

## ДИНАМИКА ЧАСТОТЫ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ *DE NOVO* У НОВОРОЖДЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПОЛУЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ (2000–2017)

© 2019 г. А. В. Корсаков, Э. В. Гегерь, Д. Г. Лагерев, Л. И. Пугач

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

*Цель* исследования: на основании официальных статистических данных за 2000–2017 гг. оценить динамику частоты врожденных пороков развития *de novo* у новорожденных экологически неблагополучных территорий Брянской области с различным уровнем радиоактивного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды. *Методы*: эколого-гигиенические (ранжирование территорий Брянской области по уровню радиационного и химического загрязнения окружающей среды), эпидемиологические, методы математической статистики: критерий Шапиро – Уилка, тест Уайта, Т-критерий Вилкоксона, тест ранговой корреляции Спирмена, регрессия и прогноз с помощью обратно пропорциональной зависимости. *Результаты*. Выявлено, что на экологически благополучных территориях частота полидактилии, множественных врожденных пороков развития (МВПР) и суммы ВПР *de novo* у новорожденных статистически значимо ниже, чем на территориях радиационного, химического и сочетанного загрязнения. По полидактилии – на уровне значимости ( $p$ ) 0,003–0,023 (уменьшение в 4,7–7,4 раза), по МВПР – 0,001–0,054 (в 2,5–6,8 раза), по сумме ВПР *de novo* – 0,001–0,007 (в 3,5–4,6 раза). Установлены статистически значимые различия частоты встречаемости МВПР в условиях сочетанного загрязнения в сопоставлении с аналогичными показателями на территориях радиоактивного (в 2,2 раза,  $p = 0,034$ ) и химического (в 1,9 раза,  $p = 0,008$ ) загрязнения (значения 1,48; 0,67 и 0,78). Выявлено снижение многолетнего тренда частоты МВПР в период 2000–2017 гг. на территориях сочетанного загрязнения, а на территориях радиоактивного и химического загрязнения – повышение. Тем не менее прогнозируемые значения частоты МВПР на территориях сочетанного загрязнения к 2018–2023 гг. все еще будут статистически значимо ( $p = 0,027$ ) превышать показатели территорий радиоактивного и химического загрязнения на 39,6 и 45,7 % соответственно (значения 1,18; 0,845; 0,81). *Выводы*: полученные результаты указывают на синергетический характер действия радиационного и химического факторов окружающей среды на частоту МВПР.

**Ключевые слова:** врожденные пороки развития *de novo*, радиоактивное загрязнение, химическое загрязнение, сочетанное загрязнение, цезий-137, стронций-90, поллютанты

## INCIDENCE OF CONGENITAL MALFORMATIONS AMONG NEWBORNS IN ECOLOGICALLY UNFAVORABLE TERRITORIES OF THE BRYANSK REGION (2000-2017)

A. V. Korsakov, E. V. Geger, D. G. Lagerev, L. I. Pugach

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

The *aim* of the study was to assess the incidence congenital malformation of congenital malformations in newborns in territories of the Bryansk region with different levels of radioactive, chemical and combined environmental pollution using official statistics for the period 2000-2017. *Methods*: Shapiro-Wilk test, White test, Wilcoxon T-test, Spearman rank correlation test and regression models were used to study associations between radioactive, chemical and combined pollution and the incidence of congenital malformations in the region and prognosis using the inverse relationship. *Results*. The incidence of polydactyly, multiple congenital malformations and the amount of *de novo* birth defects in newborns is significantly lower in the most ecologically favorable districts than in areas with radiation, chemical and combined pollution. For polydactyly - at the level of significance ( $p$ ), 0.003-0.023 (decrease by 4.7-7.4 times), for the amount of multiple congenital malformations - 0.001-0.054 (2.5-6.8 times) and for amount of *de novo* birth defects - 0.001-0.007 (3.5-4.6 times). Statistically significant differences were found in the incidence of multiple congenital malformations in the conditions of combined pollution in comparison with similar indicators in the territories of radioactive (2.2 times,  $p = 0.034$ ) and chemical (1.9 times,  $p = 0.008$ ) pollution (values 1.48; 0.67 and 0.78). A decrease in the long-term trend of frequency of multiple congenital malformations in the period 2000-2017 was revealed on the territories of combined pollution, and increase - on territories of radioactive and chemical pollution. Nevertheless, the predicted values of the frequency of multiple congenital malformations on the territories of combined pollution by 2018-2023 will significantly ( $p = 0.027$ ) exceed the indicators of the territories of radioactive and chemical pollution by 39.6 and 45.7 % (values 1.18; 0.845; 0.81). *Conclusions*. Our results suggest synergistic effect of radiation and chemical pollution on the incidence of multiple congenital malformations.

**Key words:** Congenital malformations *de novo*, radioactive contamination, chemical pollution, combined contamination, Cesium-137, Strontium-90, pollutants

### Библиографическая ссылка:

Корсаков А. В., Гегерь Э. В., Лагерев Д. Г., Пугач Л. И. Динамика частоты врожденных пороков развития *de novo* у новорожденных экологически неблагополучных территорий Брянской области (2000–2017) // Экология человека. 2019. № 11. С. 35–47.

Korsakov A. V., Geger E. V., Lagerev D. G., Pugach L. I. Incidence of Congenital Malformations among Newborns in Ecologically Unfavorable Territories of the Bryansk Region (2000-2017). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 11, pp. 35-47.

Дополнительное воздействие ионизирующего облучения может нарушать нормальное эмбриональное развитие и приводить как к гибели плода, так и к возникновению врожденных пороков развития (ВПР) — физическим аномалиям, нарушениям метаболизма, а также к генетическим дефектам. Формирование этих патологий зависит от уровня облучения и стадии эмбрионального развития, на которую оно пришлось. Ионизирующая радиация вызывает мутации в половых клетках родителей и является фактором, нарушающим процессы внутриутробного развития на его ранних стадиях. Инкорпорированные в материнском организме радионуклиды могут вызывать эмбриональную дисплазию, структурные и функциональные изменения в развивающихся органах и тканях эмбриона и плода, что может привести как к мертворождению плода (в случае более высокого уровня облучения), так и к возникновению ВПР [29, 35].

Спустя 32 года после Чернобыльской катастрофы на радиационно-загрязненных территориях Украины, Беларуси и России радиоактивность, определяемая в основном долгоживущими цезием-137 и стронцием-90, радиологически значима и будет оставаться таковой еще несколько десятилетий [12, 20–22, 25, 28, 30].

В настоящее время в Брянской области на радиоактивно-загрязненных территориях проживает 316 тыс. человек в 749 населенных пунктах [23].

Мониторинг радиационной обстановки в течение 30 лет после катастрофы показывает, что процессы самоочищения почв от долгоживущих радионуклидов идут медленно. Местами плотность загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90 на юго-западных территориях (ЮЗТ) в 2015 г. превышает установленные пределы в десятки раз (до 2 116 кБк/м<sup>2</sup> по цезию-137 и до 60 кБк/м<sup>2</sup> по стронцию-90) [9]. Средние накопленные эффективные дозы (СНЭД) облучения жителей радиационно-загрязненных территорий Брянской области (1986–2016) варьируют в диапазоне от единиц до сотен мЗв, максимальное расчетное значение — 299 мЗв — отмечено у жителей поселка Заборье Красногорского района [3].

Хотя ряд авторов считает, что нет убедительных популяционно-эпидемиологических данных о влиянии радиационного загрязнения в малых дозах на частоту ВПР [4, 10, 32, 33], популяционно-экологические данные показывают, что частота ВПР строгого учета увеличилась в Республике Беларусь за 15 лет после катастрофы в 1,7 раза [20, 28], а в Украине — в 5,7 раза [21, 28]. Особенно значимо было увеличение ВПР на территориях с уровнем загрязнения цезием-137 более 555 кБк/м<sup>2</sup> в Гомельской и Могилевской областях при максимальной встречаемости ВПР в Гомельской области в 1994 г., в 6 раз превышающей уровень 1986 г. [18].

На радиационно-загрязненных территориях Украины статистически значимо увеличена частота встречаемости множественных ВПР (МВПР) и прежде редких ВПР (в т. ч. полидактилия, деформированные вну-

тренные органы, редуцированные пороки конечностей, остановка роста) по сравнению с контролем [21, 28].

По данным Российского государственного медико-дозиметрического регистра, включающего данные более 30 тыс. детей, 46,7 % детей ликвидаторов имеют ВПР и генетические болезни (с преобладанием патологии костно-мышечной системы), а распространенность ВПР строгого учета среди детей ликвидаторов в 3,6 раза выше общероссийских показателей [13, 28].

