

Барышников Сергей Владимирович

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ  
РЕГУЛЯЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

03.00.16 – Экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Нижний Новгород  
2009

Работа выполнена на кафедре экологии Государственного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук,  
профессор **Моничев Александр Яковлевич**

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук,  
профессор **Дмитриев Александр Иванович**,  
доктор физико-математических наук,  
профессор **Антонец Владимир Александрович**

**Ведущая организация:** Институт экологии Волжского бассейна  
РАН (г. Тольятти)

Защита состоится «23» сентября 2009 г. в 15 часов на заседании  
диссертационного совета Д.212.166.12 Нижегородского государственного  
университета им. Н. И. Лобачевского по адресу: 603950, г.Нижний Новгород,  
пр.Гагарина, 23, корп. 1, биологический факультет

E-mail: ecology@bio.unn.ru

факс:(8312) 465-22-08

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского  
государственного университета им. Н. И. Лобачевского

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук

Г.А. Кравченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

В XX веке человечество столкнулось с рядом глобальных проблем, от решения которых зависит его существование в дальнейшем. Большая часть этих проблем (энергетическая, продовольственная, экологическая и др.) напрямую связаны с динамикой численности населения. В настоящий момент в странах мира реализуются разнообразные варианты развития популяционных процессов. Так, на фоне роста общемировой численности, продолжающегося значительными темпами, в течении последних двух десятков лет в Российской Федерации наблюдается процесс депопуляции. При этом для решения демографической проблемы в России принята Национальная программа демографического развития, представляющая собой долгосрочный (2006 – 2015 гг.) план по созданию условий для стабилизации и последующего роста численности населения.

Несомненно, что для проведения эффективных целенаправленных мероприятий, обеспечивающих устойчивое развитие человеческого общества и сохранение стабильного состояния природной среды, необходимо знать и достаточно хорошо изучить механизмы, управляющие популяционными процессами. Необходимо четко установить, какие факторы оказывают влияние на рождаемость и смертность, и исследовать механизмы этого влияния. Так, широко известен факт, что в развивающихся странах рост социального благополучия с определенного момента приводит к снижению рождаемости (Небел, 1993). Не вызывает сомнения связь популяционных процессов с экологическими факторами (Кузнецова, 1992; Попова и др., 1994; Делов и др., 1997; Исаев и др., 1998; Тарасова, 1998).

Большое количество внешних факторов и сложность их воздействия на рождаемость и смертность делают довольно сложной задачу их изучения, требуя проведения объемной работы по сбору, обработке и анализу статистических данных на протяжении многих лет (Мальтус, 1895, Вишневский, 2005). В подобных условиях становится незаменимым применение метода математического моделирования, который делает возможным проведение большого количества модельных экспериментов, с учетом изменения условий протекания внутривнутрипопуляционных процессов регуляции рождаемости и смертности и последующим анализом результатов этих изменений во времени.

Модельное прогнозирование численности человеческой популяции имеет определенную историю. В частности, накоплен довольно большой опыт, связанный с моделированием динамики глобальной численности населения (Венецкий, 1997;

Капица, 1999; Подлазов, 2000; Коротаев и др., 2005). В то же время практически отсутствуют исследования, посвященные моделированию аналогичных процессов на региональном уровне.

В связи с вышеизложенным, **целью работы** было: разработать модельное описание механизмов регуляции рождаемости и смертности в человеческой популяции с учетом региональных особенностей.

### **Задачи исследования**

1. Разработать и обосновать модельные представления о внутривнутрипопуляционной регуляции динамики численности населения на региональном уровне.
2. Оценить силу влияния региональной плотности популяции на рождаемость и смертность.
3. Провести на основе модельных представлений верификацию динамических особенностей роста численности популяции для конкретного региона.
4. С помощью методов многомерного анализа классифицировать регионы по характеру внутривнутрипопуляционной обстановки. Выявить средовые характеристики, оказывающие регуляторное воздействие на динамику популяционных процессов в регионе.

### **Научная новизна**

Впервые предложена модифицированная математическая модель, учитывающая региональные особенности регуляции рождаемости и смертности. С целью верификации новых модельных представлений дан прогноз динамики популяционной численности в регионах Российской Федерации. Особое внимание уделено процессам регуляции рождаемости, смертности и численности человеческой популяции в Нижегородской области. На её примере впервые показано, что существует положительная корреляционная связь между величиной антропогенной нарушенности окружающей среды и активностью влияния человеческого общества на рождаемость и смертность.

Путем кластерного и факторного анализа впервые на региональном уровне выявлена взаимосвязь между определенными популяционными и средовыми характеристиками: продолжительностью жизни и социальными условиями; уровнем смертности и обеспеченностью жилплощадью; антропогенным воздействием на окружающую среду и промышленной развитостью.

### **Научно-практическая значимость**

Предложенные модельные представления дают возможность прогнозировать динамику численности человеческой, а также природных популяций. Подходы, использованные для анализа внутривнутрипопуляционных регулирующих процессов в Нижегородской области могут быть применены при исследовании других регионов. Модельные построения и методики компьютерного анализа, предложенные в работе, внедрены в учебный процесс в составе лабораторного практикума для магистров специальности 020801- «Экология».

### **Личное участие**

Автор работы осуществлял сбор статистических данных, характеризующих эколого-демографическую обстановку в регионах Российской Федерации. Разрабатывал методики математической обработки данных с использованием соответствующих компьютерных приложений и применял их в процессе выполнения данной работы. Участвовал в постановке задач, построении модели, анализе и обобщении результатов и формулировке выводов.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Ведущим фактором, определяющим популяционную динамику численности населения на региональном уровне, является плотность населения.
2. Сила влияния общества на рождаемость и смертность выше в регионах с более низкой плотностью населения, более развитой промышленностью и более высоким уровнем жизни.
3. Существует положительная корреляционная связь между степенью антропогенного воздействия на окружающую среду и силой регуляторного влияния популяции на рождаемость и смертность.
4. Предложенные модельные представления дают прогноз снижения плотности населения в Нижегородской области, до уровня 34,7 чел./км<sup>2</sup>.

### **Апробация работы**

Результаты работы были доложены на IX Всероссийском популяционном семинаре (Уфа, 2006); XXI Международной студенческой конференции «Актуальные проблемы естествознания» (Москва - Нижний Новгород, 2009).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 7 работ. Из них 2 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 144 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов, собственных результатов и их обсуждения, заключения, выводов, списка цитированной литературы и приложения. Работа иллюстрирована 41 рисунком и 6 таблицами. Список литературы включает в себя 129 источников.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю Моничеву Александру Яковлевичу за неоценимую помощь, оказанную на всех этапах написания работы, заведующему кафедрой экологии биологического факультета Давиду Бежановичу Гелашвили за глубокий и доброжелательный анализ работы, Басурову Владимиру Адольфовичу, с чьей помощью была получена значительная часть использованных в работе статистических материалов, а также всем сотрудникам кафедры, чья поддержка и сочувствие имели неоценимое значение в процессе написания диссертационной работы.

## **Глава 1. Обзор литературы**

В данной главе обсуждается актуальность популяционных исследований, связанных с региональной численностью населения в современном обществе. Проводится краткий анализ явлений, наблюдаемых в человеческой популяции, таких, как демографический взрыв, демографический переход, стабилизация глобальной численности.

Кратко охарактеризованы основные региональные особенности динамики численности населения (на примере регионов Российской Федерации). Рассмотрены причины возникновения процесса депопуляции, имеющего место в настоящий момент.

Охарактеризована популяционная обстановка в Нижегородской области, рассматриваемой как типичный регион.

Дан краткий обзор средовых факторов (экологических, социальных, экономических), оказывающих в человеческой популяции влияние на уровень рождаемости и смертности.

## **Глава 2. Материалы и методы исследования**

Сбор и обработка данных проводились в период с 2003 по 2006 год. Данные по Нижегородской области представляют собой динамику региональных популяционных и средовых характеристик в период с 1990 по 2001 год. Данные по

Российской Федерации представляют собой значения популяционных и средовых характеристик для 84 регионов за 2003 год. Основным источником данных послужил Российский статистический ежегодник. Значительная часть данных была предоставлена Институтом Народохозяйственного Прогнозирования РАН, г.Москва. Обработка и анализ данных был проведен на базе программы Microsoft Excel и программного пакета STATISTICA 6.0.

В разделе, посвященном математическому моделированию популяционных процессов дан краткий обзор истории развития популяционного моделирования, проведено рассмотрение основных моделей и их особенностей. Показано развитие модельных представлений об изменении численности человеческой популяции. Рассмотрены характерные особенности глобальной модели динамики численности населения, верифицированной в дальнейшем для региональных процессов.

В разделе, посвященном методам математической статистики, применяемым в ходе исследования, рассмотрены типичные приемы обнаружения связи и функциональной зависимости между исследуемыми характеристиками (корреляционный и регрессионный анализ). Также освещены методики верификации и количественной оценки полученных результатов.

Для проведения многомерного анализа статистических данных были применены методы кластерного и факторного анализа.

## Глава 3. Результаты исследований

### 3.1. Математическая модель динамики численности населения

Основой для проведения модельного прогнозирования послужила математическая модель, в которой рост численности населения описывается в зависимости от плотности населения:

$$\frac{d\rho}{dt} = (B - D) \cdot \rho, \quad B = \frac{B_{\max}}{1 + a \cdot \rho^{\gamma}}, \quad D = \frac{D_{\max}}{1 + b \cdot \rho^{\delta}}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность населения,  $B$  – рождаемость,  $D$  – смертность,  $B_m$  – максимальное значение рождаемости,  $D_m$  – максимальное значение смертности,  $a$ ,  $b$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  – параметры, характеризующие силу и особенности влияния плотности на рождаемость и смертность.

