

УДК 614.7:616-007-053.1(470.313)

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ109333>

Влияние загрязнений атмосферного воздуха на частоту врожденных пороков развития (на примере региона)

В. А. Кирюшин, Н. А. Боботина✉, М. А. Демченко, Т. В. Моталова

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Рязань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Загрязнение атмосферного воздуха лежит в основе большого количества заболеваний человека как в промышленно развитых, так и в экономически развивающихся странах. Исследования показывают, что воздействие загрязнений атмосферного воздуха во время беременности может быть связано с повышенным риском врожденных пороков развития (ВПР).

Цель. Проанализировать влияние загрязняющих веществ атмосферного воздуха в г. Рязани на частоту встречаемости ВПР у новорожденных.

Материалы и методы. Приведены данные мониторинга ВПР Областного перинатального центра Рязанской области; сведения о загрязнении атмосферного воздуха Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Рязанского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Роспотребнадзора по Рязанской области. Статистический анализ проводился с использованием свободной программной среды вычислений R (ver. 4.1.2).

Результаты. За 2019 г. распространенность ВПР в г. Рязани составила 24,09 на 1000 новорожденных; за период 2010–2021 гг. абсолютное количество зарегистрированных ВПР увеличилось на 244,57%. Наиболее часто встречающимися врожденными аномалиями были Q21.0 Дефекты межжелудочковой перегородки (28,5%, 95% ДИ: 20,8–36,2%) и Q62.0 Врожденный гидронефроз (7,3%, 95% ДИ: 2,9–11,7%). Зарегистрирована корреляция с таким загрязнителем воздуха, как диоксид серы (SO₂) на втором месяце беременности (аОШ 1,39; 95%; ДИ 1,05–1,83, $p < 0,05$) и третьем месяце беременности (аОШ 1,59; 95% ДИ 1,17–2,16, $p < 0,05$). Не обнаружено статистически значимой связи между ВПР и оксидом углерода (CO), диоксидом азота NO₂ и озоном (O₃, $p > 0,05$).

Заключение. Исследование подтверждает связь между загрязнением атмосферного воздуха и частотой ВПР. В частности, SO₂ оказывает негативное влияние на втором и третьем месяцах беременности. В связи с этим важно указать на то, что органам власти региона, государственным надзорным органам необходимо направить усилия на снижение загрязнения окружающей среды, что должно способствовать снижению частоты ВПР у детей.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха; врожденные пороки развития; диоксид серы; загрязняющие вещества; динамика заболеваемости

Для цитирования:

Кирюшин В.А., Боботина Н.А., Демченко М.А., Моталова Т.В. Влияние загрязнений атмосферного воздуха на частоту врожденных пороков развития (на примере региона) // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2023. Т. 31, № 1. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ109333>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ109333>

Influence of Atmospheric Air Pollution on Frequency of Congenital Anomalies (on an example of a region)

Valeriy A. Kiryushin, Natal'ya A. Bobotina✉, Mariya A. Demchenko, Tat'yana V. Motalova

Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation

ABSTRACT

INTRODUCTION: Atmospheric air pollution is the underlying factor of a great number of human diseases in both industrialized and developing countries. Studies show that exposure to atmospheric pollutions in pregnancy can be associated with an increased risk of congenital anomalies (CAs).

AIM: To analyze the impact of atmospheric air pollutants in Ryazan city on the incidence of CAs in newborns.

MATERIALS AND METHODS: The data of monitoring of CAs by Ryazan Regional Perinatal Center; information on atmospheric air pollution of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, of Ryazan Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, of Rospotrebnadzor of the Ryazan region are presented. The statistical analysis was conducted using free R computing environment (ver. 4.1.2).

RESULTS: In 2019, the prevalence of CAs in Ryazan was 24.09 per 1,000 newborns; in the period 2010–2021, the absolute number of recorded CAs grew by 244.57%. The most common congenital anomalies were Q21.0 Ventricular septal defects (28.5%, 95% CI: 20.8–36.2%) and Q62.0 Congenital hydronephrosis (7.3%, 95% CI: 2.9–11.7%). Correlation was recorded with such air pollutant as sulfur dioxide (SO₂) in the second month of pregnancy (AOR 1.39; 95% CI 1.05–1.83, $p < 0.05$) and the third month of pregnancy (AOR 1.59; 95% CI 1.17–2.16, $p < 0.05$). No statistically significant relationship was established between CAs and carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂) and ozone (O₃, $p > 0.05$).

