

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕРТНОСТИ ДЕТЕЙ ОТ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИОАКТИВНОМУ И ХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

А. А. Живодеров, Л. Г. Коньшина

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

На радиоактивно загрязненных территориях Челябинской области в результате деятельности ПО «Маяк» существенно повышен уровень детской онкологической смертности. Целью исследования было изучение статистических показателей детской смертности от онкологических заболеваний на рассматриваемых территориях и выявление влияния на нее выбросов радиоактивных и химических загрязнителей. Для обработки данных были применены методы математической статистики, такие как дисперсионный анализ, построение доверительных интервалов для отношений шансов, вычисление коэффициентов ранговой корреляции. По результатам проведенного исследования можно констатировать, что в период с 1947 до 1976 г. существует значимое ($p < 0,1$) влияние фактора близости территории к ПО «Маяк» на уровень смертности детей от онкологических заболеваний. В период после 1976 г. такое влияние достоверно не обнаруживается, зато выявляется значимая ($p < 0,1$) корреляция уже между степенью близости территории к Аргаяшской ТЭЦ и уровнем онкологической смертности детей. До 1976 г. такая корреляция не проявлялась. На исследованных территориях Челябинской области за время наблюдения произошло значительное перераспределение величины детской смертности от онкологических заболеваний. Если в период до 1976 г. максимальная смертность наблюдалась в районах, прилегающих к ПО «Маяк», то в период после 1976 г. – на территориях вблизи Аргаяшской ТЭЦ. Выявлена большая чувствительность к воздействию факторов риска развития онкологических заболеваний у мальчиков по сравнению с девочками. Наряду с хроническим радиационным воздействием показана существенная роль химической канцерогенной нагрузки в росте детской онкологической смертности.

Ключевые слова: статистический анализ; дети; смертность; злокачественные новообразования.

1. Введение

Часть территории Челябинской области с конца 1940-х до конца 1960-х гг. была значительно загрязнена радиоактивными веществами, выбрасываемыми производственным объединением (ПО) «Маяк». Кроме того, с конца 1940-х по 1952 г. имели место практически неконтролируемые сбросы радиоактивных веществ в р. Течу. Нельзя не упомянуть о находящейся поблизости мощной Аргаяшской ТЭЦ (построена в 1954 г.), расположенной в п. Новогорном. В 1960–1990-е гг. выбросы вредных веществ Аргаяшской ТЭЦ достигали 50 тыс. т в год, и она находилась на 6 месте среди наиболее мощных источников загрязнения воздушного бассейна среди предприятий Челябинской области. В северной части области Аргаяшская ТЭЦ является самым крупным загрязнителем атмосферного воздуха. В ее выбросах на протяжении всего периода работы с использованием бурых углей присутствовали такие канцерогены, как бериллий, хром-VI, бенз/а/пирен, кобальт, мышьяк, никель, свинец, формальдегид. О несомненном влиянии Аргаяшской ТЭЦ на рост онкологической смертности детей говорят результаты исследования, согласно которым в 1990-х гг. канцерогенный риск для детского населения на расстоянии от одного до пяти километров от труб предприятия составлял $1,4 \cdot 10^{-2}$ и расценивался как очень высокий и неприемлемый [1]. Логично предположить, что и на территории

Аргаяшского района также имел место значительный канцерогенный риск не только в 1990-е гг., но и в течение всего периода эксплуатации ТЭЦ.

Детский возраст, в силу физиологических особенностей, отличается наиболее высокой радиочувствительностью. Латентный период вызванных облучением злокачественных новообразований (ЗН) может быть довольно небольшим. Минимальный латентный период развития лейкоемий может составлять 1–2 года [2]. Радиационно-обусловленные солидные раки возникают уже спустя 2–5 лет после радиационных аварий [3]. Есть сведения о росте детской смертности от ЗН в первое 10-летие после радиационных инцидентов в ряде районов Оренбургской (испытание на Тоцком полигоне) и Свердловской областей [4, 5]. Показана повышенная заболеваемость и смертность детей от злокачественных новообразований костей, центральной нервной системы, органов пищеварения, мочевых органов, лейкозов, лимфолейкозов в ряде областей России, граничащих с Украиной и Белоруссией, в первые 5–7 лет после аварии на ЧАЭС [6]. В радиоактивно-загрязненных районах Челябинской области максимальная гибель детей от ЗН имела место в г. Касли, Аргаяшском и Каслинском районах [7].

2. Цель исследования

Изучение статистических показателей детской смертности от онкологических заболеваний на рассматриваемых территориях и выявление влияния на нее выбросов радиоактивных и химических загрязнителей.

