

УДК 574.4 + 628.1/3

**ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ  
ПО СТЕПЕНИ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ  
С ПОМОЩЬЮ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ  
(на примере Нижегородской области)**

**Д.Б. Гелашвили, А.А. Королев, В.А. Басуров**

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

Поступила в редакцию 14.02.06 г.

**Зонирование территории по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщённой функции желательности (на примере Нижегородской области).** – Гелашвили Д.Б., Королев А.А., Басуров В.А. – Предложена система базовых и производных показателей водопользования, характеризующих уровень антропогенной нагрузки на территорию субъекта Федерации в разрезе административных районов и городов. Разработаны алгоритмы оценки антропогенной нагрузки сточными водами на административно-территориальные образования различного уровня с помощью обобщённой функции желательности. Предложенный подход апробирован на примере экологического зонирования Нижегородской области.

*Ключевые слова:* сточные воды, обобщённая функция желательности, экосистема, антропогенная нагрузка, Нижегородская область

**Territory zonation by the degree of sewage loading with the aid of a generalized function of desirability (with the Nizhniy Novgorod region as an example).** – Gelashvili D.B., Korolev A.A., Basurov V.A. – A system of basic and derivative indices of water usage to describe the level of anthropogenic loading on the territory of a Russian Federation subject in terms of districts and cities is offered. Algorithms for the estimation of anthropogenic (sewage) loading on administrative-territorial formations of various levels with the aid of a generalized function of desirability have been developed. The approach suggested has been approved on ecological zonation of the Nizhniy Novgorod region as an example.

*Key words:* sewage, generalized function of desirability, ecosystem, anthropogenic loading, Nizhniy Novgorod region.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время природные экологические системы испытывают постоянно возрастающие антропогенные воздействия, вызванные активной хозяйственной деятельностью человека, усугубляющиеся ростом его популяции. В системе оценок состояния окружающей среды особое внимание необходимо уделять антропогенным изменениям гидросферы. Воду следует рассматривать как сырьё особого рода, без которого невозможна реализация никаких технологий, созданных человеком, так как все эти технологии правомерно назвать «мокрыми». Очевидно, что для формирования целостных представлений об антропогенном воздействии на гидросферу в связи с различными аспектами водопользования необходимо применение интегрального междисциплинарного подхода с привлечением концептуального аппарата экологии, гидрометеорологии, гигиены, экономики природопользования, токсикологии и других дисциплин.

Разработка комплексных методов оценки степени антропогенной трансформации территорий (включая водные объекты) должна производиться с учетом различных аспектов водопользования. В этом отношении область как субъект Федерации и отдельная административно-территориальная единица, включающая разнообразные по уровню техногенной нагрузки и характеру использования территории и водные объекты, а также обеспечивающая удовлетворение основных потребностей населения за счет собственных ресурсов, является репрезентативным объектом анализа.

В связи с вышеизложенным целью работы является комплексная оценка интенсивности водопользования (уровня антропогенной нагрузки сточными водами) на территории области как природно-антропогенного объекта и обоснование принципов его экологического зонирования.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Методы обработки и сжатия экологической информации.** В соответствии с целью и задачами работы была сформирована система показателей, характеризующих забор воды из природных источников и сброс сточных вод за период 1999 – 2003 гг. В качестве исходных данных была использована отчетность по форме 2ТП-водхоз по Нижегородской области (административные районы и города), в которой сточные воды по степени очистки принято делить на 3 категории: без очистки; недостаточно очищенные; нормативно чистые.

При формировании набора показателей был использован опыт картирования территории России в соответствии со значениями ряда экологических и медико-демографических показателей (Фешбах, 1995). В связи с тем, что картирование на федеральном уровне велось в разрезе территорий субъектов РФ, получение аналогичных оценочных шкал в разрезе административно-территориального деления Нижегородской области (резкое уменьшение масштаба) потребовало изменения порядка величины и использования множителя  $10^{-2}$  для массовых показателей.

При экологическом зонировании территории Нижегородской области были использованы следующие группы массовых показателей водопользования.

1. Базовые показатели водопотребления (объем забора воды на производственные, хозяйственно-питьевые и другие нужды).
2. Производные показатели водопотребления (отношение объема забора пресной воды из поверхностных или подземных источников к установленным лимитам).
3. Базовые показатели объема сброса сточных вод (объемы загрязненных, без очистки, недостаточно очищенных или нормативно-очищенных сточных вод).
4. Производные показатели объемов сброса сточных вод (отношение объема загрязненных сточных вод к забору воды из природных источников; отношение нормативно-очищенных сточных вод к общему объему сточных вод).