CONCLUSION: The study confirms the association between atmospheric air pollution and frequency of CAs. In particular, SO₂ has a negative effect in the second and third months of pregnancy. In this context, it is important that the authority bodies of the region and governmental regulatory agencies direct their efforts to reduction of the pollution of the environment which should help reduce the frequency of CAs in children.

Keywords: atmospheric air pollution; congenital anomalies; sulfur dioxide; pollutants; morbidity dynamics

For citation:

Kiryushin VA, Bobotina NA, Demchenko MA, Motalova TV. Influence of Atmospheric Air Pollution on Frequency of Congenital Anomalies (on an example of a region). *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2023;31(1):29–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ109333>

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВПП — врожденные пороки развития
ДИ — доверительный интервал
аОШ — скорректированное отношение шансов
ОШ — отношение шансов
ЗАВ — загрязнение атмосферного воздуха
ОДА — опорно-двигательный аппарат
ПДК — предельно-допустимая концентрация
РО — Рязанская область

ТЧ — твердые частицы
ЦНС — центральная нервная система
СО — оксид углерода
NO₂ — диоксид азота
NO_x — оксиды и диоксиды азота
O₃ — озон
SO₂ — диоксид серы

ВВЕДЕНИЕ

Неблагоприятное воздействие загрязнения атмосферного воздуха (ЗАВ) на здоровье человека привлекает внимание всего мира. Оно лежит в основе большого количества заболеваний как в промышленно развитых, так и в экономически развивающихся странах, особенно в «уязвимых» группах населения. Результаты ранее проведенных исследований продемонстрировали отрицательное воздействие ЗАВ на большинство систем нашего организма: нервную, дыхательную, кровеносную, репродуктивную; а также на различные группы населения: пожилых людей, беременных женщин и детей. Климат является важным фактором, определяющим качество атмосферного воздуха [1]. Так, Y. Fang, и др. показали, что с доиндустриального периода (1860) по 2000 гг. из-за изменения климата концентрация взвешенных твердых частиц (ТЧ) диаметром до 2,5 мкм увеличилась на 5%, а концентрация приземного озона (O₃) — на 2% [2]. Согласно работе R. A. Silva, и др., переход от доиндустриального периода привел к 111 000 и 21 400 дополнительным выбросам мелких частиц и озона соответственно [3]. За последние два десятилетия примерно каждый градус потепления (°F) был связан с увеличением концентрации O₃ на 1,2 мкг/кг [4].

Появляется все больше сведений о влиянии различных загрязнителей воздуха на формирование врожденных пороков развития (ВПП). В частности, E. K. Chen, и др. (2014) установили связь концентрации диоксида азота (NO₂) с частотой формирования коарктации аорты [5]. В недавнем исследовании H. Zhang, и др. было обнаружено, что воздействие оксида углерода (СО) в первом и втором триместрах беременности увеличивает риск ВПП: скорректированное отношение шансов (аОШ) и 95% доверительный интервал (ДИ) составили 1,066 (1,010–1,125) и 1,065 (1,012–1,122) соответственно; воздействие NO₂ и СО в первом триместре, ТЧ до 2,5 мкм и ТЧ до 10 мкм во втором триместре были связаны с риском формирования дефекта межпредсердной перегородки. Положительной связи между ЗАВ и формированием тетрады Фалло авторы не зарегистрировали. Системные ВПП положительно коррелировали с загрязнителями воздуха ТЧ до 10 мкм (аОШ 1,14, 95% ДИ 1,12–2,43; аОШ 1,51, 95% ДИ 1,13–2,03 на каждые дополнительные 10 мг/м³) и СО (аОШ 1,36,

95% ДИ 1,14–2,48; аОШ 1,75, 95% ДИ 1,02–3,61 на каждые дополнительные 1 мг/м³) во втором и третьем месяцах беременности. Также с ВПП было ассоциировано воздействие диоксида серы (SO₂) за два месяца до беременности (аОШ 1,31; 95% ДИ 1,20–3,22) и на третьем месяце беременности (аОШ 1,75; 95% ДИ 1,02–3,61). Врожденные пороки сердца, полидактилия, заячья губа и/или расщелина твердого неба также были связаны с воздействием ТЧ до 10 мкм, SO₂ и СО. При этом авторы не обнаружили существенной связи между врожденными пороками и воздействием O₃, ТЧ до 2,5 мкм и NO₂ (p > 0,05) [6].

