

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Н. А. Гладских<sup>1</sup>, В. А. Голуб<sup>2</sup>, С. Н. Семенов<sup>1</sup>, О. Н. Чопоров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Воронежская государственная медицинская академия им. Бурденко

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет

<sup>3</sup> Воронежский государственный технический университет

В статье рассматриваются математические методы моделирования и прогнозирования медико-демографических показателей, необходимых для рационализации управления здравоохранением. Приводится сравнительный анализ результатов прогнозирования, полученных на основе комбинированных методик и методов множественной регрессии и экспоненциального сглаживания. Рассматривается пример работы программы, базирующейся на разработанных алгоритмах. Приведено картографическое представление результатов прогнозирования посредством ГИС-технологий.

Оптимизация стратегического планирования и управления подготовкой врачебных кадров на региональном уровне является важной и актуальной задачей, решение которой не представляется возможным без использования информационных технологий. Решение поставленной задачи осуществляется с использованием математических методов прогнозирования, которое является информационной и методологической основой управления. В связи с территориальной распределенностью данных и для наглядного представления результатов прогнозирования целесообразно использовать ГИС-технологии.

Решение данной задачи на первом этапе представляется возможным на основе прогнозирования потребностей населения в ресурсном медицинском обеспечении, построенном с учетом демографической ситуации, динамики изменения состояния здоровья населения, естественного движения медицинских кадров, характера миграционных процессов и задач структурной перестройки отрасли. Использование алгоритмов прогнозирования, представленных в [1-3] позволяет получить формализованное описание динамики медико-демографических процессов.

Важным вопросом, возникающим при решении поставленной задачи, является оценка точности результатов прогнозирования и выбор оптимальной прогностической модели.

Для решения поставленной проблемы необходимо последовательное решение следующих задач:

1. Разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения прогнозирования медико-демографических показателей на основе комбинации различных методов.
2. Построение прогностических моделей.
3. Сравнительный анализ результатов прогнозирования.
4. Картографическое представление результатов прогнозирования посредством использования пакета геоинформационного моделирования MAPINFO 7.0.

В данной работе в качестве показателя, подлежащего прогнозированию с использованием регрессионных моделей [1-3], использовался показатель «обеспеченность врачами», т. к. в рамках данного исследования решается проблема стратегического планирования и управления подготовкой медицинских кадров на региональном уровне.

Оптимальная прогностическая модель для данного показателя представляется в виде уравнения  $y = -86405.6 + 86t + 0.0001t^2$ , т. к. именно данная функция удовлетворяет условию минимальности комплексной оценки адекватности модели (1):

$$(U \cdot V \rightarrow \min) \cap (R^2 \rightarrow 1) \cap (F > F_{кр}), \quad (1)$$

где  $U$  – коэффициент расхождения,  $V$  – коэффициент вариации,  $R$  – коэффициент детерминации,  $F$  – оценка Фишера.

Оптимальная модель подбирается с помощью метода наименьших квадратов так, что сумма квадратов отклонений реальных и выровненных данных должна быть минимальной.

Алгоритмическая схема прогнозирования, базирующаяся на регрессионном моделировании и использовании комплексной оценки адекватности модели (1), представлена на рис. 1.

Существенной особенностью рассмотренного алгоритма является тот факт, что для выбора оптимальной модели в данном исследовании учитывались все представленные методики и учитывалась комплексная оценка адекватности модели (1).

Существенной особенностью другого алгоритма прогнозирования является то, что в качестве независимых параметров  $x_1$  и  $x_2$  в формулах для вычисления коэффициентов множественной регрессии используются значения, полученные методом экспоненциального сглаживания (рис. 2, 3).



