.63    | 10.25    | 450.21   | 328.90    | 18.14    | 13.65   | 1208.79       | 130.40         | 764.48            | 21.90           | 366.53         | 243.44           | 169.71           |
|                                              | $d_i^{90}$ | 0.83               | 0.61     | 0.44     | 0.92     | 0.87      | 0.50     | 0.47    | 1.00          | 0.73           | 0.98              | 0.51            | 0.89           | 0.83             | 0.77             |

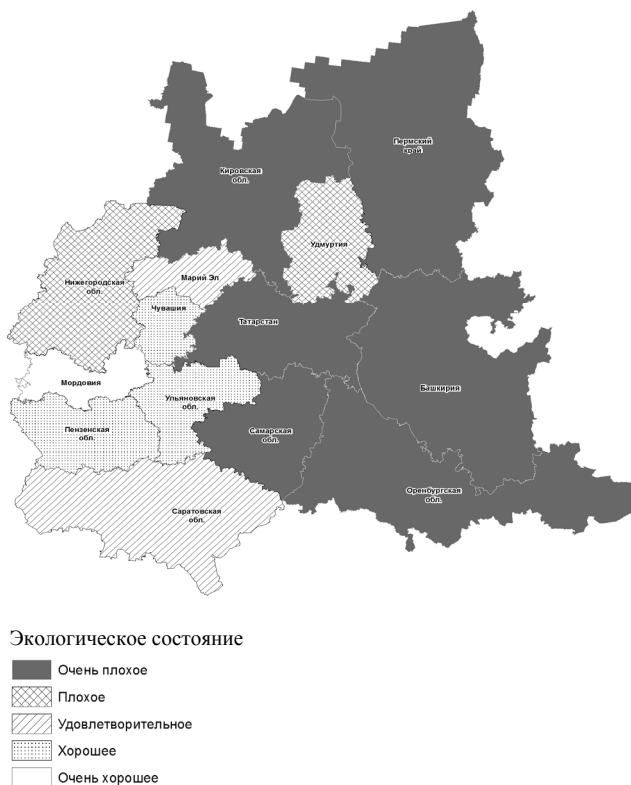
Окончание табл. 2

| 1                                            | 2                        | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10     | 11     | 12    | 13     | 14    | 15    | 16     |
|----------------------------------------------|--------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Выбросы автотранспорта (3-й класс опасности) | тыс. т/год<br>$d_i^{20}$ | 311.45 | 427.5 | 87.12 | 86.94 | 288.4 | 122.5 | 80.40 | 217.80 | 151.19 | 214.0 | 155.46 | 308.3 | 250.9 | 103.14 |
| Обобщенная функция желательности             | $D$                      | 0.79   | 0.72  | 1.00  | 1.00  | 0.80  | 0.97  | 1.00  | 0.87   | 0.94   | 0.87  | 0.94   | 0.79  | 0.84  | 0.99   |
|                                              | $D$                      | 0.22   | 0.10  | 0.58  | 0.84  | 0.15  | 0.32  | 0.68  | 0.17   | 0.17   | 0.12  | 0.63   | 0.14  | 0.39  | 0.64   |