Исследование X. Huang, и др. (Китай, 2021) показало, что врожденный порок сердца, полидактилия, расщелина губы и/или неба были в значительной степени ассоциированы с ТЧ до 10 мкм, SO₂ и СО [7]. В исследовании A. I. Noaimi G., и др. зарегистрировано влияние воздействия ТЧ до 2,5 мкм в течение первого триместра на риск ВПП в целом (отношение шансов (ОШ) 1,05, 95% ДИ 1,01–1,09), а также на риск дефектов мочеполовой системы (ОШ 1,06, 95% ДИ 1,01–1,11) и дефектов нервной трубки (ОШ 1,10, 95% ДИ 1,03–1,17); влияние воздействия SO₂ на риск дефекта мочеполовой системы (ОШ 1,17, 95% ДИ 1,08–1,26) [8]. Важен и тот факт, что у мертворожденных распространенность ВПП системы кровообращения составляет > 30%, что обуславливает актуальность выявления факторов риска ВПП и внедрения эффективных мер профилактики [9]. Y. Yang, и др. (2020) продемонстрировали влияние воздействия газообразных загрязнителей воздуха (O₃ и NO₂) в период сердечного эмбриогенеза на увеличение частоты ВПП системы кровообращения [10].

Материнское ожирение является независимым фактором риска ВПП [12, 13].

Цель — проанализировать влияние загрязняющих веществ атмосферного воздуха в г. Рязани на частоту встречаемости врожденных пороков развития у новорожденных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ материалов Областного перинатального центра Рязанской области (РО), Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Рязанского центра по гидрометеорологии

и мониторингу окружающей среды, Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по РО.

Мониторинг ВПР на базе Областного перинатального центра РО проводился с 2013 г. и включал в себя информацию о родах на территории РО, в т. ч. живорожденных и мертворожденных детей. Проведен анализ встречаемости ВПР среди детей, рожденных в г. Рязани с 2019 по 2021 гг. Для настоящего анализа отобрано 683 случая родоразрешения, из которых число случаев рождения детей с ВПР составило 122 (что соответствует 24,09 на 1 000 младенцев; данные рождаемости на 2019 г.). Контрольную группу составили здоровые новорожденные ($n = 141$).

Критерии исключения из группы ВПР:

- наличие хромосомных мутаций;

- регион проживания (Рязанская область);
- недостаточное количество данных о родах;
- мертворождение;
- индуцированные аборт.

Критерии исключения из контрольной группы:

- регион проживания (Рязанская область);
- год рождения (2018).

Анализируемые сведения о матерях включали возраст, дату последней менструации, место жительства, паритет; данные о младенцах — дату рождения, пол, гестационный возраст, вес. Сводная характеристика изучаемой выборки представлена в таблице 1. Имелись статистически значимые различия между младенцами с ВПР и без ВПР по возрасту матери (аОШ 1,190; 95% ДИ 1,11–1,27) и паритету матери (аОШ 0,380; 95% ДИ 0,26–0,55, $p < 0,001$).

Таблица 1. Сводная характеристика новорожденных в анализируемых группах

Параметры	С врожденным пороком развития		Без врожденного порока развития		P
	n	%	n	%	
Возраст матери					
< 20 лет	0	0	4	2,8	< 0,005
20–24 года	15	12,3	21	14,9	
25–29 лет	36	29,5	56	39,7	
30–34 года	38	31,1	45	31,9	
> 35 лет	33	27,0	15	10,6	
Вес при рождении					
< 1500 г	3	2,5	0	0,0	< 0,005
1500–2499 г	11	9,0	1	0,7	
2500–3499 г	74	60,7	105	74,5	
> 3500 г	34	27,9	35	24,8	
Пол ребенка					
мужской	69	56,6	71	50,4	0,38
женский	53	43,4	70	49,6	
Паритет					
1	57	46,7	36	25,5	< 0,005
2	39	32,0	59	41,8	
≥ 3	26	21,3	46	32,6	
Район проживания в г. Рязани					
Дашки-Песочные	45	36,9	32	22,7	0,035
Канищево	49	40,2	74	52,5	
Кремль	28	23,0	35	24,8	
Всего	122	100	141	100	–

Анализируемый спектр ВПР:

