

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco89724>

# Связь частоты социально значимых заболеваний с санитарно-экологическими параметрами окружающей среды в муниципальных образованиях Республики Марий Эл

П.А. Коротков<sup>1</sup>, А.Б. Трубянов<sup>2</sup>, А.И. Гисмиева<sup>3</sup>, А.А. Авдеева<sup>1</sup>, Е.В. Загайнова<sup>1</sup><sup>1</sup> Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Российская Федерация;<sup>2</sup> Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Российская Федерация;<sup>3</sup> Казанский государственный медицинский университет, Казань, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В Республике Марий Эл при формально благоприятной экологической ситуации наблюдается превышение показателей заболеваемости, зависящих от неблагоприятных факторов среды обитания. Это обуславливает необходимость проведения уточняющего количественного исследования с использованием современных статистических методов.

**Цель.** Используя панельные данные, выявить и предметно обосновать статистические связи показателей заболеваемости населения муниципальных образований Республики Марий Эл с экологическими параметрами окружающей среды (физико-химическими и биоиндикационными показателями).

**Материал и методы.** Использовались панельные данные о заболеваемости населения, в том числе детей, подростков и взрослых, и загрязнении окружающей среды 15 муниципальных образований Республики Марий Эл за 2009–2019 гг., а также полученные на основе материалов полевого исследования пространственные данные флуктуирующей асимметрии за 2019 г., интегрально отражающие качество окружающей среды. Методы статистического анализа: для динамических панельных данных — концепция коинтеграции и модель с механизмом корректировки равновесия; для пространственных данных — непараметрический корреляционный анализ. Инструментарий — статистические пакеты EViews 11 и Stata 16 IC.

**Результаты.** Установлено, что в долгосрочном периоде увеличение загрязнения питьевой воды из распределительной сети и атмосферного воздуха оказывает статистически значимое влияние ( $\chi^2=79,79$ ;  $p < 0,001$ ) на рост показателя врожденных аномалий (пороков развития), деформаций и хромосомных нарушений детей 0–14 лет. Корректировка данного показателя при отклонении от равновесной траектории происходит примерно за 2 года, поэтому требуется разработка мероприятий по планомерному обеспечению населения доброкачественной питьевой водой и сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Выявлены устойчивые положительные корреляционные связи среднесрочной заболеваемости злокачественными новообразованиями как всего населения, так и взрослого населения в возрасте от 18 лет и старше с качеством окружающей среды — показателями флуктуирующей асимметрии в импактной зоне.

**Заключение.** Построена модель панельной регрессии, объясняющая изменение во времени внутри одного муниципального образования показателя врожденных аномалий (пороков развития), деформаций и хромосомных нарушений детей 0–14 лет при изменении величины загрязнения атмосферного воздуха и питьевой воды. Заболеваемость злокачественными новообразованиями связана с комплексом разнообразных стрессирующих факторов (от антропогенного воздействия до климатических изменений).

**Ключевые слова:** заболеваемость; загрязнение окружающей среды; качество окружающей среды; флуктуирующая асимметрия; панельные данные.

## Как цитировать:

Коротков П.А., Трубянов А.Б., Гисмиева А.И., Авдеева А.А., Загайнова Е.В. Связь частоты социально значимых заболеваний с санитарно-экологическими параметрами окружающей среды в муниципальных образованиях Республики Марий Эл // Экология человека. 2022. Т. 29, № 8. С. 577–585. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco89724>

Рукопись получена: 06.12.2021

Рукопись одобрена: 10.08.2022

Опубликована online: 13.09.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco89724>

# Relationship between the incidence of socially significant diseases and sanitary and ecological parameters of the environment throughout municipal entities in the Mari El Republic

Petr A. Korotkov<sup>1</sup>, Aleksey B. Trubyanov<sup>2</sup>, Alina I. Gismieva<sup>3</sup>,  
Anastasija A. Avdeeva<sup>1</sup>, Elena V. Zagyanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation;

<sup>2</sup> Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation;

<sup>3</sup> Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** There is a formal contradiction in the Republic of Mari El between the “favorable ecological situation in localities of the Republic and the above-limit morbidity rates caused by the negative impact of habitat factors.” As such, there is a need to conduct a specified quantitative examination using modern econometric approaches.

**AIM:** By using panel data, to identify and substantiate statistical relations between the morbidity rate of the population in municipal entities of the Mari El Republic and ecological parameters of the environment (physical and chemical and bioindication indicators).

**MATERIAL AND METHODS:** This study used the panel data on morbidity rates of the population, including children, adolescents, and adults, and environmental pollution across 15 municipal entities within the Mari El Republic from 2009–2019, as well as spatial data on fluctuating asymmetry for 2019 that were based on a field study and integrally reflect the environmental quality. Statistical analysis for dynamic panel data involved cointegration and modeling with a mechanism of balance adjustment, whereas that for spatial data involved nonparametric correlation analysis. All statistical analyses were conducted using the statistics packages EViews 11 and Stata 16 IC.

