

УДК 614.71+613.155:616-053.6

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ИНГАЛЯЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПОДРОСТКОВ С УЧЕТОМ ДОЛЕВОГО ВКЛАДА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ

Мыльникова И.В., Ефимова Н.В., Кудаев А.Н.

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»,  
Ангарск, Россия

Европейским бюро ВОЗ отмечена важность оценки ингаляционного риска для здоровья детей. Для корректной оценки риска необходимо учитывать не только комплексное воздействие воздушной среды атмосферы и учебных помещений, но и индивидуальность физического развития детей и подростков, в том числе определяющих уровень ингаляционной нагрузки.

**Цель исследования** – изучить риск здоровью подростков, связанный с воздействием химических веществ, поступающих из воздушной среды атмосферы и помещений.

**Материал и методы.** Исследование включает два этапа. Первый этап объединил изучение параметров физического развития 202 подростков 15 лет (92 юношей и 110 девушек) и качества атмосферного воздуха, воздуха учебных помещений. На втором этапе проведена оценка ингаляционного риска с учетом пола, антропометрического профиля и скорости ингаляции. Сценарии ингаляционной экспозиции разработаны для подростков, обучающихся по типовым образовательным программам и не занимающихся в организациях дополнительного образования.

**Результаты.** Применение кластерного анализа позволило объединить подростков разного пола в группы с близкими по значениям антропометрическими признаками. У юношей определены более высокие значения  $HI$ , чем у девушек, что обусловлено значениями жизненной емкости легких и временем экспозиции. Величины  $HI$  в кластерах юношей и девушек занимают интервал значений, соответствующий высокому уровню риска для здоровья подростков ( $HI > 3$ ). Ведущий вклад в величину  $HI$  вносят формальдегид, бенз(а)пирен и взвешенные вещества. Обращает внимание, что вклад в суммарную дозу химических веществ, поступающих в организм в течении суток, наибольший из воздуха школьных помещений.

**Заключение.** Использование персонализированного и риск-ориентированного подходов позволяет получить объективную информацию при оценке риска для здоровья детей и подростков.

**Ключевые слова:** ингаляционный риск, физическое развитие, загрязнение воздушной среды атмосферы и учебных помещений, подростки.

**Для цитирования:** Мыльникова И.В., Ефимова Н.В., Кудаев А.Н. Комплексная оценка ингаляционного риска для здоровья подростков с учетом долевого вклада воздуха помещений. Медицина труда и экология человека. 2022;2:113-127.

**Для корреспонденции:** Мыльникова Инна Владимировна, д.м.н., доцент, ФГБНУ ВСИМЭИ, с.н.с. лаборатории эколого-гигиенических исследований, e-mail:

inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

**Финансирование:** работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2022-10209>

## COMPREHENSIVE INHALATION RISK ASSESSMENT FOR ADOLESCENTS' HEALTH INCLUDING THE SHARING CONTRIBUTION OF INDOOR AIR

Mylnikova I.V., Efimova N.V., Kudaev A.N.

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russia

**Introduction.** The WHO European Office emphasises the importance of inhalation risk assessment for children's health. The aim of the study is to investigate health risks for adolescents associated with exposure to chemicals coming from the outdoor and indoor air.

**Material and methods.** The research includes two stages. The first stage combined the study of the parameters of physical development (92 boys and 110 girls aged 15) and pollution of outdoor and indoor air. At the second stage, the inhalation risk was assessed taking into account gender, anthropometric profile and inhalation rate. Scenarios of inhalation exposure have been developed for adolescents studying according to standard educational programs and not involved in additional education organizations.

**Results.** The use of cluster analysis made it possible to unite adolescents of different sexes into groups with similar anthropometric characteristics. In boys, higher HI values were determined than in girls, which is due to the values of lung capacity and exposure time. Different values of the HI indicator in the clusters of boys and girls occupy the range of values corresponding to the alarming level of risk for the health of adolescents. The leading contribution to the HI value is made by formaldehyde, benzo(a)pyrene, and particulate matters. Contribution to the total dose of chemicals entering the body during the day, the largest from the indoor air of school premises.