В предыдущих исследованиях (Моничев и др., 2003) было показано, что данная модель адекватно отражает закономерности мировой динамики численности населения.

Имеющиеся данные демографической статистики могут быть использованы для расчета численных параметров, входящих в модель. Так параметры  $B_m$  и  $D_m$

представляют собой значения рождаемости и смертности, относящиеся к фазе «примитивной», стабильности, и равны соответственно: 40 новорожденных на тысячу населения в год (максимальное значение рождаемости), и 37,5 смертей на тысячу населения в год (максимальное значение смертности).

Размерность параметров  $a$  (км<sup>2</sup>/чел.) и  $b$  (км<sup>2</sup>/чел.) позволяет предполагать, что величина этих параметров в определенной мере характеризует жизненное пространство человека и, следовательно, зависит от пространственных факторов, таких, как экологическое состояние, уровень индустриализации, качество жизни в регионе.

Коэффициенты  $\gamma$  и  $\delta$  по смыслу формулы (1) указывают на размеры той социальной группы, которая выступает в качестве регулирующего агента. Оценка изменения этих величин, дающая значения в границах от 2 до 6, также свидетельствует о том, что они могут соответствовать возможным размерам семьи.

### 3.2. Анализ внутривнутрипопуляционных регулирующих механизмов

Анализ математической модели, отображающей динамику численности населения планеты (1), показал, что современные общемировые тенденции этого процесса связаны с уменьшением, как удельной рождаемости, так и удельной смертности (рис. 1). Процесс характеризуется постепенным сближением данных показателей и достижением на этой основе некоторой стабильной численности мирового населения в будущем.

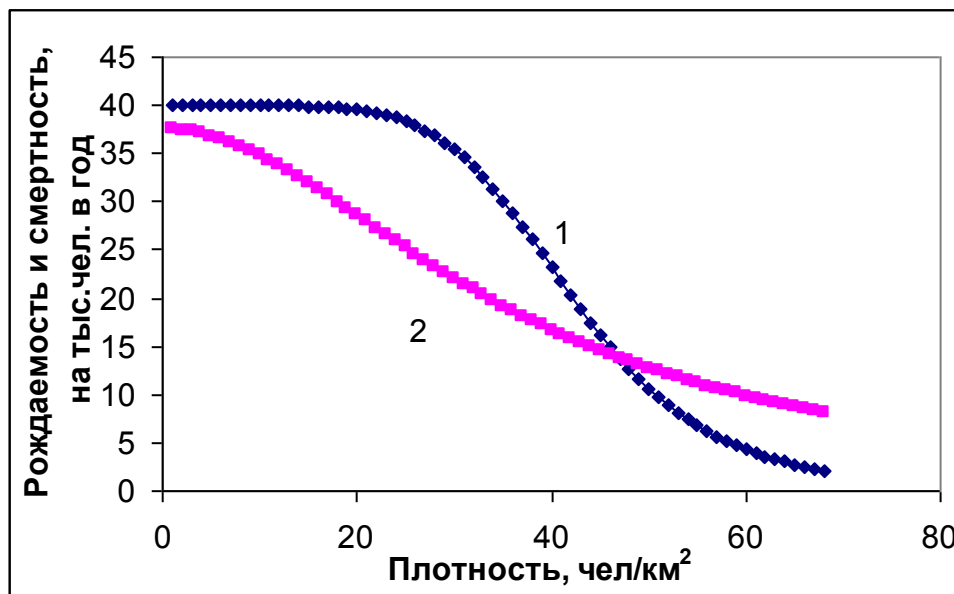


Рис.1. Зависимость рождаемости (кривая 1) и смертности (кривая 2) от плотности населения согласно модели (1)



Анализ статистических данных показывает, что регистрируемые закономерности изменения рождаемости и смертности на региональном уровне могут значительно отличаться от среднемировых. Так, например, можно увидеть, что в Нижегородской области их динамика на временном отрезке с 1990 по 2003 год значительно отличается от модельной (рис. 2). В частности, наблюдается не только уменьшение смертности с увеличением плотности, что соответствует модельной динамике, но и увеличение рождаемости, что не соответствует модели (1).

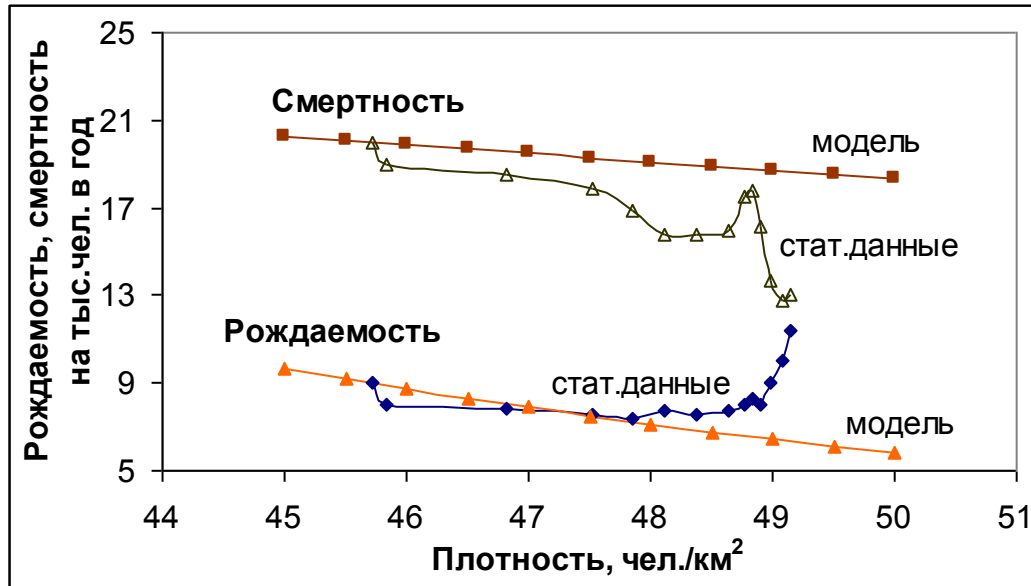


Рис. 2. Зависимость рождаемости и смертности от плотности населения за период с 1990 по 2003г. в Нижегородской области

Исходя из этого можно предположить, что на рождаемость и смертность действуют сложные по своему составу и силе воздействия факторы, отличные от константных, использованных в модели. Иными словами, значения модельных коэффициентов не являются постоянными, а непрерывно изменяются под влиянием совокупного воздействия различных средовых факторов: экологических, экономических, социальных и иных, вызывая при этом изменение величин рождаемости и смертности.

Значения указанных параметров, согласно модели (1), могут быть вычислены по следующим формулам:

$$a = \frac{B_{\max} - B}{B \cdot \rho^\gamma}, \quad b = \frac{D_{\max} - D}{D \cdot \rho^\delta}, \quad (2)$$

$$\gamma = \ln \left( \frac{B_m - B}{B \cdot a} \right) / \ln \rho, \quad \delta = \ln \left( \frac{D_m - D}{D \cdot b} \right) / \ln \rho.$$

Наглядно оценить силу влияния той или иной средовой характеристики на данные параметры  $a$  и  $b$  (или, иными словами, вклад средовой составляющей в регуляцию рождаемости и смертности) помогают диаграммы зависимости модельных параметров от исследуемых характеристик.

На основании имеющихся данных были получены уравнения линейной регрессии, описывающие зависимость коэффициентов  $a$  и  $b$  от различного рода средовых характеристик. Анализ полученных зависимостей показал, что исследуемый нами параметр  $a$  положительно коррелирует с уровнем лесистости, показателем, который характеризует экологическую ненарушенность территории, и отрицательно коррелирует с остальными показателями, характеризующими экологическую нарушенность. Параметр  $b$  напротив, отрицательно коррелирует с уровнем лесистости и положительно с остальными характеристиками. По смыслу формулы (1) параметры  $a$  и  $b$  определяют степень влияния человеческого общества на процессы регуляции рождаемости и смертности. Чем больше значение этих характеристик, тем сильнее контроль над рождаемостью и смертностью со стороны социума. Таким образом, можно заключить, что рост экологической ненарушенности территории (лесистость) сопровождается увеличением внимания к вопросам рождаемости и ослаблением внимания к задачам снижения смертности. В то время, как характеристики экологической нарушенности обладают обратным влиянием.

Вычисленные по формулам (2) на основе данных 2003 года для Нижегородской области, значения параметров  $a$  и  $b$  составляют:

$$a = 3,77 \cdot 10^{-10}; \quad b = 4,1 \cdot 10^{-4}$$

В соответствии с этими значениями, динамика численности населения, рассчитанная на основе модели (1) методом Эйлера, будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

Видно, что при сохранении интенсивности регуляционного средового воздействия, характерного для ситуации 2003 года (сохранение параметров  $a$  и  $b$  на уровне вычисленных значений) должно происходить снижение численности населения с последующей стабилизацией на уровне около 2.7 млн. человек.

С целью оценки возможных способов управления динамикой внутритропуляционных процессов представляет интерес определить, какие региональные средовые характеристики и в каком направлении могут повлиять на динамику рождаемости и смертности, и как это связано с параметрами модели.

В данной работе, в частности, мы попытались ответить на вопрос о взаимосвязи этих параметров с факторами, отражающими интенсивность антропогенного воздействия на окружающую среду.