- Q21.0 Дефект межжелудочковой перегородки;
- Q62.0 Врожденный гидронефроз;
- Q60.0 Агенезия почки односторонняя;
- Q37.1 Расщелина твердого неба и губы односторонняя;
- Q53.1 Неопущение яичка одностороннее;
- Q69.1 Добавочный большой палец (пальцы) кисти;
- Q50.1 Кистозная аномалия развития яичника;
- Q54.0 Гипоспадия головки полового члена;
- Q61.3 Поликистоз почки неуточненный;

- Q63.2 Эктопическая почка;
 - Q66.9 Врожденная деформация стопы неуточненная.
- Врожденные пороки, не включенные в эти 11 категорий, были отнесены к категории «*другие*».

Данные о ЗАВ были получены из материалов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также Рязанского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с января 2019 г. по декабрь 2021 г., включая сведения с трех государственных пунктов автоматического контроля воздуха в г. Рязани:

- район Канищево (территория Областной клинической больницы, ул. Интернациональная),
- район Дашки-Песочные (территория Городской клинической больницы № 11, ул. Новоселов),
- район Кремля (ул. Кремль).

Отслеживаемые загрязняющие вещества включали CO, оксиды и диоксиды азота (NO_x), SO₂, O₃, углеводороды, ТЧ.

Отбор проб воздуха включал в себя измерения концентраций веществ через каждые 20 минут на протяжении суток. На постах определялись минимальные и максимальные значения максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и среднесуточные концентрации веществ в атмосферном воздухе. В работе использовались данные среднесуточных концентраций, измеренные в трех районах города.

Статистический анализ результатов был выполнен с использованием свободной программной среды вычислений R (ver. 4.1.2). Проверка данных на нормальный характер распределения выполнялась с помощью критерия Колмогорова. Величины, распределение которых отличалось от нормального, представлены в виде медианы (Me), 25-го и 75-го перцентилей (Q25%–Q75%). Распределение концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе представлено Me, квартильными размахами, максимальным (max) и минимальным (min) значениями. Для оценки выявления различий между группами использован тест χ^2 или точный тест Фишера по следующим категориям: возраст матери (< 20 лет, 20–24 года, 25–29 лет, 30–34 года, \geq 35 лет), количество беременностей (1, 2, и \geq 3), масса тела при рождении (< 1500 г, 1500–2499 г, 2500–3499 г, \geq 3500 г), пол

младенцев. Курение и употребление алкоголя матери во время беременности не контролировалось.

Для оценки связи воздействия загрязнения воздуха на возникновение ВПР использовалась логистическая регрессия. Наличие или отсутствие ВПР были зависимой переменной, а индивидуальная экспозиционная концентрация загрязнителей воздуха в течение первого триместра беременности, возраст матери, паритет и вес ребенка — независимыми переменными (предикторы). Соответствующие грубые и скорректированные ОШ и 95% ДИ были рассчитаны для воздействия загрязнителей атмосферного воздуха на разных этапах беременности, а также для возраста матери, паритета и веса ребенка. Уровень значимости статистического теста — 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Несмотря на постепенное снижение индекса загрязнения атмосферного воздуха г. Рязани, он всё же остаётся на высоком уровне. Среднегодовая концентрация CO составляет 0,251 мг/м³ (предельно-допустимая концентрация (ПДК) — 5,0000 мг/м³), NO₂ — 0,023 мг/м³ (ПДК — 0,2000 мг/м³), SO₂ — 0,008 мг/м³ (ПДК — 0,5000 мг/м³), O₃ — 0,027 мг/м³ (ПДК — 0,1600 мг/м³).

На рисунке 1 представлена динамика выявления ВПР у новорожденных г. Рязани за период 2010–2021 гг. ($\Delta = 244,57\%$). Статистически значимых различий между анализируемыми группами новорожденных с ВПР и без ВПР, проживающих в трех районах г. Рязани, имеющих государственные пункты автоматического контроля воздуха ($p > 0,05$), не выявлено.



Рис. 1. Динамика выявления ВПР (n) у новорожденных г. Рязани за период 2010–2021 гг.