Для свёртывания информации по каждому показателю за анализируемый год применялось его средневзвешенное. Известно, что среди линейных оценок средневзвешенное имеет наименьшую дисперсию, что повышает точность. В соответствии с рекомендациями работы М. Фешбаха (1995) диапазоны всех исполь-

зуемых показателей были разбиты на интервальные классы. Число водопользователей (в процентах), попадающих в данный интервальный класс, было принято в качестве весового коэффициента при расчете средневзвешенного:

$$\bar{X}_{с.в} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – среднее значение интервального класса,  $b_i$  – весовой коэффициент, %,  $i = 1, \bar{n}$ ;  $n$  – число показателей. Статистическую обработку данных проводили с применением методов многомерного статистического анализа (Аренс, Лейтер, 1985; Высоцкая, 1995; Розенберг и др., 1995; Гелашвили, Басуров, 2003). При этом абсолютные значения показателей водопользования переводили в относительные (безразмерные) путем нормирования на среднее значение данного показателя по области.

В теоретическом плане любая экосистема может быть описана бесконечным набором параметров. На современном этапе развития экологии число таких параметров хотя и конечно, но очень велико. Для практической реализации экологического нормирования необходима определённая процедура свёртывания информации, направленная на преодоление проблемы размерности. С этой целью часто применяют так называемые функции желательности (Адлер и др., 1976; Фёдоров и др., 1982; Воробейчик и др., 1994). Эти функции (обычно обозначаются буквой  $d$  – от французского *desirable* (желательный)) представляют собой способ перевода натуральных значений в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами. При этом граничные значения функции, например 0 и 1, соответствуют традициям «плохо – хорошо». Необходимость введения функций желательности 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 даёт возможность объединять в единый показатель самые различные параметры. Конкретные способы реализации функции желательности могут быть весьма разнообразны (экспертные функции желательности, простые аналитические функции желательности, функция желательности Харрингтона и др.).

Обобщённая функция желательности может быть рассчитана по формуле

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \dots d_n}, \quad (2)$$

где  $d_i$  – частная функция желательности,  $n$  – число показателей. Следует учитывать, что если хотя бы одна из переменных равна нулю, то и  $D = 0$ .

Чтобы избежать «зануления» обобщённой функции желательности  $D$ , мы предлагаем воспользоваться следующими формулами. Если увеличение натурального показателя ( $X_i$ ) является «желательным», то следует применять выражение

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

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

$$d_i = \frac{2(x_i \cdot x_{\max})}{x_i^2 + x_{\max}^2}. \quad (4)$$

Очевидно, что частная функция желательности, вычисленная по формулам (3) и (4), также определена на интервале  $[0, 1]$ , но  $d_i = 0$  уже только при  $x_{\min}(x_{\max}) = 0$ .

Таким образом, для объекта любого масштаба (предприятия, населенного пункта, административного образования) можно рассчитать частные функции желательности по каждому показателю водопользования за анализируемый период (т.е. по строкам), а затем усреднить с помощью формулы (2) за конкретный год анализа (т.е. по столбцам).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Сравнительный анализ экологической обстановки в Нижегородской области по показателям водопользования 1999 – 2003 гг.** Экологическое зонирование территории Нижегородской области было проведено на основе анализа натуральных показателей водопользования, нашедших отражение в форме 2ТП-водхоз. Для 48 административных районов Нижегородской области, характеризующихся 11 показателями водопользования, размер матрицы натуральных показателей только за один год анализа составит 528 ед.:

$$48 \text{ районов} \times 11 \text{ показателей} = 528 \text{ ед.}$$

Соответственно за 5 лет анализа размер матрицы увеличится до 2460 ед. Провести экспертную оценку по всей совокупности показателей за фиксированный отрезок времени без применения соответствующих методов сжатия информации весьма проблематично. Именно поэтому предложенные авторами статьи методы сжатия экологической информации с помощью функции желательности представляются достаточно корректными и адекватными.

Сжатие исходной информации для административных районов области достигает 528 раз и 121 раз в случае городов.