Встречаемость ВПР строгого учета на радиационно-загрязненных ЮЗТ Брянской области через 10 лет после Чернобыльской катастрофы в полтора раза превышала показатели в целом по области, а в структуре причин младенческой смертности удельный вес ВПР почти в пять раз превысил среднее значение этого показателя по России [11, 28]. Установлено статистически значимое превышение общей и первичной заболеваемости общей частоты всех ВПР у детей ЮЗТ по сравнению с аналогичными показателями экологически благополучных территорий Брянской области за 1990–2009 гг. [14]. Кроме того, в пределах ЮЗТ наибольшая частота встречаемости полидактилии, редуцированных пороков конечностей (РПК) и МВПР в 1999–2014 гг. была выявлена в районах с более высоким уровнем радиоактивного загрязнения (более 370 кБк/м<sup>2</sup>) [15].

Некоторые из ВПР являются выражением мутаций, каждый раз заново возникающих в популяции — мутации *de novo*. Мутации *de novo* не наследуются, возникают при зачатии и определяют появление таких ВПР, как полидактилия, РПК и МВПР [17, 28, 34]. Именно эти ВПР более часто встречаются на территориях с плотностью загрязнения цезием-137 более 555 кБк/м<sup>2</sup> [17, 28].

Химическое загрязнение окружающей среды, как и радиоактивное, может нарушать эмбриональное развитие и приводить к формированию ВПР [1, 2].

В результате анализа данных экологического мониторинга по загрязнению атмосферного воздуха и почвы различными поллютантами установлено их негативное влияние на частоту формирования ВПР [1, 5, 6, 26]. В результате анализа связи между показателями частоты новорожденных с ВПР и среднегодовыми концентрациями поллютантов в атмосферном воздухе г. Омска установлены значимые корреляции частоты МВПР с оксидом углерода, фенола, неорганической пыли и диоксида серы ( $r = 0,6–0,9$ ), а также с долей проб с превышением ПДК ( $r = 0,71$ ) [1]. В условиях повышенного и высокого загрязнения атмосферы г. Белгорода (4–10 ПДК) авторами установлено негативное влияние 56 атмосферных загрязнителей на распространенность ВПР среди новорожденных детей [5].

Также установлены значимые показатели относительного экологического риска для заболеваемости новорожденных ВПР костно-мышечной и мочеполовой системы, МВПР Белгородской области в условиях повышенной нагрузки на пашню минеральных

удобрений [6] и значимые связи общей частоты ВПР и выбросов химических веществ в атмосферный воздух Владимирской области [26].

В Брянской области, помимо территорий с интенсивным радиационным загрязнением после Чернобыльской катастрофы [9], сформировались территории сочетанного радиационно-химического загрязнения окружающей среды [7, 16].

Следует отметить, что в 2016 г. в Брянской области общий объем выбросов газообразных химических веществ в атмосферу составил 199,9 тыс. т, в водоемы сброшено 57,6 млн м<sup>3</sup> неочищенных сточных вод, количество образовавшихся отходов производства и потребления превысило 1,3 млн т, объем применения гербицидов увеличился по сравнению с 2015 г. на 23 %, а минеральных удобрений — на 30 % [8]. Кроме того, по официальным данным, Брянская область входит в число субъектов Российской Федерации с наибольшей гибелью лесных насаждений (1,0 тыс. га в 2015 г. и 0,7 тыс. га в 2016 г.) [8] и согласно рейтингу экологического развития городов России в 2017 г. [24] отнесена к группе отстающих регионов по таким показателям, как качество воздушной среды, водопотребление и качество воды, обращение с отходами, использование территории, транспорт, энергопотребление и управление охраной окружающей среды.

Вместе с тем, несмотря на известную географию распределения радиационных загрязнений Брянской области, исследование последствий Чернобыльской катастрофы по-прежнему рассматривается без учета химического загрязнения и соответственно без учета возможных аддитивных и синергетических эффектов при сочетанном воздействии физических и химических факторов окружающей среды [7, 16].

Изучение частоты ВПР у новорожденных в таких условиях представляется крайне важным не только для оценки низкоуровневого Чернобыльского радиационного загрязнения, но и для оценки эффективности вклада сопутствующего химического загрязнения среды на частоту формирования ВПР на радиоактивно-загрязненных территориях, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы. Частота ВПР *de novo* (полидактилия, РПК и МВПР) у новорожденных при такой многофакторной загрязненности среды не исследована и является основным вопросом настоящей статьи.

### Методы

Статистические данные за период 2000–2017 гг. по частотам полидактилии (Q69), РПК (Q71–Q73) и МВПР (Q87, Q89.7, Q91.0, Q91.4) у новорожденных на территориях экологического неблагополучия с различным уровнем радиационного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды сравнивались с данными по экологически благополучным (контрольным) районам — Клетнянскому и Мглинскому. Статистические данные по встречаемости ВПР получены из официальных материалов рас-

пространности ВПР у населения Брянской области (отраслевая статистическая отчетность форма № 60, форма № 025-11/у-98) на базе медико-генетической консультации Брянского клинично-диагностического центра. Последующий расчет абсолютных величин частоты ВПР *de novo* (полидактилии, РПК и МВПР) проводился согласно рекомендациям EUROCAT как отношение числа живорожденных и мертворожденных детей с пороками развития (в т. ч. индуцированных абортусов с весом не менее 500 г на сроке беременности 22 и более недель) к общему числу живорожденных и мертворожденных, умноженное на 1 000 [31]. Всего за период 2000–2017 гг. в Брянской области было зарегистрировано 476 случаев ВПР *de novo*, из них 187 случаев полидактилии, 73 случая РПК и 216 случаев МВПР.

Плотность радиоактивного загрязнения территорий цезием-137 и стронцием-90 вследствие Чернобыльской катастрофы оценивалась по данным [9], химического загрязнения — по данным отчетов выбросов в атмосферу химических веществ от стационарных источников, тонн в год (2ТП-воздух) [19].

Пересчет количества валовых выбросов химических веществ в атмосферу (тонн/год) на площадь района (км<sup>2</sup>) осуществлялся в (г/м<sup>2</sup>) по данным [19].

Статистический анализ полученных данных проводился с использованием средств пакета Stata 14 версии Stata/SE. В первую очередь для обоснованного выбора методов проверки статистических гипотез нами была проверена нормальность распределения частоты ВПР во всех группах районов. Поскольку объем выборки невелик ( $n = 18$ ), мы применили широко применяющийся в таких ситуациях критерий Шапиро — Уилка. Он не подтвердил нормальности распределения ( $p > 0,20$ ). Поэтому для проверки статистической значимости отклонений нами применялся непараметрический T-критерий Вилкоксона для независимых выборок (Wilcoxon rank-sum test).

В качестве среднего значения использовано выборочное среднее ( $M$ ) и стандартная ошибка среднего ( $m$ ).

Нами проводился расчет линейной регрессии частоты ВПР *de novo* у новорожденных экологически различных территорий Брянской области в период 2000–2017 гг. Он показал, что линейная регрессия неудовлетворительно сглаживает имеющиеся данные: среднее квадратичное отклонение велико, и прогноз с помощью её не является надежным — в некоторых случаях получаются даже отрицательные прогнозные значения. Поэтому мы применили известную обратно пропорциональную регрессию, которая является более гибкой и гораздо лучше соответствует исходным данным.

Также была проведена проверка временных рядов на гомоскедастичность с помощью теста Уайта. Обнаружено, что в большинстве случаев гомоскедастичность удовлетворительна и позволяет использовать стандартные методы статистики, применяемые в подобных ситуациях. Поскольку нормальность рас-

пределения ВПР *de novo* отсутствует, мы применили непараметрические критерии статистики: при проверке гипотезы о связи частоты полидактилии, РПК и МВПР с годом применялся тест ранговой корреляции Спирмена. Расчеты 95 % доверительных интервалов (95 % ДИ) проводились для коэффициента *a*, показывающего направление тренда, т. е. риска возникновения частоты ВПР с течением времени.

На основании имеющихся статистических данных за 2000–2017 гг. нами был произведен расчет прогноза частоты полидактилии, РПК и МВПР на исследуемых территориях. Для этого мы нашли методом наименьших квадратов (с помощью приема линеаризации) обратно пропорциональную функцию  $y = ax + b$ , где  $\tilde{x} = 6/x$  (коэффициент 6 здесь очень важен, так как мы исследовали 6 трехлетий  $x = 1, 2 \dots 6$  и без него интервал для  $\tilde{x}$  на оси абсцисс уменьшился бы в 6 раз, что привело бы к искусственному увеличению погрешностей и доверительных интервалов в 6 раз), наиболее точно аппроксимирующую имеющиеся статистические данные для каждой из указанных категорий. По этой функции рассчитан прогноз на два предстоящих трехлетия (2018–2020 и 2021–2023).

