

## Статистический анализ влияния загрязнения среды обитания на заболеваемость населения в Республике Марий Эл\*

В статье предложен эконометрический подход к анализу связи показателей экологически зависимой заболеваемости населения и показателей загрязнения среды обитания, отличающийся использованием панельных данных.

**Цель.** Установить количественные связи между состоянием среды обитания и здоровьем населения в условиях дифференцированных антропогенных нагрузок, при которых существует значимый риск здоровью населения в Республике Марий Эл.

**Материалы и методы.** Методология исследования основана на подходах к корреляционно-регрессионному анализу панельных данных. Для выявления показателей загрязнения среды обитания, статистически связанных с показателями экологически зависимой заболеваемости, рассчитываются коэффициенты корреляции Пирсона и ранговые коэффициенты корреляции Спирмена. Затем строятся модели регрессии для панельных данных: модель с фиксированными эффектами и модель со случайными эффектами. Источники панельных данных: Маристат, Управление Роспотребнадзора по Республике Марий Эл и Министерство здравоохранения Республики Марий Эл. В исходный набор вошли 6 показателей загрязнения воды и атмосферы и 7 приоритетных показателей заболеваемости населения в разрезе 15 муниципальных образований Республики Марий Эл за период с 2009 по 2017 гг.

**Результаты.** Анализ матриц коэффициентов Пирсона и Спирмена позволил выявить показатели загрязнения среды обитания, наиболее тесно связанные с показателями заболе-

ваемости населения. Указанные показатели вошли в исходные спецификации моделей панельной регрессии. Получено три статистически значимых модели панельной регрессии, описывающих влияние загрязнения питьевой воды из распределительной сети на заболеваемость бронхиальной астмой детей 0-14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни, и выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения на заболеваемость гастритом и дуоденитом подростков 15–17 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни.

**Заключение.** Полученные модели обладают биологическим правдоподобием. Этиопатогенетический анализ подтверждает возможность существования выявленных связей. Найденные статистически значимые связи между загрязнителями среды обитания и здоровьем населения – это не доказательство наличия причинно-следственной связи между ними, а лишь статистическое подтверждение гипотезы о возможном ее наличии. Это подтверждение является необходимым этапом работы для перевода гипотезы в разряд твердо установленных фактов. В дальнейшем предлагается использовать дополнительные, более объективные и полные интегральные оценки качества окружающей среды, например, флуктуирующую асимметрию билатеральных признаков биологических объектов.

**Ключевые слова:** заболеваемость, загрязнение среды обитания, панельные данные.

Peter A. Korotkov<sup>1</sup>, Aleksey B. Trubyaynov<sup>2</sup>, Anastasiya A. Avdeeva<sup>3</sup>, Alina I. Gismieva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

<sup>2</sup> Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

<sup>3</sup> Maristat, Yoshkar-Ola, Russia

<sup>4</sup> Kazan State Medical University, Kazan, Russia

## Statistical Analysis of Environmental Pollution Impact on Population Morbidity in the Republic of Mari El

The article considers an econometric approach to the analysis of relation between the population morbidity rate depending on ecology and the environmental pollution index. Panel data are used in this approach.

**The purpose** is to find quantitative relations between the state of the environment and public health under the differentiated man-caused load threatening public health in the Republic of Mari El.

**Materials and methods.** The research methods are based on the approaches to correlation and regression analysis of the panel data. In order to identify the environmental pollution index statistically related to the morbidity rate, Pearson and Spearman's correlation coefficients were calculated. Then the regression models for the panel data were developed: a fixed-effect model and a random-effect model. The sources of the panel data are the following: Regional Statistics

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Марий Эл в рамках научного проекта № 19-413-120001.

Office in the Mari El Republic (Maristat), Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Mari El Republic (Rospotrebnadzor) and Ministry of Healthcare of the Mari El Republic. The data include six air and water pollution indexes and seven priority indicators of the population morbidity rate in 15 municipal districts of the Mari El Republic in the period of 2009–2017.

**Results.** The analysis of the Pearson and Spearman's correlation coefficients helped to identify environmental pollution indexes closely related to the population morbidity rate. These indicators were used as input data of the panel regression model. Three statistically significant panel regression models were identified. They describe the impact of pollution of drinking water from the distributed network on bronchial asthma morbidity among 0–14-aged children diagnosed for the first time in their life; and the impact of emission into the

atmosphere of pollutants from the point emission sources on gastritis and duodenitis morbidity among 15–17 aged teenagers diagnosed for the first time in their life.