Рис. 1. Схема алгоритма прогнозирования, базирующегося на выборе оптимальной прогностической регрессионной модели

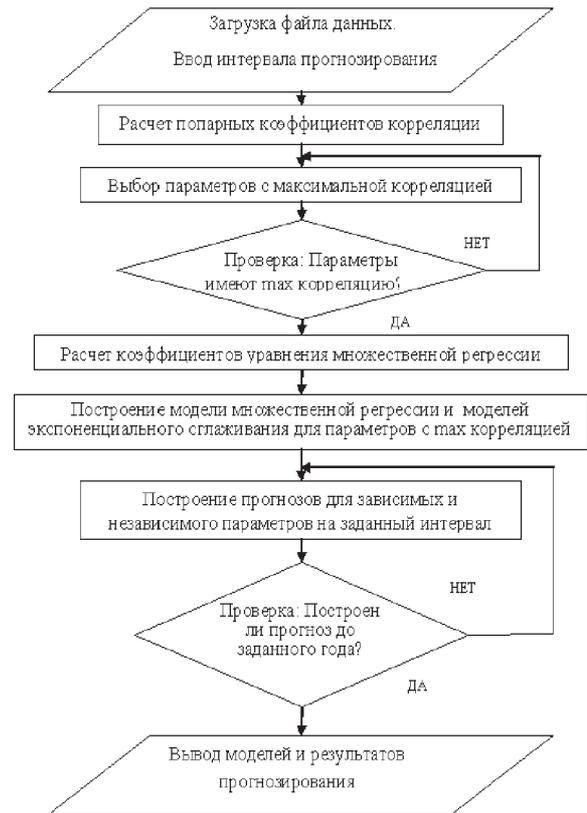


Рис. 2. Алгоритм прогнозирования, базирующийся на комбинации методов множественной регрессии и экспоненциального сглаживания



Рис. 3. Алгоритм работы системы прогнозирования

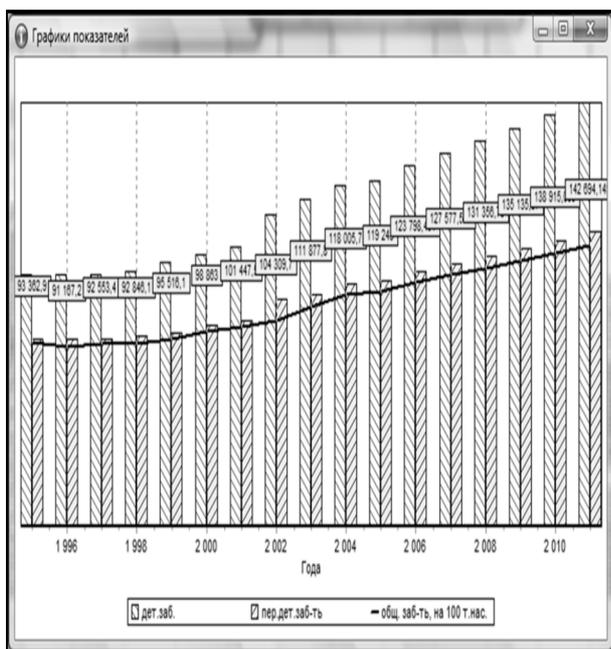
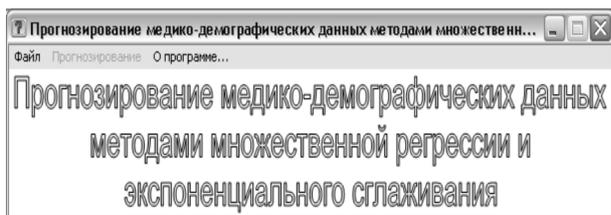


Рис. 4. Интерфейс системы сбора информации о трудоустройстве выпускников вуза

Динамика исходного показателя и прогноз обеспеченности врачами по городу Воронежу и Воронежской области на период 2007—2012 гг. представлены на рис. 6, 7. Результаты прогнозирования для показателя обеспеченности врачами по Воронежской области на период 2007—2012 гг. (на 10000 населения) приводятся в табл. 1.

Картографическое представление результатов прогнозирования приведено на рис. 8.