**Результаты**

Данные по плотности радиоактивного загрязнения цезием-137, стронцием-90 и уровню химического загрязнения основными газообразными поллютантами колеблются в широких пределах (табл. 1). По цезию-137 – от 5,5 до 470,5 кБк/м<sup>2</sup>, по стронцию-90 – от 0,5 до 16,7 кБк/м<sup>2</sup> [9]. По валовым выбросам в атмосферный воздух газообразных поллютантов на площадь района (г/м<sup>2</sup>) – от 22,6 до 29 622,2, из них:

по оксиду углерода – от 2,3 до 12 614,8, оксидам азота – от 0,5 до 10 717,8, диоксиду серы – от 0,0 до 2 665,2 и летучим органическим соединениям – от 0,7 до 3 624,3 [19].

Исходя из уровня радиационного и химического загрязнения окружающей среды на протяжении восемнадцатилетнего периода (2000–2017 гг.) мы провели ранжирование территорий Брянской области (см. табл. 1).

Так, в группе экологически благополучных (контрольных) территорий плотность радиоактивного загрязнения цезием-137 и стронцием-90 в несколько раз меньше установленных нормативов (37 кБк/м<sup>2</sup> для цезия-137 и 5,6 кБк/м<sup>2</sup> для стронция-90), составляя 5,5–6,8 и 0,5–0,6 кБк/м<sup>2</sup>. Уровень химического загрязнения атмосферного воздуха газообразными поллютантами колеблется от 22,6 до 28,6 г/м<sup>2</sup>. Полученные результаты уровня радиационного и химического загрязнения позволяют отнести эти территории к экологически благополучным (контрольным).

На территориях химического загрязнения валовые выбросы газообразных поллютантов на площадь района превышают аналогичные показатели контрольных территорий в сотни и тысячи раз, колеблясь в широких пределах – от 9 460,2 до 29 622,2, из них: по оксиду углерода – от 3 313,0 до 12 614,8, оксидам азота – от 3 792,6 до 10 717,8, диоксиду серы – от 2 000,7 до 2 665,2 и летучим органическим соединениям – от 3 46,7 до 3 624,3. При этом регистрируется плотность радиоактивного загрязнения 9,0–39,3 кБк/м<sup>2</sup> по цезию-137 и 1,1–6,1 кБк/м<sup>2</sup> по стронцию-90, что позволяет отнести данные территории к группе химически загрязненных.

Таблица 1

**Ранжирование некоторых территорий Брянской области по уровню радиационного и химического загрязнения окружающей среды (2000–2017) [по данным 9, 19]**

Район Брянской области	Основные газообразные загрязнители атмосферного воздуха					Плотн. радиоак. загрязн. <sup>137</sup> Cs, кБк/м <sup>2</sup>	Плотн. радиоак. загрязн. <sup>90</sup> Sr, кБк/м <sup>2</sup>
	Всего	Из них:					
		ЛОС	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO		
Валовые выбросы газообразных поллютантов на площадь района, г/м <sup>2</sup>							
Экологически благополучные территории (контроль)							
Клетнянский	22,6	0,7	6,6	7,2	8,0	5,5	0,5
Мглинский	28,6	5,4	8,8	1,9	12,4	6,8	0,6
Территории химического загрязнения							
Дятьковский	9460,2	346,7	3792,6	2000,7	3313,0	39,3	1,1
г. Брянск	29622,2	3624,3	10717,8	2665,2	12614,8	9,0	6,1
Территории радиоактивного загрязнения							
Новозыбковский	9,0	5,0	0,5	0,0	2,3	470,5	8,6
Красногорский	18,0	0,7	7,5	0,7	9,1	309,9	9,5
Гордеевский	39,6	3,0	16,8	0,0	19,8	335,7	5,1
Злынковский	56,2	4,1	17,3	7,2	27,6	421,3	16,7
Климовский	66,1	1,1	10,6	20,5	33,9	142,6	6,5
Территории сочетанного радиационно-химического загрязнения							
г. Клинцы	8171,9	1334,4	3648,4	165,6	3023,4	199,9	3,0
г. Новозыбков	8222,2	1082,5	3184,1	771,4	3184,1	466,3	10,0

Примечание. ЛОС – летучие органические соединения.

Таблица 2

Динамика частоты врожденных пороков развития *de novo* у новорожденных экологически различных территорий Брянской области (на 1 000 родившихся) в период 2000–2017 гг.

Год	Полидактилия				РПК			
	Территория				Территория			
	ХЗ	РЗ	СЗ	ЭБ	ХЗ	РЗ	СЗ	ЭБ
2000	0,17	1,09	0,88	0,00	1,42	1,09	0,00	0,00
2001	0,70	0,00	0,00	2,20	0,29	0,00	0,00	0,00
2002	1,05	2,91	0,00	0,00	0,75	1,50	0,00	0,00
2003	0,93	0,67	1,89	0,00	0,00	3,52	0,00	0,00
2004	1,23	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	2,00	0,00
2005	0,65	0,67	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0,93	0,00	1,22	0,00	0,24	0,78	0,00	1,50
2007	1,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,53	0,00
2008	1,03	1,32	1,76	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00
2009	0,63	1,33	1,28	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
2010	1,21	1,52	1,05	0,00	0,33	0,00	1,80	0,00
2011	0,39	0,00	2,07	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
2012	0,91	3,45	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00
2013	0,61	0,94	0,98	0,00	0,11	0,00	1,60	0,00
2014	1,67	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
2015	0,61	1,12	0,00	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00
2016	0,87	3,17	0,00	0,00	0,11	0,00	1,30	0,00
2017	0,87	0,00	0,00	0,00	0,71	1,11	0,00	1,30
	МВПР				Сумма ВПР			
	Территория				Территория			
	ХЗ	РЗ	СЗ	ЭБ	ХЗ	РЗ	СЗ	ЭБ
2000	1,42	0,00	3,51	0,00	3,01	2,17	4,39	0,00
2001	0,43	0,00	1,90	0,00	1,42	0,00	1,90	2,20
2002	0,40	1,41	1,77	0,00	2,20	5,82	1,77	0,00
2003	0,73	0,00	0,00	0,00	1,66	4,19	1,89	0,00
2004	1,06	0,00	1,37	0,00	2,53	0,00	3,37	0,00
2005	0,24	0,00	0,00	0,00	0,89	0,67	1,20	0,00
2006	0,35	0,00	1,74	0,00	1,52	0,78	2,96	1,50
2007	0,78	1,44	1,67	0,00	2,11	1,44	2,20	0,00
2008	0,64	1,77	1,48	0,00	3,07	3,09	3,24	0,00
2009	0,61	0,00	1,14	0,00	1,34	1,33	2,42	0,00
2010	1,08	0,56	1,76	0,00	2,62	2,08	4,61	0,00
2011	0,44	1,30	3,42	1,75	1,06	1,30	5,49	1,75
2012	0,79	2,30	0,64	0,00	2,27	5,75	0,64	0,00
2013	3,16	0,94	3,99	1,60	3,89	1,88	6,57	1,60
2014	1,40	0,00	2,18	0,00	3,18	0,00	2,18	0,00
2015	0,00	1,25	0,00	0,00	1,44	2,37	0,00	0,00
2016	0,11	0,00	0,00	0,00	1,09	3,17	1,30	0,00
2017	0,34	1,12	0,00	0,00	1,92	2,23	0,00	1,30

Примечание. ХЗ – химическое загрязнение; РЗ – радиоактивное загрязнение; СЗ – сочетанное загрязнение; ЭБ – экологически благополучная.

В группе территорий радиоактивного загрязнения плотность загрязнения цезием-137 и стронцием-90 превышает установленные нормативы в 3,9–12,7 раза

для цезия-137 (до 470,5 кБк/м<sup>2</sup>) и в 1,2–3,0 раза для стронция-90 (до 16,7 кБк/м<sup>2</sup>). При этом уровень химического загрязнения атмосферного воздуха сопоставим с показателями контрольных территорий, колеблясь от 9,0 до 66,1 г/м<sup>2</sup>. Такие показатели позволяют отнести данную группу районов к территориям радиоактивного загрязнения.

На территориях сочетанного радиационно-химического загрязнения плотность радиоактивного загрязнения, как и на радиационно-загрязненных территориях, превышает установленные нормативы в десятки раз – до 466,3 кБк/м<sup>2</sup> для цезия-137 и немного меньше (до 10 кБк/м<sup>2</sup>) – для стронция-90. При этом помимо высокого уровня радиоактивного загрязнения уровень химического загрязнения газобразными поллютантами в сотни раз превышает величины радиационно-загрязненных районов, составляя 8 171,9–8 222,2 г/м<sup>2</sup>, что позволяет отнести их к разряду сочетанных (см. табл. 1).