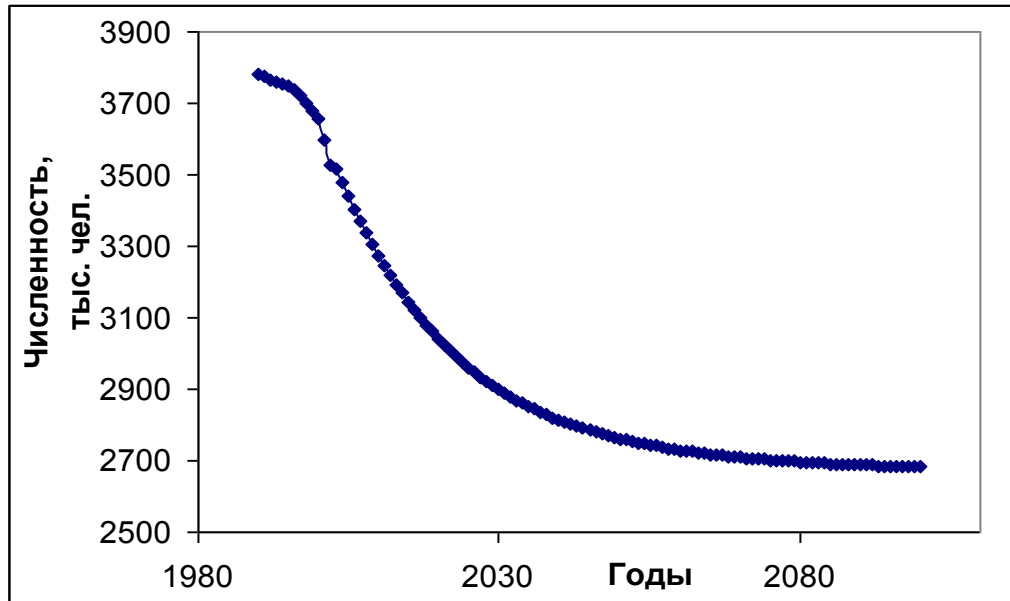


Рис. 3. Модельный прогноз динамики численности населения в Нижегородской области на основе исходных данных 2003 года

На основе имеющихся статистических данных, по формулам (2) были рассчитаны значения параметров  $a$  и  $b$ , и построены кривые их изменения на указанном отрезке времени (рис. 4).

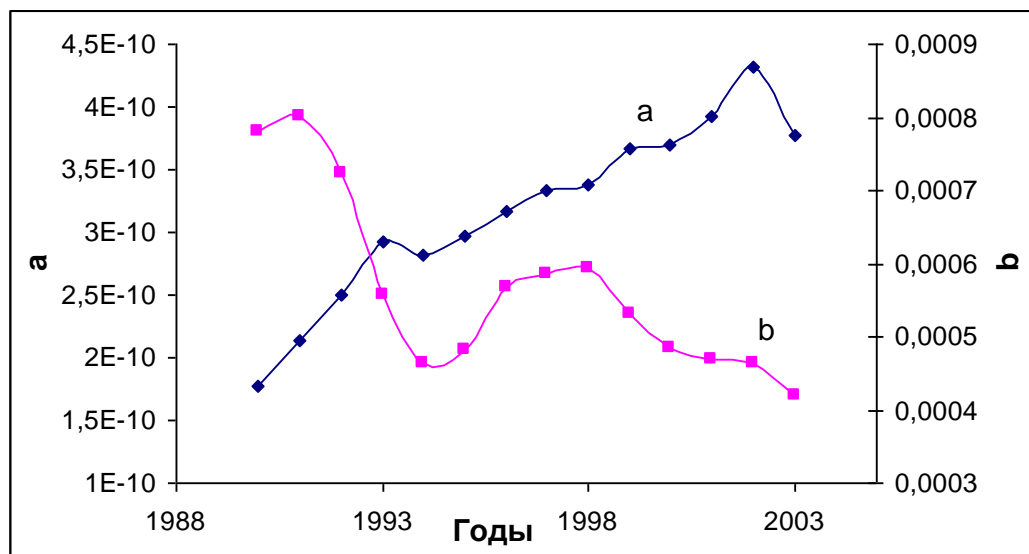


Рис. 4. Динамика параметров  $a$  и  $b$  в период с 1990 по 2003г.

Построенная на основе данных рис. 4 регрессионная зависимость параметров  $a$  и  $b$  от плотности, рассматриваемой, как интегральный показатель, определяющий интенсивность регуляционного воздействия, имеет следующий вид:

$$a = -5 \cdot 10^{-11} \cdot \rho + 3 \cdot 10^{-9}, \quad b = 7 \cdot 10^{-5} \cdot \rho - 0,0028 \quad (3)$$

Подставив уравнения линейной регрессии (3) вместо параметров  $a$  и  $b$  в формулу (1) мы получаем модель в виде:

$$\frac{d\rho}{dt} = \left( \frac{B_{\max}}{1 + (-5 \cdot 10^{-11} \cdot \rho + 3 \cdot 10^{-9}) \cdot \rho^2} - \frac{D_{\max}}{1 + (7 \cdot 10^{-5} \cdot \rho - 0,0028) \cdot \rho^{\delta}} \right) \cdot \rho \quad (4)$$

Теперь можно, повторяя уже использованный прием пошагового интегрирования (метод Эйлера), спрогнозировать характер изменения плотности и численности населения. Прогноз, полученный с учетом изменения интенсивности средового регулирующего воздействия, предсказывает еще более значительный спад в сравнении с кривой на рис. 3.

Однако, использованная линейная зависимость параметров  $a$  и  $b$  не является адекватной на продолжительном отрезке времени, так как может привести к появлению отрицательных значений для этих величин. Чтобы избежать этого, были рассмотрены другие, нелинейные зависимости параметров  $a$  и  $b$  от плотности. Так оказалось целесообразным использование экспоненциальной функции, значение которой асимптотически приближается к оси  $Ox$ , но не может быть отрицательным.

На рисунке 5. приведены для сравнения прогнозируемые участки динамики численности населения в период с 2002 по 2015 год, полученные с помощью различных вариантов модели.

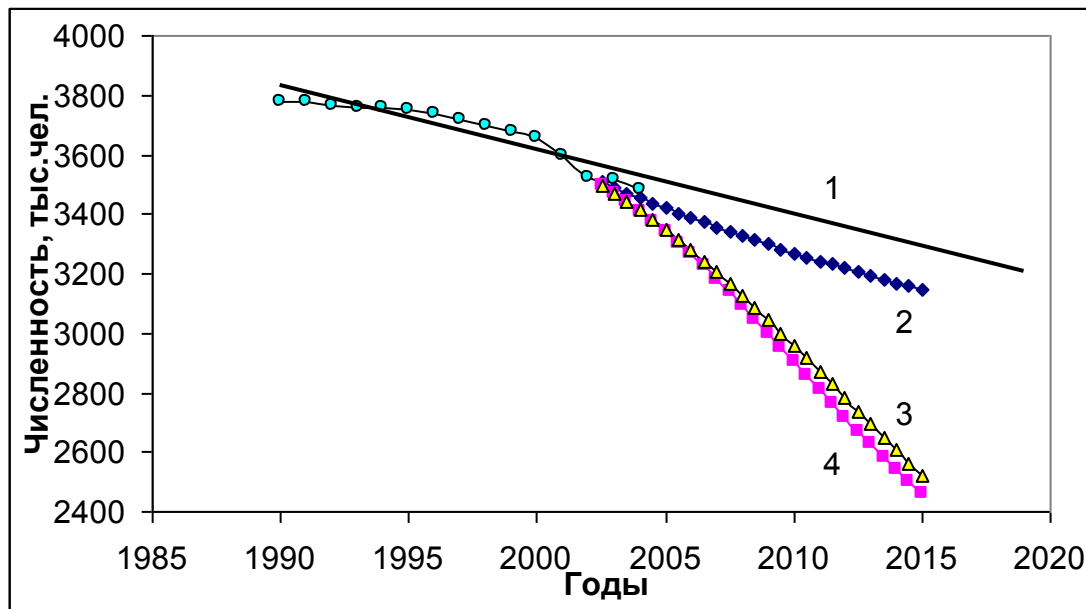


Рис. 5. Варианты прогноза динамики численности населения Нижегородской области до 2015 года с учетом интенсивности антропогенного воздействия на окружающую среду

Кривая 1 - простая линейная регрессия, кривая 2 - модельный прогноз при сохранении ситуации 2001 года, кривая 3 - модель с учетом имеющихся тенденций изменения по типу линейной регрессии, кривая 4 - экспоненциальная регрессия.

### 3.3. Анализ региональных особенностей регуляции популяционных процессов

При моделировании мировой динамики численности населения было показано, что соответствие модельных кривых реальным статистическим данным вполне достижимо при некоторых конкретных значениях модельных параметров  $a$ ,  $b$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  (Моничев и др., 2003). В то же время очевидные различия между региональными популяционными процессами, заключающиеся в различной интенсивности и направлении изменения плотности населения, говорят о том, что значения модельных параметров, скорее всего, изменяются от региона к региону.

Так например, рассматривая особенности динамики численности населения различных регионов Российской Федерации, можно видеть, что кривые зависимости рождаемости и смертности от плотности, построенные согласно зависимостям (1), должны проходить через различные точки, соответствующие показателям именно этих регионов (рис. 6).