**RESULTS:** It was established that over the long term the increasing pollution level of drinking water from the distribution network and the atmosphere has a statistically significant effect ( $\chi^2=79.79$ ;  $p<0.001$ ) on the increase in figures of congenital abnormalities (malformation), deformations and chromosome breakages in children aged 0 to 14 years. Adjustment of the indicator of congenital abnormalities (malformation), deformations and chromosome breakages in children aged 0 to 14 years with a deviation from the equilibrium trajectory occurs in about 2 years. It is required to develop measures to systematically provide the population with good-quality drinking water and reduce emissions of pollutants into the atmosphere. Stable positive correlations of long-term average annual morbidity rate of the whole population and the adult population aged 18 and older being ill with malignant tumors are associated with the change in environmental quality (indicators of the fluctuating asymmetry in the impact zone).

**CONCLUSION:** A panel regression model was designed that explains the change in time of the indicator of congenital abnormalities (malformation), deformations and chromosome breakages in children aged 0 to 14 years within one municipal entity with the increasing pollution level of the atmosphere and drinking water. Being ill with malignant tumors is related to a complex of various stress factors (varying between the human impact and climate change).

**Keywords:** morbidity; environmental pollution; environmental quality; fluctuating asymmetry; panel data.

## To cite this article:

Korotkov PA, Trubyanov AB, Gismieva AI, Avdeeva AA, Zagyanova EV. Relationship between the incidence of socially significant diseases and sanitary and ecological parameters of the environment throughout municipal entities in the Mari El Republic. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2022;29(8): 577–585. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco89724>

Received: 06.12.2021

Accepted: 10.08.2022

Published online: 13.09.2022

## ВВЕДЕНИЕ

Установление взаимосвязей между состоянием окружающей среды и здоровьем (заболеваемостью) населения — традиционная задача социально-гигиенического мониторинга [1].

Экологическое состояние окружающей среды принято оценивать по экологическим параметрам, представляющим как биоиндикационные показатели (например, флуктуирующая асимметрия (ФА) листьев) [2], так и конкретные физико-химические величины, характеризующие состояние объектов окружающей среды (загрязнение атмосферного воздуха, воды, почвы, климатические условия, характер рельефа и др.) [3].

Наибольшее распространение получили комплексные и частные исследования связей: «загрязнение окружающей среды — здоровье населения», «загрязнение атмосферного воздуха (воды, почв и др.) — здоровье населения» [4]. Основная проблема — множественность взаимосвязанных факторов здоровья человека, изменяющихся во времени [5]. Использование комплексных (агрегированных) показателей загрязнения окружающей среды [6] не гарантирует, что учтены все факторы. В этих условиях дополнительную информацию могут предоставить биоиндикационные показатели — естественные интегральные индикаторы экологического состояния территорий [3].

Для учёта особенностей данных — пространственно-временных аспектов [5], динамических характеристик временных рядов [1, 7] — при анализе причинности статистических связей необходимы более современные статистические методы, например панельные данные [8, 9]. Они позволяют учесть влияние скрытых факторов (например, природно-климатических условий), значения которых постоянны во времени, но различны для разных объектов выборки [10].

Несмотря на благоприятную экологическую ситуацию, фиксируемую Роспотребнадзором, в Республике Марий Эл наблюдается превышение показателей заболеваемости, зависящих от неблагоприятных факторов среды обитания [7]. Это противоречие обуславливает необходимость проведения уточняющего количественного исследования.

**Цель работы.** Используя панельные данные, выявить и предметно обосновать статистические связи показателей заболеваемости населения муниципальных образований Республики Марий Эл с экологическими параметрами окружающей среды (физико-химическими и биоиндикационными показателями).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Источники исходных данных по «приоритетным заболеваниям, обусловленным неблагоприятным воздействием факторов среды обитания» [11], и загрязнению компонентов окружающей среды для 3 городских округов и 14 муниципальных районов Республики Марий Эл

за период с 2009 по 2019 гг. — Управление Роспотребнадзора по Республике Марий Эл [11], Министерство здравоохранения Республики Марий Эл, Маристат [12]. Из-за особенностей медицинской статистики г. Волжск объединен с Волжским районом, а г. Козьмодемьянск — с Горномарийским районом. Источник данных о качестве окружающей среды — рассчитанные авторами по данным полевого исследования за 2019 г. [13] показатели ФА листьев берёзы повислой  $Z$ ,  $G$ ,  $CVR$  [14].

Заболеваемость на 100 тыс. соответствующего населения с диагнозом, установленным впервые в жизни (зависимые переменные  $Y_{i,t}$ , где  $i$  — индекс муниципального образования,  $t$  — год), представлена ниже.