Динамика частоты ВПР *de novo* у новорожденных экологически различных территорий Брянской области в период 2000–2017 гг. показывает, что значения колеблются от 0 до 3,99, при этом отмечается скачкообразный по годам характер, особенно на территориях радиоактивного и сочетанного загрязнения – как по полидактилии, так и по РПК и МВПР (табл. 2).

Средние показатели частоты ВПР *de novo* у новорожденных экологически различных территорий Брянской области в период 2000–2017 гг. представлены в табл. 3. Также в табл. 3 указаны средние объемы выборок по числу рожденных (n) за 2000–2017 гг.

Таблица 3

Частота врожденных пороков развития *de novo* у новорожденных экологически различных территорий Брянской области (на 1 000 родившихся, M ± m) в период 2000–2017 гг.

Территория	Полидактилия	РПК	МВПР*	Сумма ВПР
Химического загрязнения (n = 5115)	0,86±0,08 p=0,003	0,43±0,10 p=0,016	0,78±0,17 p=0,002	2,07±0,20 p=0,001
Радиоактивного загрязнения (n = 903)	1,01±0,27 p=0,008	0,44±0,22 p=0,540	0,67±0,18 p=0,054	2,13±0,41 p=0,007
Сочетанного загрязнения (n = 1147)	0,68±0,18 p=0,023	0,40±0,17 p=0,231	1,48±0,30 p=0,001	2,56±0,43 p=0,001
Экологически благополучная (контроль) (n = 369)	0,12±0,12	0,16±0,11	0,19±0,13	0,46±0,19

Примечание. \* – различие частоты МВПР с территориями радиоактивного и сочетанного (p = 0,034), химического и сочетанного загрязнения (p = 0,008) по T-критерию Вилкоксона. В остальных местах таблицы p означает различия с контролем.

Данные табл. 3 свидетельствуют, что в контрольной группе частота полидактилии, МВПР и суммы ВПР *de novo* у новорожденных статистически значимо (p = 0,001–0,054) ниже, чем на территориях радиоактивного, химического и сочетанного загрязнения. По по-

лидактилии – в 4,7–7,4 раза, по МВПР – в 2,5–6,8 раза, по сумме ВПР – в 3,5–4,6 раза. Количество РПК также ниже в контрольной группе по сравнению с экологически неблагополучными территориями (в 1,5–1,8 раза), но различия достигают статистически значимого уровня только с территориями химического загрязнения ( $p = 0,002$ ).

Не выявлено значимых различий частоты полидактилии, РПК и суммы ВПР у новорожденных между территориями радиационного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды. Однако установлены статистически значимые различия встречаемости МВПР в условиях сочетанного загрязнения ( $1,48 \pm 0,30$ ), превышающие показатели как территорий радиоактивного (в 2,2 раза,  $p = 0,034$ ), так и химического (в 1,9 раза,  $p = 0,008$ ) загрязнения (см. табл. 3).

Отметим, что при воздействии различных факторов экологического неблагополучия нами установлены определенные закономерности. Так, частота встречаемости полидактилии, РПК и МВПР на экологически неблагополучных территориях колеблется в большей степени по МВПР (0,67–1,48) и полидактилии (0,68–1,01). Максимальная встречаемость МВПР выявляется в условиях сочетанного загрязнения ( $1,48 \pm 0,30$ ), полидактилии – в условиях радиоактивного загрязнения ( $1,01 \pm 0,27$ ). Частота РПК практически одинакова на территориях как радиоактивного, так химического и сочетанного загрязнения, составляя 0,40–0,44.

Поскольку динамика частоты ВПР *de novo* у новорожденных экологически различных территорий Брянской области часто носит скачкообразный по годам характер (см. табл. 2), нами проведен расчет обратно пропорциональной регрессии по трехлетиям (2000–2002, 2003–2005, 2006–2008, 2009–2011, 2012–2014, 2015–2017) и дан прогноз на предстоящее шестилетие (2018–2020 и 2021–2023) – рис. 1–3.

Как показывает рис. 1, выявлено повышение многолетнего тренда частоты полидактилии с течением времени за восемнадцатилетний период (2000–2017) на территориях химического (с 0,69 в 2000–2002 гг. до 0,93 в 2015–2017) и сочетанного (с 0,55 до 0,74) загрязнения, а на экологически благополучных территориях – снижение (с 0,64 до 0). Тем не менее как снижение, так и повышение трендов не является статистически значимым, достигая максимальных значений на экологически благополучных территориях ( $p = -0,65$ ,  $p = 0,16$ ). На радиоактивно-загрязненных территориях значения многолетнего тренда (в том числе и прогнозные) мало меняются с течением времени, составляя 1,0–1,01 ( $y = -0,01/x + 1,014$ ). Прогнозируемые значения частоты полидактилии в 2018–2023 гг. (рис. 1) на территориях химического загрязнения превысят средние показатели 2000–2017 гг. (см. табл. 3) на 9,3 % (0,94 и 0,86), а на территориях сочетанного загрязнения на 9,6 % (0,745

и 0,68). Аналогичный прогноз на 2018–2023 гг. на экологически благополучных территориях составит 0,01 на 1 000 рождений при среднем показателе в 2000–2017 гг. на уровне 0,12.

Результаты анализа частоты РПК у новорожденных экологически различных территорий Брянской области показывают, что зарегистрировано статистически незначимое повышение многолетнего тренда на территориях сочетанного загрязнения (с 0,09 в 2000–2002 гг. до 0,53 в 2015–2017), в меньшей степени в контроле (с 0 до 0,22) и снижение на территориях радиоактивного (с 1,05 до 0,19) и химического (с 0,70 до 0,33) загрязнения. Прогнозируемые значения в 2018–2023 гг. на территориях сочетанного загрязнения превысят показатели 2000–2017 гг. на 36,3 % (0,545 и 0,40), а на территориях радиоактивного и химического, наоборот, будут уменьшаться в 2,8 (0,16 и 0,44) и 1,4 раза (0,31 и 0,43) соответственно. Несмотря на минимальную прогнозируемую частоту РПК на контрольных территориях в сравнении с другими территориями к 2018–2023 гг. (0,235 на 1 000 рождений) она превысит средние значения 2000–2017 гг. (0,16) в 1,5 раза – рис. 2.

Результаты анализа динамики МВПР у новорожденных экологически различных территорий Брянской области показывают, что, как по полидактилии и РПК, не выявлено статистически значимого снижения либо повышения многолетнего тренда частоты МВПР во всех районах, независимо от экологических условий проживания (рис. 3). На территориях радиоактивного загрязнения и в контроле регистрируется повышение многолетнего тренда с 0,29 до 0,83 и с 0 до 0,28, а в районах химического загрязнения – незначительное повышение (с 0,71 до 0,81). На территориях сочетанного загрязнения выявлено снижение многолетнего тренда в 1,73 раза (с 2,11 до 1,22). Тем не менее прогнозируемые значения частоты МВПР в 2018–2023 гг. будут все еще статистически значимо ( $p = 0,027$ ) превышать средние показатели территорий радиоактивного и химического загрязнения на 39,6 и 45,7 % соответственно (1,18 против 0,845 и 0,81 на 1 000 рождений соответственно). Прогнозируемые значения в 2018–2023 гг. в условиях сочетанного загрязнения будут меньше значений 2000–2017 гг. на 20,3 % (1,18 и 1,48), а радиоактивного и химического – больше на 26,1 и 3,8 % (0,845 и 0,67; 0,81 и 0,78). При этом характер данных повторяет анализ для РПК – частота МВПР к 2018–2023 гг. превысит средние значения 2000–2017 гг. в 1,6 раза (0,295 и 0,19) – см. рис. 3.

Помимо анализа динамики частоты ВПР *de novo* с линиями многолетнего тренда по трехлетиям в период 2000–2017 гг. (см. рис. 1–3) нами проведен расчет связи между территориями в зависимости от экологических условий проживания, который выявил интересные закономерности. Так, установлена высокая и значимая прямая корреляционная зависимость частоты МВПР между территориями химического

и сочетанного загрязнения ( $\rho = 0,89, p = 0,019$ ), но отсутствие зависимости между территориями радиоактивного и сочетанного ( $\rho = 0,09, p = 0,872$ ).