3. Материалы и методы

В настоящей работе проводились исследования смертности детей от онкологических заболеваний на территориях Челябинской области, подвергшихся загрязнению радиоактивными веществами в середине прошлого века, с использованием данных о детской смертности, опубликованных в наших предыдущих статьях [7, 8]. Детская смертность изучалась за 50-летний период с 1947 по 1996 г. в Касли и Кыштым, и Каслинском, Аргаяшском, Кунашакском и Красноармейском районах (анализировались только населенные пункты, включенные в Федеральную целевую программу «Социальная и радиационная реабилитации населения и территорий Уральского региона, пострадавших вследствие деятельности производственного объединения "Маяк", на период до 2000 года»). Источником информации служили «Актовые записи о смерти» детей, хранящиеся в архивах областного ЗАГСа Челябинской области. Изучались исключительно только те населенные пункты, которые оказались в зоне радиоактивного загрязнения (полученные дозы превышали 7 сЗв), а также в поселках, куда массово отселяли людей. В качестве контрольных территорий использовались усредненные данные по трем сельским районам Челябинской области: Увельскому, Брединскому, Чебаркульскому и по трем городам: Чебаркулю, Усть-Катаву, Нязепетровску, не попавших в зону радиоактивного загрязнения. Выбор контрольных территорий определялся также сопоставимостью по уровню медицинского обслуживания, национальному составу, характеристикам социально-экономического развития, климатическим характеристикам. Из архивных материалов выписывались: пол, год смерти, год рождения, место рождения, причина смерти. Всего проанализировано около 25 000 актовых записей о смерти. Сведения разрабатывались по полу, возрасту, основной причине наступления смерти, адресу. Вычисленные относительные показатели смертности стандартизовались. Нельзя не отметить, что за изучаемый период значительно изменился уровень жизни и медицинского обслуживания населения, однако это происходило параллельно как на загрязненных, так и на контрольных территориях.

Для обработки данных были применены методы математической статистики, такие как дисперсионный анализ, построение доверительных интервалов для

отношений шансов, вычисление коэффициентов ранговой корреляции [9,10]. Исследовалось распределение величины детской смертности от онкологических заболеваний по территориям и ее изменения со временем для выявления влияния деятельности промышленных предприятий на распространенность онкологических заболеваний. Время наблюдения за уровнем детской смертности от онкологических заболеваний было разделено на два периода: 1-й – с 1947 по 1976 г.; 2-й – с 1977 по 1996 г. Эти периоды существенно различаются по уровню и характеру поступления радиоактивных загрязнений от ПО «Маяк» в окружающую среду. В первый период происходили значительные выбросы радиоактивных веществ с территории комбината как в процессе его штатной работы, так и в результате нескольких аварийных инцидентов. Это было связано с несовершенством используемых технологий и систем безопасности предприятия. Во второй период, после модернизации технологического процесса, выбросы радиоактивных веществ радикально уменьшились и крупных аварийных ситуаций больше не возникало. В настоящее время уровень выбросов не превышает фоновых значений [11]. Нами были рассчитаны средние значения детской смертности от онкологических заболеваний за каждый из этих периодов по всем изучаемым территориям.

4. Результаты и обсуждение

Была поставлена задача определить влияние фактора проживания на определенной территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению со стороны ПО «Маяк», на уровень детской смертности от онкологических заболеваний. Для решения такого рода задач эффективно применение методов дисперсионного анализа, однако эти методы требуют наличия нормального распределения у исследуемой количественной переменной. Величина смертности не имеет нормального распределения, но вместе с тем логарифм смертности, как выяснилось, имеет распределение, близкое к нормальному (по критерию Пирсона). Поэтому для построения моделей дисперсионного анализа мы использовали именно эту величину. На рис. 1–3 приведены результаты дисперсионного анализа для логарифма детской смертности от злокачественных новообразований по изучаемым территориям Челябинской области для всех детей в целом и отдельно для мальчиков и девочек в периоды до 1976 г. и после 1976 г. В заголовке каждой диаграммы приведены соответствующие p -значения. Цифрами обозначены: 1 – Каслинский район (0 км), 2 – г. Касли (12 км), 3 – г. Кыштым (14 км), 4 – Аргаяшский район (30 км), 5 – Кунашакский район (50 км), 6 – Красноармейский район (80 км). Территории пронумерованы в порядке удаления от источника радиоактивных загрязнений (ПО «Маяк»). В скобках указаны минимальные расстояния от предприятия до пронумерованной территории (0 км означает, что предприятие расположено непосредственно на этой территории).