Рассмотрим результаты оценки экологической ситуации в административных районах и городах Нижегородской области с помощью функции желательности. Напомним, что необходимость введения функции желательности определяется различными размерностями переменных, что не позволяет усреднять их непосредственно. Кроме того, функция желательности определена на интервале  $[0;1]$ , соответствующему вербальным экспертным оценкам «плохо – хорошо», что существенно упрощает интерпретацию сложных многомерных зависимостей.

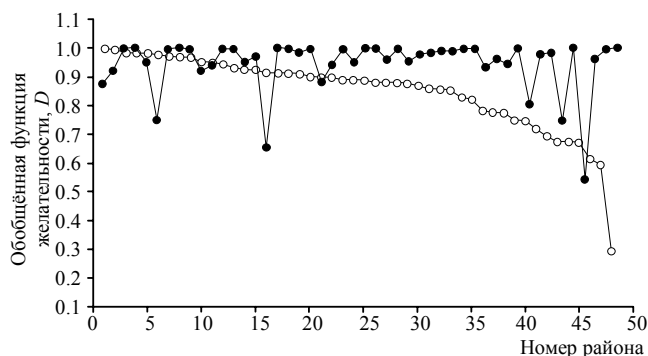
На первом этапе анализа был проведен расчет обобщенных функций желательности по 11 показателям водопользования для каждого из 48 районов Нижегородской области за период 1999 – 2003 гг. Это позволило построить их ранговые распределения (рис. 1), а также провести многомерный кластерный анализ (табл. 1).

Ранговые распределения являются удобным и наглядным методом анализа и представления его результатов. Так, сохранение исходного – 1999 г. порядка ранжирования административных районов по степени убывания обобщенной

## ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО СТЕПЕНИ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

функции желательности для данных 2003 г. (см. рис. 1) позволило наглядно выявить «проблемные» районы, в которых значение  $D$  снизилось. В свою очередь, обращение к матрице исходных данных позволяет провести диагностику и выявить комплекс причин (см. табл. 1), в результате которых ухудшилась экологическая ситуация (т.е. уменьшилась «желательность»).

Многомерный кластерный анализ значений обобщенной функции желательности для 48 административных районов (включая районные центры), проведенный за период 1999 – 2003 гг. (длина вектор-строки), дал возможность выделить 6 кластеров, рассчитать среднее значение  $D$  для каждого кластера (табл. 2) и на этой основе провести зонирование территории Нижегородской области в районном разрезе (рис. 2).



**Рис. 1.** Ранговое распределение административных районов Нижегородской области по значению обобщенной функции желательности: ○ – 1999 г., ● – 2003 г.

**Таблица 1**

Причины ухудшения экологической обстановки в административных районах  
Нижегородской области в 2003 г. по сравнению с 1999 г.

| Район                  | Причина ухудшения экологической обстановки                  | Характер изменения                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Володарский            | Сброс сточных, транзитных и др. вод без очистки             | Увеличилось более чем в 14 раз                           |
| Дальнеконстантиновский | Использование свежей воды на хозяйственно-питьевые нужды;   | Увеличилось более чем в 3 раза                           |
|                        | использование свежей воды на производственные нужды;        | То же                                                    |
| Починковский           | сброс недостаточно очищенных сточных, транзитных и др. вод  | Увеличилось более чем в 2.5 раза                         |
|                        | Использование свежей воды на хозяйственно-питьевые нужды;   | Увеличилось более чем в 3 раза                           |
| Сеченовский            | сброс недостаточно очищенных сточных, транзитных и др. вод  | Увеличилось более чем в 4 раза                           |
|                        | Суммарный сброс сточных, транзитных и др. вод;              | Увеличилось более чем в 2 раза                           |
|                        | сброс недостаточно очищенных сточных, транзитных и др. вод; | Увеличилось более чем в 3 раза                           |
| Сокольский             | отношение сброса загрязнённой воды к забору                 | Увеличилось более чем в 1.3 раза                         |
|                        | Использование свежей воды на хозяйственно-питьевые нужды    | Начало использования воды на хозяйственно-питьевые нужды |

На втором этапе анализа по результатам вычисления частных и обобщенных функций желательности для 11 показателей водопользования отдельно для административных районов и городов области за период 1999 – 2003 гг. были получены интегральные оценки экологической обстановки в Нижегородской области (табл. 3).