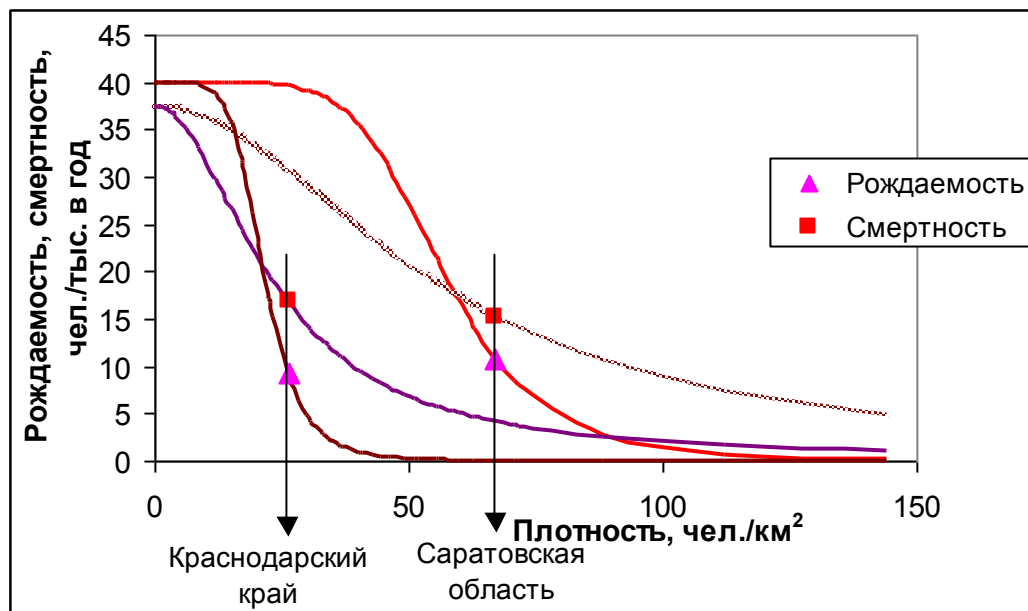


Рис. 6. Кривые зависимости рождаемости и смертности от плотности населения, построенные для двух регионов Российской Федерации

Анализируя этот эффект, следует предположить, что регулирующие параметры, меняясь от региона к региону, соответствующим образом трансформируют кривые рождаемости и смертности.

Для выявления наиболее значимых регулирующих характеристик имеющиеся региональные статистические данные были разделены на экологические, промышленно-экономические, социальные и демографические.

Базовая гипотеза, характеризующая взаимосвязь вышеуказанных групп факторов, графически отражена на рисунке 7.

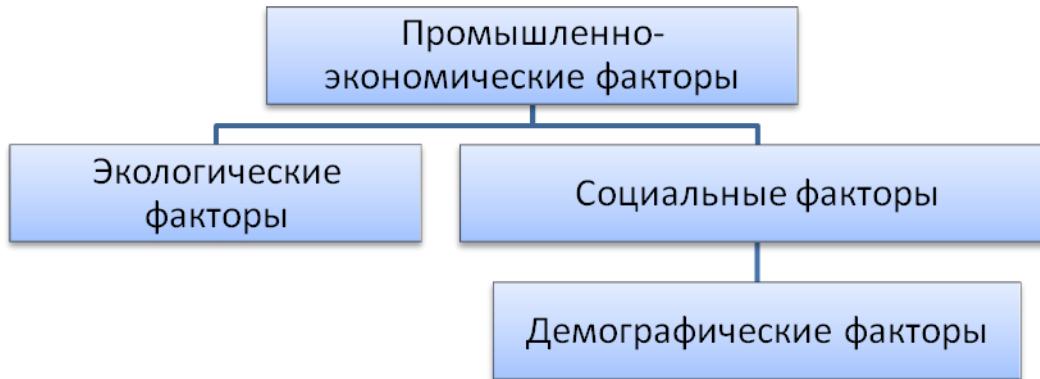


Рис. 7. Схема взаимосвязи региональных характеристик

Согласно данной схеме, характер изменения численности региональной популяции определяется в основном социальными условиями, которые характеризуют уровень жизни населения. Социальные условия, в свою очередь, определяются степенью индустриального развития региона. Помимо положительного влияния, заключающегося в повышении уровня жизни и качества социального обеспечения, уровень индустриального развития связан с антропогенной нагрузкой на окружающую среду.

Чтобы упростить работу с большим количеством данных, характеризующих региональную обстановку, целесообразно вместо отдельных факторов использовать производные от них интегральные характеристики (индексы), рассчитываемые по формуле:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^n F_i}{n} \quad (3.3.1)$$

где  $I$  – индекс, рассчитываемый для соответствующей группы факторов,  $n$  – количество факторов в группе,  $F_i$  – значение фактора (факторы, отрицательно воздействующие на соответствующий индекс учитывались с отрицательным знаком).

Чтобы в индекс можно было включать величины с различными размерностями, при расчете использовались нормированные значения:

$$F_i = \frac{(f_i - f_{cp})}{\sigma} \quad (3.3.2)$$

где  $f_i$  – значение  $i$ -го фактора из группы,  $f_{cp}$  – среднее значение фактора,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

Имеющиеся в нашем распоряжении факторы были собраны в следующие группы индексов: экологический индекс ( $I_e$ ), индекс индустриальной развитости ( $I_i$ ), индекс социального благополучия ( $I_s$ ), демографический индекс ( $I_d$ ).

Для выявления взаимосвязи между индексами и параметрами, используемыми в модели, были вычислены соответствующие коэффициенты корреляции, а также их уровни значимости (табл. 1). Коэффициенты корреляции с уровнем значимости менее 0,05 выделены курсивом.

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции между различными региональными характеристиками и их уровни значимости**

	Индекс социального благополучия	Демографический индекс	Экологический индекс	Индекс индустриальной развитости	Плотность	Модельные параметры	
						<i>a</i>	<i>b</i>
Индекс социального благополучия	1	0,126	<b><i>0,361</i></b>	<b><i>0,608</i></b>	-0,044	0,19	<b><i>0,219</i></b>
	<i>p</i> =0,00	<i>p</i> =0,258	<b><i>p</i>=0,001</b>	<b><i>p</i>=0,000</b>	<i>p</i> =0,691	<i>p</i> =0,085	<b><i>p</i>=0,046</b>
Демографический индекс	0,126	1	0,158	0,156	<b><i>0,363</i></b>	<b><i>-0,285</i></b>	<b><i>-0,219</i></b>
	<i>p</i> =0,258	<i>p</i> = 0,00	<i>p</i> =0,154	<i>p</i> =0,160	<b><i>p</i>=0,001</b>	<b><i>p</i>=0,009</b>	<b><i>p</i>=0,046</b>
Экологический индекс	<b><i>0,361</i></b>	0,158	1	<b><i>0,519</i></b>	-0,167	0,065	0,093
	<b><i>p</i>=0,001</b>	<i>p</i> =0,154	<i>p</i> = 0,000	<b><i>0</i></b>	<i>P</i> =0,132	<i>p</i> =0,559	<i>p</i> =0,403
Индекс индустриальной развитости	<b><i>0,608</i></b>	0,156	<b><i>0,519</i></b>	1	<b><i>-0,232</i></b>	0,198	<b><i>0,222</i></b>
	<b><i>0</i></b>	<i>p</i> =0,160	<b><i>p</i>=0,000</b>	<i>p</i> = 0,000	<b><i>p</i>=0,035</b>	<i>p</i> =0,074	<b><i>p</i>=0,044</b>
Плотность	-0,0442	<b><i>0,367</i></b>	-0,167	<b><i>-0,232</i></b>	1	<b><i>-0,258</i></b>	<b><i>-0,261</i></b>
	<i>p</i> =0,691	<b><i>p</i>=0,001</b>	<i>p</i> =0,132	<b><i>p</i>=0,035</b>	<i>p</i> = 0,000	<b><i>0</i></b>	<b><i>p</i>=0,017</b>
Модельный параметр <i>a</i>	0,19	<b><i>-0,285</i></b>	0,065	0,198	<b><i>-0,258</i></b>	1	<b><i>0,978</i></b>
	<i>p</i> =0,085	<b><i>p</i>=0,009</b>	<i>p</i> =0,559	<i>p</i> =0,074	<b><i>p</i>=0,018</b>	<i>p</i> = 0,00	<b><i>p</i>=0,00</b>
Модельный параметр <i>b</i>	<b><i>0,219</i></b>	<b><i>-0,219</i></b>	0,093	<b><i>0,222</i></b>	<b><i>-0,262</i></b>	<b><i>0,979</i></b>	1
	<b><i>p</i>=0,046</b>	<b><i>p</i>=0,046</b>	<i>p</i> =0,403	<b><i>p</i>=0,044</b>	<b><i>p</i>=0,017</b>	<b><i>p</i>=0,00</b>	<i>p</i> = 0,00

Анализируя полученные корреляционные связи, можно сделать вывод, что по большей части они подтверждают предложенную концепцию взаимосвязи факторов.

Согласно проведенным модельным исследованиям, важной характеристикой, определяющей состояние региона, является плотность населения. Увеличение плотности населения сопровождается экономическое и социальное развитие, как в глобальном, так и в региональном масштабе. Для выявления роли плотности

населения в регуляции рождаемости и смертности представляется целесообразным провести комплексное сравнение регионов с различной плотностью.

Для решения этой задачи была проведена процедура кластеризации регионов Российской Федерации по величине плотности населения с применением стандартной программы STATISTICA (Боровиков, 2001). Результаты проведенного кластерного анализа показали, что рассматриваемые регионы можно разделить на четыре кластера по степени увеличения плотности населения (рис. 8).