Для оценки точности прогнозирования был проведен сравнительный анализ точности прогностических моделей, полученных с помощью рассмотренных методик. Для этого рассчитывалась суммарная ошибка прогноза, представляющая собой глобальную ошибку прогноза  $M$  и среднее относительное отклонение  $\mu$ :

$$M = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{N},$$

$$\mu = \frac{|y - \hat{y}|}{y} \cdot 100\%,$$

где  $y$  — фактическое значение показателя,  $\hat{y}$  — прогнозируемое значение показателя,  $N$  — длина временного интервала.

Результаты анализа точности прогностических моделей приведены в табл. 2.

Анализ результатов прогнозирования показал, что для показателя «обеспеченность врачами» наименьшее значение ошибки прогнози-

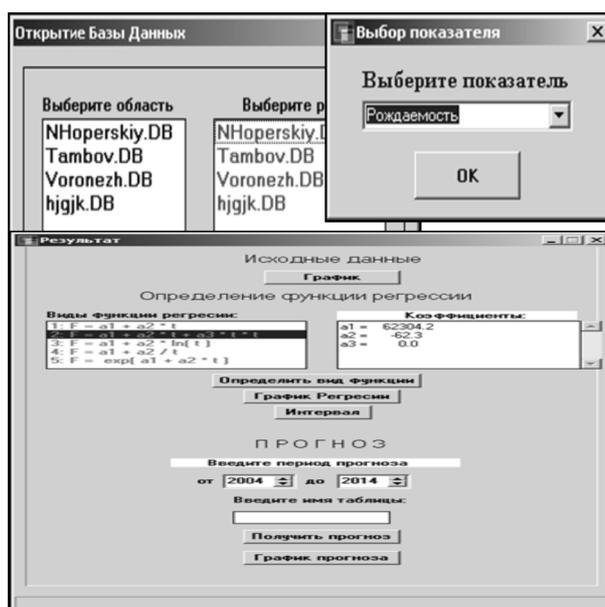


Рис. 5. Интерфейс системы прогнозирования медико-демографических показателей

Прогноз обеспеченности врачами по Воронежской области ( $y_{об.вр.}$ ) на период 2007–2012 гг.  
(на 10000 населения), ( $\pm\Delta$  – доверительный интервал для  $P_{ош.} = 0,05$ )

№ п/п	Районы области	Годы						
		2006	2007		2008		2009	
			$y_{об.вр.}$	$\pm\Delta$	$y_{об.вр.}$	$\pm\Delta$	$y_{об.вр.}$	$\pm\Delta$
1.	Аннинский	20,2	20,06	0,46	19,49	0,52	18,85	0,58
2.	Бобровский	20,1	20,00	0,61	19,60	0,67	19,18	0,75
3.	Богучарский	15,4	15,60	0,63	15,80	0,70	16,04	0,78
4.	Борисоглебский	21,8	19,37	1,15	17,88	1,21	16,24	1,29
5.	Бутурлиновский	16,4	14,10	1,09	12,75	1,22	11,27	1,36
6.	Верхнемамонский	21,8	21,35	1,08	21,55	1,22	21,74	1,35
7.	Верхнехавский	16,7	18,00	1,15	18,87	1,19	19,79	1,32
8.	Воробьевский	16,7	18,47	1,06	19,60	1,18	20,85	1,31
9.	Грибановский	17,0	15,08	0,95	13,97	1,07	12,75	1,19
10.	Калачеевский	20,8	20,00	0,49	19,30	0,56	18,84	0,61
11.	Каменский	18,7	19,11	0,45	19,57	0,50	20,06	0,56
12.	Кантемировский	17,1	18,22	0,71	18,90	0,80	19,68	0,87
13.	Каширский	16,2	16,61	1,21	16,48	1,37	16,29	1,52
14.	Лискинский	21,6	19,22	1,46	17,76	1,65	16,10	1,83
15.	Нижнедевицкий	19,0	20,34	1,07	19,95	1,19	19,51	1,33
16.	Новоусманский	19,3	18,56	0,81	17,72	0,91	16,76	1,01
17.	Новохоперский	17,1	17,67	1,26	18,38	1,45	19,18	1,58
18.	Ольховатский	19,1	19,65	0,80	19,52	0,90	19,32	1,00
19.	Острогжский	18,9	16,83	1,06	15,78	1,20	14,64	1,32
20.	Павловский	18,4	15,00	1,75	13,34	1,94	11,55	2,17
21.	Панинский	17,2	18,51	0,69	15,70	0,77	14,78	0,86
22.	Петропавловский	13,4	12,77	0,53	12,72	0,60	12,69	0,67
23.	Поворинский	18,1	18,84	3,77	19,77	4,22	20,88	4,69
24.	Подгоренский	16,9	16,20	0,74	15,57	0,83	14,86	0,93
25.	Рамонский	21,5	21,63	1,15	22,07	1,29	22,60	1,43
26.	Репьевский	16,5	17,82	0,74	17,99	0,83	18,17	0,91
27.	Россошанский	20,3	18,83	0,85	18,06	0,96	17,44	1,06
28.	Семилукский	24,4	22,45	0,63	21,09	0,70	19,62	0,79
29.	Таловский	18,8	18,39	0,49	17,86	0,55	17,24	0,61
30.	Терновский	14,3	13,53	0,90	13,48	1,0	13,46	1,12
31.	Хохольский	20,6	20,03	1,26	20,03	1,41	20,00	1,57
32.	Эртильский	18,2	18,60	1,05	19,09	1,17	19,62	1,30
33.	г. Воронеж	45,7	43,75	1,19	42,80	1,34	41,71	1,49
	Всего по области	45,1	45,06	0,41	45,20	0,47	45,30	0,51