Таблица 2

Разбиение на кластеры административных районов Нижегородской области  
по значению обобщённой функции желательности за 1999 – 2003гг.  
(по результатам многомерного кластерного анализа методом Уорда)

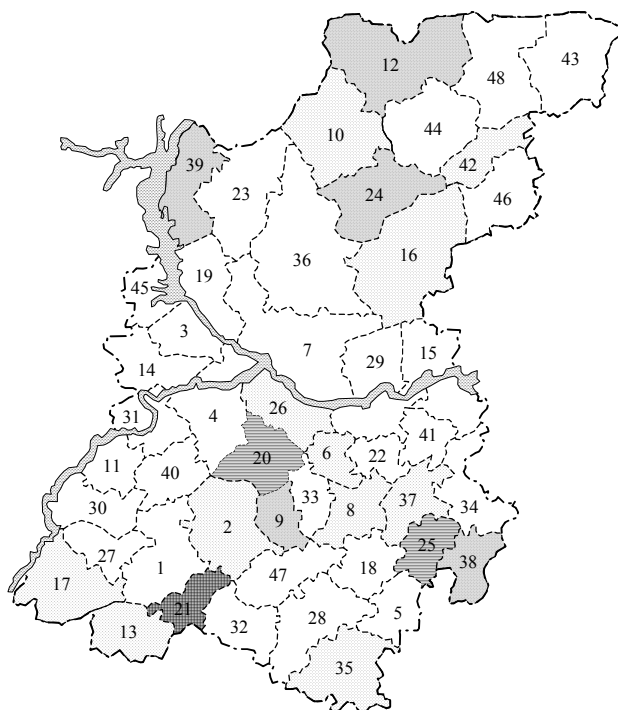
| №  | Районы                 | Значения обобщённой функции желательности | Кластер | Среднее значение обобщённой функции желательности в кластере |
|----|------------------------|-------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------|
| 1  | Вачский                | 0.902                                     | I       | 0.916                                                        |
| 2  | Шахунский              | 0.939                                     |         |                                                              |
| 3  | Ковернинский           | 0.923                                     |         |                                                              |
| 4  | Варнавинский           | 0.895                                     |         |                                                              |
| 5  | Володарский            | 0.923                                     |         |                                                              |
| 6  | Воротынский            | 0.992                                     | II      | 0.982                                                        |
| 7  | Навашинский            | 0.995                                     |         |                                                              |
| 8  | Балахнинский           | 0.984                                     |         |                                                              |
| 9  | Павловский             | 0.985                                     |         |                                                              |
| 10 | Лысковский             | 0.985                                     |         |                                                              |
| 11 | Богородский            | 0.972                                     |         |                                                              |
| 12 | Шарангинский           | 0.958                                     |         |                                                              |
| 13 | Первомайский           | 0.965                                     | III     | 0.952                                                        |
| 14 | Сосновский             | 0.950                                     |         |                                                              |
| 15 | Спасский               | 0.948                                     |         |                                                              |
| 16 | Большеболдинский       | 0.957                                     |         |                                                              |
| 17 | Лукояновский           | 0.938                                     |         |                                                              |
| 18 | Перевозский            | 0.938                                     |         |                                                              |
| 19 | Уренский               | 0.955                                     |         |                                                              |
| 20 | Тоншаевский            | 0.949                                     |         |                                                              |
| 21 | Городецкий             | 0.940                                     |         |                                                              |
| 22 | Ардатовский            | 0.924                                     |         |                                                              |
| 23 | Шатковский             | 0.973                                     |         |                                                              |
| 24 | Гагинский              | 0.970                                     |         |                                                              |
| 25 | Семеновский            | 0.965                                     |         |                                                              |
| 26 | Княгининский           | 0.955                                     |         |                                                              |
| 27 | Борский                | 0.949                                     |         |                                                              |
| 28 | Пильнинский            | 0.958                                     | IV      | 0.757                                                        |
| 29 | Сокольский             | 0.762                                     |         |                                                              |
| 30 | Сеченовский            | 0.774                                     |         |                                                              |
| 31 | Выксунский             | 0.813                                     |         |                                                              |
| 32 | Краснобаковский        | 0.781                                     |         |                                                              |
| 33 | Ветлужский             | 0.779                                     |         |                                                              |
| 34 | Вадский                | 0.777                                     |         |                                                              |
| 35 | Дальнеконстантиновский | 0.697                                     |         |                                                              |
| 36 | Краснооктябрьский      | 0.681                                     | V       | 0.876                                                        |
| 37 | Чкаловский             | 0.925                                     |         |                                                              |
| 38 | Бутурлинский           | 0.879                                     |         |                                                              |
| 39 | Большемурашкинский     | 0.849                                     |         |                                                              |
| 40 | Воскресенский          | 0.892                                     |         |                                                              |
| 41 | Тонкинский             | 0.832                                     |         |                                                              |
| 42 | Починковский           | 0.835                                     |         |                                                              |
| 43 | Кулебакский            | 0.906                                     |         |                                                              |
| 44 | Вознесенский           | 0.893                                     |         |                                                              |
| 45 | Сергачский             | 0.890                                     |         |                                                              |
| 46 | Арзамасский            | 0.879                                     |         |                                                              |
| 47 | Кстовский              | 0.866                                     | VI      | 0.249                                                        |
| 48 | Дивеевский             | 0.294                                     |         |                                                              |

## ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО СТЕПЕНИ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

В табл. 3 (по строкам) приведены средневзвешенные значения натуральных показателей водопользования 48 административных районов области (по годам) и соответствующие им величины частной функции желательности, рассчитанные по формулам (5), (6). Для каждого года анализа (по столбцам) по формуле (2) вычислена обобщённая функция желательности  $D$ , позволяющая оценить динамику экологической обстановки в административных районах области за период с 1999 по 2003 г. по показателям водопользования. Очевидно, что динамика имеет положительный характер, причём ситуация в 2003 г. существенно улучшилась по сравнению с предшествующими годами.

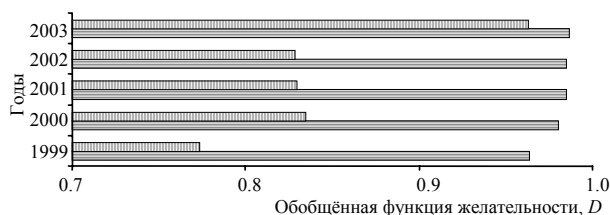
Аналогичный анализ по 11 городам области, представленный в табл. 4, также свидетельствует об улучшении экологической обстановки по показателям водопользования.

Поскольку анализ по административным районам и городам области проведён по единому алгоритму и в одной шкале «желательности», визуализация этих данных даёт возможность получить наглядный и легко интерпретируемый результат (рис. 3). В частности, хорошо видно, что по совокупности 11 основных показателей водопользования экологиче-



**Рис. 2.** Зонирование территории Нижегородской области по степени нагрузки сточными водами с помощью обобщённой функции желательности: ■ — 0 – 0.24; ▨ — 0.25 – 0.49; ▩ — 0.50 – 0.69; ▪ — 0.70 – 0.79; ▫ — 0.80 – 0.89; □ — 0.90 – 1.0. Перечень районов Нижегородской области: 1 – Ардатовский, 2 – Арзамасский, 3 – Балахнинский, 4 – Богородский, 5 – Большеболдинский, 6 – Большемурашкинский, 7 – Борский, 8 – Бутурлинский, 9 – Вадский, 10 – Варнавинский, 11 – Вачский, 12 – Ветлужский, 13 – Вознесенский, 14 – Володарский, 15 – Воротынский, 16 – Воскресенский, 17 – Выксунский, 18 – Гагинский, 19 – Городецкий, 20 – Дальнеконстантиновский, 21 – Дивеевский, 22 – Княгининский, 23 – Ковернинский, 24 – Краснобаковский, 25 – Краснооктябрьский, 26 – Кстовский, 27 – Кулебаковский, 28 – Лукояновский, 29 – Лысковский, 30 – Навашинский, 31 – Павловский, 32 – Первомайский, 33 – Перевозский, 34 – Пильнинский, 35 – Починковский, 36 – Семёновский, 37 – Сергачский, 38 – Сеченовский, 39 – Сокольский, 40 – Сосновский, 41 – Спасский, 42 – Тонкинский, 43 – Тоншаевский, 44 – Уренский, 45 – Чкаловский, 46 – Шарангинский, 47 – Шатковский, 48 – Шахунский

ская обстановка в административных районах улучшалась с выраженной динамикой с 1999 по 2003 г., тогда как в городах области имело место ухудшение экологической обстановки в период 2000 – 2002 гг., с последующим ее улучшением в 2003 г. (см. табл. 4). Причины стагнации экологической ситуации в городах за этот период обусловлены уменьшением объема забора пресной воды при постоянном объеме суммарного сброса сточных, транзитных и других вод.