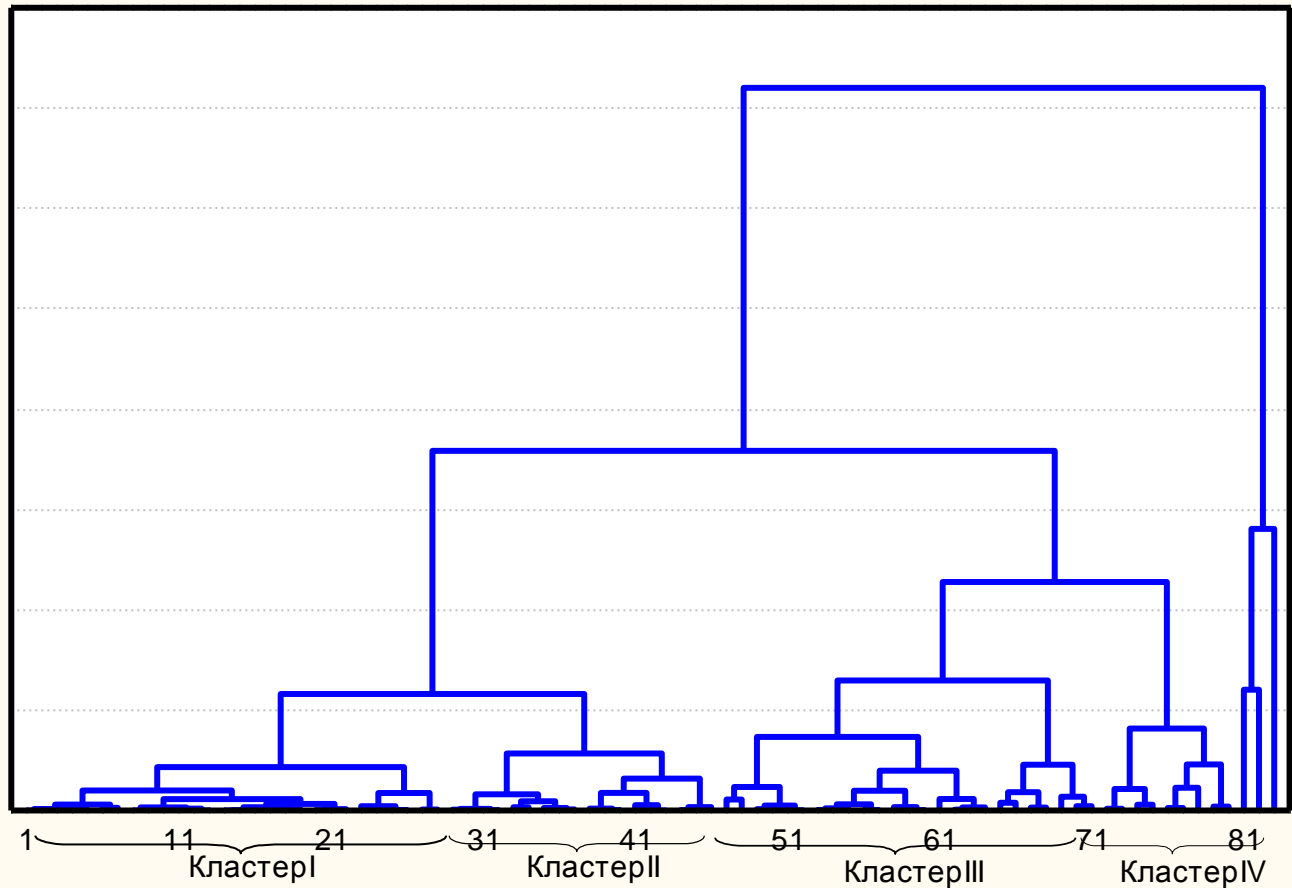


Рис. 8. Схема кластеризации регионов по величине плотности населения

Представляет интерес оценить различия в динамике численности населения для регионов, относящихся к различным кластерам. На рисунке 9 представлены прогностические кривые изменения численности населения Самарской, Курской, Омской областей и республики Саха (Якутия), построенные согласно рассматриваемой модели. Видно, что в регионах с меньшей плотностью наблюдается более стабильная обстановка. Так, в Омской области, отнесенной ко второму кластеру, темпы снижения плотности населения ниже, чем в регионах 3-го кластера (Курская область) и 4-го кластера (Самарская область) (рис. 9а). А в республике Саха (1-й кластер), наблюдается даже рост плотности (рис. 9б).



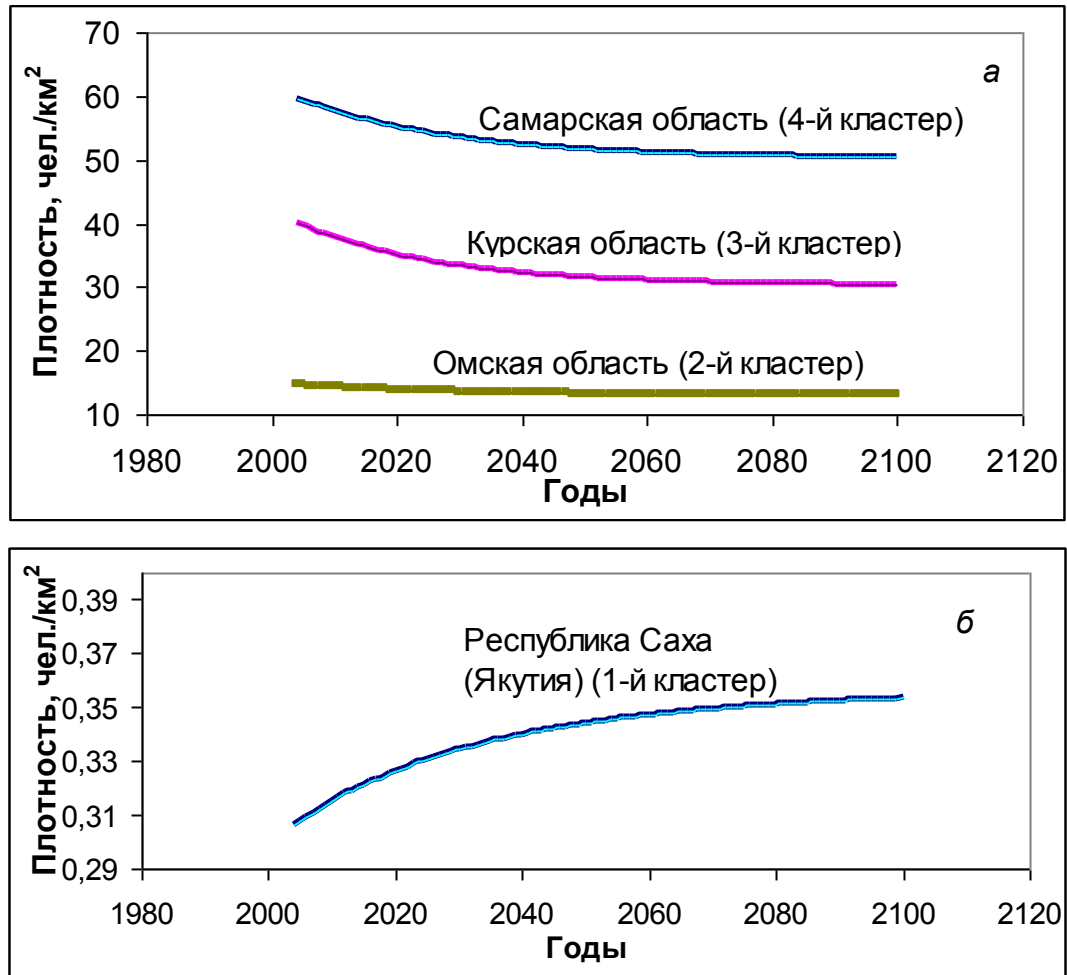


Рис. 9. Модельный прогноз развития популяционных процессов для регионов, относящихся к различным кластерам

В целом проведенный анализ подтверждает, что плотность населения является важным параметром регуляции популяционных процессов.

### 3.4. Многомерный анализ ключевых средовых факторов, определяющих популяционные процессы в регионе

Как было отмечено выше, каждый регион характеризуется набором средовых показателей, которые можно подразделить на ряд групп в зависимости от того, к какой сфере человеческой деятельности они относятся. Так в отдельные группы были выделены экологические, экономические, медико-демографические и социальные показатели. Было показано, что указанные региональные характеристики связаны (коррелируют) между собой. Так, например, высокий уровень экономического развития региона обычно сопровождается высокой интенсивностью воздействия на

окружающую среду, а благоприятная социальная обстановка, сопровождающая высокий уровень экономического развития региона, способствует увеличению продолжительности жизни. Отсюда видно, что некоторые средовые характеристики, например экономическая развитость региона, являются ключевыми. Задача выявления ключевых средовых характеристик, безусловно, сопряжена с изучением связей и зависимостей между различного рода региональными показателями. В подобных задачах может быть использован метод многомерного факторного анализа с последующей кластеризацией данных (Дубров и др., 1998), который позволяет определить ключевые факторы, как комбинацию взаимосвязанных характеристик, а также дает возможность выявить группы регионов, сходных по ключевым факторам, изучая их положение в многомерном факторном пространстве.

Полученное в процессе математической обработки (пакет Statistica 6.0) взаимное расположение изучаемых характеристик в трехмерном факторном пространстве представлено на рисунке 10.