В пятерку самых частых ВПР вошли: Q21.0 Дефект межжелудочковой перегородки; Q62.0 Врожденный гидронефроз; Q60.0 Агенезия почки односторонняя;

Q37.1 Расщелина твердого неба и губы односторонняя; Q53.1 Неопущение яичка одностороннее. Наиболее часто встречающимися врожденными аномалиями были

Q21.0 Дефекты межжелудочковой перегородки (28,5%, 95% ДИ: 20,8–36,2%) и Q62.0 Врожденный гидронефроз (7,3%, 95% ДИ: 2,9–11,7%).

Уровни воздействия загрязнения атмосферного воздуха в первом триместре беременности женщин, дети которых вошли в группы исследования, показаны в таблице 2. Наибольшее неблагоприятное влияние в первом триместре беременности продемонстрировал СО в концентрации 0,251 мг/м³, меньшее —

NO₂ в концентрации 0,023 мг/м³ и SO₂ — 0,008 мг/м³. Наиболее высокий уровень индивидуального воздействия СО наблюдался в первые три месяца беременности и составил 0,251 мг/м³. Практически равное среднее значение внесли такие загрязнители как NO₂ в концентрации 0,023 мг/м³ и O₃ — 0,027 мг/м³.

В таблице 3 показано влияние анализируемых загрязнителей воздуха в первом триместре беременности на формирование ВПР.

Таблица 2. Концентрация (мг/м³) анализируемых загрязняющих веществ в разные периоды беременности женщин, дети которых вошли в группы исследования

Загрязнители	Me	Min	Max	Q25%	Q75%
1 месяц					
Оксид углерода, СО	0,245	0,029	2,598	0,139	0,293
Диоксид азота, NO ₂	0,248	0,001	0,997148	0,013	0,023
Диоксид серы, SO ₂	0,017	0,000	0,049	0,001	0,013
Озон, O ₃	0,002	0,000	0,082	0,008	0,045
2 месяц					
Оксид углерода, СО	0,018	0,029	3,008	0,147	0,300
Диоксид азота, NO ₂	0,259	0,001	0,996	0,012	0,022
Диоксид серы, SO ₂	0,016	0,000	0,046	0,000	0,013
Озон, O ₃	0,003	0,000	0,121	0,009	0,045
3 месяц					
Оксид углерода, СО	0,018	0,030	1,386	0,139	0,295
Диоксид азота, NO ₂	0,261	0,001	1,018	0,012	0,021
Диоксид серы, SO ₂	0,015	0,000	0,045	0,001	0,015
Озон, O ₃	0,003	0,000	0,170	0,007	0,043

Примечания: Me — медиана; Q25% и Q75% — 25-й и 75-й перцентили; min — минимальное значение, max — максимальное значение

Таблица 3. Влияние анализируемых загрязнителей воздуха в первом триместре беременности на формирование ВПР

Период беременности	ОШ (95% ДИ)	аОШ (95%ДИ)	р
Оксид углерода, СО			
1 месяц	0,97 (0,76–1,25)	0,920 (0,69–1,24)	0,596
2 месяц	0,97 (0,75–1,24)	0,93 (0,69–1,26)	0,631
3 месяц	0,92 (0,72–1,18)	0,890 (0,68–1,18)	0,435
Диоксид азота, NO₂			
1 месяц	0,46 (0,03–6,67)	0,61 (0,2–1,88)	0,051
2 месяц	1,16 (0,78–1,74)	1,25 (0,64–2,42)	0,262
3 месяц	0,41 (0,06–2,91)	0,43 (0,04–4,36)	0,346
Диоксид серы, SO₂			
1 месяц	1,32 (1,03–1,7)	1,28 (0,97–1,68)	0,076
2 месяц	1,39 (1,08–1,78)	1,39 (1,05–1,83)	0,018
3 месяц	1,5 (1,16–1,95)	1,59 (1,17–2,16)	0,02
Озон, O₃			
1 месяц	1,1 (0,86–1,4)	1,18 (0,89–1,57)	0,241
2 месяц	0,99 (0,78–1,27)	1,01 (0,77–1,34)	0,926
3 месяц	0,8 (0,62–1,04)	0,89 (0,67–1,18)	0,407

Примечания: аОШ — скорректированное отношение шансов, ОШ — отношение шансов, ДИ — доверительный интервал

В отношении загрязнителей воздуха в исследуемый период беременности (первый триместр) мы наблюдали значительную связь между ВПР и SO₂, особенно на втором (аОШ 1,39; 95% ДИ 1,05–1,83, p < 0,05) и третьем

месяцах беременности (аОШ 1,59; 95% ДИ 1,17–2,16, p < 0,05); при этом не обнаружено статистически значимой связи между ВПР и СО, NO₂ и O₃ (p > 0,05).