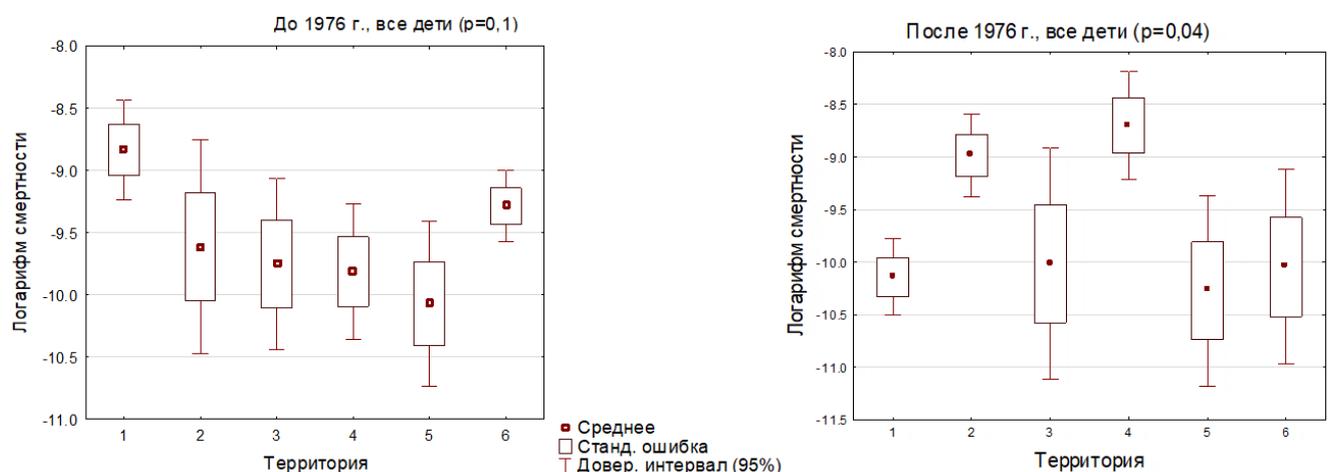


Рис. 1. Детская смертность (логарифм) от онкологических заболеваний

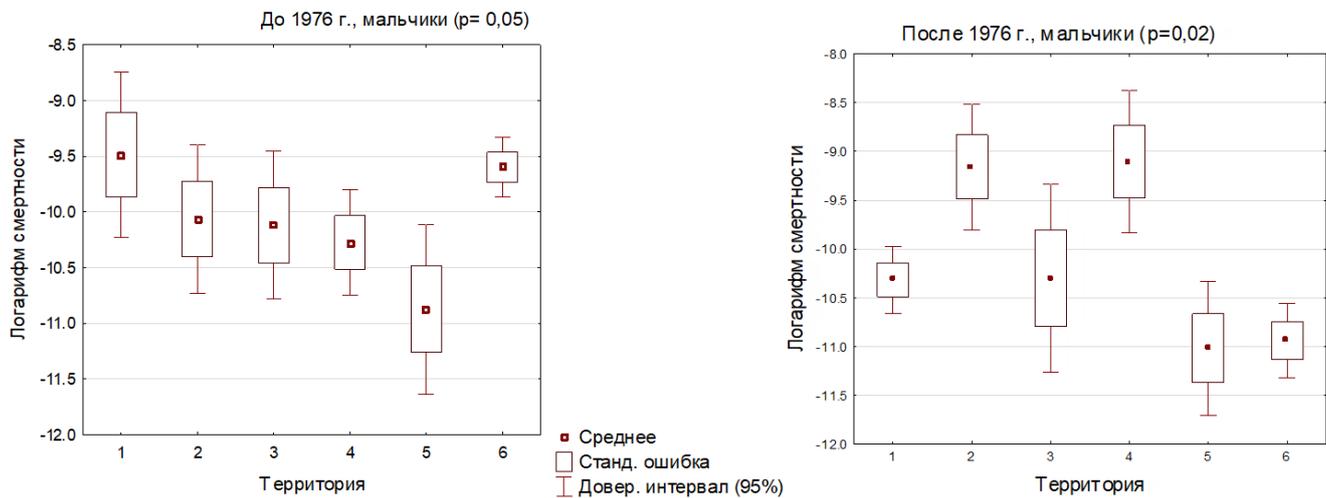


Рис. 2. Смертность мальчиков (логарифм) от онкологических заболеваний

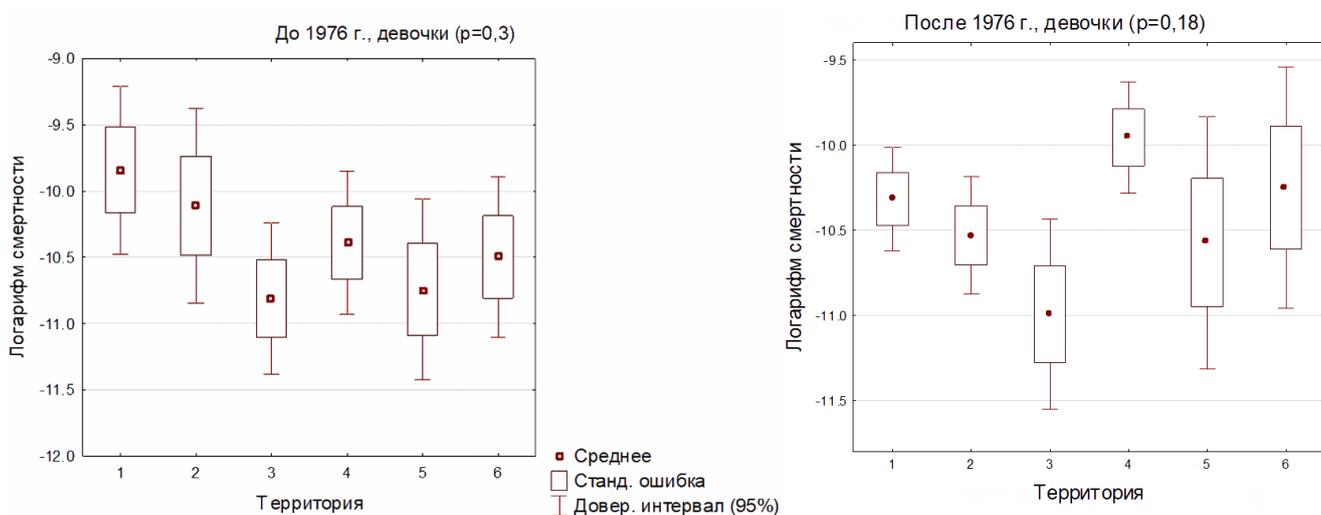


Рис. 3. Смертность девочек (логарифм) от онкологических заболеваний

Как видно из диаграмм, имеются статистически значимые (как минимум на уровне $p < 0,1$) различия уровней смертности на исследованных территориях. В период до 1976 г. прослеживается явная тенденция к уменьшению уровня смертности детей с удалением загрязненного района от ПО «Маяк», исключение составляет только Красноармейский район, по которому протекает р. Теча, куда в 40-е и 50-е гг. прошлого века производился плановый слив жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк». В период после 1976 г. никакой зависимости логарифма детской смертности от расстояния от комбината «Маяк» не наблюдается. Максимальные значения логарифма детской смертности в период до 1976 г. обнаружены в Каслинском районе, расположенном вплотную к промышленной площадке комбината, а в период после 1976 г. – в Аргаяшском районе, находящемся на значительном от него удалении. Возможно, полученные результаты указывают на то, что факторы риска, связанные с выбросами радиоактивных веществ с территории ПО «Маяк» после 1976 г., перестали играть определяющую роль в возникновении онкологических заболеваний.

Рост смертности от онкологических заболеваний в Аргаяшском районе в период после 1976 г. может быть связан с выбросами Аргаяшской ТЭЦ. Эта станция имеет достаточно большую энергетическую мощность (около 1 ГВт по сумме электрической и тепловой энергии) и использует в качестве топлива в т. ч. бурые угли.

Из диаграмм также видно, что различия в уровне смертности по территориям более значимы для мальчиков, чем для девочек.

Для более детального изучения зависимости уровня смертности детей от