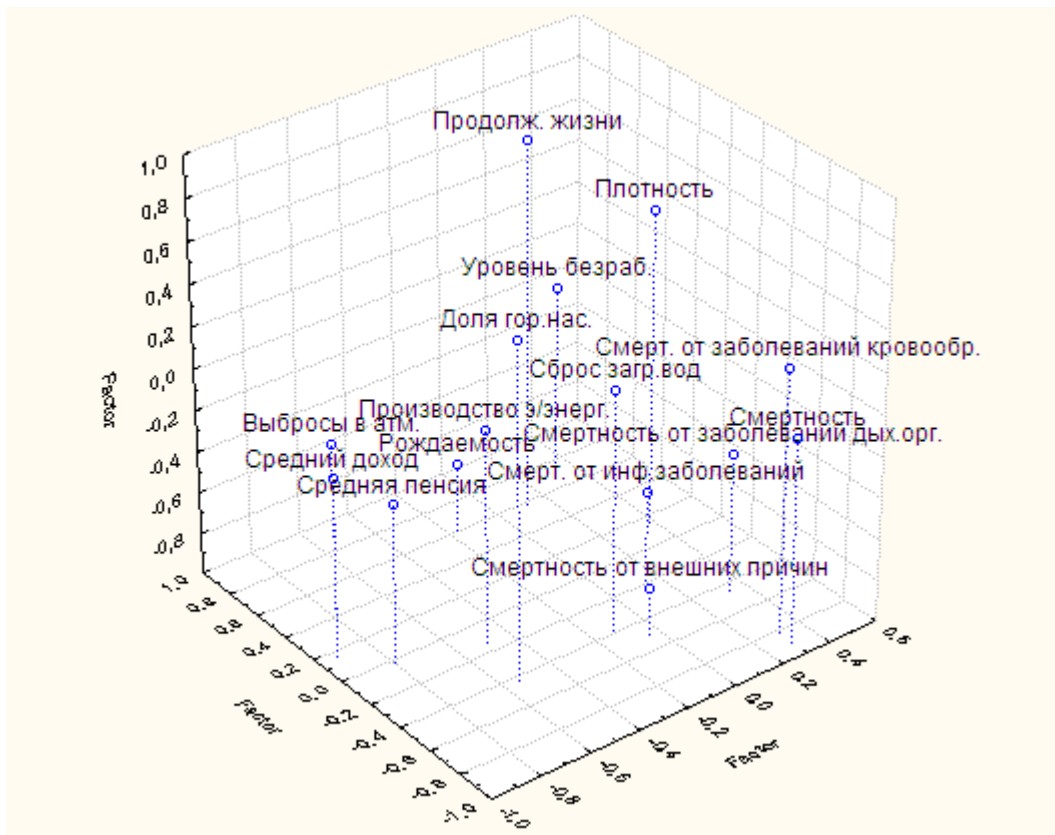


Рис. 10. Распределение региональных средовых характеристик в трехмерном пространстве факторов

Чтобы не усложнять восприятие рисунка большим количеством подписей, на нем приведены только некоторые из изучаемых средовых характеристик. При этом,

как кажется, более ясную картину взаимосвязанности рассматриваемых характеристик дает проекция полученного распределения на одну из факторных плоскостей (рис. 11).

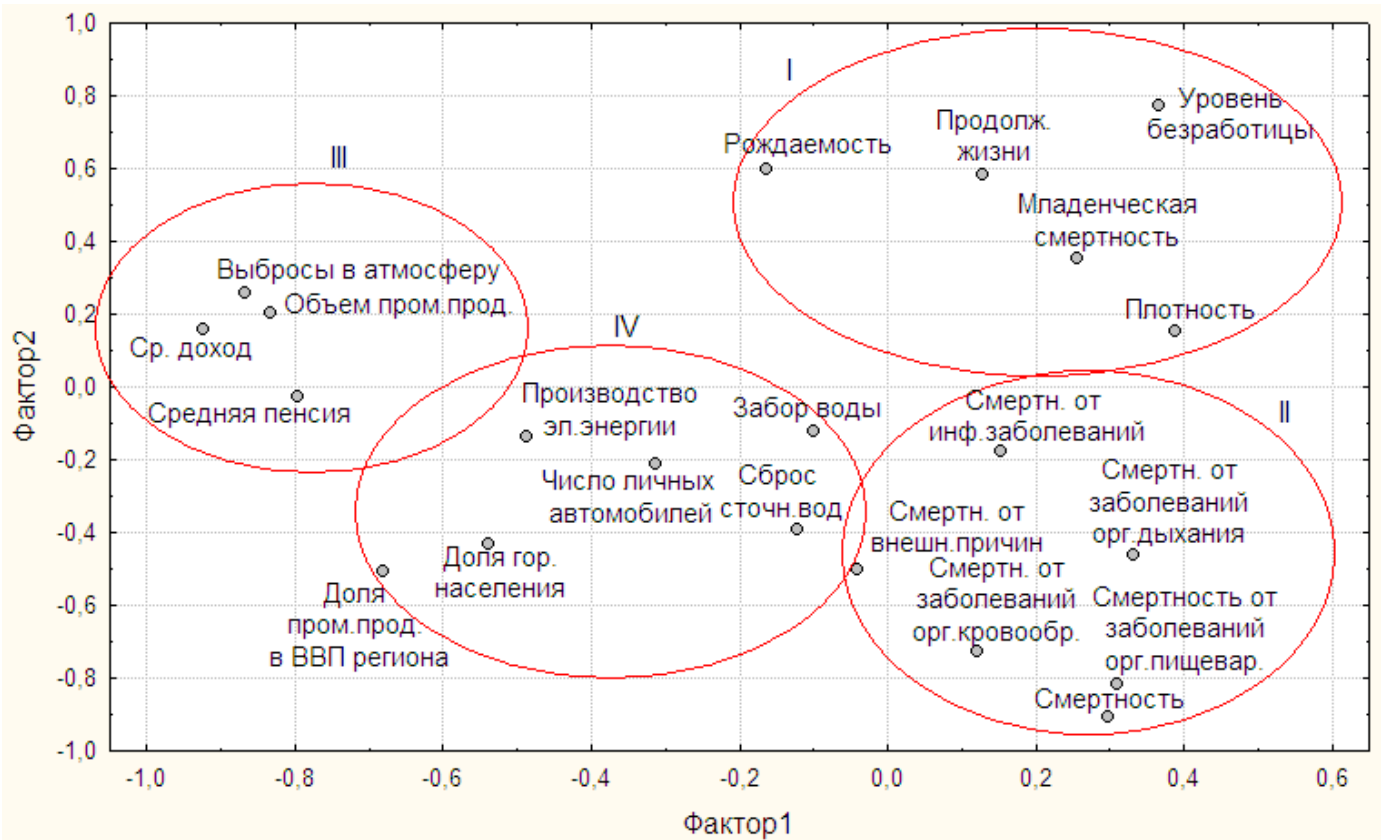


Рис. 11. Проекция пространственного распределения региональных средовых характеристик на одну из факторных плоскостей

*ВВП* – валовый внутренний продукт.

Зная положение характеристик в трехмерном пространстве, мы можем применить метод кластерного анализа к имеющемуся набору показателей для разделения изучаемых характеристик на группы по степени их близости в факторном пространстве, то есть «по сродству» (рис. 12).

В результате был получен приведенный ниже состав выделенных кластеров, отображенных на рисунках 11 и 12 римскими цифрами.

В первый кластер (помечен I) попали следующие характеристики (пронумерованы в соответствии с дендрограммой на рисунке 12): уровень рождаемости (1), уровень младенческой смертности (2), доля населения с величиной дохода ниже прожиточного минимума (3), уровень зарегистрированной безработицы (4), приблизительный уровень фактической безработицы (5), ожидаемая продолжительность жизни мужчин (7), ожидаемая продолжительность жизни

женщин (6), средняя ожидаемая продолжительность жизни (8), плотность населения (9), отношение среднего размера пенсий к величине прожиточного минимума (11).