**Conclusion.** A personalized and risk-based approach to risk assessment allows to obtain objective information about the danger to the health of children and adolescents.

**Keywords:** inhalation risk, physical development, air pollution, outdoor and indoor air, adolescents.

**Citation:** Mylnikova I.V., Efimova N.V., Kudaev A.N. Comprehensive inhalation risk assessment for adolescents' health including the sharing contribution of indoor air. *Occupational health and human ecology*. 2022;2:113-127.

**Correspondence:** Inna V. Mylnikova, Doctor of Medicine, associate professor, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Senior Researcher at the laboratory of environmental and hygienic research, e-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

**Financing:** The work was carried out within the framework of the funds allocated to fulfill the state task of the VSIMEI.

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2022-10209>

Неудовлетворительное качество атмосферного воздуха городских территорий общепризнанно является одной из основных причин развития хронических неинфекционных заболеваний взрослого и детского населения [1, 2, 3, 4]. Учитывая наибольшую уязвимость детского организма к ингаляционному воздействию химических веществ в гигиенических исследованиях достаточно внимания уделяется оценке загрязнения воздушной среды учебных и жилых помещений [5, 6, 7]. Европейским региональным бюро ВОЗ 16 июня 2021 г. обозначена важность проведения исследований по оценке химических рисков в воздухе с особым вниманием к здоровью детей. В рекомендациях ВОЗ по качеству воздуха (2021) отмечено, что в 2016 г. свыше 550 тыс. случаев смерти в Европейском регионе ВОЗ обусловлены комбинированным воздействием химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе и воздухе помещений [8]. Доказано, что содержание химических соединений на уровне допустимых концентраций оказывает выраженное неблагоприятное влияние на различные системы растущего организма [9, 10, 11].

В связи с этим важное значение приобретают методологические аспекты оценки риска для здоровья детского населения. Многочисленные исследования посвящены оценке значений коэффициентов и индексов общетоксического риска, обусловленного ингаляционным поступлением химических веществ в организм. При этом исследования, учитывающие индивидуальные особенности физического развития, в том числе функции внешнего дыхания, практически отсутствуют. На основании изложенного чрезвычайно важно изучить комплексный ингаляционный риск для здоровья подростков в зависимости от антропометрических особенностей, пола и возраста.

**Цель исследования** – изучить риск здоровью подростков, связанный с воздействием химических веществ, поступающих из воздушной среды атмосферы и помещений.

**Материалы и методы.** Исследование проведено методом естественного гигиенического эксперимента. В исследовании приняли участие 202 подростка 15 лет (92 юношей и 110 девушек), обучающихся в общеобразовательных учреждениях г.Ангарска. Критерии включения: рождение в результате срочных родов от 1-2 неосложненной беременности; перинатальный статус неотягощен неврологической, генетической и другой патологией; принадлежность к славянской этнической группе. Дети обследованы с информированного согласия родителей/опекунов.

Исследование проведено в два этапа. На первом этапе изучены показатели физического развития подростков и качество атмосферного воздуха, воздуха учебных помещений.

Физическое развитие подростков определяли с применением антропометрических методов для оценки соматометрических (длины и массы тела, окружности грудной клетки в покое, на вдохе и выдохе) и физиометрических показателей (жизненной емкости легких). Показатель внешнего дыхания – ЖЕЛ регистрировали с помощью спирометра Microlab (MicroMedical, United Kingdom). Для характеристики физического развития рассчитывали индексы: индекс массы тела (ИМТ, у.е.); индекс Пинье (ИП, у.е.); экскурсию грудной клетки (ЭГК, см); жизненный индекс Котельмана и Мак-Дональда (ЖИ, мл/кг).