онкологических заболеваний по территориям Челябинской области были вычислены отношения шансов смерти по сравнению с контрольными значениями. Для всех исследованных территорий и групп детского населения были вычислены соответствующие отношения шансов и доверительные интервалы для этих отношений. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение детской смертности от онкологических заболеваний с контрольными значениями. Отношения шансов и доверительные интервалы

	Каслинский р-н	г. Касли	г. Кыштым	Аргаяшский р-н	Кунашакский р-н	Красноармей- ский р-н
Близость к ПО «Маяк» (ранг)	1	2	3	4	5	6
Близость к Аргаяшской ТЭЦ (ранг)	3	4	2	1	5	6
До 1976 г.	3,75 (0,72– 17,69) (1,06– 14,86)*	2,64 (0,42– 4,18)	1,78 (0,36– 8,63)	1,44 (0,21– 10,17)	1,21 (0,24– 5,97)	2,18 (0,43– 11,04)
Ранг	1	2	4	5	6	3
После 1976 г.	0,63 (0,03– 13,66)	3,09 (0,54– 17,41)	1,28 (0,24– 6,86)	4,11 (0,83– 20,4) (1,08– 16,77)*	1,00 (0,15– 3,45)	1,19 (0,16– 8,58)
Ранг	6	2	3	1	5	4
До 1976 г., мальчики	6,35 (0,49– 82,3)	3,46 (0,2– 58,8)	3,67 (0,3– 44,94)	2,36 (0,11– 47<3)	2,27 (0,16– 31,4)	4,71 (0,37– 59,18)
Ранг	1	4	3	5	6	2
После 1976 г., мальчики	0,95 (0,01– 88,37)	4,25 (0,33– 54,62)	2,89 (0,21– 38,17)	8,92 (0,72– 109,8) (1,08– 73,38)*	1,00 (0,04– 24,54)	0,51 (0,005– 47,19)
Ранг	5	2	3	1	4	6
До 1976 г., девочки	2,17 (0,25– 18,8)	1,85 (0,2– 18,8)	0,82 (0,08– 7,94)	1,18 (0,09– 14,87)	1,55 (0,19 – 12,06)	1,04 (0,1– 10,72)
Ранг	1	2	6	4	3	5
После 1976 г., девочки	0,47 (0,007– 32,98)	0,38 (0,005– 26,6)	0,57 (0,004– 7,26)	4,46 (0,64– 30,87)	1,00 (0,1– 9,61)	1,27 (0,11– 13,7)
Ранг	5	6	4	1	3	2

*- $p < 0,1$.

Как видно из табл. 1, наибольшее превышение смертности над контролем до 1976 г. наблюдалось в Каслинском районе, а после 1976 г. – в Аргаяшском. Для статистически значимых (на уровне значимости $p < 0,1$) превышений в таблице приведены 95- и 90-процентные доверительные интервалы, а для всех остальных отношений шансов только 95- процентные доверительные интервалы. Можно видеть также, что уровень смертности у мальчиков, как правило, выше, чем у девочек.