### 1. Всё население:

- $Y_{1,t}$  — злокачественными новообразованиями;

### 2. Дети (0–14 лет):

- $Y_{2,t}$  — общая заболеваемость;
- $Y_{3,t}$  — показатель врождённых аномалий (пороков развития), деформаций и хромосомных нарушений;
- $Y_{4,t}$  — инсулинзависимым сахарным диабетом;
- $Y_{5,t}$  — гастритом и дуоденитом;
- $Y_{6,t}$  — злокачественными новообразованиями;

### 3. Подростки 15–17 лет:

- $Y_{7,t}$  — язвой желудка и двенадцатиперстной кишки;
- $Y_{8,t}$  — мочекаменной болезнью;
- $Y_{9,t}$  — бронхитом хроническим и неуточнённым, эмфиземой;
- $Y_{10,t}$  — болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушениями обмена веществ;
- $Y_{11,t}$  — злокачественными новообразованиями;

### 4. Взрослые (18 лет и старше):

- $Y_{12,t}$  — болезнями, характеризующимися повышенным кровяным давлением;
- $Y_{13,t}$  — бронхитом хроническим и неуточнённым, эмфиземой;
- $Y_{14,t}$  — гастритом и дуоденитом;
- $Y_{15,t}$  — мочекаменной болезнью;
- $Y_{16,t}$  — злокачественными новообразованиями.

Загрязнение объектов окружающей среды (независимые — объясняющие — переменные  $X_{i,t}$ , где  $i$  — индекс муниципального образования,  $t$  — год):

- $X_{1,t}$  — удельный вес нестандартных проб воды из поверхностных водоёмов по микробиологическим показателям, %;
- $X_{2,t}$  — удельный вес нестандартных проб воды из поверхностных водоёмов по санитарно-химическим показателям, %;
- $X_{3,t}$  — удельный вес проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям, %;
- $X_{4,t}$  — удельный вес проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, %;

- $X_{5it}$  — удельный вес проб воды из нецентрализованных источников водоснабжения, не отвечающих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, %;
- $X_{6it}$  — удельные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения, т/км<sup>2</sup>. Использование такого показателя согласуется с [15];
- $Z_1, G_1, CVR_1$  — показатели ФА листьев берёзы повислой (импакт) в 2019 г. (импакт — близость к источникам загрязнений, т.е. к предприятиям или автомобильным дорогам (федеральным, региональным));
- $Z_2, G_2, CVR_2$  — показатели ФА листьев берёзы повислой (буфер) в 2019 г.;
- $Z_3, G_3, CVR_3$  — показатели ФА листьев берёзы повислой (фон) в 2019 г.

Количественную оценку ФА используют в прикладной экологии как показатель качества (здоровья) среды: «при средовом или генетическом стрессе величина асимметрии различных, даже не скоррелированных между собой признаков показывает согласованные изменения» [16]. В качестве мер количественной оценки используют 3 разных подхода.

#### Первый подход:

показатель  $Z$  — классический показатель ФА, основанный на нормированном значении модуля разности признаков на левой и правой половине листа [17]:

$$Z = \frac{1}{n} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{|L_{i,j} - R_{i,j}|}{L_{i,j} + R_{i,j}},$$

где  $n$  — число объектов,  $m$  — число признаков,  $L_{i,j}$  — значение  $j$ -го признака  $i$ -го объекта (листа берёзы повислой) слева,  $R_{i,j}$  — значение  $j$ -го признака  $i$ -го объекта (листа берёзы повислой) справа.

#### Второй подход:

$G$  — показатель, заимствованный из кристаллографии (оценка псевдосимметрии кристалла), основанной на свёртке функций [18]:

$$G = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2 \sum_{j=1}^m L_{i,j} \cdot R_{i,j}}{\sum_{j=1}^m (L_{i,j}^2 + R_{i,j}^2)},$$

где  $n$  — число объектов,  $m$  — число признаков,  $L_{i,j}$  — значение  $j$ -го признака  $i$ -го объекта (листа берёзы повислой) слева,  $R_{i,j}$  — значение  $j$ -го признака  $i$ -го объекта (листа берёзы повислой) справа.

#### Третий подход:

$CVR$  — показатель, основанный на вероятностной модели изменчивости и взаимосвязи признаков [14]:

$$CVR = CV \cdot (1 - \rho^2),$$

где  $CV$  — коэффициент вариации признака,  $\rho$  — коэффициент корреляции между левой и правой сторонами листовой пластинки.

Методология исследования основана на подходах к корреляционно-регрессионному анализу панельных данных [7]. Имеются следующие уточнения методологии.

Из-за коротких временных рядов (11 наблюдений) они не протестированы на единичный корень и стационарность с помощью формальных критериев [19]. При этом визуальный анализ свидетельствует о нестационарности временных рядов.

При параметрическом корреляционном анализе связей заболеваемости с загрязнением окружающей среды использованы первые разности временных рядов для устранения нестационарности.

В исходную спецификацию моделей панельной регрессии включены уровни независимых переменных, имеющие в первых разностях статистически значимые корреляции с зависимой переменной, и (или) исходя из этиологии и патогенеза заболеваний. Для оценки регрессии применён панельный метод наименьших квадратов [20].