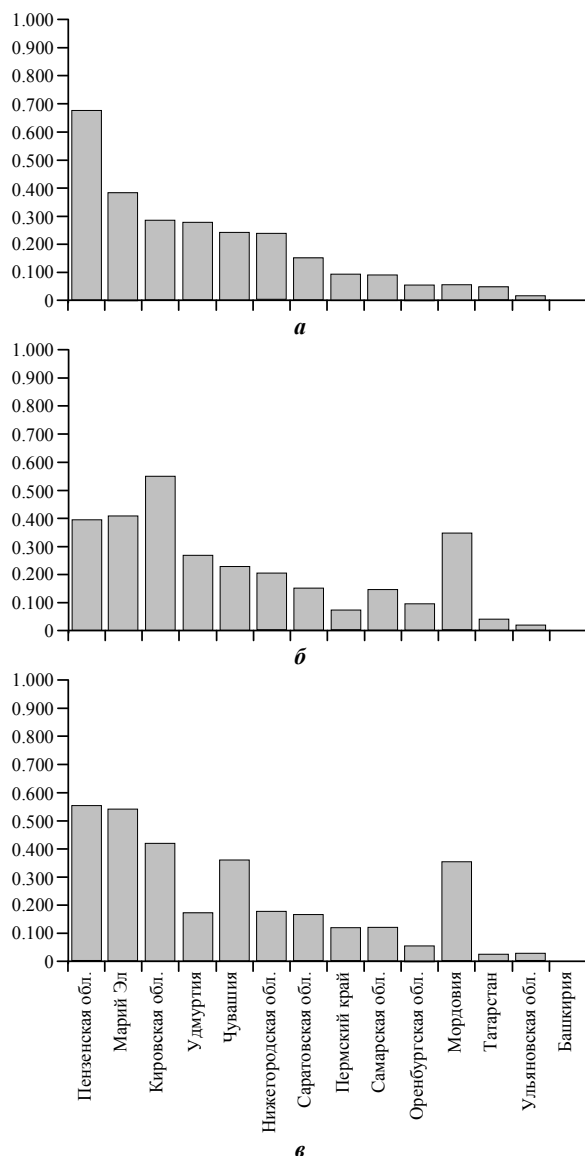
Что касается «лидеров» в загрязнении атмосферного воздуха, то по валовым оценкам государственной статистики в 2010 г. наибольшие объемы всех выбросов приходились на Оренбургскую область (831 тыс. т), Республику Башкортостан (721 тыс. т) и Самарскую область (617 тыс. т), что усугубляется и количественными показателями отдельных ингредиентов (см. табл. 1).

*Отходы производства и потребления.* В ПФО в 2010 г. было накоплено 2.65 млрд т отходов производства и потребления (в среднем 2.6 т на 1 км<sup>2</sup> площади). Наибольшее количество сосредоточено в Оренбургской области (43.5% от объема по округу), Пермском крае (28%) и Республике Башкортостан (24.2%). На рис. 2 в виде ранговых распределений приведены данные об изменении рейтинга субъектов Федерации ПФО в сфере обращения с отходами в 2008 – 2010 гг., оцененные с помощью обобщенной функции желательности с учетом весовых коэффициентов.

Для сравнительного анализа перестройки ранговых распределений был использован прием с фиксацией последовательности показателей, задаваемой вектор-строкой «эталонной» группы (2008 г.) и сохраняемой для всех последую-



**Рис. 1.** Пространственная динамика экологического состояния атмосферного бассейна в Приволжском федеральном округе в 2010 г., оцененная с помощью обобщенной функции желательности с учетом класса опасности загрязняющих веществ

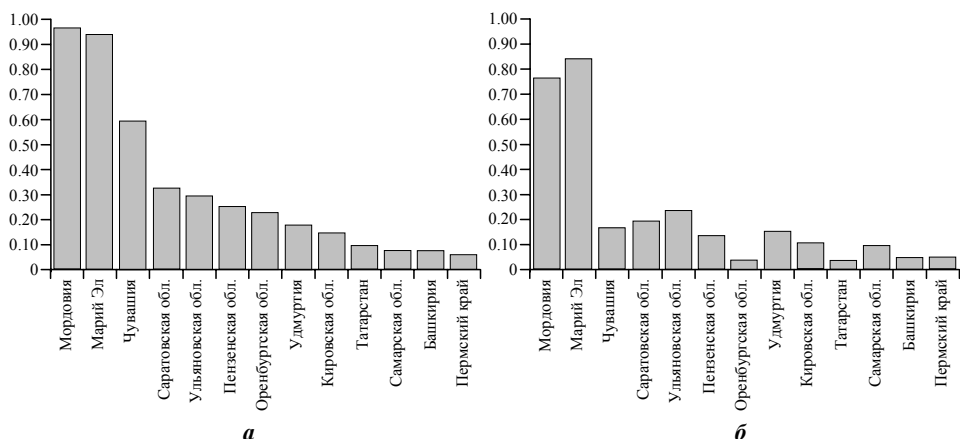


**Рис. 2.** Изменение рейтинга субъектов Федерации Приволжского федерального округа в сфере обращения с отходами в 2008 – 2010 гг., оцененное с помощью обобщенной функции желательности с учетом весовых коэффициентов: *а* – 2008 г., *б* – 2009 г., *в* – 2010 г.; по оси ординат – значения обобщенной функции желательности

щих годов сравнения. Хорошо видно, что в тройке лидеров прочно обосновались Пензенская область, Марий Эл и Кировская область. В 2009 – 2010 гг. к ним присоединились Мордовия и Чувашия. Анализ исходных данных показывает, что, в частности, в Республике Мордовии улучшение экологической ситуации объясняется низкими объемами в структуре отходов соединений 1-го класса опасности (чрезвычайно опасных веществ) и положительной динамикой в использовании и обезвреживании отходов.