Далее проведено ранжирование исследованных территорий по степени их близости к источнику радиоактивных загрязнений (ПО «Маяк») и по уровню смертности детей от онкологических заболеваний на них. Соответствующие ранги приведены в табл. 1. По этим рангам вычислены коэффициенты ранговой корреляции Спирмена [10] между фактором близости территории к источнику радиоактивных загрязнений и уровнем смертности детей на ней в периоды до 1976 г. и после 1976 г. Эти коэффициенты и p -значения для них приведены в табл.2.

Таблица 2. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для зависимостей детской смертности от степени близости территории к источнику радиоактивных загрязнений (ПО «Маяк»)

	До 1976 г.		После 1976	
	Spearman - R	p-значение	Spearman - R	p-значение
Все дети	0,66	0,09	-0,08	0,9
мальчики	0,37	0,4	0,25	0,6
девочки	0,60	0,2	-0,77	0,07

По значениям коэффициентов Спирмена можно видеть, что в период до 1976 г. существует статистически значимая ($p < 0,1$) ранговая корреляция между степенью близости территории к ПО «Маяк» и уровнем смертности детей от онкологических заболеваний на этой территории. В период после 1976 г. такая корреляция отсутствует или даже в некоторых случаях становится обратной, как например для девочек. В этих случаях, по-видимому, сказывается влияние каких-то иных факторов риска развития онкологических заболеваний, возможно, выбросов химических канцерогенов другими предприятиями.

Для проверки предположения о влиянии в период после 1976 г. выбросов продуктов сжигания бурого угля Аргаяшской ТЭЦ на детскую онкологическую смертность мы провели ранжирование исследованных территорий по степени их близости к Аргаяшской ТЭЦ. Ранги также показаны в табл. 1. Были вычислены соответствующие коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для зависимостей детской смертности от степени близости территории к Аргаяшской ТЭЦ

	До 1976 г.		После 1976 г.	
	Spearman - R	p-значение	Spearman - R	p-значение
Все дети	-0,14	0,8	0,71	0,09
мальчики	-0,25	0,6	0,88	0,02
девочки	-0,14	0,8	0,03	0,95

По этим данным видно, что в период после 1976 г. существует статистически значимая ($p < 0,1$) ранговая корреляция уже между степенью близости территории к Аргаяшской ТЭЦ и уровнем онкологической смертности детей. В период до 1976 г. такая корреляция отсутствует. Корреляционные эффекты более выраженными оказались для мальчиков.

Для более наглядной демонстрации полученного эффекта мы перестроили диаграммы дисперсионного анализа, приведенные на рис.1–3, перенумеровав исследованные территории Челябинской области в порядке удаления от Аргаяшской ТЭЦ (рис. 4–6). Цифрами на диаграммах обозначены: 1 – Аргаяшский район (0 км), 2 – г. Кыштым (25 км), 3 – Каслинский район (35 км), 4 – г. Касли (45 км), 5 – Кунашакский район (50 км), 6 – Красноармейский район (80 км). В скобках указаны минимальные расстояния от предприятия до пронумерованной территории (0 км означает, что предприятие расположено непосредственно на этой территории).

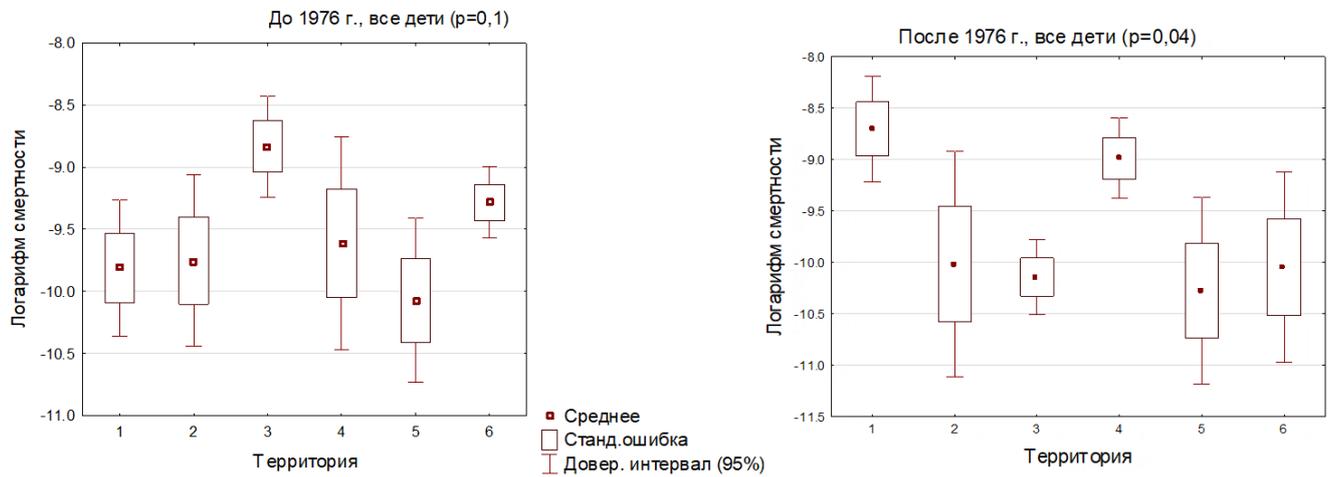


Рис. 4. Детская смертность (логарифм) от онкологических заболеваний по территориям Челябинской области