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные данные прежде всего демонстрируют увеличение количества зарегистрированных случаев ВПР у новорожденных г. Рязани за период 2010–2021 гг. Одна из причин этого может быть связана с развитием и внедрением в клиническую практику г. Рязани диагностических технологий (что позволило улучшить пренатальную диагностику и методы скрининга ВПР) и базы данных мониторинга ВПР «Astraia» (с 2016 г.).

Многомерный логистический регрессионный анализ продемонстрировал, что воздействие SO_2 во втором и третьем месяцах беременности ассоциировано с риском формирования ВПР. Стоит отметить, что нами выбран именно первый триместр беременности, т. к. *период с третьей по восьмую неделю развития эмбрион является наиболее чувствительным к воздействиям факторов окружающей среды*. В этом периоде эмбриональные клетки высоко дифференцированы и чувствительны ко многим тератогенным факторам. Наши выводы подтверждаются ранее опубликованными результатами, показывающими взаимосвязь между ВПР и воздействием SO_2 [5, 14–16].

Практические рекомендации на основании полученных результатов:

1. Для эффективного мониторинга здоровья новорожденных, в т. ч. с ВПР, ввести *региональную форму отчетности*.

2. Совершенствовать систему социально-гигиенического мониторинга в части сбора, анализа, оценки и прогноза состояния среды обитания (увеличение постов наблюдения и мониторинговых точек для динамического наблюдения за ЗАВ с расширением перечня веществ, за которыми осуществляется контроль) и частоты ВПР для формирования *регионального регистра ВПР*.

3. Результаты исследования использовать для разработки *профилактических программ регионального уровня* по улучшению эколого-гигиенической ситуации в РО и снижению риска формирования ВПР с учетом выявленных причинно-следственных связей и зависимостей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kinney P.L. Climate change, air quality, and human health // American Journal of Preventive Medicine. 2008. Vol. 35, № 5. P. 459–467. doi: [10.1016/j.amepre.2008.08.025](https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.025)
2. Fang Y., Naik V., Horowitz L.W., et al. Air pollution and associated human mortality: the role of air pollutant emissions, climate change and methane concentration increases from the preindustrial period to present // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. Vol. 13, № 3. P. 1377–1394. doi: [10.5194/acp-13-1377-2013](https://doi.org/10.5194/acp-13-1377-2013)
3. Silva R.A., West J.J., Zhang Y., et al. Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change // Environmental Research Letters. 2013. Vol. 8, № 3. P. 034005. doi: [10.1088/1748-9326/8/3/034005](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034005)
4. Bloomer B.J., Stehr J.W., Piety C.A., et al. Observed relationships of ozone air pollution with temperature and emissions // Geophysical Research Letters. 2009. Vol. 36, № 9. P. L0980. doi: [10.1029/2009GL037308](https://doi.org/10.1029/2009GL037308)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым годом число врожденных пороков развития в г. Рязани растет. Наше исследование подтверждает данные зарубежных авторов о связи между загрязнением атмосферного воздуха и формированием врожденных пороков развития. В частности, воздействие SO_2 во втором и третьем месяцах беременности увеличивает риск врожденного порока развития у новорожденного.

В связи с этим важно указать на то, что органам власти региона, государственным надзорным органам необходимо направить усилия на снижение загрязнения окружающей среды, что должно способствовать снижению частоты ВПР у детей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: *Боботина Н. А.* — концепция и дизайн исследования, сбор и статистическая обработка данных, написание текста, редактирование текста; *Демченко М. А.* — концепция и дизайн исследования, сбор и статистическая обработка данных; *Кирюшин В. А.* — концепция и план исследования, редактирование текста; *Моталова Т. В.* — концепция и план исследования, редактирование текста. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Funding. The authors declare that there is no funding for the study.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interests.

Contribution of the authors: *N. A. Bobotina* — research concept and design, data collection and statistical processing, text writing, text editing; *M. A. Demchenko* — concept and design of the study, collection and statistical processing of data; *V. A. Kiryushin* — the concept and plan of the study, editing the text; *T. V. Motalova* — the concept and plan of the study, editing the text. 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.