Наличие коинтеграции между переменными [21] предполагает, что остатки панельной регрессии являются стационарными, а их лагированная величина (лаг составляет 1) является механизмом корректировки равновесия при отклонении зависимой переменной от равновесной траектории. Остатки панельной регрессии протестированы на стационарность визуально.

Анализ причинности (направленности связей между изучаемыми переменными) осуществлён с помощью теста Грейнджера [9, 22].

Из-за короткой выборки пространственных данных при корреляционном анализе связей показателей ФА берёзы повислой с показателями загрязнения окружающей среды и заболеваемости населения применены ранговые коэффициенты корреляции Спирмена ( $r_s$ ). При этом использованы среднееголетние значения показателей загрязнения окружающей среды  $X_{i,2009-2019}$  и заболеваемости населения  $Y_{i,2009-2019}$ , поскольку показатели ФА берёзы повислой в отсутствие экстремальных антропогенных воздействий отражают скорее накопленные, а не текущие стрессорирующие воздействия. Рассмотрены только устойчивые корреляционные связи.

Расчёты выполнены в статистических пакетах EViews 11 и Stata 16 IC.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты параметрического корреляционного анализа связей показателей заболеваемости с показателями загрязнения окружающей среды в первых разностях представлены в табл. 1.

Путём статистического моделирования удалось специфицировать модель панельной регрессии с фиксированными эффектами:

$$\hat{Y}_{3it} = 467,85 + 32,08 \hat{X}_{4it} + 7,38 \hat{X}_{6it} + \varepsilon_{it}, R^2 = 0,56, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{it}$  — остатки регрессии,  $R^2$  — коэффициент детерминации.

**Таблица 1.** Парные коэффициенты корреляции Пирсона (заболеваемость — загрязнение)**Table 1.** Pearson coefficients (morbidity rate — pollution)

Переменные Variables	$dX_{1i,t}$	$dX_{2i,t}$	$dX_{3i,t}$	$dX_{4i,t}$	$dX_{5i,t}$	$dX_{6i,t}$
$dY_{2i,t}$	-0,195	0	0	-0,224	0	0
$dY_{3i,t}$	0	0	0	0,245	0	0,403
$dY_{7i,t}$	0	0	0	0	0	0,190
$dY_{11i,t}$	0	0	0	0	0	0,268
$dY_{13i,t}$	0	0	0	0	0	-0,168

Примечание: в таблице приведены только статистически значимые коэффициенты корреляции на уровне значимости 0,05 и нули — для незначимых коэффициентов.

Note: the table shows only statistically significant correlation coefficients at 0.05 significance level and zero for insignificant coefficients.

Модель обладает статистической значимостью. Коэффициенты регрессии имеют знаки, соответствующие теоретическим ожиданиям. Рост удельного веса проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям ( $X_{4i,t}$ ), и удельных выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения ( $X_{6i,t}$ ), оказывает долгосрочное влияние на рост показателя врождённых аномалий (пороков развития), деформаций и хромосомных нарушений детей 0–14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения),  $Y_{3i,t}$ . Корректность спецификации модели (1) подтверждается тестами на отсутствие постоянных индивидуальных эффектов ( $\alpha$ ) ( $\chi^2=79,79$ ;  $p=0,000$ ).

Если остатки регрессионного уравнения ( $\varepsilon_{i,t}$ ) являются стационарными, то  $Y_{3i,t}$  и  $X_{4i,t}$ ,  $X_{6i,t}$  коинтегрированы, а лагированные остатки (лаг составляет 1) служат механизмом корректировки равновесия ( $ECM$ ) при отклонении  $Y_{3i,t}$  от своей равновесной траектории. Визуальный анализ показал, что остатки регрессионного уравнения (1) действительно представляют собой стационарную величину с нулевым средним.

Далее была построена модель с механизмом корректировки равновесия:

$d\hat{Y}_{3i,t} = 27,21 d\hat{X}_{4i,t} + 19,79 d\hat{X}_{6i,t} - 0,49 ECM_{t-1} + u_{i,t}$  (2)  
где  $ECM_{t-1}$  — механизм корректировки равновесия,  $u_{i,t}$  — остатки регрессии,  $d$  — первые разности переменных регрессии.

Модель статистически значима, а коэффициенты регрессии имеют ожидаемые знаки. Спецификация уравнения регрессии не включала постоянные индивидуальные эффекты ( $\chi^2=3,18$ ;  $p=0,999$ ). Коэффициент при механизме равновесия ( $ECM$ ) статистически значим и имеет правильный (при наличии коинтеграции) знак. Он показывает, что корректировка  $Y_{3i,t}$  при отклонении от равновесной траектории происходит примерно за  $1/0,49$  ( $\approx 2,04$ ) года.