Для изучения скорости ингаляции проводили тест на восстановление после восхождения на ступеньку в течение 2 минут с частотой 60 восхождений в 1 минуту. Высоту ступеньки подбирали в соответствии с длиной ноги. При выполнении нагрузочного теста определяли частоту дыхания (ЧД, у.е.) в покое и при нагрузке.

Качество воздушной среды оценивали по данным ФГБУ «Иркутское УГМС» и результатам ранее проведенных исследований, выполненных в лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ ВСИМЭИ (зав. лаб. к.б.н. О.М. Журба). Уровень загрязнения атмосферного воздуха в г.Ангарске оценивали по среднемесячным и среднегодовым данным постов наблюдения за 2017-2021 годы в сравнении со среднесуточными и среднегодовыми ПДК соответственно [12]. Анализировали содержание взвешенных веществ, оксида серы, оксида углерода, диоксида азота, формальдегида, фтористого водорода, фенола. Качество воздушной среды помещений изучали по результатам измерений, проведенных в кабинетах 5 школ. Отбор проб проводили после 2-3-го урока при закрытых форточках (до проветривания) в течение 20 минут по трем точкам (у доски, в центре и конце класса на партах), на высоте 1,2 м от уровня пола. Объем исследований составил 1089 проб воздуха учебных помещений.

Второй этап исследований представлен комплексной оценкой ингаляционного риска для здоровья сформированных групп подростков, подвергающихся воздействию химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе и воздухе учебных помещений. Оценка общетоксического риска для здоровья детей, а также расчет коэффициентов и индексов опасности (HQ и HI) выполнены в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» Р 2.1.10.1920-04. HQ и HI рассчитывали по нескольким сценариям, разработанным с учетом результатов физиологического обследования и анкетирования. В качестве референтных величин для поступающих веществ использовали дозу (RfD), рассчитанную из соответствующих концентраций.

Сценарии ингаляционной экспозиции разработаны для девушек и юношей 15 лет, обучающихся в организациях основного среднего образования в 1-ю смену по типовым программам и не занимающихся в организациях дополнительного образования. Анализ расписания учебных занятий показал, что учащиеся занимаются 6 дней по 6 уроков в день 34 недели. Исходя из этого рассчитано время пребывания в кабинетах информатики – 0,2 часа в сут., в спортивных залах – 0,2 ч/сут., в прочих учебных кабинетах, где статистически значимых различий по содержанию химических веществ выявлено не было, – 4,9 ч/сут. В соответствии с данными анкет время нахождения на открытом воздухе, включая время на дорогу в школу и домой, для девушек составило 3 часа в сутки, для юношей – 4 ч/сут., а нахождение в жилых помещениях – 15,7 и 14,7 ч/сут. соответственно. По результатам спирометрии в покое и во время физической нагрузки (1-й этап степ-теста) рассчитана скорость ингаляции для атмосферного воздуха, нахождении в учебных и жилых помещениях и занятиях в спортзале по 4 кластерам юношей и девушек.

Статистический анализ проводили с использованием пакета прикладных программ STATISTICA, версия 10.0 для MS Windows. Комплекс индексов физического развития

подростков обработали методами кластерного анализа (иерархическим – для определения количества кластеров, k-means – для интерпретации и профилирования кластеров). Характер распределения значений анализируемых показателей в кластерах оценивали по результатам теста Колмогорова-Смирнова. Исследуемые показатели представлены средними значениями и стандартными отклонениями ( $M \pm \sigma$ ). Статистическую значимость различий показателей между кластерами оценивали с применением t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Критической величиной уровня значимости различий считали  $p < 0,05$ . Ряды измерений химических веществ в атмосферном воздухе и воздушной среде учебных помещений проверили на нормальность распределения методом Шапиро-Уилка. Для расчета дозы учитывали средние концентрации примесей в воздухе атмосферы и помещений.