**Conclusion.** The identified models have biological plausibility. The ethiopathogenetic analysis confirms the possibility of existence of the identified relations. The statistically significant relations between environmental pollution and public health do not prove existence of cause-and-effect links between them. It is statistical demonstration of the hypothesis of their possible existence. This demonstration is an essential work stage to make the hypothesis a hard fact. In the future, it is proposed to use additional, more objective and integral evaluation of environmental quality, for example, the fluctuating asymmetry of bilateral features of biological objects.

**Keywords:** morbidity, environmental pollution, panel data.

## Введение

На региональном и муниципальном уровнях проводится недостаточное количество комплексных исследований влияния состояния среды обитания на здоровье населения. Между тем, по данным государственной статистики для субъектов Российской Федерации, влияние антропогенной нагрузки (совокупная оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов сточных вод в водные объекты, образование токсичных отходов) на здоровье населения может достигать 40 % и более.

В Республике Марий Эл сложилась неоднозначная медико-экологическая ситуация. С одной стороны, результаты мониторинга указывают на благоприятную экологическую ситуацию в республике: на ее территории не выявлено высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха населённых мест, питьевой воды систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, почвы [1]. С другой стороны, анализ приоритетных заболеваний населения Республики Марий Эл, обусловленных неблагоприятным воздействием факторов среды обитания, показывает, что республика по большинству таких показателей, превышающих средние заболеваемости по РФ в 1,4–1,5 раза, отнесена к территориям риска [1].

Противоречие «благоприятная экологическая ситуация в населенных пунктах республики — превышение показателей заболеваемости, обусловленных неблагоприятным воздействием факторов среды обитания, показателей по РФ в 1,5 раза» свидетельствует об актуальности проведения количественного исследования взаимосвязей между загрязнением отдельных компонентов окружающей среды (атмосферы, воды и почвы) и состоянием здоровья населения.

Одна из основных задач социально-гигиенического мониторинга — выявление корреляционно-регрессионных связей между параметрами здоровья и состояния окружающей среды [2]. Подробный обзор по применению статистических моделей в задачах социально-гигиенического мониторинга представлен в монографии [2]. К типичным ошибкам автор монографии относит ошибки: формального построения моделей; трактовки результатов; некорректное использование временных рядов и др. Несмотря на то, что данный обзор выполнен достаточно давно, его результаты во многом остаются актуальными. Действительно, до сих пор в современных работах по социально-гигиеническому мониторингу при оценке влияния загрязнения компонентов окружающей среды (атмосферного воздуха, воды, почвы) на показатели заболеваемости населения часто при-

водятся лишь коэффициенты корреляции [3–8], которые в отличие от коэффициентов регрессии являются показателями качества, но не силы связи. Вместе с тем регрессионный анализ медико-экологических данных, безусловно, также используется [9–12], но применительно к пространственным совокупностям, либо временным рядам, в то время как панельные данные (пространственно-временные совокупности), обладающие значительными преимуществами не используются.

В связи этим в качестве основного способа количественного описания влияния состояния среды обитания на здоровье населения предлагается использовать метод панельных данных.

Цель работы — установление статистических связей между состоянием среды обитания и здоровьем населения в условиях дифференцированных антропогенных нагрузок, при которых существует значимый риск здоровью населения в Республике Марий Эл.

Исследование укладывается в тенденцию оценки риска здоровью населения, обусловленного влиянием окружающей природной среды, в условиях дифференцированной антропогенной нагрузки. Практическая значимость заключается в разработке мероприятий, которые могут способствовать улучшению характеристик здоровья населения Республики Марий Эл.

Основные задачи:

– сформировать информационную базу исследования на основе данных официальной статистики об экологически зависимой заболеваемости населения, загрязнении среды обитания (атмосферы, воды, почвы).

– выявить статистически значимые статистически значимые корреляции между загрязнением среды обитания и заболеваемости;

– построить панельные регрессионные модели, устанавливающие количественные связи между этими показателями.

### Данные и методология

Для сбора исходных данных об экологически зависимой заболеваемости [13] и загрязнении среды обитания (атмосферы, воды, почвы) в разрезе 15 муниципальных образований за период с 2009 по 2017 гг. использовались официальные источники статистики: Маристат [14] и Управление Роспотребнадзора по Республике Марий Эл [1]. В результате прямого обращения в Минздрав Республики Марий Эл данные по приоритетным заболеваниям, обусловленным неблагоприятным воздействием факторов среды обитания были уточнены.

После устранения ошибок выборки по критерию наличия минимального числа пропусков в исходный набор вошли следующие переменные.