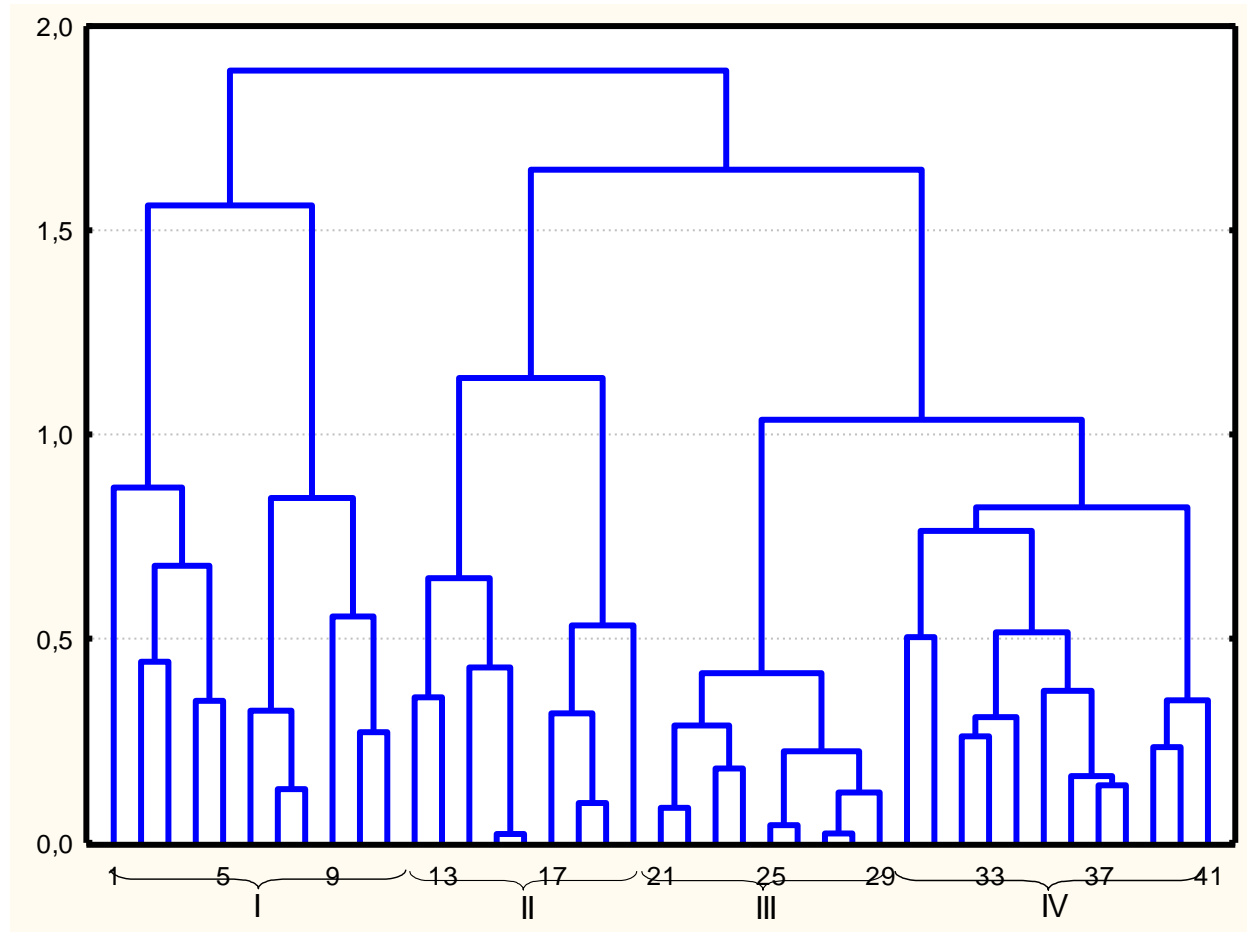


Рис. 12. Дендрограмма кластеризации региональных характеристик

Второй кластер (II): уровень смертности (17), число умерших от заболеваний органов пищеварения (12), число умерших от инфекционных и паразитарных заболеваний (16), число умерших от внешних причин смерти (14), удельная обеспеченность жилплощадью (20).

Третий кластер (III): размер среднедушевого дохода (21), размер заработной платы (22) и пенсии (23), отношение размера заработной платы к величине прожиточного минимума (24), коэффициент Джинни (25), объем выбросов в атмосферу (27), объем валового внутреннего продукта (28), объем произведенной промышленной продукции (29).

Четвертый кластер (IV): число преступлений (31), площадь региона (30), число личных автомобилей (35), объем улавливаемых выбросов в атмосферу (32), объем забора воды (33), объем сброса сточных вод (34), объем оборотной и последовательно используемой воды (37), отношение среднедушевого дохода к прожиточному

минимуму (36), количество произведенной электроэнергии (38), доля городского населения в регионе (39), доля промышленной продукции в ВВП региона (40).

Анализируя полученное распределение, можно сделать ряд выводов. Так, например, видно, что в первый кластер входит характеристика, определяющая и социальную занятость в регионе. Эта же группировка включает в себя важные демографические характеристики, такие, как продолжительность жизни и уровень младенческой смертности, что говорит о связи продолжительности жизни с развитием социальной системы в регионе. Присутствие плотности населения в этой же группе свидетельствует о регулирующем воздействии плотности населения на внутривнутрипопуляционные процессы. Второй кластер содержит в основном характеристики, определяющие показатели смертности в регионе. Помимо них в этот кластер входят такие характеристики, как уровень преступности и удельная обеспеченность жилплощадью. Это свидетельствует о том, что высокая преступность характерна, по-видимому, для регионов с низким уровнем жизни. В третью группу входят характеристики, определяющие уровень социальной обеспеченности населения в регионе, а также показатели, высокие значения которых свидетельствуют об индустриальной развитости. Отсюда следует заключить, что повышение уровня жизни людей связано с улучшением экономической ситуации в регионе. Последний, четвертый кластер включает в себя характеристики, отражающие уровень материальной обеспеченности населения, промышленную развитость региона и степень антропогенного воздействия на окружающую среду, что в очередной раз подтверждает предположение о положительной взаимосвязи этих групп показателей. Таким образом, факторный анализ дает нам возможность выявить наиболее значимые региональные характеристики, оказывающие регуляционное воздействие на рождаемость и смертность.

В процессе факторного анализа число показателей, характеризующих каждый изучаемый объект, значительно уменьшается. В нашем случае расположение характеристик в факторном пространстве определяются тремя факторами. При этом каждый из факторов является обобщающим показателем, составленным на основе всех имеющихся в нашем распоряжении характеристик. Представляет интерес определить смысловое содержание этого фактора. Программа «Statistica» позволяет определить величину вклада каждого из исходных объектов (регионов) в выделенный обобщающий фактор. Это так называемый весовой коэффициент или коэффициент вклада. Анализ первого фактора показал, что наибольший отрицательный вклад в него вносят малонаселенные регионы, расположенные на севере и северо-востоке Российской Федерации, такие, как Ямало-Ненецкий автономный округ

(коэффициент вклада -3.81), Магаданская область (-1.3), республика Саха (Якутия) (-1.2), Тюменская область (-2.46). Положительный вклад, напротив, вносят регионы, расположенные на юге, такие, как республика Ингушетия (2.07), Калмыкия (1.04), Дагестан (1.20). В свою очередь, согласно рис. 12. высокие значения первого фактора свойственны для характеристик, определяющих промышленную развитость региона (ВВП, доля промышленной продукции в ВВП, объем промышленной продукции региона), а также для показателей экономического благополучия населения (средние доход, зарплата, пенсия). Низкие значения первого фактора отмечены для таких характеристик, как плотность населения, смертность, уровень безработицы, доля населения с доходом ниже прожиточного минимума. Таким образом, можно утверждать, что для первой группы регионов (малонаселенные регионы северной части России) наблюдается высокий уровень промышленной развитости, сопровождаемый финансовым благополучием населения. Для южных регионов характерна высокая плотностью населения, более низкий уровень доходов и неблагоприятная медико-демографическая ситуация. Из результатов аналогичного анализа для второго фактора следует, что регионы европейской части России (Ленинградская, Тульская, Ивановская, Костромская области) характеризуются высокой смертностью от новообразований, заболеваний системы кровообращения и смертностью от внешних причин. Для многих периферийных регионов (Дагестан, Калмыкия, Карачаево-Черкесия, Ямало-Ненецкий автономный округ) отмечены высокие рождаемость и продолжительность жизни, но вместе с тем и высокий уровень младенческой смертности. Анализ третьего фактора позволил определить, что ряд регионов (Республика Тыва, Корякский автономный округ, Республика Алтай, Амурская область) отличаются неблагоприятной социальной обстановкой, которая выражается в высоком уровне преступности, смертности от внешних причин, значительном фоне инфекционных заболеваний. Другие же регионы (Республика Татарстан, Московская, Липецкая, Самарская область) характеризуются достаточно высокой продолжительностью жизни и значительной плотностью населения.

Проведя процедуру факторного анализа в варианте, когда объектами являются не характеристики регионов, а непосредственно регионы Российской Федерации, можно получить распределение этих регионов в факторном пространстве уже иных факторов, изображенное на рисунке 13.

Так же, как в предыдущем случае, на рисунках отображена только часть исследуемых регионов. Регионы пронумерованы в соответствии с дендрограммой рисунка 14, представляющей собой результат кластеризации полученного распределения регионов в факторном пространстве.

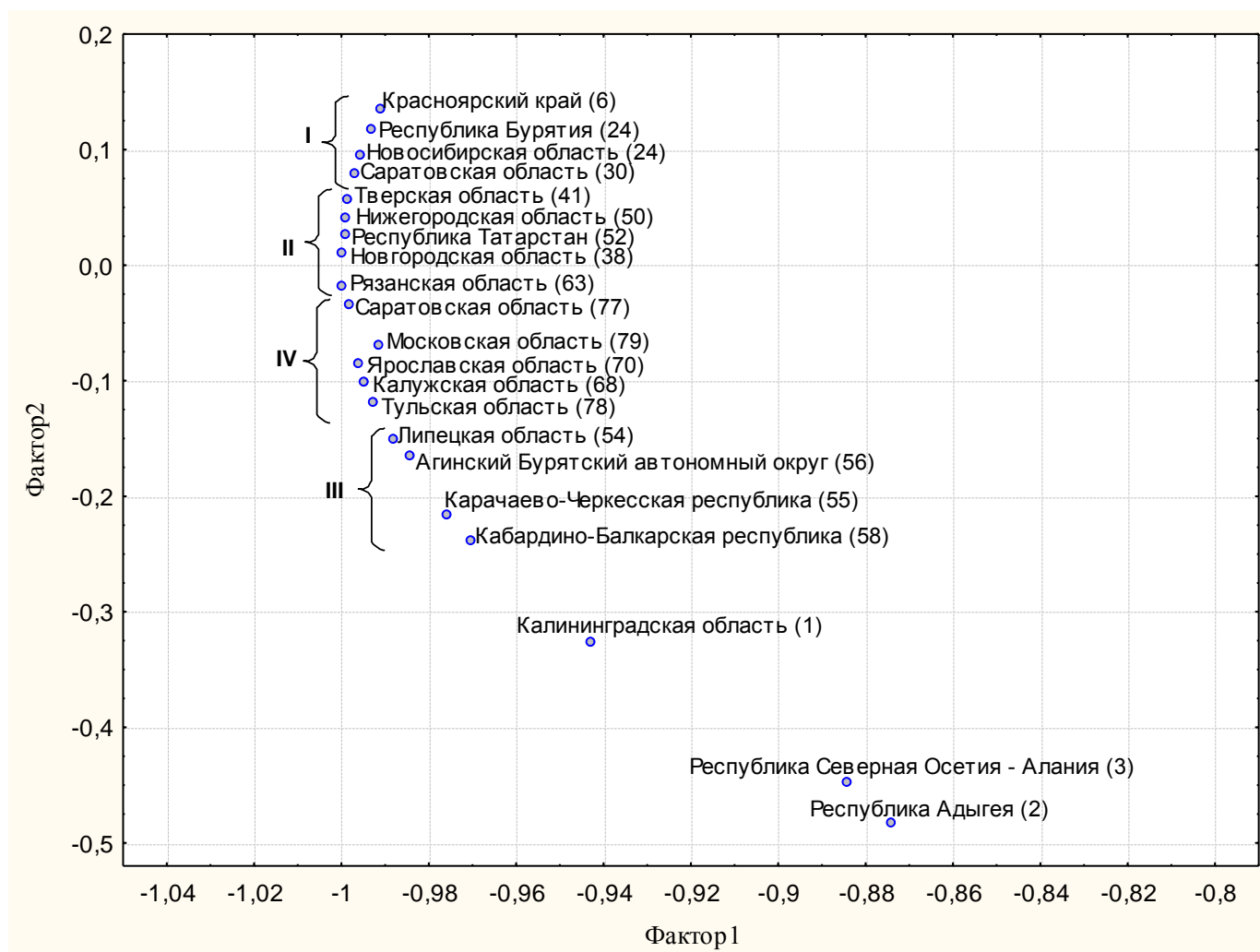


Рис. 13. Распределение регионов Российской Федерации в двумерном факторном пространстве