Результаты анализа направленности связей между переменными между  $Y_{3i,t}$  и  $X_{4i,t}$ ,  $X_{6i,t}$  представлены в табл. 2.

Тест Саргана свидетельствует о валидности выбранных инструментов. Парные связи между зависимой и независимыми переменными можно считать устойчивыми, поскольку значимы коэффициенты долгосрочной связи ( $ECM$ ) (см. табл. 2).

В табл. 3 представлена матрица ранговых коэффициентов корреляции Спирмена для показателей ФА. Все соответствующие показатели ФА связаны между собой. Показатели  $CVR_2$  и  $CVR_3$  взаимосвязаны, при этом показатель  $CVR_1$  от них независим. Это согласуется с результатами работы [13]: в импактной и буферной зонах были

**Таблица 2.** Анализ причинности**Table 2.** Causal relations

Переменные Variables	$dY_{3i,t}$		$dX_{4i,t}$		$dX_{6i,t}$	
	Коэффициент краткосрочной связи Short-term relationship coefficients	ECM	Коэффициент краткосрочной связи Short-term relationship coefficients	ECM	Коэффициент краткосрочной связи Short-term relationship coefficients	ECM
$dY_{3i,t-1}$	—	—	0	0	+	—
$dX_{4i,t-1}$	—	—	—	—	0	0
$dX_{6i,t-1}$	0	—	0	0	—	—

Примечание: на пересечении строк и столбцов расположены знаки коэффициентов, значимых на уровне 0,05, и нули — для незначимых коэффициентов.

Note: there are coefficients at 0.05 significance level and zero for insignificant coefficients at the intersection of lines and columns.



**Таблица 3.** Матрица ранговых коэффициентов корреляции Спирмена (показатели флуктуирующей асимметрии)**Table 3.** Spearman's correlation coefficients (fluctuating asymmetry)

Переменные Variables	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$CVR_1$	$CVR_2$	$CVR_3$
$Z_1$	1	—	—	—	—	—	—	—	—
$Z_2$	0	1	0	—	—	—	—	—	—
$Z_3$	0	0	1	—	—	—	—	—	—
$G_1$	0,88	0	0	1	—	—	—	—	—
$G_2$	0	0,50	0	0	1	—	—	—	—
$G_3$	0	0	0	0	0	1	—	—	—
$CVR_1$	0,93	0	0	0,91	0	0	1	—	—
$CVR_2$	–0,43	0,82	0	0	0,66	0,44	0	1	—
$CVR_3$	0	0	0,51	0	0,49	0,45	0	0,44	1

Примечание: на пересечении строк и столбцов указаны коэффициенты, значимые на уровне 0,05, и нули — для незначимых коэффициентов.

Note: there are coefficients at 0.05 significance level and zero for insignificant coefficients at the intersection of lines and columns.

**Таблица 4.** Ранговые коэффициенты корреляции Спирмена (заболеваемость — показатели флуктуирующей асимметрии)**Table 4.** Spearman's correlation coefficients (morbidity rate — fluctuating asymmetry)

Переменные Variables	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$CVR_1$	$CVR_2$	$CVR_3$
$Y_{1,2009-2019}$	0,83	0,73	0	0,76	0	0	0,69	0	0
$Y_{16,2009-2019}$	0,76	0,60	0	0,73	0	0	0,70	0	0

Примечание: на пересечении строк и столбцов указаны коэффициенты, значимые на уровне 0,05, и нули — для незначимых коэффициентов.

Note: there are coefficients at 0.05 significance level and zero for insignificant coefficients at the intersection of lines and columns.

выявлены различия по величине ФА, при этом различия по данной величине в буферной зоне и на фоновой территории отсутствовали.

В результате непараметрического корреляционного анализа были выявлены устойчивые корреляционные связи между переменными (табл. 4).

Между среднесуточной заболеваемостью злокачественными новообразованиями всего населения  $Y_{1,2009-2019}$ , а также взрослого населения в возрасте от 18 лет и старше  $Y_{16,2009-2019}$  с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения), и соответствующими показателями ФА в импактной зоне ( $Z_1$ ,  $G_1$ ,  $CVR_1$ ) существуют устойчивые корреляционные связи. То, что зависимые переменные  $Y_{1,2009-19}$  и  $Y_{16,2009-2019}$  характеризуют один вид заболеваемости, но для разных возрастных групп, также свидетельствует об устойчивости и обусловленности выявленных связей.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Долгосрочная многофакторная связь между показателем врождённых аномалий (пороков развития), деформаций и хромосомных нарушений детей 0–14 лет

с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения),  $Y_{3i,t}$ , и удельным весом проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям ( $X_{4i,t}$ ), а также удельными выбросами в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения ( $X_{6i,t}$ ), согласуется с результатами близких исследований [23, 24]. В работе [15] установлено, что количество новообразований и врождённых пороков развития у детей, как правило, выше в районах, где больше величина выбросов вредных веществ в расчёте на одного жителя. Случаи недоношенности и рождения детей с врождёнными аномалиями статистически значимо чаще встречаются во всех экологически неблагополучных районах [20, 25]. Несоответствие питьевой воды гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям является прямым свидетельством фекального или орального загрязнения (общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, споры сульфитредуцирующих клостридий, патогенные энтеробактерии, колифаги). По микробиологическим показателям также можно косвенно судить о загрязнении воды как патогенными микроорганизмами

(например, возбудителями TORCH-инфекции), так и химическими веществами (например, пестицидами), попадание которых в организм беременных женщин (особенно в первом триместре беременности) способно привести к тератогенному воздействию на плод, в результате чего могут возникать аномалии развития.