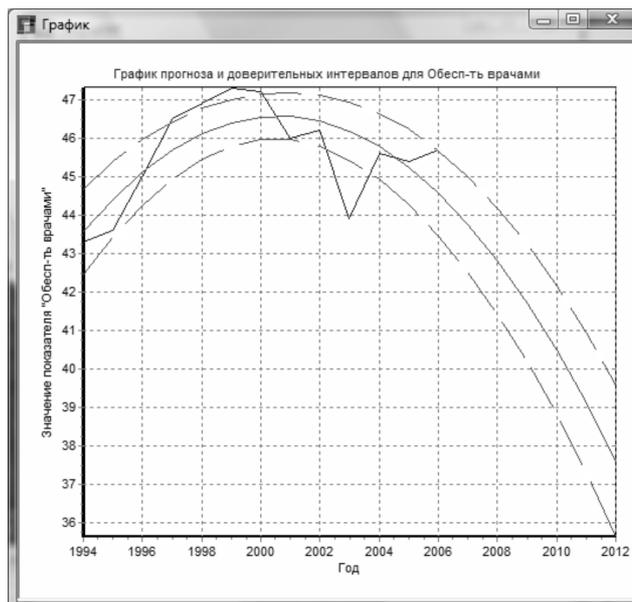
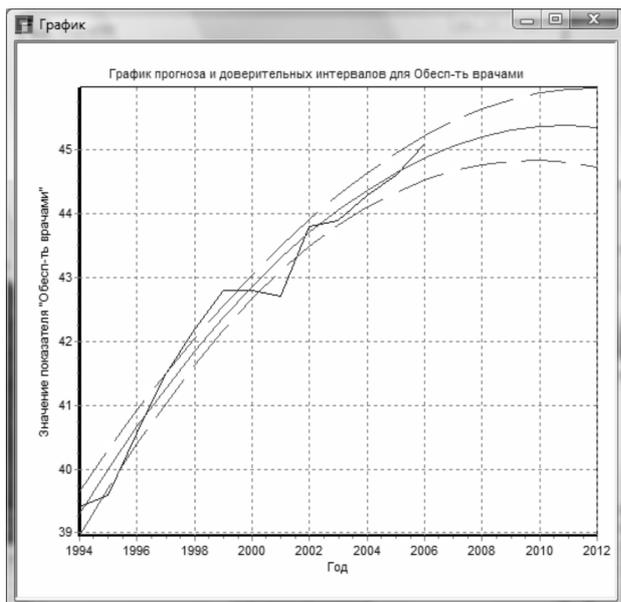


Рис. 6. Динамика исходных показателей и прогноза обеспеченности врачами населения Воронежской области на период 2007–2012 гг.

