

УДК 614.1

GWR-МОДЕЛЬ В ИЗУЧЕНИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ВАРИАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕРТНОСТИ ОТ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Егорова Н.Н.¹, Франц М.В.²¹ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», Уфа, Россия²ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия

Работа посвящена исследованию пространственной неоднородности влияния факторов на уровень смертности населения от сердечно-сосудистых заболеваний на данных по 62 территориальным образованиям Республики Башкортостан за 2011-2017 гг. Данные представляют собой сбалансированную панель, общее количество наблюдений - 434. В качестве основного инструмента исследования использовалась GWR-модель, позволяющая тестировать гипотезу о пространственной неоднородности влияния факторов на результирующий показатель. Многофакторный анализ влияния факторов на смертность от сердечно-сосудистых заболеваний показал, что наибольшее влияние оказывают такие факторы, как уровень заработной платы и доля населения трудоспособного возраста. Гипотеза о пространственной неоднородности влияния подтвердилась для следующих факторов: обеспеченность средним медицинским персоналом, оборот розничной торговли, ввод жилья, уровень преступности, доля населения трудоспособного возраста.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания, уровень смертности, многофакторный анализ, пространственная неоднородность, географически взвешенная регрессия.

Для цитирования: Егорова Н.Н.¹, Франц М.В.² GWR-МОДЕЛЬ В ИЗУЧЕНИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ВАРИАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕРТНОСТИ ОТ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН. Медицина труда и экология человека. 2020: 2:37-43

Для корреспонденции: Егорова Наталья Николаевна, ученый секретарь отделения медицинских наук и здравоохранения Академии наук РБ, д.м.н., profanrb@gmail.com; Франц Марина Валерьевна, доцент кафедры экономики предпринимательства УГАТУ, к.т.н., tan - Marina @ mail . ru

Финансирование. Публикация подготовлена по материалам исследования, выполненного при финансовой поддержке Академии наук Республики Башкортостан (договор № 0301200057819000041_104987 от «25» октября 2019 г.).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2020-10206>

GWR- MODEL IN THE STUDY OF TERRITORIAL VARIATION OF CARDIOVASCULAR DISEASES MORTALITY RATES IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Egorova N.N.¹, Frants M.V.²

1- Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia

2- Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

The research deals with the study of the spatial heterogeneity of the influence of factors on cardiovascular diseases mortality rates. Information base of the research is the data on 62 territorial units of the Republic of Bashkortostan traced in years 2011-2017, which is a balanced panel with the total number of observations equal to 434. The GWR model was used as main analytical method, which allows testing the hypothesis of spatial heterogeneity of the influence of factors on the dependent variable. According the results obtained, the level of wages and the proportion of the population below working age are the most influential factors. The hypothesis of spatial heterogeneity has been verified for the following factors: nursing staff sufficiency, retail turnover, new housing supply, crime rate, share of the population below working age.

Key words: cardiovascular diseases, mortality rate, spatial heterogeneity, geographically weighted regression

For citation: Egorova N.N.¹, Franz M.V.² GWR- MODEL IN THE STUDY OF TERRITORIAL VARIATION OF CARDIOVASCULAR DISEASES MORTALITY RATES IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN. *Occupational Health and Human Ecology*. 2020: 2:37-43

For correspondence: Natalya N. Egorova, Learned secretary of the Division of Medical Sciences and Public Health of Bashkortostan Academy of Sciences, DMSc., MD, PhD, profanrb@gmail.com; Marina V. Frants, Associate professor at the Department of Business Economics of USATU, PhD, tan - Marina @ mail . ru

Financing. The publication is prepared based on investigation materials financially supported by Bashkortostan Academy of Sciences (agreement № 0301200057819000041_104987 of 25 October 2019).

Conflict of Interest: Authors declare they have no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2020-10206>

Введение

Высокая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) является существенным ограничением, сдерживающим развитие Республики Башкортостан (РБ) и представляющим угрозу стабильности социально-экономической ситуации. В связи с этим снижение показателей смертности населения (в том числе от ССЗ) является одной из стратегических целей региона на период до 2030 г. [1].

Важной особенностью РБ является значительная территориальная дифференциация как по уровню социально-экономического развития, так и в отношении показателей смертности от ССЗ. На рис. 1 приводится карта, отражающая вариацию показателей смертности от ССЗ в разрезе муниципальных районов (МР) и городских округов (ГО) республики в 2017 г. Как видно из рис. 1, показатели по территориям могут отличаться в разы.