5. Chen E., Zmirou-Navier D., Padilla C., et al. Effects of air pollution on the risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2014. Vol. 11, № 8. P. 7642–7668. doi: [10.3390/ijerph110807642](https://doi.org/10.3390/ijerph110807642)
6. Zhang H., Zhang X., Zhao X., et al. Maternal exposure to air pollution and congenital heart diseases in Henan, China: A register-based case-control study // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2022. Vol. 229. P. 113070. doi: [10.1016/j.ecoenv.2021.113070](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113070)
7. Huang X., Chen J., Zeng D., et al. The association between ambient air pollution and birth defects in five major ethnic groups in Liuzhou, China // BMC Pediatrics. 2021. Vol. 21, № 1. P. 232. doi: [10.1186/s12887-021-02687-z](https://doi.org/10.1186/s12887-021-02687-z)
8. Al Noaimi G., Yunis K., El Asmar K., et al. Prenatal exposure to criteria air pollutants and associations with congenital anomalies: A Lebanese national study // Environmental Pollution. 2021. Vol. 281. P. 117022. doi: [10.1016/j.envpol.2021.117022](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117022)

9. Benjamin E.J., Muntner P., Alonso A., et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2019 Update: A Report From the American Heart Association // *Circulation*. 2019. Vol. 139, № 10. P. e56–e528. doi: [10.1161/CIR.0000000000000659](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000659)
10. Yang Y., Lin Q., Liang Y., et al. Maternal air pollution exposure associated with risk of congenital heart defect in pre-pregnancy overweighted women // *The Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 712. P. 136470. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.136470](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136470)
11. Liu X., Ding G., Yang W., et al. Maternal body mass index and risk of congenital heart defects in infants: a dose-response meta-analysis // *BioMed Research International*. 2019. Vol. 2019. P. 1315796. doi: [10.1155/2019/1315796](https://doi.org/10.1155/2019/1315796)
12. Persson M., Razaz N., Edstedt Bonamy A.-K., et al. Maternal Overweight and Obesity and Risk of Congenital Heart Defects // *Journal of the American College of Cardiology*. 2019. Vol. 73, № 1. P. 44–53. doi: [10.1016/j.jacc.2018.10.050](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.10.050)

13. Zheng Z., Yang T., Chen L., et al. Increased maternal Body Mass Index is associated with congenital heart defects: an updated meta-analysis of observational studies // *International Journal of Cardiology*. 2018. Vol. 273. P. 112–120. doi: [10.1016/j.ijcard.2018.09.116](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.09.116)
14. Liu C.-B., Hong X.-R., Shi M., et al. Effects of Prenatal PM10 Exposure on Fetal Cardiovascular Malformations in Fuzhou, China: A Retrospective Case-Control Study // *Environmental Health Perspectives*. 2017. Vol. 125, № 5. P. 057001. doi: [10.1289/EHP289](https://doi.org/10.1289/EHP289)
15. Xiong L., Xu Z., Wang H., et al. The association between ambient air pollution and birth defects in four cities in Hunan province, China, from 2014 to 2016 // *Medicine*. 2019. Vol. 98, № 4. P. e14253. doi: [10.1097/MD.00000000000014253](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014253)
16. Vrijheid M., Martinez D., Manzanares S., et al. Ambient air pollution and risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis // *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 119, № 8. P. 598–606. doi: [10.1289/ehp.1002946](https://doi.org/10.1289/ehp.1002946)

REFERENCES

1. Kinney PL. Climate change, air quality, and human health. *American Journal of Preventive Medicine*. 2008;35(5):459–67. doi: [10.1016/j.amepre.2008.08.025](https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.025)
2. Fang Y, Naik V, Horowitz LW, et al. Air pollution and associated human mortality: the role of air pollutant emissions, climate change and methane concentration increases from the preindustrial period to present. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013;13(3):1377–94. doi: [10.5194/acp-13-1377-2013](https://doi.org/10.5194/acp-13-1377-2013)
3. Silva RA, West JJ, Zhang Y, et al. Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*. 2013;8(3):034005. doi: [10.1088/1748-9326/8/3/034005](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034005)
4. Bloomer BJ, Stehr JW, Piety CA, et al. Observed relationships of ozone air pollution with temperature and emissions. *Geophysical Research Letters*. 2009;36(9):L0980. doi: [10.1029/2009GL037308](https://doi.org/10.1029/2009GL037308)
5. Chen E, Zmirou-Navier D, Padilla C, et al. Effects of air pollution on the risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014;11(8):7642–68. doi: [10.3390/ijerph110807642](https://doi.org/10.3390/ijerph110807642)
6. Zhang H, Zhang X, Zhao X, et al. Maternal exposure to air pollution and congenital heart diseases in Henan, China: A register-based case-control study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;229:113070. doi: [10.1016/j.ecoenv.2021.113070](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113070)
7. Huang X, Chen J, Zeng D, et al. The association between ambient air pollution and birth defects in five major ethnic groups in Liuzhou, China. *BMC Pediatrics*. 2021;21(1):232. doi: [10.1186/s12887-021-02687-z](https://doi.org/10.1186/s12887-021-02687-z)
8. Al Noaimi G, Yunis K, El Asmar K, et al. Prenatal exposure to criteria air pollutants and associations with congenital anomalies: A Lebanese national study. *Environmental Pollution*. 2021;281:117022. doi: [10.1016/j.envpol.2021.117022](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117022)