**Рис. 3.** Динамика изменения экологической обстановки в городах и административных районах Нижегородской области в 1999 – 2003 гг. по значению обобщенной функции желательности ( $D$ ): ■ – город, ▨ – район

**Таблица 3**

Экологическая обстановка в административных районах Нижегородской области в 1999 – 2003 гг., оцененная по основным показателям водопользования с помощью функции желательности

| № п/п | Показатель водопользования                                                                                           | Вид показателя                | Годы  |       |       |       |       |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |                                                                                                                      |                               | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
| 1     | 2                                                                                                                    | 3                             | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 1     | Забор воды из природных источников на хозяйственно-питьевые, производственные и другие нужды, млн м <sup>3</sup>     | Средневзвешенное              | 2.580 | 3.690 | 3.080 | 3.100 | 3.060 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 1.000 | 0.939 | 0.985 | 0.983 | 0.986 |
| 2     | Забор воды из природных источников на хозяйственно-питьевые нужды, млн м <sup>3</sup>                                | Средневзвешенное              | 1.030 | 1.340 | 1.360 | 1.380 | 1.140 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 1.000 | 0.966 | 0.963 | 0.959 | 0.995 |
| 3     | Забор воды из природных источников на производственные нужды, млн м <sup>3</sup>                                     | Средневзвешенное              | 0.520 | 1.410 | 1.410 | 1.410 | 1.340 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 1.000 | 0.649 | 0.649 | 0.649 | 0.675 |
| 4     | Отношение объема забора воды из поверхностных природных источников к установленному лимиту, %                        | Средневзвешенное              | 0.580 | 0.540 | 0.520 | 0.520 | 0.530 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 0.994 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 5     | Отношение объема забора воды из подземных природных источников к установленному лимиту, %                            | Средневзвешенное              | 0.830 | 0.790 | 0.840 | 0.870 | 0.800 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 0.999 | 1.000 | 0.998 | 0.995 | 1.000 |
| 6     | Сброс загрязненных сточных вод (без очистки и недостаточно очищенных) в природные водные объекты, млн м <sup>3</sup> | Средневзвешенное              | 1.700 | 1.910 | 1.930 | 1.930 | 1.180 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 0.937 | 0.894 | 0.890 | 0.890 | 1.000 |
| 7     | Сброс загрязненных сточных вод без очистки в природные водные объекты, млн м <sup>3</sup>                            | Средневзвешенное              | 0.970 | 1.010 | 0.910 | 0.910 | 0.260 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 0.500 | 0.483 | 0.528 | 0.528 | 1.000 |
| 8     | Сброс сточных вод недостаточно очищенных в природные водные объекты, млн м <sup>3</sup>                              | Средневзвешенное              | 0.960 | 1.190 | 1.080 | 1.080 | 0.990 |
|       |                                                                                                                      | Частная функция желательности | 1.000 | 0.977 | 0.993 | 0.993 | 1.000 |



# ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО СТЕПЕНИ НАГРУЗКИ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Окончание табл. 3

| 1                                          | 2                                                                                                         | 3                             | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9                                          | Сброс нормативно очищенных сточных вод в природные водные объекты, млн м <sup>3</sup>                     | Средневзвешенное              | 0.130 | 0.260 | 0.260 | 0.260 | 0.840 |
|                                            |                                                                                                           | Частная функция желательности | 0.302 | 0.565 | 0.565 | 0.565 | 1.000 |
| 10                                         | Отношение объёма сброса загрязнённой сточной воды к объёму забора пресной воды из природных источников, % | Средневзвешенное              | 0.68  | 0.47  | 0.56  | 0.51  | 0.38  |
|                                            |                                                                                                           | частная функция желательности | 0.849 | 0.977 | 0.928 | 0.959 | 1.000 |
| 11                                         | Отношение объёма сброса нормативно очищенных сточных вод к объёму сброса загрязнённых сточных вод, %      | Средневзвешенное              | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 0.13  |
|                                            |                                                                                                           | Частная функция желательности | 0.364 | 0.367 | 0.367 | 0.367 | 1.000 |
| Обобщённая функция желательности, <i>D</i> |                                                                                                           |                               | 0.752 | 0.762 | 0.769 | 0.770 | 0.963 |