*Зависимые переменные:*

$Y_1$  – младенческая смертность по муниципальным образованиям Республики Марий Эл на 1000 родившихся живыми;

$Y_2$  – заболеваемость анемией детей 0–14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения);

$Y_3$  – заболеваемость бронхиальной астмой детей 0–14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100

тыс. соответствующего населения);

$Y_4$  – заболеваемость анемией подростков 15–17 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения);

$Y_5$  – заболеваемость бронхиальной астмой подростков 15–17 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения);

$Y_6$  – заболеваемость гастритом и дуоденитом подростков 15–17 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения);

$Y_7$  – заболеваемость язвой желудка и 12-перстной кишки взрослых от 18 лет и старше с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения).

*Независимые переменные:*

$X_1$  – удельный вес нестандартных проб воды из поверхностных водоемов по микробиологическим показателям, %;

$X_2$  – удельный вес нестандартных проб воды из поверхностных водоемов по санитарно-химическим показателям, %;

$X_3$  – удельный вес проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям, %;

$X_4$  – удельный вес проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, %;

$X_5$  – удельный вес проб воды из нецентрализованных источников водоснабжения, не отвечающих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, %;

$X_6$  – выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения, т/км<sup>2</sup>.

Для характеристики загрязнения атмосферы используется единственный доступный показатель «Выбросы в атмос-

феру загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения, т/км<sup>2</sup>». Количество выбросов нормируется на площадь муниципальных образований [15]. Правомерность использования такого показателя обусловлена небольшим размером территории муниципальных образований Республики Марий Эл.

Анализ распределения переменных выявил наличие «скошенности» вправо. Для уменьшения асимметрии распределения в дальнейшем анализе использовались логарифмы переменных:  $y_1, \dots, y_7, x_1, \dots, x_6$ . В связи с тем, что многие показатели загрязнения воды имеют нулевые значения, что при их логарифмировании приводит к потере значений переменных, дополнительно использовались первые разности:  $dY_1, \dots, dY_7, dX_1, \dots, dX_6$ .

Традиционно в статистическом анализе данных о состоянии окружающей среды и заболеваемости населения различают временные ряды и пространственные совокупности [2]. Регрессионный анализ позволяет получать достоверные результаты при использовании длинных временных рядов и предметном (медицинском) обосновании возможной причинно-следственной связи между загрязнением и заболеваемостью [16]. При коротких рядах, когда связь конкретного типа загрязнения с уровнем конкретной патологии явно не просматривается, можно получить ложные корреляции. При анализе пространственных совокупностей вероятность получения ложной корреляции значительно меньше, поскольку условие независимости наблюдений в разных точках, как правило, соблюдается.

Методология исследования основана на подходах к корреляционно-регрессионному анализу панельных данных [17–22]. Панельные данные представляют собой двумерные – пространственно-вре-

менные – массивы. Панельные данные позволяют получать более эффективные оценки [22], поскольку характеризуются большим количеством наблюдений, что увеличивает число степеней свободы и уменьшает мультиколлинеарность факторов за счет учета индивидуальных различий.

При корреляционном анализе связей показателей загрязнения среды обитания и экологически зависимой заболеваемости используются как параметрические методы для логарифмированных переменных и первых разностей, так и непараметрические методы для исходных переменных, не требующие предположения нормальности распределения.

На первом этапе для выявления показателей загрязнения среды обитания, оказывающих влияние на показатели экологически зависимой заболеваемости, рассчитываются коэффициенты корреляции Пирсона ( $r$ ) и ранговые коэффициенты корреляции Спирмена ( $r_s$ ).

На втором этапе строятся модели панельной регрессии. В исходную спецификацию моделей включаются переменные, имеющие статистически значимые взаимосвязи, выявленные параметрическими и (или) непараметрическими методами.

Используются две модели регрессии для панельных данных: модель с фиксированными эффектами и модель со случайными эффектами.

Модель регрессии с фиксированными эффектами имеет вид:

$$y_{i,t} = \alpha + \mu_i + \delta_i t + \beta x'_{i,t} + \varepsilon_{i,t}, \quad (1)$$

где  $y_{i,t}$  – зависимая переменная, характеризующая экологически зависимую заболеваемость в  $i$ -м муниципальном образовании Республики Марий Эл в период  $t$ ;  $\alpha$  – свободный член;  $x'_{i,t}$  –  $K$ -мерный вектор объясняющих переменных, характеризующих загрязнение среды

обитания в  $i$ -м муниципальном образовании Республики Марий Эл в период  $t$ ;  $\beta$  – вектор соответствующих коэффициентов панельной регрессии;  $\mu_i$  – постоянные во времени индивидуальные эффекты для каждого в  $i$ -го муниципальном образовании Республики Марий Эл, улавливающие влияние неучтенных переменных;  $\delta_i t$  – индивидуальные тренды, которые при необходимости могут быть включены в модель;  $\varepsilon_{i,t}$  – остатки панельной регрессии, некоррелированные с объясняющими переменными и одинаково распределенные по муниципальным образованиям и времени с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_\varepsilon^2$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$  – номер муниципального образования,  $N = 14$ ;  $t = 1, 2, \dots, T$  – номер периода,  $T$  – число наблюдений для  $i$ -го муниципального образования,  $T = 9$ .