Эмпирические исследования, имеющие своей целью идентифицировать и ранжировать факторы, ответственные за формирование территориальных показателей, обычно выполняются с использованием методов регрессионного анализа. Увеличение количества, точности и доступности географических данных, происходящее в последнее десятилетие, способствует появлению новых приемов анализа, позволяющих учитывать наряду с обычными данными географические характеристики. Одной из моделей этого класса является географически взвешенная регрессия, или GWR-модель. Эта модель, в отличие от классических регрессионных моделей, основана на гипотезе о том, что регрессионные коэффициенты, отражающие направление и силу влияния факторов, уникальны для каждого территориального образования.

Целью нашего исследования является проверка гипотезы о пространственной неоднородности влияния факторов на уровень смертности населения от ССЗ на данных по МР и ГО РБ. Подтверждение этой гипотезы позволяет считать, что уровень смертности от ССЗ формируется в каждом территориальном образовании уникальным образом и меры по его снижению также должны быть индивидуальны. Кроме того, GWR-модель позволяет сформировать индивидуальный для каждого территориального образования профиль, отражающий значимость факторов в формировании территориального уровня смертности от ССЗ.

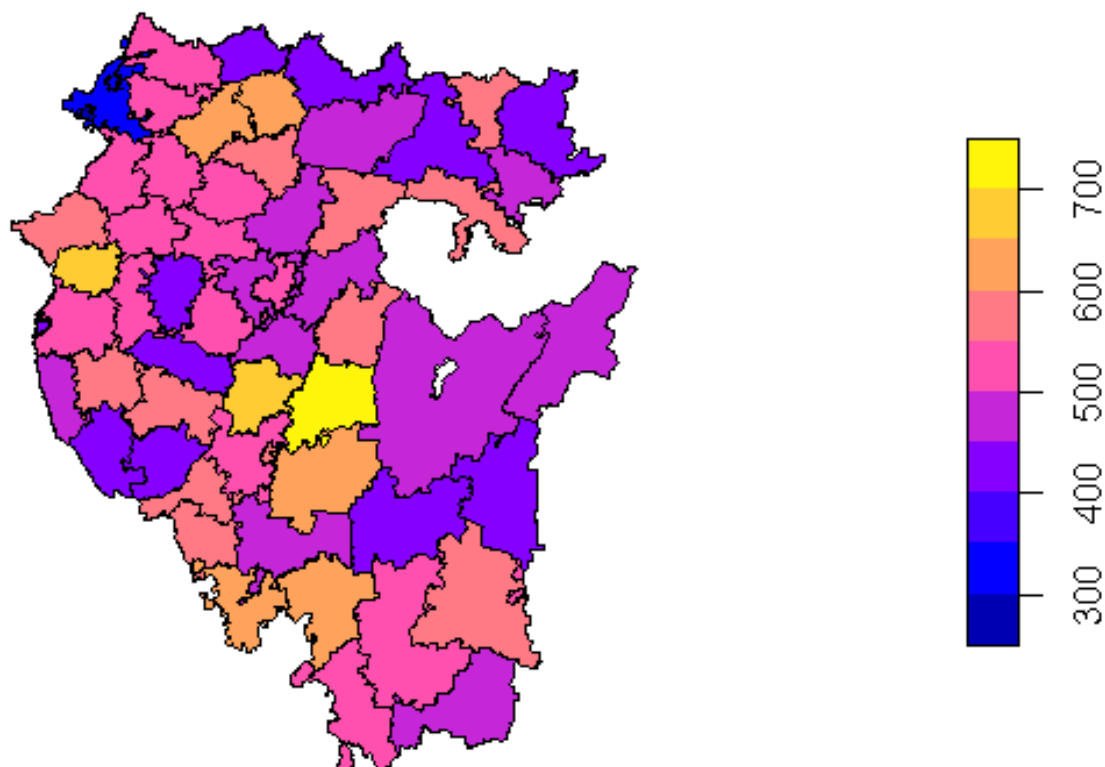


Рис. 1. Территориальная вариация смертности от ССЗ в РБ в 2017 г.

Материал и методы исследования

Информационная база исследования сформирована с использованием официальных статистических материалов РБ, включая статистические сборники «Демографические показатели МО РБ» за 2011-2017 гг., «Социально-экономическое положение МР и ГО РБ» за 201-2017 гг., «Здоровье населения и деятельность учреждений здравоохранения РБ», 2011-2017 гг.

По каждому из 62 МР и ГО РБ (кроме ЗАТО Межгорье) за 2011-2017 гг. сформирован массив данных, включающий следующий набор показателей: результативный блок (смертность от ССЗ); медико-организационный блок (обеспеченность врачами, средним медицинским персоналом); экономический блок (оборот розничной торговли на душу населения, инвестиции на душу населения, уровень заработной платы); социальный блок (ввод жилья на душу населения, уровень преступности); демографический блок (доля населения трудоспособного возраста, доля населения выше трудоспособного возраста), поведенческий блок (континент наркологических больных). Стоимостные показатели, включая оборот розничной торговли, удельные инвестиции, уровень заработной платы, были приведены в сопоставимый вид с использованием цепных индексов цен. Данные представляют собой сбалансированную панель, общий объем наблюдений - 434 (62 МР и ГО, прослеженных в динамике в 2011-2017 гг.).