**Результаты.** Проведение иерархической кластеризации выявило в группах мальчиков и девочек по 5 кластеров. Интерпретация и профилирование кластеров с помощью метода k-means показали, что один из кластеров как у мальчиков, так и у девочек образован подростками с ожирением. Поэтому из дальнейшего исследования подростки, входящие в данные кластеры, были исключены.

Оценка *индивидуальных характеристик физического развития у юношей* выявила преобладание подростков с гармоничным физическим развитием в 1-, 2- и 3-м кластерах ( $61,6 \pm 13,5$ ,  $76,5 \pm 7,3$  и  $60 \pm 10,9\%$  соответственно). Обращает внимание, что в 3-м и 4-м кластерах выявлены юноши, имеющие гармоничное физическое развитие с отставанием в возрасте ( $10 \pm 6,7$  и  $14,3 \pm 7,6\%$  соответственно). Четвертый кластер образован преимущественно юношами с дефицитом массы тела –  $47,5 \pm 10,9\%$ . Тогда как удельный вес юношей во 2-м и 3-м кластерах составляет  $11,7 \pm 5,5$  и  $20 \pm 8,9\%$  соответственно. Повышенная длина тела отмечена в 1-, 2- и 4-м кластерах – у  $15,4 \pm 10$ ,  $5,9 \pm 4$  и  $9,6 \pm 6,4\%$  соответственно. Вариант пониженной длины тела выявлен во 2-, 3- и 4-м кластерах – у  $5,9 \pm 4$ ,  $10 \pm 6,7$  и  $9,6 \pm 6,4\%$  соответственно.

Антропометрический профиль юношей 1-го кластера характеризуется по индексу Пинье – гиперстеническим телосложением, по ИМТ – избыточной массой тела, по показателю экскурсии грудной клетки – средним развитием грудной клетки, по жизненному индексу – уровень развития аппарата внешнего дыхания ниже среднего (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика физического развития юношей в разных кластерах ( $M \pm \sigma$ )

Table 1

Characteristics of the physical development of girls in different clusters ( $M \pm \sigma$ )

Показатели и индексы	1-й кластер (n=13)	2-й кластер (n=34)	3-й кластер (n=20)	4-й кластер (n=21)	Достоверность различий
Рост, см	176,7±5,2	172±5,1	169±6,2	168,5±8,7	<sup>1-2</sup> p = 0,008 <sup>1-3</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,004
Вес, кг	76,2±6,6	59,5±4,9	54,8±5,8	51,7±7,2	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,003 <sup>2-4</sup> p = 0,000
Окружность грудной клетки в покое, см	92,7±4,3	82,6±3	78,6±3,2	76,6±4	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>2-4</sup> p = 0,000
Окружность грудной клетки на вдохе, см	97,7±4,2	88,1±3,2	84,2±3,2	82,2±4,3	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>2-4</sup> p = 0,000
Окружность грудной клетки на выдохе, см	91,8±4,2	81,7±3	77,8±2,9	75,9±4	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>2-4</sup> p = 0,000
Жизненная емкость легких, л	4,1±0,8	3,5±0,5	3,5±0,7	3,2±0,7	<sup>1-2</sup> p = 0,006 <sup>1-4</sup> p = 0,006
Индекс массы тела, у.е.	24,4±1,7	20,1±1,3	19,2±1,3	18,1±1,4	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,013 <sup>2-4</sup> p = 0,000 <sup>3-4</sup> p = 0,019

Индекс Пинье, у.е.	7,8±3,1	29,9±5,6	35,5±5,6	40,2±6,7	1-2 p = 0,000 1-3 p = 0,000 1-4 p = 0,000 2-3 p = 0,000 2-4 p = 0,000 3-4 p = 0,020
Экскурсия грудной клетки, см	5,9±1,9	6,4±1,6	6,4±1,4	6,3±1,6	-
Жизненный индекс, мл/кг	53,5±11,4	59±7,4	64,5±12,1	62,3±9,4	1-3 p = 0,014 1-4 p = 0,021 2-3 p = 0,045