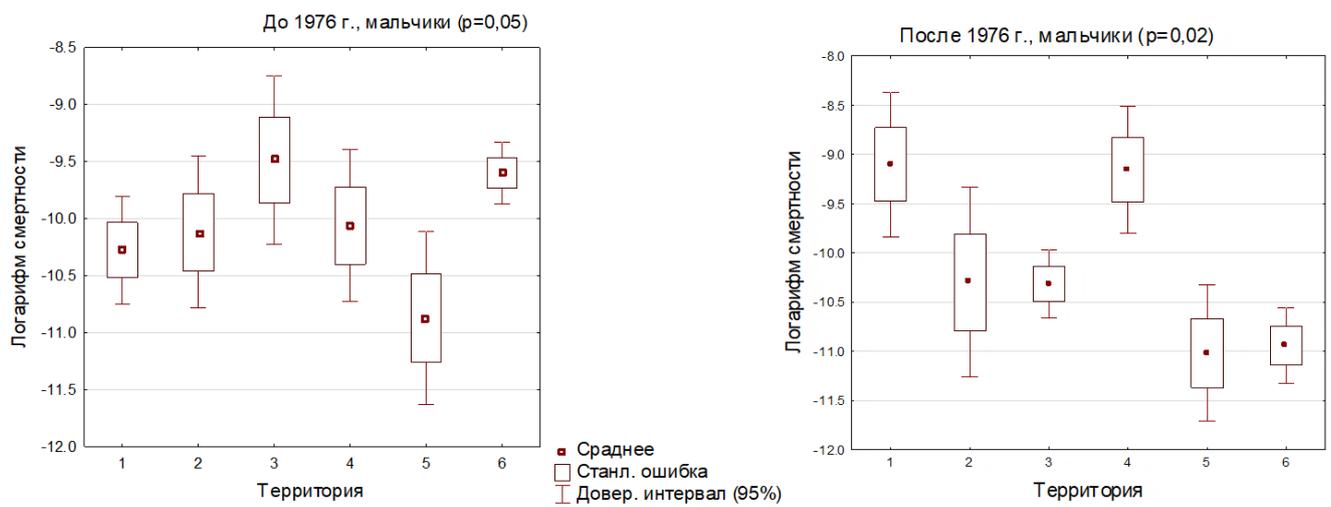


Рис. 5. Смертность мальчиков (логарифм) от онкологических заболеваний по территориям Челябинской области

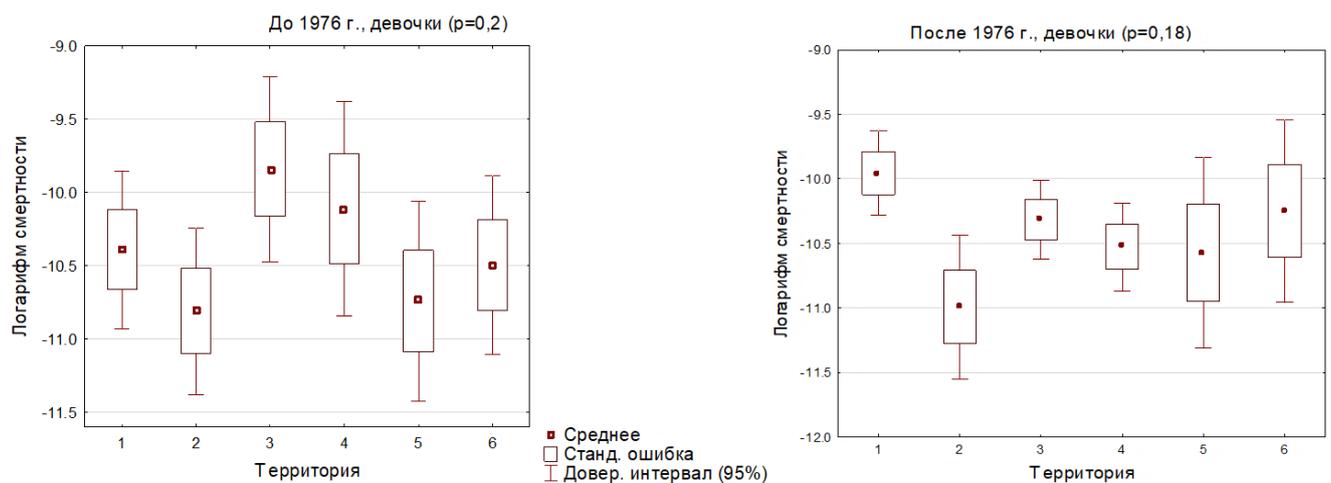


Рис. 6. Смертность девочек (логарифм) от онкологических заболеваний по территориям Челябинской области

Теперь стало видно, что в период после 1976 г. явно проявляется тенденция к уменьшению смертности детей по мере удаления территории их проживания от Аргаяшской ТЭЦ. Исключение составляют только г. Касли, где, по-видимому, все еще

сказывается близость к ПО «Маяк». Из приведенного анализа можно сделать вывод, что в течение периода наблюдения произошло существенное перераспределение детской смертности от онкологических заболеваний по территориям Челябинской области.