По РПК выявлена высокая и значимая обратная корреляционная зависимость также между территориями химического и сочетанного загрязнения ( $\rho =$

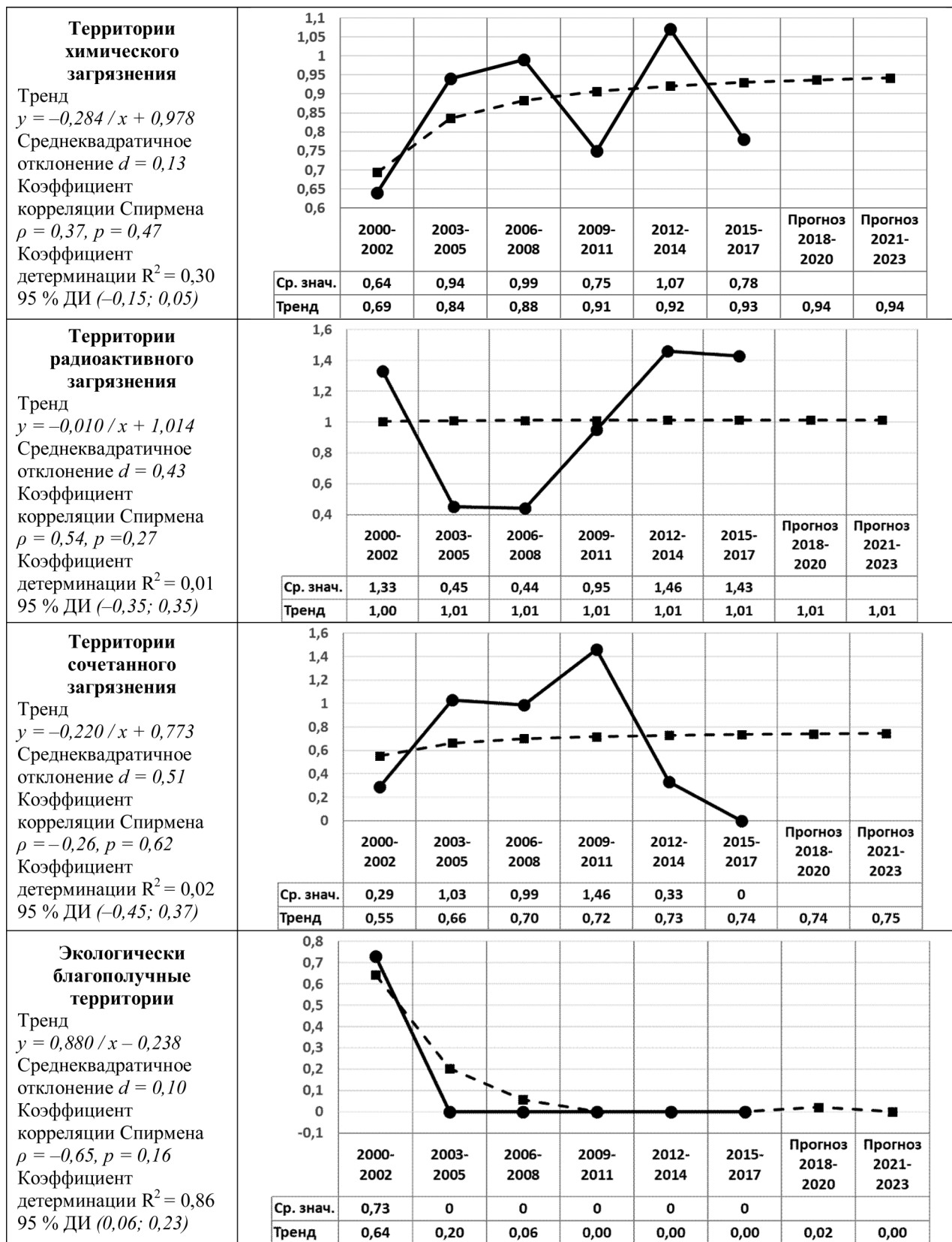


Рис. 1. Динамика частоты полидактилии у новорожденных экологически различных территорий Брянской области с линиями многолетнего тренда по трехлетиям в период 2000–2017 гг. и прогноз на 2018–2023 гг. (на 1 000 родившихся)

-1,0,  $p = 0,001$ ), но отсутствие зависимости между территориями радиоактивного и сочетанного ( $\rho = -0,07, p = 0,910$ ). По полидактилии не выявлено значимых зависимостей между районами.

**Обсуждение результатов**

Оценивая приведенные выше данные, нужно прежде всего отметить, что тенденция роста заболеваемости ВПР прослеживается не только в Брянской

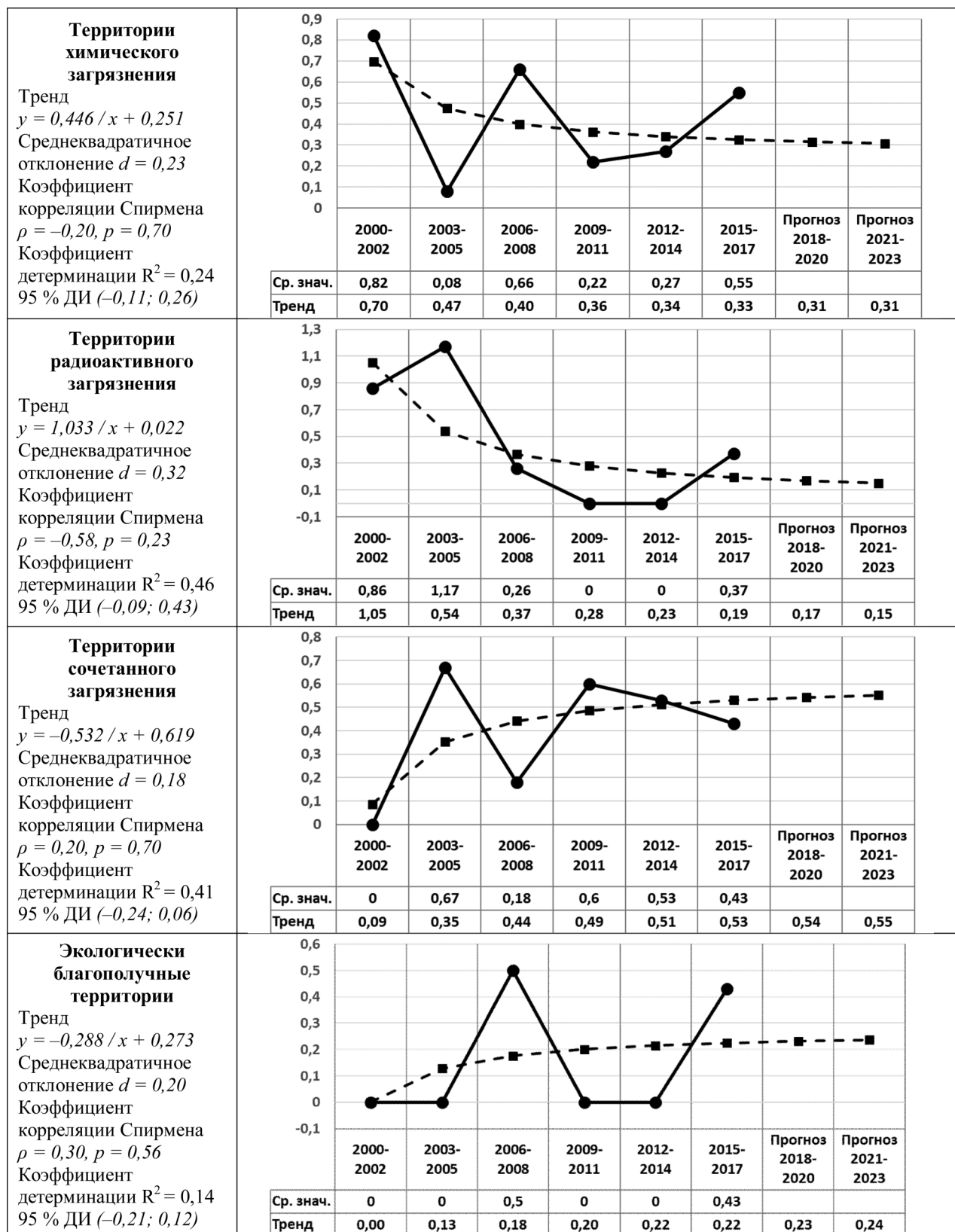


Рис. 2. Динамика частоты РПК у новорожденных экологически различных территорий Брянской области с линиями многолетнего тренда по трехлетиям в период 2000–2017 гг. и прогноз на 2018–2023 гг. (на 1 000 родившихся)



области, но и в целом по стране и может отражать какие-то общие тенденции аналогичные тем, которые вызывают глобальный рост онкологической заболеваемости (например [27], увеличение генетического

груза в популяциях человека в связи с ростом химического и радиационного загрязнения биосферы «глобальными» и «вечными» поллютантами).