Для оценки параметров модели с фиксированными эффектами (1) используется панельный метод наименьших квадратов (ПМНК).

В модели с фиксированными эффектами (1) оценка коэффициентов  $\beta$  основана на информации об изменении экологически зависимой заболеваемости во времени внутри одного муниципального образования в зависимости от изменения независимых переменных, характеризующих загрязнение среды обитания. При этом не используется информация о различии в среднем уровне экологически зависимой заболеваемости между муниципальными образованиями – оно полностью объясняется постоянными индивидуальными эффектами  $\mu_i$ .

Модель регрессии со случайными эффектами имеет вид:

$$y_{i,t} = \mu + \beta x'_{i,t} + u_i + \varepsilon_{i,t}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – свободный член;  $u_i$  – индивидуальные эффекты, которые рассматриваются как случайные величины, не за-

висающие от времени и некоррелированные с остатками  $\varepsilon_{i,t}$ , имеющие нулевое условное (по объясняющим переменным) математическое ожидание и дисперсию  $\sigma_u^2$ .

Параметры модели случайных эффектов (2) оцениваются обобщенным методом наименьших квадратов (ОМНК), а для дисперсии случайных индивидуальных эффектов и дисперсии остатков используются оценки Swamy–Aroa [23].

Оценки модели случайных эффектов (2) являются более эффективными, чем оценки модели (1), поскольку учитывают как изменение экологически зависимой заболеваемости внутри одного муниципального образования, так и его различие между муниципальными образованиями. Оценки модели случайных эффектов являются состоятельными, если верно предположение о независимости случайных эффектов  $u_i$  от объясняющих переменных и остатков модели  $\varepsilon_{i,t}$ .

Модели панельной регрессии оцениваются методом от общего к частному, т.е. посредством усечения незначимых переменных.

Расчеты выполняются в статистическом пакете EViews 11.

## Результаты и обсуждение

Результаты корреляционного анализа связей показателей загрязнения среды обитания и экологически зависимой заболеваемости представлены в таблицах 1–4.

Несмотря на то, что некоторые коэффициенты корреляции имеют знак, не соответствующий теоретическим ожиданиям, все независимые переменные, статистически связанные с зависимой переменной, по общему правилу, включались в исходную спецификацию модели.

При построении моделей панельной регрессии использовались логарифмированные значения переменных, по-

Матрица парных коэффициентов корреляции Пирсона

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$
$x_1$	1,000												
$x_2$	0,404	1,000											
$x_3$	0,256	-0,144	1,000										
$x_4$	0,152	-0,147	0,132	1,000									
$x_5$	0,233	-0,123	<b>0,367</b>	0,148	1,000								
$x_6$	-0,039	-0,041	-0,150	-0,110	0,168	1,000							
$y_1$	0,109	-0,055	-0,005	0,044	-0,144	<b>-0,350</b>	1,000						
$y_2$	-0,051	0,040	0,167	<b>0,288</b>	0,054	<b>-0,170</b>	0,039	1,000					
$y_3$	-0,039	0,161	<b>-0,258</b>	<b>0,210</b>	0,102	<b>0,203</b>	0,000	-0,058	1,000				
$y_4$	-0,173	-0,225	0,032	0,068	0,015	<b>-0,267</b>	0,087	0,657	-0,087	1,000			
$y_5$	-0,404	0,369	<b>-0,286</b>	-0,041	0,035	-0,077	0,019	-0,266	0,021	-0,130	1,000		
$y_6$	-0,020	0,062	0,111	-0,081	0,138	<b>0,275</b>	-0,136	-0,140	0,041	-0,094	0,249	1,000	
$y_7$	-0,322	-0,089	<b>-0,399</b>	0,027	<b>-0,326</b>	0,066	-0,062	0,166	0,227	0,138	0,036	-0,023	1,000

Примечание: логарифмированные переменные.