Рис. 7. Динамика исходных показателей и прогноза обеспеченности врачами населения г. Воронежа на период 2007–2012 гг.

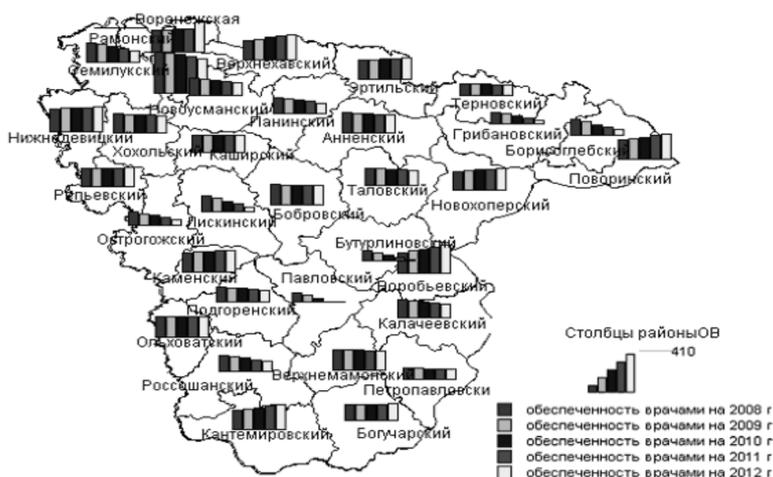


Рис. 8. Картографическое представление результатов прогнозирования показателя обеспеченности врачами

Таблица 2

Суммарные значения ошибок прогнозирования для показателей обеспеченности врачами, смертности и рождаемости

Метод	Значения суммарных ошибок прогнозирования для показателя обеспеченности врачами, в %	Значения суммарных ошибок прогнозирования для показателя смертности, в %	Значения суммарных ошибок прогнозирования для показателя рождаемости, в %
Эксп. сглаживание,	3,60	5,08	6,07
Множ. регрессия,	0,81	2,89	11,97
Комбинир. м-д	5,37	2,74	5,31
Регр. моделир-е	0,53	3,00	3,24

вания достигается при применении методики регрессионного моделирования [1], в то время как, к примеру, для показателя смертности более эффективные результаты дает комбинированный метод, сочетающий множественную регрессию и экспоненциальное сглаживание, предложенный в [2, 3].

На основании сравнения предлагаемых методик прогнозирования с обычно используемыми методами множественной регрессии и экспоненциального сглаживания можно заключить, что комбинирование нескольких методов при прогнозировании медико-демографических показателей позволяет повысить точность прогнозирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка регрессионных моделей для прогнозирования динамики медико-демографических

показателей / И. Э. Есауленко, С. Н. Семенов, В. А. Голуб и др. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2005. – Т. 4, № 1. – С. 104–107.

2. Гладских Н.А. Алгоритм методики прогнозирования медико-демографических показателей на основе методов экспоненциального сглаживания и множественной регрессии [Электронный ресурс] / Н.А. Гладских // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2007. – № 7. – (<http://www.vsmc.ac.ru/publ/vestnik/vest/027/Site/index.html#19>).

3. Львович И.Я. Методика прогнозирования медико-демографических показателей на базе методов экспоненциального сглаживания и множественной регрессии [Электронный ресурс] / И. Я. Львович, С. Н. Семенов, Н. А. Гладских, С. С. Пронин // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2007. – №7. – (<http://www.vsmc.ac.ru/publ/vestnik/vest/027/Site/index.html#20>).