Результаты исследования выявляют не только

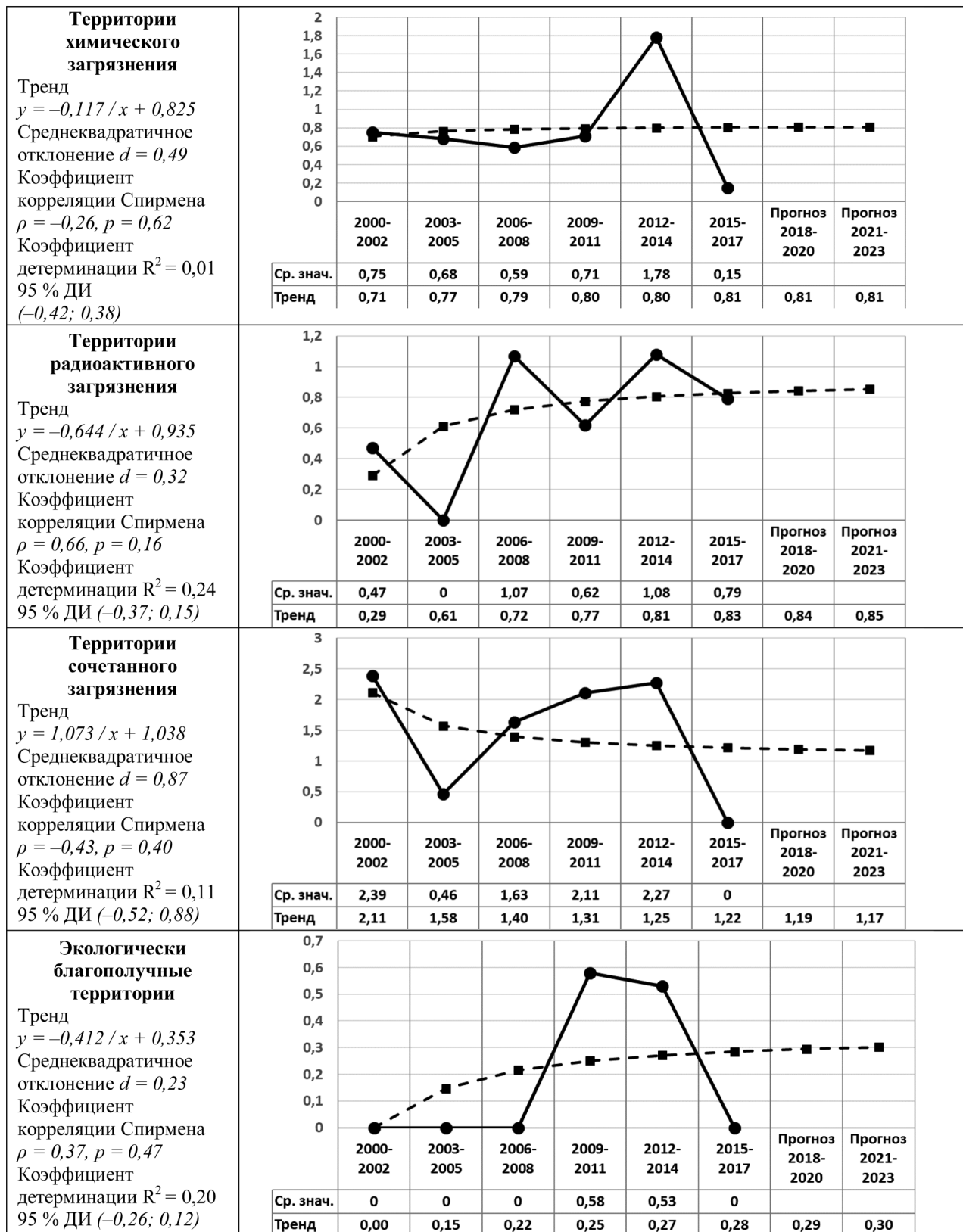


Рис. 3. Динамика частоты МВРР у новорожденных экологически различных территорий Брянской области с линиями многолетнего тренда по трехлетиям в период 2000–2017 гг. и прогноз на 2018–2023 гг. (на 1 000 родившихся)

существенно меньшую встречаемость полидактилии и МВПР на контрольных территориях, но и статистически значимые различия частоты МВПР в условиях сочетанного загрязнения окружающей среды в сопоставлении с аналогичными показателями на территориях радиоактивного и химического загрязнения, что, возможно, указывает на синергетический характер действия радиационного и химического фактора. Кроме того, прогнозируемые значения частоты МВПР на территориях сочетанного загрязнения к 2018–2023 гг. все еще будут статистически значимо ( $p = 0,027$ ) превышать показатели территорий радиоактивного и химического загрязнения на 39,6 и 45,7 % соответственно, что подтверждает продолжающийся синергетический характер действия радиационного и химического фактора.

Изучение силы влияния загрязнителей на частоту ВПР *de novo* в динамике за 18 лет (2000–2017) позволило выявить, что вариабельность частоты полидактилии, РПК и МВПР определяется комбинированным влиянием оксидов азота, оксида углерода, диоксида серы и летучими органическими соединениями в комплексе с загрязнением территорий долгоживущими радионуклидами (цезий-137 и стронций-90) при их изолированном и сочетанном влиянии.

Следует отметить, что среди обстоятельств риска возникновения ВПР выделяют множество как экзогенных, так и эндогенных факторов, учесть которые представляется практически невозможным. Среди основных факторов риска возникновения ВПР можно выделить социально-экономическое положение, условия труда и быта, состояние системы здравоохранения и эффективность ее функционирования (в т. ч. выявление ВПР на ранних стадиях), эндокринные и метаболические заболевания матери (наиболее часто ВПР наблюдаются при сахарном диабете, вирулизирующих опухолях половых желёз и коры надпочечников, фенилкетонурии), аномалии половых клеток (результат нарушения сперматогенеза, овогенеза), возраст отца и матери (например, ВПР дыхательной системы чаще отмечается у юных матерей, а у матерей старше 35 лет увеличена частота рождения детей с геномными мутациями, в т. ч. синдромом Дауна), употребление некоторых лекарственных средств (транквилизаторы, антиконвульсанты), наркотиков и др.

По нашему мнению, факторы, послужившие увеличению частоты ВПР *de novo* у новорожденных на экологически неблагоприятных территориях, требуют дальнейшего детального изучения. Тем не менее проведенные исследования уже позволили определить дальнейшую стратегию неонатального скрининга.

При будущих исследованиях представляется целесообразным:

- рассмотреть более детально динамику разного типа ВПР (нервной системы, системы кровообращения, пищеварения, органов дыхания, мочеполовой, мелких и крупных ВПР) с целью выявления факторов риска и этиологии пороков развития;

- проанализировать территориальную и временную вариабельность частоты ВПР как на территории Брянской области, так и в других регионах Российской Федерации и стран СНГ, в частности Украины и Республики Беларусь, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы;

- учитывать возможность эмбриотоксического влияния радиоактивного загрязнения ЮЗТ иными, дополнительными к цезию-137 и стронцию-90, трансурановыми радионуклидами;

- проследить динамику абортон на экологически неблагоприятных территориях Брянской области в связи с выявлением у родильниц крупных ВПР и необходимостью прерывать беременность по медицинским показаниям и её влияние на статистику ВПР.

#### Выводы

1. В результате анализа динамики частоты ВПР *de novo* на протяжении восемнадцатилетнего периода (2000–2017) установлено, что на экологически благополучных территориях частота полидактилии, МВПР и суммы ВПР *de novo* у новорожденных статистически значимо ниже, чем на территориях радиационного, химического и сочетанного загрязнения. По полидактилии – в 4,7–7,4 раза ( $p = 0,003–0,023$ ), по МВПР – в 2,5–6,8 раза ( $p = 0,001–0,054$ ), по сумме ВПР – в 3,5–4,6 раза ( $p = 0,001–0,007$ ). При этом частота встречаемости РПК также выше на экологически неблагоприятных территориях по сравнению с контролем (в 1,5–1,8 раза), но различия достигают статистически значимого уровня только с территориями химического загрязнения ( $p = 0,002$ ).

2. Не выявлено значимых различий частоты встречаемости полидактилии и РПК у новорожденных на территориях радиационного, химического и сочетанного загрязнения окружающей среды.

3. Установлены статистически значимые различия частоты встречаемости МВПР в условиях сочетанного загрязнения окружающей среды, превышающие показатели как территорий радиоактивного (в 2,2 раза,  $p = 0,034$ ), так и химического (1,9 раза,  $p = 0,008$ ) загрязнения.

4. Не выявлено значимого снижения либо повышения многолетнего тренда частоты ВПР *de novo* с течением времени во всех рассмотренных территориальных группах независимо от экологических условий проживания.