Таблица 4

Причины изменения экологической обстановки  
в Нижегородской области за 1999 – 2003 гг.

| Категория водопользователей | Год  | Причина изменения экологической обстановки по сравнению с предыдущим годом                                                                                                                       | Характер изменения  |
|-----------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Районы                      | 2000 | Увеличился объём сброса нормативно очищенных сточных вод в природные водные объекты.<br>Увеличилось отношение объёма сброса нормативно очищенных сточных вод к общему объёму сброса сточных вод  | Ситуация улучшилась |
|                             | 2001 | Уменьшилось отношение объёма сброса нормативно очищенных сточных вод к общему объёму сброса сточных вод                                                                                          | Ситуация ухудшилась |
|                             | 2002 | Уменьшилось отношение объёма сброса нормативно очищенных сточных вод к общему объёму сброса сточных вод                                                                                          | То же               |
|                             | 2003 | Увеличился объём сброса нормативно очищенных сточных вод в природные водные объекты.<br>Увеличилось отношение объёма сброса нормативно очищенных сточных вод к общему объёму сброса сточных вод. | Ситуация улучшилась |
|                             |      | Увеличилось отношение объёма сброса загрязнённых сточных вод (без очистки и недостаточно очищенных) к забору из природных источников (на хозяйственно-питьевые, производственные и др. нужды)    |                     |
| Города                      | 2000 | Увеличился объём сброса нормативно очищенных сточных вод в природные водные объекты                                                                                                              | То же               |
|                             | 2001 | Уменьшился сброс сточных вод без очистки в природные водные объекты                                                                                                                              | «                   |
|                             | 2002 | Уменьшился забор воды из природных водных объектов на хозяйственно-питьевые, производственные и др. нужды                                                                                        | «                   |
|                             | 2003 | Уменьшилось отношение объёма сброса загрязнённых сточных вод (без очистки и недостаточно очищенных) к забору из природных источников (на хозяйственно-питьевые, производственные и др. нужды)    | «                   |

Следует подчеркнуть, что предложенный алгоритм оценки экологической обстановки приемлем для любого набора эколого-экономических данных и показателей. Кроме того, результаты проведённого анализа следует рассматривать как исходные для более углублённого изучения причин изменения экологической обстановки в территориально-административных единицах любого ранга.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана и верифицирована система базовых и производных показателей водопользования, характеризующих уровень антропогенной нагрузки на территории Нижегородской области в районном разрезе и по городам области.
2. Разработаны и апробированы алгоритмы оценки экологической обстановки на территории Нижегородской области с помощью функции желательности.
3. На основе обобщённой функции желательности сделан вывод о положительной динамике экологической обстановки по 11 показателям водопользования, в том числе и нагрузке сточными водами, за период с 1999 по 2003 г., более выраженной в административных районах по сравнению с городами области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адлер Ю.Н., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
- Аренс Х., Лейтер Ю.* Многомерный дисперсионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1985. 230 с.
- Воробейчик Е.А., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1984. 280 с.
- Высоцкая Н.В.* Методология многомерного статистического анализа в геополитических исследованиях // Геополитические и геоэкономические проблемы России. СПб.: Прогресс-погода, 1995. С. 227 – 228.
- Гелашвили Д.Б., Басуров В.А.* Оценка уровня антропогенной нагрузки на территории с использованием методов многомерного статистического анализа // Прикладная статистика в социально-экономических проблемах: Материалы Междунар. конф. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2003. С. 66 – 69.
- Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Шитиков В.К.* К созданию пространственно-распределенной базы эколого-экономических данных бассейна крупной реки (на примере Волжского бассейна) // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах. Самара: Изд-во Самар. гос. ун-та, 1995. С. 8 – 15.
- Федоров В.Д., Сахаров В.Б., Левич А.П.* Количественные подходы к оценке нормы и патологии экосистем // Человек и биосфера. М.: Наука, 1982. Вып. 6. С. 3 – 42.
- Фешбах М.* Атлас. Окружающая среда и здоровье населения России. М.: Паимс, 1995. 448 с.