Как и ранее, были рассчитаны весовые коэффициенты, позволяющие определить, какие характеристики дают наибольший вклад в тот или иной фактор. Расчет показал, что наибольший отрицательный вклад в первый фактор вносит площадь региона (-6.18) и показатели материальной обеспеченности населения, такие, как средняя заработная плата (-0.46) и средний доход (-0.34). Примечательно, что наибольший вклад в значение второго фактора вносят те же характеристики, с той лишь разницей, что показатели материальной обеспеченности характеризуются отрицательными значениями коэффициента вклада (-4.60, -3.25), а площадь – положительным значением (0.87).

Отсюда следует, что регионы, находящиеся в пространстве факторов правее или выше других, характеризуются более низким уровнем материальной обеспеченности населения (Ингушетия, Адыгея, Северная Осетия-Алания), а регионы, расположенные в средней части распределения, – более высоким.

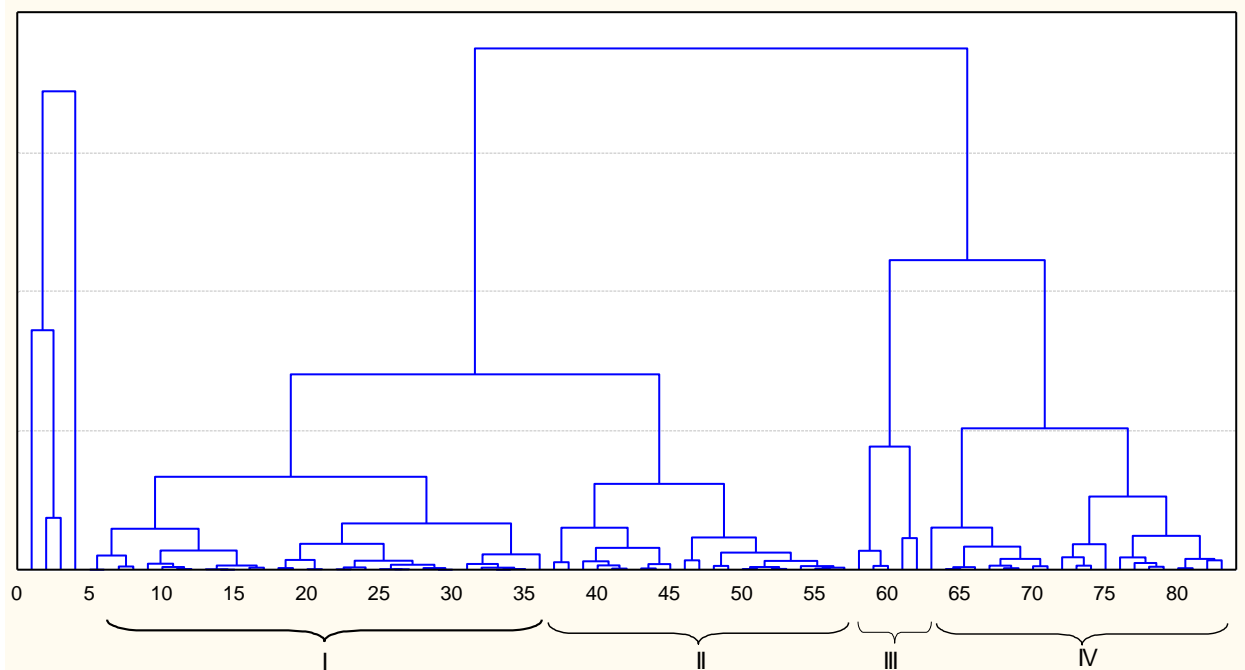


Рис. 14. Дендрограмма кластеризации регионов Российской Федерации в пространстве факторов

Как и раньше, представляет интерес определить, чем определяется общность регионов, входящих в тот или иной кластер или, другими словами, по какому параметру отличаются кластеры I–IV.

Из предыдущего анализа факторов 1 и 2 следует, что главенствующую роль в том и другом играет площадь, а, следовательно, и зависящая от площади плотность населения. Представляет интерес проанализировать подобную взаимосвязь в данном случае. Для этого провели сравнение состава кластеров, в пространстве факторов (рис. 14) с результатами кластеризации по величине плотности населения (рис. 8).

Сравнение проводилось на основе индекса сходства Сьеренсена:

$$I_s = \frac{2 \cdot A}{B + C}, \text{ где } A - \text{число регионов, входящих в обе сравниваемые группы, } B$$

и  $C$  – общее число регионов в каждой из сравниваемых групп.

Расчет индексов сходства, приведенных в таблице 2, показал, что с определенностью можно указать четыре пары кластеров, обладающих наибольшим сходством, в сравнении с другими вариантами с участием данных кластеров.

Отмеченное сродство двух вариантов кластеризации, из которых один основан на анализе обобщающих факторов, а другой на определяющей роли плотности населения, по нашему мнению, подтверждает особую роль плотности населения, как



одной из основных региональных характеристик, имеющей интегральный характер и отражающей многие другие показатели.

Таблица 2

**Значения индексов сходства Сьёрсена для двух вариантов кластеризации**

		Кластеры по величине плотности			
		1	2	3	4
Кластеры в факторном пространстве	1	0	0,105	0,360	<b>0,667</b>
	2	0,121	0,304	<b>0,410</b>	0,163
	3	<b>0,235</b>	0,133	0	0,060
	4	0,242	<b>0,565</b>	0,051	0,122

Этот и другие полученные ранее результаты проведенного исследования демонстрируют, на наш взгляд, достаточную работоспособность модельного подхода для анализа региональных особенностей регуляции внутривнутрипопуляционных демографических процессов и делает возможным его дальнейшее использование в данном направлении.

## ВЫВОДЫ

### 1. Зависимость вида

$$B = \frac{B_{\max}}{1 + a \cdot \rho^{\gamma}}, \quad D = \frac{D_{\max}}{1 + b \cdot \rho^{\delta}}$$

адекватно описывает характер регуляции рождаемости и смертности и может быть использована для построения прогностических вариантов развития популяционных процессов на региональном уровне.

2. Процесс снижения антропогенного воздействия на окружающую среду, согласно выявленной регуляторной взаимосвязи, сопровождается повышением интенсивности контроля над рождаемостью и падением интенсивности контроля над смертностью (рост модельного параметра  $a$  и снижение параметра  $b$ ).
3. Плотность населения служит интегральным показателем, объединяющим в себе все виды популяционного влияния на рождаемость и смертность и может быть принята в качестве критериальной характеристики для проведения кластеризации регионов по средовым факторам.
4. Совместное применение факторного и кластерного анализа позволяет классифицировать регионы по характеру регуляторного воздействия на

рождаемость и смертность. При этом отмечается положительная корреляционная взаимосвязь между силой регуляторного влияния на рождаемость и смертность (параметры  $a$  и  $b$ ) и уровнем социального благополучия, уровнем индустриальной развитости, степенью антропогенного воздействия на окружающую среду.

### Список опубликованных работ по теме диссертации

#### В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Моничев А.Я., Барышников С.В. Модельный анализ роли экологических факторов в формировании региональных особенностей динамики численности населения // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. №6. С. 108-112.
2. Барышников С.В., Моничев А.Я., Басуров В.А. Исследование взаимозависимости экономических, социальных, демографических и экологических характеристик регионов Российской Федерации методами факторного анализа // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. №3. С. 110-112.

#### В других изданиях:

1. Моничев А.Я., Барышников С.В. Модельный анализ и прогноз демографической ситуации в Нижегородской области с учетом экологической обстановки // Особь и популяция – стратегия жизни. Материалы докладов IX Всероссийского популяционного семинара (Уфа, 2-6 октября 2006 г.). Уфа: БГУ, 2006. Ч.1, С. 20-23.
2. Барышников С.В., Моничев А.Я., Басуров В.А. Модельный анализ особенности регуляции демографических процессов в регионах Российской Федерации // Приволжский научный журнал. 2008. №1. С. 122-127.
3. А.Я. Моничев, С.В. Барышников. Моделирование и прогнозирование эколого-демографической ситуации с помощью электронных таблиц «Microsoft Excel». Н. Новгород: ННГУ, 2007. 24 с.
4. Барышников С.В., Моничев А.Я., Басуров В.А. Многомерный статистический анализ эколого-демографической ситуации на основе программы “STATISTICA” (кластерный и факторный анализ). Н. Новгород: ННГУ, 2008. 32 с.
5. Барышников С.В. Антропогенное воздействие на окружающую среду и социальное благополучие в регионе // Международная студенческая конференция: Актуальные проблемы естествознания. Сб. тез. докл. М.: МИИТ, 2009. С. 184 – 187.