Устойчивые положительные корреляционные связи между среднемноголетней заболеваемостью злокачественными новообразованиями всего населения и взрослого населения в возрасте от 18 лет и старше с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения),  $Y_{1,2009-2019}$ ,  $Y_{16,2009-2019}$  с показателями ФА в импактной зоне ( $Z_1$ ,  $G_1$ ,  $CVR_1$ ), т.е. с низким качеством окружающей среды, согласуются с существующей точкой зрения о том, что конкретные причины злокачественных новообразований однозначно не установлены, но связь их с качеством окружающей среды в целом существует [2].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная модель с фиксированными эффектами объясняет, как изменяется во времени внутри одного муниципального образования показатель врождённых аномалий (пороков развития), деформаций и хромосомных нарушений детей 0–14 лет с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения), при изменении величины загрязнения атмосферного воздуха и питьевой воды. Требуется разработка мероприятий по обеспечению населения муниципальных образований доброкачественной питьевой водой и сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Заболеваемость злокачественными новообразованиями всего населения и взрослого населения в возрасте от 18 лет и старше с диагнозом, установленным впервые в жизни (на 100 тыс. соответствующего населения), статистически связана с флуктуирующей асимметрией берёзы повислой в импактной зоне — комплексом разнообразных стрессирующих факторов начиная

от антропогенного воздействия и заканчивая климатическими изменениями.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Вклад авторов.** П.А. Коротков — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста, редактирование; А.Б. Трубянов — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, редактирование; А.И. Гисмиева — сбор материала и обработка данных, написание текста; А.А. Авдеева — сбор материала и обработка данных; Е.В. Загайнова — сбор данных литературы. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Authors contribution.** Korotkov P.A. was involved in the concept and design of the study, collection and processing of material, and writing of the text; Trubyanov A.B. was involved in the concept and design of the study and collection and processing of material; Gismieva A.I. was involved in the collection and processing of material and writing of the text; Avdeeva A.A. was involved in the collection and processing of material; Zagayanova E.V. was involved in the collection of literature data. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Республики Марий Эл в рамках научного проекта № 19-413-120001.

**Funding source.** The reported study was funded by RFBR and Government of the Mari El Republic according to the research project № 19-413-120001.

**Конфликт интересов.** Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варакин А.Н. Статистические модели регрессионного типа в экологии и медицине. Екатеринбург : Голицынский, 2006. 255 с.
2. Здоровье населения и здоровье среды: pro et contra / под ред. Г.С. Розенберга, Р.С. Кузнецовой, Н.В. Костиной, Н.В. Лазаревой. Тольятти : Российская академия наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Институт экологии Волжского бассейна РАН — филиал СамНЦ РАН, 2021. 374 с.
3. Снакин В.В., Присяжная А.А., Косякова Н.И., и др. Здоровье среды и здоровье населения (на примере малого города России) // Жизнь Земли. 2017. Т. 39, № 2. С. 125–138.
4. Клепиков О.В., Самойлов А.С., Ушаков И.Б., и др. Комплексная оценка состояния окружающей среды промышленного города // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 8. С. 686–692. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-8-686-692
5. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 1. С. 82–86. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86
6. 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. № 2-1. С. 328.
7. Коротков П.А., Трубянов А.Б., Авдеева А.А., Гисмиева А.И. Статистический анализ влияния загрязнения среды обитания на заболеваемость населения в Республике Марий Эл // Статистика и Экономика. 2020. Т. 17, № 3. С. 58–66. doi: 10.21686/2500-3925-2020-3-58-66