9. Benjamin EJ, Muntner P, Alonso A, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2019 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2019;139(10):e56–528. doi: [10.1161/CIR.0000000000000659](https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000659)
10. Yang Y, Lin Q, Liang Y, et al. Maternal air pollution exposure associated with risk of congenital heart defect in pre-pregnancy overweighted women. *The Science of the Total Environment*. 2020;712:136470. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.136470](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136470)
11. Liu X, Ding G, Yang W, et al. Maternal body mass index and risk of congenital heart defects in infants: a dose-response meta-analysis. *BioMed Research International*. 2019;2019:1315796. doi: [10.1155/2019/1315796](https://doi.org/10.1155/2019/1315796)
12. Persson M, Razaz N, Edstedt Bonamy A-K, et al. Maternal Overweight and Obesity and Risk of Congenital Heart Defects. *Journal of the American College of Cardiology*. 2019;73(1):44–53. doi: [10.1016/j.jacc.2018.10.050](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.10.050)
13. Zheng Z, Yang T, Chen L, et al. Increased maternal Body Mass Index is associated with congenital heart defects: an updated meta-analysis of observational studies. *International Journal of Cardiology*. 2018;273:112–20. doi: [10.1016/j.ijcard.2018.09.116](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.09.116)
14. Liu C-B, Hong X-R, Shi M, et al. Effects of Prenatal PM10 Exposure on Fetal Cardiovascular Malformations in Fuzhou, China: A Retrospective Case-Control Study. *Environmental Health Perspectives*. 2017;125(5):057001. doi: [10.1289/EHP289](https://doi.org/10.1289/EHP289)
15. Xiong L, Xu Z, Wang H, et al. The association between ambient air pollution and birth defects in four cities in Hunan province, China, from 2014 to 2016. *Medicine*. 2019;98(4):e14253. doi: [10.1097/MD.00000000000014253](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014253)
16. Vrijheid M, Martinez D, Manzanares S, et al. Ambient air pollution and risk of congenital anomalies: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*. 2011;119(8):598–606. doi: [10.1289/ehp.1002946](https://doi.org/10.1289/ehp.1002946)

ОБ АВТОРАХ

Кирюшин Валерий Анатольевич, д.м.н., профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1258-9807>;
eLibrary SPIN: 2895-7565; e-mail: v.kirushin@rzgmu.ru

***Боботина Наталья Андреевна**;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3893-1586>;
eLibrary SPIN: 5747-2783; e-mail: bobotina.n@yandex.ru

Демченко Мария Александровна;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2733-708X>;
eLibrary SPIN: 8144-0823; e-mail: demchencomaria@gmail.com

Моталова Татьяна Викторовна, к.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0316-5479>;
eLibrary SPIN: 6110-0801; e-mail: tanandr@bk.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHOR'S INFO

Valeriy A. Kiryushin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1258-9807>;
eLibrary SPIN: 2895-7565; e-mail: v.kirushin@rzgmu.ru

***Natal'ya A. Bobotina**;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3893-1586>;
eLibrary SPIN: 5747-2783; e-mail: bobotina.n@yandex.ru

Mariya A. Demchenko;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2733-708X>;
eLibrary SPIN: 8144-0823; e-mail: demchencomaria@gmail.com

Tat'yana V. Motalova, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0316-5479>;
eLibrary SPIN: 6110-0801; e-mail: tanandr@bk.ru