Матрица парных коэффициентов корреляции Пирсона

	$dx_1$	$dx_2$	$dx_3$	$dx_4$	$dx_5$	$dx_6$	$dy_1$	$dy_2$	$dy_3$	$dy_4$	$dy_5$	$dy_6$	$dy_7$
$dx_1$	1,000												
$dx_2$	<b>0,261</b>	1,000											
$dx_3$	-0,117	-0,130	1,000										
$dx_4$	0,103	-0,149	<b>-0,187</b>	1,000									
$dx_5$	-0,028	-0,174	0,139	0,081	1,000								
$dx_6$	0,040	0,001	0,045	0,060	0,075	1,000							
$dy_1$	0,041	0,036	-0,113	-0,029	0,041	-0,010	1,000						
$dy_2$	-0,028	-0,157	0,062	0,044	0,055	0,011	0,134	1,000					
$dy_3$	0,101	0,016	0,017	0,169	-0,031	-0,075	0,134	0,101	1,000				
$dy_4$	-0,118	-0,155	0,092	-0,082	-0,074	-0,060	0,019	0,431	0,121	1,000			
$dy_5$	-0,064	0,010	-0,064	0,060	0,096	-0,001	-0,082	0,036	-0,161	0,027	1,000		
$dy_6$	0,022	-0,012	0,136	0,076	0,023	0,018	-0,028	0,094	<b>-0,195</b>	<b>0,229</b>	0,038	1,000	
$dy_7$	-0,059	-0,100	0,010	0,014	-0,058	-0,026	0,014	<b>0,292</b>	0,016	<b>0,319</b>	0,049	0,100	1,000

Примечание: первые разности.

Матрица коэффициентов корреляции Спирмена

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$
$X_1$	1,000												
$X_2$	0,115	1,000											
$X_3$	<b>0,236</b>	0,167	1,000										
$X_4$	-0,048	-0,022	-0,002	1,000									
$X_5$	<b>0,207</b>	0,060	<b>0,481</b>	0,128	1,000								
$X_6$	<b>0,292</b>	0,016	<b>0,258</b>	<b>0,194</b>	-0,026	1,000							
$Y_1$	-0,135	-0,028	0,082	-0,048	0,081	<b>-0,176</b>	1,000						
$Y_2$	-0,078	0,023	-0,142	0,060	0,006	-0,046	0,021	1,000					
$Y_3$	0,167	0,037	0,038	0,089	0,128	<b>0,208</b>	-0,006	-0,105	1,000				
$Y_4$	-0,157	-0,088	-0,147	-0,076	0,002	-0,158	0,042	<b>0,695</b>	-0,107	1,000			
$Y_5$	0,009	-0,044	0,026	0,116	-0,059	<b>0,201</b>	-0,077	<b>-0,400</b>	0,141	<b>-0,341</b>	1,000		
$Y_6$	-0,144	0,243	<b>0,230</b>	0,100	-0,032	<b>0,302</b>	-0,088	-0,095	0,051	0,004	<b>0,308</b>	1,000	
$Y_7$	-0,061	-0,116	<b>-0,262</b>	0,081	<b>-0,273</b>	0,039	-0,097	<b>0,176</b>	0,127	<b>0,189</b>	-0,094	-0,024	1,000

Примечание: исходные переменные.

сколькx при переходе к первым разностям теряется много информации, а распределение исходных переменных отличается от нормального.

В результате эконометрического моделирования были получены окончательные панельные регрессии.

Модель с фиксированными эффектами:

$$\hat{y}_{3i,t} = 4,71 + 0,24x_{4i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

Модель случайных эффектов:

$$\hat{y}_{3i,t} = 4,71 + 0,22x_{4i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

Модель случайных эффектов:

$$\hat{y}_{6i,t} = 7,5 + 0,07x_{6i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

Все модели статистически значимы, а знаки при коэффициентах регрессии имеют ожидаемые знаки. Параметры моделей панельной регрессии (3) и (4), оцененные разными методами, имеют близкие значения.

Тесты на отсутствие постоянных индивидуальных эффектов подтверждают корректность выбранной спецификации модели (3). Тест Хаусмана не отвергает нулевую гипотезу о некоррелированности объясняющих переменных и случайных эффектов для моделей (4–5).

На заболеваемость бронхиальной астмой детей 0–14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения) ( $y_{3i,t}$ ) влияет удельный вес проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, % ( $x_{4i,t}$ ).

Полученная связь согласуется с этиологией и патогенезом заболевания. Действительно, из-за повышенного удельного веса воды возможна реакция гиперчувствительности (аллергическая) на содержащиеся в воде химические вещества, в результате чего происходит бронхоспазм (сужение просвета бронхов, как

проявление бронхиальной астмы) [24–25].