8. Вербик М. Модели, основанные на панельных данных // Прикладная эконометрика. 2006. № 1. С. 94–135.
9. Копнова Е.Д., Розенталь О.М. Эконометрический анализ экологического менеджмента рыбных ресурсов // Прикладная эконометрика. 2010. № 2. С. 90–100.
10. Балаш В.А., Балаш О.С. Модели линейной регрессии для панельных данных. Москва : Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2002. 65 с.
11. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Республики Марий Эл в 2018 году». Йошкар-Ола : Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Марий Эл, 2019. 227 с.
12. Городские округа и муниципальные районы Республики Марий Эл: статистический сборник. Йошкар-Ола : Маристат, 2017. 266 с.
13. Коротков П.А., Трубянов А.Б., Малюта О.В., и др. Эколого-географическая характеристика качества окружающей среды Республики Марий Эл // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 2. С. 87–96. doi: 10.25686/2306-2827.2020.2.87
14. Трубянов А.Б., Глотов Н.В. Флуктуирующая асимметрия: вариация признака и корреляция левое–правое // Доклады академии наук. 2010. Т. 431, № 2. С. 283–285.
15. Трифонова Т.А., Марцев А.А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость населения Владимирской области // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94, № 4. С. 14–18.
16. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю., Пронин А.В. Методология оценки здоровья среды. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. В кн.: Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / под ред. Т.Д. Зинченко, О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга. Москва : Наука, 2007. С. 78–86.
17. Захаров В.М. Здоровье среды: концепция. Москва : Центр экологической политики России, 2000. 30 с.
18. Гелашвили Д.Б., Солдатов Е.Н., Чупрунов Е.В. Меры сходства и разнообразия в оценке флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков // Поволжский экологический журнал. 2004. № 2. С. 132–143.
19. Носко В.П. Введение в регрессионный анализ временных рядов. Москва : Эконометрика, 2002. 273 с.
20. Макоско А.А., Матешева А.В. О тенденциях распространенности экологически обусловленных заболеваний вследствие техногенного загрязнения атмосферы // Инновации. 2012. № 10. С. 98–105.
21. Энгл Р.Ф., Грэнджер К.У. Дж. Коинтеграция и коррекция ошибок: представление, оценивание и тестирование // Прикладная эконометрика. 2015. № 3. С. 106–135.
22. Granger C.W.J. Investigating causal relations by econometric models and crossspectral methods // Econometrica. 1969. Vol. 37, N 3. P. 424–438.
23. Верзилина И.Н., Агарков Н.М., Чурносоев М.И. Влияние антропогенных загрязнителей атмосферы на частоту врожденных аномалий развития среди новорожденных детей г. Белгорода // Экология человека. 2007. № 8. С. 10–14.
24. Верзилина И.Н., Агарков Н.М., Чурносоев М.И. Воздействие антропогенных атмосферных загрязнений на частоту врожденных аномалий развития // Гигиена и санитария. 2008. № 2. С. 17–19.
25. Макоско А.А., Матешева А.В. Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы. Москва : Российская академия наук, 2020. 258 с.

## REFERENCES

1. Varaksin AN. *Statisticheskie modeli regressionnogo tipa v jekologii i medicine*. Yekaterinburg: Goshchickij; 2006. 255 p. (In Russ).
2. Rozenberg GS, Kuznecova RS, Kostina NV, Lazareva NV, editors. *Zdorov'e naselenija i zdorov'e sredy: pro et contra*. Tol'jatti: Rossijskaja akademija nauk, Ministerstvo nauki i vysshego obrazovanija Rossijskoj Federacii, Institut jekologii Volzhskogo bassejna RAN — filial SamNC RAN; 2021. 374 p. (In Russ).
3. Snakin VV, Prisyazhnaya AA, Kosyakova NI, et al. Environment and public health (a case study of a Russian town). *Life of the Earth*. 2017;39(2):125–138. (In Russ).
4. Klepikov OV, Samojlov AS, Ushakov IB, et al. Comprehensive assessment of the state of the environment of an industrial city. *Hygiene and Sanitation*. 2018;97(8):686–692. (In Russ). doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-8-686-692
5. Karelin AO, Lomtev AYU, Volkodaeva MV, Eremin GB. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to management the risk for health. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(1):82–86. (In Russ). doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86
6. Korotkov PA, Trubyanov AB, Zagajnova EA, Nikonov KN. Comparative analysis of the models of major cities environmental performance measurement. *Modern problems of science and education*. 2015;(2-1):328. (In Russ).
7. Korotkov PA, Trubyanov AB, Avdeeva AA, Gismieva AI. Statistical analysis of environmental pollution impact on population morbidity in the Republic of Mari El. *Statistics and Economics*. 2020;17(3):58–66. (In Russ). doi: 10.21686/2500-3925-2020-3-58-66
8. Verbik M. Modeli, osnovannye na panel'nyh dannyh. *Applied Econometrics*. 2006;(1):94–135. (In Russ).
9. Kopnova ED, Rozental' OM. Jekonometricheskij analiz jekologicheskogo menedzhmenta rybnih resursov. *Applied Econometrics*. 2010;(2):90–100. (In Russ).
10. Balash VA, Balash OS. *Modeli lineinoj regressii dlja panel'nyh dannyh*. Moscow: Moskovskij gosudarstvennyj universitet jekonomiki, statistiki i informatiki; 2002. 65 p. (In Russ).
11. Doklad "O sostojanii sanitarno-jepidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija Respubliki Marij Jel v 2018 godu". Joskhar-Ola: Upravlenie Federal'noj sluzhby po nadzoru v sfere zashhity prav potrebitelej i blagopoluchija cheloveka po Respublike Marij Jel; 2019. 227 p. (In Russ).
12. *Gorodskie okruga i municipal'nye rajony Respubliki Marij El: statisticheskij sbornik*. Yoshkar-Ola: Maristat; 2017. 266 p. (In Russ).
13. Korotkov PA, Trubyanov AB, Maliuta OV, et al. Ecological and geographical characteristics of the environmental quality in Mari El Republic. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2020;2:87–96. (In Russ). doi: 25686/2306-2827.2020.2.87