*Сточные воды.* Водные объекты в ПФО в основном относятся к классу «загрязненные» и «грязные». Основной причиной неудовлетворительного состояния водных объектов в округе является сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод – до 85% от подлежащих очистке. Во всех регионах округа наблюдается тенденция к сокращению объемов сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты. Так, по сравнению с 2000 г. в Саратовской области снижение составило 80%, в Нижегородской, Самарской областях и Чувашии – до 40%. Однако причинами такого сокращения, в первую очередь, стало общее уменьшение водопотребления и водоотведения. По состоянию на 2010 г. резко ухудши-

лась экологическая ситуация в Чувашии (рис. 3), что связано с большим количеством соединений цинка (3-й класс опасности) в сточных водах.



**Рис. 3.** Изменение рейтинга субъектов Федерации Приволжского федерального округа по сбросу сточных вод в 2009 – 2010 гг., оцененное с помощью обобщенной функции желательности с учетом весовых коэффициентов: *а* – 2009 г., *б* – 2010 г.; по оси ординат – значения обобщенно функции желательности

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ для территорий разных природно-географических зон и уровней антропогенной нагрузки не противоречит логике их исторического развития. Применение функции желательности дает возможность корректного сравнения объектов разного масштаба по комплексным социо-эколого-экономическим показателям, имеющим различную размерность. Предлагаемые алгоритмы применения ОФЖ для комплексной оценки экологической ситуации позволяют «сжимать» объем исходной информации, оперировать с большими массивами данных, а также удовлетворяют требованиям адекватности, массовости, результативности и детерминированности. Введение весовых коэффициентов при расчете ОФЖ повышают степень дискриминации сравниваемых объектов в едином масштабе квалификационных оценок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 279 с.
- Булгаков Н. Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Успехи соврем. биол. 2002. Т. 122, № 2. С. 115 – 135.
- Волжский бассейн. Устойчивое развитие : опыт, проблемы, перспективы / под ред. Г. С. Розенберга / Ин-т устойчивого развития Обществ. палаты РФ; Центр экологической политики России. М., 2011. 104 с.

*Воробейчик Е. А., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург : УИФ «Наука», 1984. 280 с.

*Гелашивили Д. Б., Лисовенко А. В., Зазнобина Н. И., Королёв А. А.* Применение обобщенной функции желательности для оценки экологической обстановки на объектах разного масштаба : город, регион // Проблемы регион. экол. 2009. № 2. С. 83 – 87.

*Гелашивили Д. Б., Лисовенко А. В., Безруков М. Е.* Применение интегральных показателей на основе функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод // Поволж. экол. журн. 2010. № 4. С. 343 – 351.

*Гелашивили Д. Б., Зазнобина Н. И., Лисовенко А. В., Безруков М. Е.* Количественные методы оценки состояния урбоэкосистем // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга : учеб. пособие : в 7 ч. / под ред. Д. Б. Гелашивили. Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2011. Ч. 4. С. 80 – 110.

*Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976. 167 с.

*Королёв А. А., Розенберг Г. С., Гелашивили Д. Б., Панютин А. А., Иудин Д. И.* Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2007. Т. 9, № 1. С. 265 – 269.

*Краснощеков Г. П., Розенберг Г. С., Гелашивили Д. Б., Томиловская Н. С.* Устойчивое, ноосферное и глобальное развития : сценарии и пути достижения // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 13, № 1. С. 9 – 15.

Перечень рыбохозяйственных нормативов : предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ на воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М. : ВНИРО, 1999. 304 с.

*Розенберг Г. С., Гелашивили Д. Б., Краснощеков Г. П.* Крутые ступени перехода к устойчивому развитию // Вестн. РАН. 1996. Т. 66, № 5. С. 436 – 440.

*Федоров В. Д., Сахаров В. Б., Левич А. П.* Количественные подходы к проблеме оценки нормы и патологии экосистем // Человек и биосфера. М. : Изд-во МГУ, 1981. Вып. 6. С. 3 – 42.

*Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д.* Ординация пресноводных сообществ на основе анализа нечетких множеств // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 13, № 5. С. 19 – 25.