На заболеваемость гастритом и дуоденитом подростков 15–17 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения) ( $y_{6i,t}$ ) влияют выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения, т/км<sup>2</sup> ( $x_{6i,t}$ ).

Исходя из этиологии и патогенеза заболеваний желудочно-кишечного тракта можно сделать вывод, что при вдыхании загрязненного воздуха через рот (например, при физической активности), взвеси химических веществ вместе со слюной попадают в желудочно-кишечный тракт. Тем самым химические вещества повреждают защитный барьер желудка, вследствие чего под действием соляной кислоты повреждаются клетки слизистой оболочки, что, в свою очередь, приводит к воспалительному процессу, т.е. гастриту. Аналогичное влияние данные вещества оказывают и на двенадцатиперстную кишку (она является следующим после желудка отделом желудочно-кишечного тракта), провоцируя дуоденит [24, 26].

## Заключение

В результате параметрического и непараметрического корреляционного анализа панельных данных для 15 муниципальных образований Республики Марий Эл за период с 2009 по 2017 гг. выявлены показатели загрязнения среды обитания, наиболее тесно связанные с показателями экологически зависимой заболеваемости в муниципальных образованиях Республики Марий Эл.

В соответствии с принятым подходом выявленные показатели включались в исходные спецификации моделей панельной регрессии.

Были получены три статистически значимые модели

панельной регрессии, характеризующие связь заболеваемости бронхиальной астмой детей 0–14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения) и удельным весом проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, %; между заболеваемостью гастритом и дуоденитом подростков 15–17 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения) и выбросами в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения, т/км<sup>2</sup>.

Полученные модели обладают биологическим правдоподобием. Этиопатогенетический анализ подтверждает возможность существования выявленных связей.

Найденные статистически значимые связи между загрязнениями среды обитания и здоровьем населения – это не доказательство наличия причинно-следственной связи между ними, а лишь статистическое подтверждение гипотезы о возможном ее наличии [2]. Это подтверждение является необходимым (но недостаточным) этапом работы для перевода гипотезы в разряд твердо установленных фактов.

Для полного доказательства нужны еще подтверждения. Так, планируется использовать дополнительные, более объективные и полные интегральные оценки качества окружающей среды, например, по состоянию живых существ. Одним из способов такой оценки является флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков биологических объектов. Особенность такого интегрального показателя заключается в том, что исследуется не типы загрязнений (почвы, воды, воздуха и др.), а реакция живых организмов на условия среды.