GWR-модель (Geographically Weighted Regression), позволяющая моделировать пространственно-неоднородную связь между результативным показателем и набором факторных переменных, использовалась в нашей работе в качестве основного инструмента анализа. Впервые GWR-модель была предложена в работе [2] и с тех пор стала довольно популярным инструментом, нашедшим свое применение в самых различных областях.

Уравнение GWR-модели имеет следующий вид (формула (1)):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) \cdot X_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

В формуле (1) (u_i, v_i) - координаты i -го объекта в пространстве, $\beta_0(u_i, v_i)$, $\beta_k(u_i, v_i)$ - регрессионные коэффициенты, специфичные для каждого объекта с координатами (u_i, v_i) . Регрессионные коэффициенты GWR-модели оцениваются, используя взвешенный метод наименьших квадратов по формуле (2).

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \quad (2)$$

В уравнении (2) матрица $W(u_i, v_i)$ - это диагональная матрица, j -й диагональный элемент которой отражает вес j -го наблюдения для расчета регрессионных коэффициентов i -го наблюдения. Таким образом, для каждого наблюдения используется своя взвешивающая матрица. Элементы взвешивающих матриц обычно рассчитываются с использованием той или иной ядерной функции, наилучшие параметры которой подбираются с использованием процедуры кросс-валидации. В данной работе мы ограничились использованием ядерной функции Гаусса с фиксированным ядром и процедурой CV-валидации для выбора оптимальных параметров ядерной функции. В связи с тем, что нет теоретической модели, обосновывающей форму связи между результативным и факторными показателями, мы использовали три спецификации: линейную, полулогарифмическую и степенную. Для тестирования значимости пространственной вариации регрессионных коэффициентов применялся метод Монте-Карло. Расчеты выполнялись в статистическом пакете R.

Результаты и обсуждение

Описательная статистика по используемым в работе показателям представлена в таблице 1.

Таблица 1

Описательная статистика

Переменная	Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Нижний квартиль	Медиана	Верхний квартиль	Максимум
Смертность от ССЗ	566.871	127.978	239.900	484.850	549.600	631.600	1,095.600
Обеспеченность врачами	21.476	4.485	12.300	18.525	21.000	23.200	40.500
Обеспеченность СМП	84.822	14.616	26.400	78.000	88.300	94.275	113.000
Оборот розничной торговли	89,034.1	74,920.2	28,252.1	43,486.5	58,493.7	111,378.8	419,411.6

Удельные инвестиции	24,394.08	44,807.18	824.87	5,500.16	10,560.95	21,443.51	491,874.27
Уровень заработной платы	24,628.53	4,954.96	14,663.88	21,599.46	23,501.74	26,986.54	42,393.00
Ввод жилья	575.50	419.77	42.00	368.00	524.00	653.00	4,229.00
Уровень преступности	134.471	32.758	67.600	111.625	133.750	153.900	277.800
Доля населения выше трудоспособного возраста	23.324	3.320	13.052	21.288	23.393	25.382	33.700
Доля населения трудоспособного возраста	20.758	2.472	15.759	19.170	20.118	22.087	31.376
Контингент наркологических больных	1,200.670	639.009	97.200	798.025	1,164.350	1,471.725	8,286.400

Как видно из таблицы 1, рассматриваемые показатели по МР и ГО РБ значительно варьируют. Кратность (отношение максимального значения к минимальному) по показателю обеспеченности врачами составляет (в среднем за рассматриваемый период) 3,02 раза, обеспеченности средним медицинским персоналом - 3,02 раза, обороту розничной торговли - 13,72 раза, удельным инвестициям - 130,17 раза, заработной плате - 2,14 раза, вводу жилья - 41,16 раза, уровню преступности - 2,83 раза, доле населения выше трудоспособного возраста - в 2,15 раза, доле населения ниже трудоспособного возраста - 1,83 раза, контингенту наркологических больных - 15,31 раза. Смертность от болезней системы кровообращения варьирует от 326,70 до 1095,60 в 2011 г., от 354,60 до 876,90 в 2012 г., от 361,80 до 893,00 в 2013 г., от 272,70 до 744,80 в 2014 г., от 279,20 до 763,80 в 2015 г., от 239,90 до 751,60 в 2016 г., от 291,00 до 702,00 в 2017 г. Такая значительная вариация позволяет предположить, что формирование показателей смертности от болезней ССЗ в каждом из рассматриваемых территориальных образований может иметь свои уникальные особенности.