5. Прогнозируемые значения частоты ВПР *de novo* на территориях сочетанного загрязнения в 2018–2023 гг. превысят средние значения 2000–2017 гг. на 9,6 % по полидактилии и на 36,3 % по РПК, а по МВПР будут меньше на 20,3 %.

6. Выявлено снижение многолетнего тренда частоты МВПР на территориях сочетанного загрязнения, а на территориях радиационного и химического загрязнения – повышение. Тем не менее прогнозируемые значения частоты МВПР на территориях сочетанного загрязнения к 2018–2023 гг. все еще будут статистически значимо ( $p = 0,027$ ) превышать

показатели территорий радиоактивного и химического загрязнения на 39,6 и 45,7 % соответственно.

7. Полученные результаты указывают на синергетический характер действия радиационного и химического факторов окружающей среды на частоту формирования МВПР.

*Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-413-320002 р\_а.*

#### Авторство

Корсаков А. В. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, подготовил интерпретацию полученных результатов, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Гегерь Э. В. участвовала в сборе информации и ее подготовке для проведения статистической обработки и анализа; Лагереv Д. В. участвовал в анализе данных, в том числе с использованием современных программных средств; Пугач Л. И. участвовал в статистической обработке данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Корсаков Антон Вячеславович — ORCID 0000-0002-4609-0246

Гегерь Эмилия Владимировна — ORCID 0000-0003-0393-4274

Лагереv Дмитрий Григорьевич — ORCID 0000-0002-2702-6492

Пугач Леонид Израилевич — ORCID 0000-0003-2931-6677

#### Список литературы

1. Антонов О. В., Ширинский В. А., Антонова И. В. Гигиенические факторы риска формирования врожденных пороков развития // Гигиена и санитария. 2008. № 5. С. 20–22.

2. Антонова И. В., Богачева Е. В., Китаева Ю. Ю. Роль экзогенных факторов в формировании врожденных пороков развития // Экология человека. 2010. № 6. С. 30–35.

3. Брук Г. Я., Базюкин А. Б., Братилова А. А. и др. Средние накопленные за 1986–2016 годы эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства Российской Федерации от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении Перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 2. С. 57–105.

4. Бочков Н. П. Современный взгляд на мутационный процесс у человека // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2008. Т. 36, № 23. С. 6.

5. Верзилина И. Н., Агарков Н. М., Чурносков М. И. Воздействие антропогенных атмосферных загрязнений на частоту врожденных аномалий развития // Гигиена и санитария. 2008. № 2. С. 17–20.

6. Верзилина И. Н., Чурносков М. И., Евдокимов В. И. Изучение влияния минеральных удобрений на заболеваемость новорожденных // Гигиена и санитария. 2015. № 3. С. 70–73.

7. Гегерь Э. В. Методическая основа для оценки интегральных показателей техногенной загрязненности районов Брянской области // Проблемы региональной экологии. 2012. № 1. С. 163–170.

8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. 760 с.

9. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240 / под ред. С. М. Вакуловского. Обнинск, Федеральное государственное бюджетное учреждение научно-производственное объединение «Тайфун», 2015. 225 с.

10. Демикова Н. С., Хандогина Е. К., Воробьева Л. М. и др. Сравнительный анализ врожденных пороков развития в регионах расположения предприятий ядерного топливного цикла // Экологическая генетика. 2010. № 2. С. 29–34.

11. Жиленко М. И., Федорова М. В. Состояние здоровья беременных, родильниц и новорожденных в условиях воздействия малых доз радиации // Акушерство и гинекология. 1999. № 1. С. 20–22.

12. Израэль Ю. А., Богдевич И. М. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси. Москва; Минск: Инфосфера, 2009. 140 с.

13. Иванов В. К. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: Оценка радиационных рисков. М.: Медицина, 2002. 392 с.

14. Корсаков А. В., Яблоков А. В., Пугач Л. И. и др. Динамика частоты врожденных пороков развития у детского населения Брянской области, проживающего в условиях радиационного загрязнения (1991–2012) // Здоровоохранение Российской Федерации. 2014. № 6. С. 49–53.

15. Корсаков А. В., Яблоков А. В., Гегерь Э. В. и др. Динамика частоты полидактилии, редукционных пороков конечностей и множественных врожденных пороков развития у новорожденных радиоактивно загрязненных территорий Брянской области (1999–2014) // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56, № 4. С. 397–404.

16. Корсаков А. В., Михалев В. П. Комплексная эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды как фактора риска для здоровья // Проблемы региональной экологии. 2010. № 2. С. 172–181.

17. Лазюк Г. И., Николаев Д. Л., Хмель Р. Д. Облучение населения Беларуси вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и динамика врожденных пороков развития // Международный журнал радиационной медицины. 1999. № 1. С. 63–70.

18. Лазюк Г. И., Николаев Д. Л., Хмель Р. Д. Абсолютное число и частота врожденных пороков развития строгого учета в некоторых регионах Беларуси // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 1999. № 1. С. 15–17.

19. Муратова Н. А. Города и районы Брянской области (статистический сборник). Брянск: управление Федеральной службы государственной статистики по Брянской области, 2018. 252 с.

20. Национальный доклад Республики Беларусь. Тридцать лет Чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2016. 116 с.

21. Национальный доклад Украины. Двадцать пять лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего. Киев, 2011. 368 с.

22. Онищенко Г. Г. Радиационно-гигиенические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и задачи по их минимизации // Радиационная гигиена. 2009. № 2. С. 5–13.

23. Постановление Правительства Российской Федерации от 08.10.2015 № 1074. Перечень населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции [Resolution of the Government of the Russian

Federation of 08.10.2015 № 1074. URL: <http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-ri-ot-08102015-n-1074/> (дата обращения: 10.11.2018)

24. Рейтинг экологического развития городов России в 2017 году (по данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ). URL: <https://nangs.org/analytics/minprirody-rossii-rejting-ekologicheskogo-razvitiya-rossijskikh-gorodov-v-2016-g-pdf> (дата обращения: 10.11.2018)

25. Российский национальный доклад. Тридцать лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России (1986–2016). М.: Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий РФ, 2016. 202 с.

26. Трифонова Т. А., Марцев А. А. Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха на заболеваемость населения Владимирской области // Гигиена и санитария. 2015. № 4. С. 14–18.

27. Яблоков А. В. О концепции популяционного груза (обзор) // Гигиена и санитария. 2015. № 6. С. 11–14.

28. Яблоков А. В., Нестеренко В. Б., Нестеренко А. В. и др. Чернобыль: последствия Катастрофы для человека и природы (шестое издание, дополненное и переработанное). М., 2016. 826 с.

29. BEIR VII Phase 2. 2006. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council. The National Academies Press, 423 p.

30. Brechignac F., Oughton D., Mays C. et al. Addressing ecological effects of radiation on populations and ecosystems to improve protection of the environment against radiation: Agreed statements from a Consensus Symposium // Journal of Environmental Radioactivity. 2016, Vol. 158-159. P. 21–29.

31. EUROCAT. Instructions for the Registration and Surveillance of Congenital Anomalies. 2005. URL: <http://www.europeristat.com/images/doc/EPHR/european-perinatal-health-report.pdf> (accessed: 10.11.2018)

32. Dolk H., Nichols R. Evaluation of the impact of Chernobyl on the prevalence of congenital anomalies in 16 regions of Europe // Int. J. Epidemiol. 2000. N 3. P. 596–599.

33. Dolk H. A review of environmental risk factors for congenital anomalies. EUROCAT special report. 2004/ P. 89–92.

34. Holtgrewe M., Knaus A., Hildebrand G. et al. Multisite de novo mutations in human offspring after paternal exposure to ionizing radiation // Scientific Reports. 2018. N 8. P. 14611.

35. ICRP. 2003. Dosimetric Significance of the ICRP's Updated Guidance and Models (1989-2003) and Implications for U.S. Federal Guidance. Published by R. W. Leggett and K. F. Eckerman. Oak Ridge, Tennessee. 2003. 89 p.