Интересно сравнить полученные результаты с выводами из нашей предыдущей работы [8], посвященной анализу смертности населения от рака щитовидной железы на тех же территориях и ее связи с выбросами радиойода с промышленной площадки ПО «Маяк». И в этом случае в период после 1976 г., когда эти выбросы прекратились, произошло значительное и повсеместное уменьшение такой смертности. Это говорит о том, что фактор риска, связанный с выбросами радиойода, был определяющим для возникновения и развития рака щитовидной железы.

Что же касается онкологических заболеваний других локализаций, то здесь, по всей видимости, действуют несколько основных факторов риска, разнесенных в пространстве и во времени. С изменением их интенсивности происходит соответствующее перераспределение уровней смертности по территориям. Такими факторами могут быть: 1 - выбросы радиоактивных веществ с территории ПО «Маяк», и 2 - выбросы химических канцерогенов от Аргаяшской ТЭЦ.

Мероприятия по модернизации технологических процессов и совершенствованию систем безопасности, проведенные на ПО «Маяк» и обеспечившие значительное сокращение выбросов радиоактивных веществ, оказали существенное положительное влияние на ситуацию с онкологическими заболеваниями у населения. Значительно снизилась смертность людей от рака щитовидной железы [8], и произошло существенное перераспределение величины смертности детей от онкологических заболеваний по территориям, а также снижение смертности в районах, примыкающих к ПО «Маяк», и одновременно повышение на территориях, прилегающих к Аргаяшской ТЭЦ. Это указывает на целесообразность проведения на Аргаяшской ТЭЦ мероприятий по снижению выбросов химических канцерогенных веществ, выделяющихся при сжигании топлива, для уменьшения риска развития онкологических заболеваний у населения прилегающих территорий.

5. Выводы

1. На исследованных территориях Челябинской области за время наблюдения произошло значительное перераспределение величины детской смертности от онкологических заболеваний по территориям. Если в период до 1976 г. максимальная смертность наблюдалась в районах, прилегающих к ПО «Маяк», то в период после 1976 г. – на территориях вблизи Аргаяшской ТЭЦ.
2. Выявлена бóльшая чувствительность к воздействию факторов риска развития онкологических заболеваний у мальчиков по сравнению с девочками.
3. Наряду с хроническим радиационным воздействием показана существенная роль химической канцерогенной нагрузки в росте детской онкологической смертности.

6. Список литературы

1. Каткова, М. Н. Оценка химического риска для населения, проживающего в зоне влияния радиационного объекта (на примере п. Новогорного Челябинской области) / М. Н. Каткова, М. В. Иваницкая // Радиация и риск. – 2008. – 17 (4): 67–77.
2. Крестинина, Л. Ю. Онкологическая смертность при хроническом воздействии «малых» и «средних» доз облучения в когорте лиц, облученных на ВУРС / Л. Ю. Крестинина, А. В. Аклеев // Бюллетень Сибирской медицины. – 2005. – 2: 36–45.
3. ВОЗ. Медицинские последствия Чернобыльской аварии: обзор. Информационный бюллетень. 2006, 303. – URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs303/ru/> (Дата обращения:)
4. Скачков, М. В. Ретроспективный анализ смертности населения в регионе Тоцкого ядерного взрыва / М. В. Скачков, А. Ш. Альмишева, Е. Н. Тюрин // Гигиена и санитария. – 2003. – 1: 40-2.

5. *Коньшина, Л. Г.* Смертность от гемобластозов и злокачественных новообразований костной ткани у населения, проживающего на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в Свердловской области / Л. Г. Коньшина, И. В. Ярмошенко // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2007. – 4: 8–12.
6. *Двойрин, В. В.* Злокачественные новообразования детей в регионах, подверженных радиационному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС / В. В. Двойрин, Е. М. Аксель // Радиация и риск. – 1995. – 6: 156–183.
7. *Коньшина, Л. Г.* Онкологическая смертность детского населения на территориях Челябинской области, пострадавших от радиационных аварий / Л. Г. Коньшина, Л. Л. Липанова // Гигиена и санитария. 2022. – 101(6): 662-9. – URL: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-662-669> (Дата обращения: ...).
8. *Коньшина, Л. Г.* Смертность от злокачественных новообразований щитовидной железы на территориях в Челябинской, Свердловской и Курганской областях, пострадавших от радиационных аварий / Л. Г. Коньшина, А. А. Живодеров // Траектория исследований: человек, природа, технологии [сетевой журнал] 2022. – 4: 88–101.
9. *Fletcher, R. H.* Clinical epidemiology: The essentials / R. H. Fletcher, S. W. Fletcher– Lippincott Williams & Wilkins, 2012. – 272 p. – ISBN 978-1451144475.
10. *Майерс, Дж. Л.* Дизайн исследования и статистический анализ / Дж. Л. Майерс, А. Д. Уэлл. – 2-е изд. – Эрлбаум. 2003. – 508 с. – ISBN 978-0-8058-4037-7
11. Радиозэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Государственной корпорации по атомной энергии / С. В. Панченко, М. В. Ведерникова, И. И. Линге [и др.]; под ред. И. И. Линге, И. И. Крышева. – М. : Росатом, 2021. – 555 с.