Сравнительный анализ качества GWR-моделей приведен в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ качества GWR-моделей

Модель	RSS	R ²
GWR, линейная форма	4926387	0,3053
GWR, полулогарифмическая форма	4893261	0,3100
GWR, степенная форма	4948845	0,3022

RSS- остаточная сумма квадратов, R²- индекс детерминации

Как следует из таблицы 2, наиболее удачным вариантом является полулогарифмическая форма. Поэтому этот вариант модели выбран для дальнейшего использования. Результаты оценки этой GWR- модели на нормализованных данных приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты оценки GWR-модели

	Минимум	Нижний квартиль	Медиана	Верхний квартиль	Максимум
Константа	26,5549	30,8814	33,9086	35,8523	37,1662
Обеспеченность врачами	-0,1760	-0,0702	0,0100	0,0736	0,1596
Обеспеченность СМП	-0,2638	-0,1716	-0,1216	-0,0217	0,1804
Оборот розничной торговли	-0,2829	-0,1179	-0,0196	0,0571	0,1567
Удельные инвестиции	-0,0559	0,0269	0,0541	0,0901	0,1209
Уровень заработной платы	-0,3978	-0,3491	-0,3284	-0,3022	-0,1834
Ввод жилья	-0,3896	-0,2263	-0,1820	-0,1023	0,0242
Уровень преступности	0,0361	0,0934	0,1503	0,2102	0,2660
Доля населения выше трудоспособного возраста	-0,2796	-0,1528	-0,0909	-0,0292	0,1010
Доля населения трудоспособного возраста	-0,5733	-0,4192	-0,2903	-0,1422	0,0008
Контингент наркологических больных	-0,1898	-0,0826	-0,0324	-0,0047	0,0502

Как следует из таблицы 3, наибольшее влияние на смертность от ССЗ оказывают уровень заработной платы и доля населения трудоспособного возраста. В обоих случаях связь носит обратный характер – с ростом уровня заработной платы смертность от ССЗ будет уменьшаться, увеличение доли населения трудоспособного возраста также способствует снижению смертности от ССЗ. Ввод жилья, уровень преступности, обеспеченность средним медицинским персоналом оказывают умеренное влияние на смертность от ССЗ. Рост уровня преступности оказывает прямое влияние на смертность от ССЗ, в то время как обеспеченность средним медицинским персоналом и ввод жилья – обратное. Влияние остальные факторов слабое.

Тест Монте-Карло позволяет проверить гипотезу о пространственной неоднородности влияния факторов на резульативный показатель. Результаты тестирования приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты теста Монте-Карло

Фактор	Уровень значимости
Константа	0,00
Обеспеченность врачами	0,13
Обеспеченность СМП	0,04
Оборот розничной торговли	0,04
Удельные инвестиции	0,29
Уровень заработной платы	0,55
Ввод жилья	0,02
Уровень преступности	0,03
Доля населения выше трудоспособного возраста	0,17
Доля населения трудоспособного возраста	0,00
Контингент наркологических больных	0,16

Как следует из таблицы 4, гипотеза об однородности пространственной связи отвергается для таких факторов, как обеспеченность средним медицинским персоналом, оборот розничной торговли, ввод жилья, уровень преступности, доля населения трудоспособного возраста. Это говорит о том, что формирование территориальных показателей смертности наряду с общими чертами имеет свои уникальные особенности в каждом территориальном образовании.

Заключение

В работе сделана попытка исследовать пространственную неоднородность влияния социальных, экономических, медико-организационных факторов на уровень смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в муниципальных районах и городских округах Республики Башкортостан. Выявлено, что наибольшее влияние на уровень смертности оказывают такие факторы, как уровень заработной платы и доля населения ниже трудоспособного возраста. Гипотеза о пространственной неоднородности влияния подтвердилась для таких факторов, как обеспеченность средним медицинским персоналом, оборот розничной торговли, ввод жилья, уровень преступности, доля населения трудоспособного возраста.

Список литературы:

1. Стратегия развития Республики Башкортостан до 2030 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://minecon.bashkortostan.ru/upload/iblock/cda/document.pdf>
2. Brunsdon C., Fotheringham A., Charlton M. Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis*. 1996 V.28. Issue 4. P. 281-298.

References:

1. The development strategy of the Republic of Bashkortostan until 2030 Available at: <https://minecon.bashkortostan.ru/upload/iblock/cda/document.pdf>
2. Brunsdon C., Fotheringham A., Charlton M. Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis*. 1996 V.28. Issue 4. P. 281-298.

Поступила/Received: 11.03.2020

Принята в печать/Accepted: 03.06.2020