#### References

1. Antonov O. V., Shirinskii V. A., Antonova I. V. Hygienic risk factors for congenital malformations. *Gigiena i Sanitariya*. 2008, 5, pp. 20-22. [In Russian]

2. Antonova I. V., Bogacheva E. V., Kitaeva Yu. Yu. The role of exogenous factors in the formation of congenital malformations. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2010, 6, pp. 30-35. [In Russian]

3. Bruk G. Ya., Bazyukin A. B., Bratilova A. A. et al. Average accumulated for 1986-2016 effective doses of irradiation of residents of settlements of the Russian Federation classified as zones of radioactive contamination by the decree of the Government of the Russian Federation of 08.10.2015 N 1074

«On approval of the List of settlements within the boundaries of zones of radioactive contamination due to the Chernobyl disaster». *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017, 10 (2), pp. 57-105. [In Russian]

4. Bochkov N. P. Modern view on the mutation process in humans. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of Russian Military Medical Academy]. 2008, 36 (23), p. 6. [In Russian]

5. Verzilina I. N., Agarkov N. M., Churnosov M. I. The impact of anthropogenic atmospheric pollution on the frequency of congenital anomalies. *Gigiena i Sanitariya*. 2008, 2, pp. 17-20. [In Russian]

6. Verzilina I. N., Churnosov M. I., Evdokimov V. I. Study of the influence of mineral fertilizers on the morbidity of newborns. *Gigiena i Sanitariya*. 2015, 3, pp. 70-73. [In Russian]

7. Geger' E. V. Methodological basis for the assessment of integrated indicators of technogenic pollution of the Bryansk region. *Problemy regional'noi ekologii* [Regional Environmental Issues]. 2012, 1, pp. 163-170. [In Russian]

8. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2016 godu» [State report "On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2016"]. Moscow, Minprirody Rossii; NIA-Priroda Publ., 2017, 760 p.

9. *Dannye po radioaktivnomu zagryazneniyu territorii naseleennykh punktov Rossiiskoi Federatsii ceziem-137, stronciem-90 i plutoniem-239+240* [Data on radioactive contamination of the territory of settlements of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240]. Ed. S. M. Vakulovskii. Obninsk, 2015, 225 p.

10. Demikova N. S., Handogina E. K., Vorob'eva L. M. et al. Comparative analysis of congenital malformations in the regions of nuclear fuel cycle enterprises location. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological genetics]. 2010, 2, pp. 29-34. [In Russian]

11. Zhilenko M. I., Fedorova M. V. The health of pregnant, postpartum women and newborns in the conditions of influence of low doses of radiation. *Akusherstvo i Ginekologiya*. 1999, 1, pp. 20-22. [In Russian]

12. Izrael' Yu. A., Bogdevich I. M. *Atlas sovremennykh i prognoznykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoj AEHS na postradavshih territoriyah Rossii i Belarusi* [Atlas of modern and forecast aspects of the consequences of the Chernobyl accident in the affected areas of Russia and Belarus]. Moscow; Minsk, Infosfera Publ., 2009, 140 p.

13. Ivanov V. K. *Meditsinskie radiologicheskie posledstviya Chernobylya dlya naseleniya Rossii: Otsenka radiatsionnykh riskov* [Medical radiological consequences of the Chernobyl accident for the population of Russia: Estimation of radiation risks]. Moscow, Medicina Publ., 2002, 392 p.

14. Korsakov A. V., Yablokov A. V., Pugach L. I. et al. Dynamics of the frequency of congenital malformations in the children population of the Bryansk region living in conditions of radiation pollution (1991-2012). *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation]. 2014, 6, pp. 49-53. [In Russian]

15. Korsakov A. V., Yablokov A. V., Geger' E. V. et al. The Dynamics of the Frequency of Polydactyly, Reduction Defects of Limbs and Multiple Congenital Malformations in Newborns of Radioactively Contaminated Areas of the Bryansk Region (1999–2014). *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology]. 2016, 56 (0), pp. 397-404. [In Russian]

16. Korsakov A. V., Mihalev V. P. Comprehensive environmental and hygienic assessment of the environment as a risk factor for health. *Problemy regional'noi ekologii* [Regional Environmental Issues]. 2010, 2, pp. 172-181. [In Russian]

17. Lazyuk G. I., Nikolaev D. L., Hmel' R. D. Irradiation of the population of Belarus as a result of the Chernobyl accident and the dynamics of congenital malformations. *Mezhdunarodnyi zhurnal radiatsionnoi meditsiny* [International journal of radiation medicine]. 1999, 1, pp. 63-70. [In Russian]

18. Lazyuk G. I., Nikolaev D. L., Hmel' R. D. Absolute number and frequency of congenital malformations of strict accounting in some regions of Belarus. *Mediko-biologicheskie aspekty avarii na Chernobyl'skoi AES* [Medical and biological aspects of the Chernobyl accident], 1999, 1, pp. 15-17. [In Russian]

19. Muratova N. A. *Goroda i raiony Bryanskoi oblasti (statisticheskii sbornik)* [Cities and districts of Bryansk region (statistical collection)]. Bryansk, Office of the Federal state statistics service for the Bryansk region. 2018, 252 p.

20. *Natsional'nyi doklad Respubliki Belarus'. Tridtsat' let Chernobyl'skoi avarii: itogi i perspektivy preodoleniya ee posledstviy* [National report of the Republic of Belarus. Thirty years of the Chernobyl accident: results and prospects of overcoming its consequences]. Minsk, 2016, 116 p.

21. *Natsional'nyi doklad Ukrainy. Dvadsat' pyat' let Chernobyl'skoi katastrofy. Bezopasnost' budushchego* [National report of Ukraine. Twenty-five years of the Chernobyl disaster. Security of the future]. Kiev, 2011, 368 p.

22. Onishchenko G. G. Radiation hygienic consequences of the accident at the Chernobyl NPP and the tasks of their minimization. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009, 2, pp. 5-13. [In Russian]

23. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 08.10.2015 N 1074. Perechen' naseleennykh punktov, nakhodyashchikhsya v granitsakh zon radioaktivnogo zagryazneniya vsledstvie katastrofy na Chernobyl'skoi atomnoi elektrostantsii* [List of settlements located within the boundaries of radioactive contamination zones as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster]. Available at: <http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-08102015-n-1074/> (accessed: 10.11.2018).

24. *Reiting ekologicheskogo razvitiya gorodov Rossii v 2017 godu (po dannym Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF)* [Environmental development rating of Russian cities in 2017 (according to the Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation)]. Available at: <https://nangs.org/analytics/minprirody-rossii-rejting-ekologicheskogo-razvitiya-rossijskikh-gorodov-v-2016-g-pdf> (accessed: 10.11.2018).

25. *Rossiiskii natsional'nyi doklad. Tridtsat' let Chernobyl'skoi avarii. Itogi i perspektivy preodoleniya ee*

*posledstviy v Rossii (1986-2016)* [Russian national report. Thirty years of the Chernobyl accident. Results and prospects of overcoming its consequences in Russia (1986-2016)]. Moscow, 2016, 202 p.

26. Trifonova T. A., Martsev A. A. Assessment of the influence of air pollution on the morbidity of the population of the Vladimir region. *Gigiena i Sanitariya*. 2015, 4, pp. 14-18. [In Russian]

27. Yablokov A. V. On the concept of population cargo (review). *Gigiena i Sanitariya*. 2015, 6, pp. 11-14. [In Russian]

28. Yablokov A. V., Nesterenko V. B., Nesterenko A. V. et al. *Chernobyl': posledstviya Katastrofy dlya cheloveka i prirody (shestoe izdanie, dopolnennoe i pererabotannoe)* [Chernobyl: consequences of the Disaster for man and nature (sixth edition, updated and revised)]. Moscow, 2016, 826 p.

29. BEIR VII Phase 2. 2006. *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council*. The National Academies Press, 423 p.

30. Brechignac F., Oughton D., Mays C. et al. Addressing ecological effects of radiation on populations and ecosystems to improve protection of the environment against radiation: Agreed statements from a Consensus Symposium. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016, 158-159, pp. 21-29.

31. EUROCAT. *Instructions for the Registration and Surveillance of Congenital Anomalies*. 2005. Available at: <http://www.europeristat.com/images/doc/EPHR/european-perinatal-health-report.pdf> (accessed: 10.11.2018)

32. Dolk H., Nichols R. Evaluation of the impact of Chernobyl on the prevalence of congenital anomalies in 16 regions of Europe. *Int. J. Epidemiol.* 2000, 3, pp. 596-599.

33. Dolk H. *A review of environmental risk factors for congenital anomalies*. EUROCAT special report, 2004, pp. 89-92.

34. Holtgrewe M., Knaus A., Hildebrand G. et al. Multisite de novo mutations in human offspring after paternal exposure to ionizing radiation. *Scientific Reports*. 2018, 8, p. 14611.

35. ICRP. 2003. *Dosimetric Significance of the ICRP's Updated Guidance and Models (1989-2003) and Implications for U.S. Federal Guidance*. Published by R. W. Leggett and K. F. Eckerman. Oak Ridge, Tennessee, 2003, 89 p.

#### Контактная информация:

Гегерь Эмилия Владимировна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ «Экология человека и анализ данных в техносфере», профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и химия» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Адрес: 241035, г. Брянск, Бульвар 50-летия Октября, д. 7  
E-mail: naser@bkdc.ru