## Литература

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Республики Марий Эл в 2018 году: Доклад. Йошкар-Ола: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Марий Эл, 2019. 227 с.
2. Вараксин А.Н. Статистические модели регрессионного типа в экологии и медицине. Екатеринбург: Гощицкий, 2006. 255 с.
3. Ситникова О.О. Оценка экологических рисков здоровью населения в медико-демографических процессах при антропогенном загрязнении атмосферного воздуха (на примере Белгородской области) // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». 2014.
4. Веремчук Л.В., Черпак Н.А., Гвозденко Т.А., Волкова М.В. Методология оценки влияния загрязнения атмосферного воздуха на формирование уровней общей заболеваемости бронхиальной астмой // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 3. С. 119–122.
5. Куркатов С.В., Тихонова И.В., Иванова О.Ю. Оценка риска воздействия атмосферных загрязнений на здоровье населения г. Норильска // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 2. С. 28–31.
6. Канатникова Н.В., Егорова Н.А. Влияние жесткости питьевой воды на заболеваемость населения г. Орла // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 3. С. 235–240.
7. Лучанинова В.Н., Цветкова М.М., Веремчук Л.В., Крукович Е.В., Мостовая И.Д. Состояние здоровья детей и подростков и факторы, влияющие на его формирование // Гигиена и санитария. Т. 96. № 6. С. 561–568.
8. Малыш Н.Г., Доан С.И. Использование факторного анализа при исследовании эпидемического процесса острых кишечных инфекций // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 6. С. 519–523.
9. Кику П. Ф., Измайлова О.А. Горборукова Т.В., Ананьев В.Ю. Влияние эколого-гигиенических факторов среды обитания на распространение болезней органов дыхания у населения Приморского края // Гигиена и санитария. 2012. № 5.
10. Трифонова Т.А., Марцев А.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость населения Владимирской области // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 4.
11. Зайкова З.А., Бурдуковская А.В., Белых А.И. Определение приоритетных неблагоприятных факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 12.
12. Измайлова О.А., Кику П.Ф., Ярыгина М.В., Морева В.Г., Ананьев В.Ю., Косолапов А.Б. Гигиенические аспекты распространения экологозависимых заболеваний детей и подростков Приморского края // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 11.
13. Щербо А.П. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска. СПб.: СПбМАПО, 2002. 376 с.
14. Городские округа и муниципальные районы Республики Марий Эл: статистический сборник. Йошкар-Ола: Маристат, 2017. 266 с.
15. Республика Марий Эл в цифрах: Краткий статистический сборник. Йошкар-Ола: Маристат. 2019. 385 с.
16. Кацнельсон Б.А., Кошелева А.А., Привалова Л.И., Кузьмин С.В., Малых О.Л., Хальфин Р.А., Никонов Б.И., Озкайнак Х., Шу Дж. Влияние кратковременных повышений загрязнения атмосферного воздуха на смертность населения // Гигиена и санитария. 2000. № 1. С. 15–18.
17. Коротков П.А., Трубянов А.Б., Загайнова Е.А., Никоноров К.Н. Сопоставительный анализ моделей оценки экологической эффективности крупных городов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 328.
18. Коротков П.А., Загайнова Е.А. Взаимосвязь уровня распространенности самоубийств и продолжительности рабочего времени // Статистика и экономика. 2017. Т. 14. № 4. С. 41–53.
19. Шиманович Г. Внешний долг Беларуси: опыт постсоциалистических стран. Рабочий материал Исследовательского центра ИПМ WP/09/01, 2009. 24 с.
20. Копнова Е.Д., Розенталь О.М. Эконометрический анализ экологического менеджмента рыбных ресурсов // Прикладная эконометрика. 2010. № 2 (18). С. 90–100.
21. Ларин А.В., Тарунина Е.Н. Предпринимательская активность и уровень экономического развития: форма зависимости // Прикладная эконометрика. 2015. № 37 (1). С. 3–26.
22. Вербик М. Модели, основанные на панельных данных // Прикладная эконометрика. 2006. № 1. С. 94–135.
23. Swamy P.A. V.V. and Arora S.S. The exact finite sample properties of the estimators of coefficients in the error components regression models // Econometrica. 1972. № 40. С. 261–275.
24. Серов В.В., Пальцев М.А. Патологическая анатомия: курс лекций. Учебное пособие. М.: 1998. 640 с.
25. Бронхиальная астма: клинические рекомендации. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2016. 76 с.
26. Патологическая физиология: учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. 496 с.