Сведения об авторах:

Живодеров Андрей Алексеевич, к. физ.-мат. н., старший научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта: csl@cbibl.uran.ru

Коньшина Лидия Геннадьевна, к. м. н., старший научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

THE STUDY OF THE MORTALITY OF CHILDREN FROM CANCER IN THE TERRITORIES OF THE CHELYABINSK REGION EXPOSED TO RADIOACTIVE AND CHEMICAL CONTAMINATION BY METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS

A. A. Zhivoderov, L. G. Kon'shina

Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia

In the territories of the Chelyabinsk Region that are radioactively contaminated, as a result of the activities of the Mayak project, the level of pediatric cancer mortality has significantly increased. To study the statistical indicators of infant mortality from cancer in the territories under consideration and to identify the impact of radioactive and chemical pollutants on it. Methods of mathematical statistics were used for data processing, such as analysis of variance, construction of confidence intervals for odds ratios, calculation of rank correlation coefficients. According to the results of the study, it can be stated that in the period up to 1976, there is a significant ($p < 0.1$) influence of the proximity factor of the territory to the Mayak software on the mortality rate of children from cancer. In the period after 1976, such an influence is not reliably detected. In the period after 1976 a significant ($p < 0.1$) correlation is already revealed between the degree of proximity of the territory to the Argayash thermal power plant and the level of oncological mortality of children. In the period before 1976, such a correlation did not appear. In the studied territories of the Chelyabinsk region, during the observation period, there was a significant redistribution of the value of infant mortality from cancer. If in the period before 1976, the maximum mortality was observed in the areas adjacent to the Mayak software, then in the period after 1976 – in the territories near the Argayash thermal power plant. Revealed greater sensitivity to the effects of risk factors for cancer in boys compared with girls. Along with chronic radiation exposure, the significant role of chemical carcinogenic load in the growth of pediatric cancer mortality is shown.

Key words: statistical analysis, children, mortality, malignant neoplasms

References

1. *Katkova, M. N.* Assessment of chemical risk for the population living in the zone of influence of a radiation object (on the example of Novogorny settlement of the Chelyabinsk region) / M. N. Katkova, M. V. Ivanickaja // Radiacija i risk. – 2008, 17(4): 67–77. [in Russian]
2. *Krestinina, L. Ju.* Oncological mortality due to chronic exposure to "small" and "medium" doses of radiation in a cohort of people exposed to East Ural radioactive trace (EURT). / L. Ju. Krestinina, A. V. Akleev // Bjulleten' Sibirskoj mediciny. – 2005, 2: 36–45. [in Russian]
3. WHO. Medical consequences of the Chernobyl accident: an overview. Informacionnyj bjulleten' 2006, 303. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs303/ru/>
4. *Skachkov, M. V.* Retrospective analysis of population mortality in the Totsky nuclear explosion region. / M. V. Skachkov, A. Sh. Al'misheva, E. N. Tjurin // Gigiena i sanitariya. – 2003, 1: 40–42. [in Russian]
5. *Kon'shina, L. G.* Mortality from hemoblastosis and malignant neoplasms of bone tissue in the population living on the territory of the East Ural radioactive trace in the Sverdlovsk region. / L. G. Kon'shina, I. V. Jarmoshenko // Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki. – 2007, 4: 8–12. [in Russian]
6. *Dvojrjn, V. V.* Malignant neoplasms of children in regions exposed to radiation pollution as a result of the Chernobyl accident. / V. V. Dvojrjn, E. M. Aksel' // Radiacija i risk. – 1995, 6: 156–183. [in Russian]
7. *Kon'shina, L. G.* Oncological mortality of the child population in the territories of the Chelyabinsk region affected by radiation accidents. / L. G. Kon'shina, L. L. Lipanova // Gigiena i sanitariya. – 2022, 101(6): 662–9 <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-6-662-669> [in Russian]
8. *Kon'shina, L. G.* Mortality from malignant neoplasms of the thyroid gland in the territories in the Chelyabinsk, Sverdlovsk and Kurgan regions affected by radiation. / L. G. Kon'shina,

- A. A. Zhivoderov // Traektorija issledovaniy: chelovek, priroda, tehnologii. [setevoj zhurnal]. – 2022, 4: 88-101. [in Russian]
9. *Fletcher, R. H.* Clinical epidemiology: The essentials / R. H. Fletcher, S. W. Fletcher– Lippincott Williams & Wilkins, 2012. – 272 p. – ISBN 978-1451144475,
 10. *Myers, J. L.* Research Design and Statistical Analysis. / J. L. Myers, A. D. Well // Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2003. 508 p. (In Russian)
 11. Radioecological situation in the regions of the location of enterprises State Atomic Energy Corporation. / S V. Panchenko, M. V. Vedernikova, I. I. Linge [et al.]; I. I. Linge, I. I. Krysheva. ed. — Moskow: Rosatom, 2021. – 555 p. (In Russian)