14. Trubyanov AB, Glotov NV. Fluctuating asymmetry: trait variation and the left-right correlation. *Doklady Biological Sciences*. 2010; 431(1):103–105. (In Russ).
15. Trifonova TA, Martcev AA. Assessment of the impact of air pollution on population morbidity rate in the Vladimir Region. *Hygiene and Sanitation*. 2015;94(4):14–18. (In Russ).
16. Zaharov VM, Krysanov EJu, Pronin AV. Metodologija ocenki zdorov'ja sredy. Bioindikacija jekologicheskogo sostojanija ravninnyh rek. In: Zinchenko TD, Buharin OV, Rozenberg GS, editors. *Bioindikacija jekologicheskogo sostojanija ravninnyh rek*. Moscow: Nauka; 2007. P. 78–86. (In Russ).
17. Zaharov VM. Zdorov'e sredy: koncepcija. Moscow: Centr jekologicheskoj politiki Rossii; 2000. 30 p. (In Russ).
18. Gelashvili DB, Soldatov EN, Chuprunov EV. Mery shodstva i raznoobrazija v ocenke fluktuirujushhej asimmetrii bilateral'nyh priznakov. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2004;(2):132–143. (In Russ).
19. Nosko VP. *Vvedenie v regressionnyj analiz vremennyh rjadov*. Moscow: Jekonometrika; 2002. 273 p. (In Russ).
20. Makosko AA, Matesheva AV. Prevalence trends of environment-related diseases due to the anthropogenic air pollution. *Innovations*. 2012;10:98–105. (In Russ).
21. Engl RF, Granger CWJ. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Applied Econometrics*. 2015;(3):106–135. (In Russ).
22. Granger CWJ. Investigating causal relations by econometric models and crossspectral methods. *Econometrica*. 1969;37(3):424–438.
23. Verzilina IN, Agarkov NM, Churnosov MI. Influence anthropogenous pollutants atmosphere on frequency of birth defects among newborn children of Belgorod. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2007;(8):10–14. (In Russ).
24. Verzilina IN, Agarkov NM, Churnosov MI. Impact of manmade atmospheric pollution on the incidence of congenital malformations. *Hygiene and Sanitation*. 2008;(2):17–19. (In Russ).
25. Makosko AA, Matesheva AV. *Zagryaznenie atmosfery i kachestvo zhizni naselenija v XXI veke: ugrozy i perspektivy*. Moscow: Rossijskaja akademija nauk; 2020. 258 p. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

**\*Петр Анатольевич Коротков**, к.э.н., доцент;  
адрес: Россия, 424000, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола,  
пл. Ленина, 3;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0340-074X>;  
eLibrary SPIN: 4761-1375;  
e-mail: korotkovpa@volgatech.net

**Алексей Борисович Трубянов**, к.б.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5432-7231>;  
eLibrary SPIN: 3700-1325;  
e-mail: true47@mail.ru

**Алина Ильдаровна Гисмиева**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1898-0225>;  
eLibrary SPIN: 6513-4755;  
e-mail: alina.gismieva@icloud.com

**Анастасия Анатольевна Авдеева**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6930-4406>;  
eLibrary SPIN: 3016-2728;  
e-mail: avdeeva\_aa@bk.ru

**Елена Вячеславовна Загайнова**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2747-3997>;  
eLibrary SPIN: 7578-9452;  
e-mail: zalena2007@yandex.ru

## AUTHORS INFO

**\*Petr A. Korotkov**, Cand. Sci. (Econ.), associate professor;  
address: 3 Lenina square, 424000, Yoshkar-Ola, Mari El Republic,  
Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0340-074X>;  
eLibrary SPIN: 4761-1375;  
e-mail: korotkovpa@volgatech.net

**Aleksej B. Trubyanov**, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5432-7231>;  
eLibrary SPIN: 3700-1325;  
e-mail: true47@mail.ru

**Alina I. Gismieva**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1898-0225>;  
eLibrary SPIN: 6513-4755;  
e-mail: alina.gismieva@icloud.com

**Anastasija A. Avdeeva**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6930-4406>;  
eLibrary SPIN: 3016-2728;  
e-mail: avdeeva\_aa@bk.ru

**Elena V. Zagaynova**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2747-3997>;  
eLibrary SPIN: 7578-9452;  
e-mail: zalena2007@yandex.ru

\*Автор, ответственный за переписку | \*Corresponding author