## References

1. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya Respubliki Mariy El v 2018 godu: Doklad. Yoshkar-Ola: Upravleniye Federal'noy sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka po Respublike Mariy El = On the state of the sanitary-epidemiological well-being of the population of the Republic of Mari El in 2018: Report. Yoshkar-Ola: Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being in the Republic of Mari El, 2019. 227 p. (In Russ.)
2. Varaksin A.N. Statisticheskiye modeli regressionnogo tipa v ekologii i meditsine = Statistic models of regression type in ecology and medicine. Yekaterinburg: Goshchitsky; 2006. 255 p. (In Russ.)
3. Sitnikova O.O. Assessment of environmental risks to public health in medical and demographic processes during anthropogenic air pollution (on the example of the Belgorod region). Materialy VI Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii «Studencheskiy nauchnyy forum» = Materials of the VI International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum". 2014. (In Russ.)
4. Veremchuk L.V., Cherpak N.A., Gvozdenko T.A., Volkova M.V. Methodology for assessing the effect of air pollution on the formation of levels of the general incidence of bronchial asthma. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2015; 94; 3: 119–122. (In Russ.)
5. Kurkatov S.V., Tikhonova I.V., Ivanova O.Yu. Risk assessment of the effects of atmospheric pollution on the health of the population of Norilsk. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2015; 94; 2: 28–31. (In Russ.)
6. Kanatnikova N.V., Yegorova N.A. The effect of hardness of drinking water on the incidence of the population of the city of Orel. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2017; 96; 3: 235–240. (In Russ.)
7. Luchaninova V.N., Tsvetkova M.M., Veremchuk L.V., Krukovich Ye.V., Mostovaya I.D. The health status of children and adolescents and factors affecting its formation. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 96; 6: 561–568. (In Russ.)
8. Malysh N.G., Doan S.I. The use of factor analysis in the study of the epidemic process of acute intestinal infections. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2017; 96; 6: 519–523. (In Russ.)
9. Kiku P. F., Izmaylova O.A. Gorborukova T.V., Anan'yev V.Yu. The influence of environmental and hygienic environmental factors on the spread of respiratory diseases in the population of Primorsky Krai. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2012; 5. (In Russ.)
10. Trifonova T.A., Martsev A.A. Evaluation of the effect of air pollution on the incidence of the population of the Vladimir region. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2015; 94; 4. (In Russ.)
11. Zaykova Z.A., Burdukovskaya A.V., Belykh A.I. Determination of priority adverse environmental factors. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2016; 95; 12. (In Russ.)
12. Izmaylova O.A., Kiku P.F., Yarygina M.V., Moreva V.G., Anan'yev V.Yu., Kosolapov A.B. Hygienic aspects of the spread of environmentally dependent diseases in children and adolescents of the Primorsky Territory. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2016; 95; 11. (In Russ.)
13. Shcherbo A.P. Okruzhayushchaya sreda i zdorov'ye: podkhody k otsenke riska = Environment and health: risk assessment approaches. Saint Petersburg: SPbMAPO; 2002. 376 p. (In Russ.)
14. Gorodskiy okrug i munitsipal'nyye rayony Respubliki Mariy El: statisticheskiy sbornik = Urban districts and municipal districts of the Republic of Mari El: statistical compilation. Yoshkar-Ola: Maristat; 2017. 266 p. (In Russ.)
15. Respublika Mariy El v tsifrakh: Kratkiy statisticheskiy sbornik = The Republic of Mari El in numbers: A brief statistical compilation. Yoshkar-Ola: Maristat. 2019; 385 p. (In Russ.)
16. Katsnel'son B.A., Kosheleva A.A., Privalova L.I., Kuz'min S.V., Malykh O.L., Khal'fin R.A., Nikonov B.I., Ozkaynak K.H., Shu Dzh. The effect of short-term increases in air pollution on population mortality. *Gigiyena i sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2000; 1: 15–18. (In Russ.)
17. Korotkov P.A., Trubyanov A.B., Zagaynova Ye.A., Nikonorov K.N. Comparative analysis of models for assessing the environmental performance of large cities. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015; 2: 328. (In Russ.)
18. Korotkov P.A., Zagaynova Ye.A. The relationship between the level of suicide prevalence and working hours. *Statistika i ekonomika = Statistics and Economics*. 2017; 14; 4: 41–53. (In Russ.)
19. Shimanovich G. Vneshniy dolg Belarusi: opyt postsotsialisticheskikh stran. Rabochiy material Issledovatel'skogo tsentra IPM WP/09/01 = External debt of Belarus: the experience of post-socialist countries. Work material of the IPM Research Center WP / 09/01. 2009; 24 p. (In Russ.)
20. Kopnova Ye.D., Rozental' O.M. Econometric analysis of ecological management of fish resources. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2010; 2 (18): 90–100. (In Russ.)
21. Larin A.V., Tarunina Ye.N. Entrepreneurial activity and the level of economic development: a form of dependence. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2015; 37 (1): 3–26. (In Russ.)
22. Verbik M. Models based on panel data. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*. 2006; 1: 94–135. (In Russ.)
23. Swamy P.A. V.B. and Arora S.S. The exact finite sample properties of the estimators of coefficients in the error components regression model. *Econometrica*. 1972; 40: 261–275.

24. Serov V.V., Pal'tsev M.A. Patologicheskaya anatomiya: kurs lektsiy. Uchebnoye posobiye = Pathological anatomy: course of lectures. Tutorial. Moscow: 1998. 640 p. (In Russ.)

25. Bronkhial'naya astma: klinicheskiye rekomendatsii = Bronchial asthma: clinical

recommendations. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation; 2016. 76 p. (In Russ.)

26. Patofiziologiya: uchebnik = Pathophysiology: a textbook. Moscow: GEOTAR-Media; 2007. 496 p. (In Russ.)

**Сведения об авторах**

**Петр Анатольевич Коротков**

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия  
Эл. почта: korotkovpa@volgatech.net

**Алексей Борисович Трубянов**

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия  
Эл. почта: true47@mail.ru

**Анастасия Анатольевна Авдеева**

Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Марий Эл, Йошкар-Ола, Россия  
Эл. почта: nastya\_87\_02@mail.ru

**Алина Ильдаровна Гисмиева**

Казанский государственный медицинский университет, Казань, Россия  
Эл. почта: alina.gismieva@icloud.com

**Information about the authors**

**Peter A. Korotkov**

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia  
E-mail: korotkovpa@volgatech.net

**Aleksey B. Trubyanov**

Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia  
E-mail: true47@mail.ru

**Anastasiya A. Avdeeva**

Maristat, Yoshkar-Ola, Russia  
E-mail: nastya\_87\_02@mail.ru

**Alina I. Gismieva**

Kazan State Medical University, Kazan, Russia  
E-mail: alina.gismieva@icloud.com