Юноши, образовавшие 2-й кластер, имели по индексу Пинье – нормостеническое телосложение, по ИМТ – нормальную массу тела, по параметру экскурсии грудной клетки – средний уровень развития грудной клетки, по жизненному индексу – средний уровень развития аппарата внешнего дыхания. Третий и четвертый кластеры образованы юношами, имеющими астеническое телосложение (по индексу Пинье), нормальную массу тела (по ИМТ), средний уровень развития грудной клетки (по ЭГК) и уровень развития аппарата внешнего дыхания выше среднего (по ЖИ).

Оценка индивидуальных *антропометрических параметров у девушек* показала, что удельный вес лиц с гармоничным физическим развитием составляет в 1-м и 2-м кластерах – по 65,4±9,3%, в 3-м – 87,5±8,3%, в 4-м – 50±9,4%. Наиболее распространенный вариант дисгармоничного развития – отклонения длины тела от значений физиологической нормы. Повышенная длина тела отмечена в 1-м кластере у 23,1±8,3% девушек, во 2-м – у 7,7±5,2%, в 4-м – у 17,8±7,2%. Вариант пониженной длины тела выявлен в 1-м кластере – у 11,5±6,2% девушек, во 2-м кластере – у 15,4±7,1%, в 3-м и 4-м – у 12,5±8,3 и 21,4±7,7% соответственно.

Обобщенные характеристики физического развития у девушек в соответствии с распределением на кластеры представлены в таблице 2. Физическое развитие девушек, объединенных 1-м и 3-м кластерами, характеризуется нормостеническим телосложением, во 2-м и 4-м кластерах – астеническим телосложением (по индексу Пинье). Развитие грудной клетки по показателю экскурсии грудной клетки оценивается как слабое. При этом развитие аппарата внешнего дыхания, согласно жизненному индексу, у девушек 1-го и 3-го кластера соответствует среднему уровню, 2-го и 3-го кластера – уровню выше среднего и высокому уровню соответственно. Нормальная масса тела по ИМТ отмечена у всех обследованных девушек.

Таблица 2

Характеристика физического развития девушек в разных кластерах ( $M \pm \sigma$ )

Table 2

Characteristics of the physical development of girls in different clusters ( $M \pm \sigma$ )

Показатели и индексы	1-й кластер (n=26)	2-й кластер (n=26)	3-й кластер (n=16)	4-й кластер (n=28)	Достоверность различий
Рост, см	162,9±4,5	162,8±5,9	162,5±4,3	163,3±7,7	-
Вес, кг	57,9±4,7	51,1±4,6	55,6±3,2	49,3±6,4	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,001 <sup>3-4</sup> p = 0,000
Окружность грудной клетки в покое, см	81,2±3,5	71,8±4,3	78,1±4,8	71,8±4,5	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,018 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>3-4</sup> p = 0,000
Окружность грудной клетки на вдохе, см	85,3±3,7	76,3±4,4	82,6±5,4	76,2±4,9	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>3-4</sup> p = 0,000
Окружность грудной клетки на выдохе, см	80,5±3,3	71,2±4,4	77,5±4,9	70,8±4,6	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,022 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>3-4</sup> p = 0,000
Жизненная емкость легких, л	2,9±0,5	2,7±0,4	2,7±0,3	2,8±0,7	-
Индекс массы тела, у.е.	21,8±1,4	19,3±1,5	21,1±1,2	18,4±1,4	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>2-4</sup> p = 0,034 <sup>3-4</sup> p = 0,000
Индекс Пинье, у.е.	23,7±5,7	39,9±6,1	28,7±5,4	42,1±6,8	<sup>1-2</sup> p = 0,000 <sup>1-3</sup> p = 0,007 <sup>1-4</sup> p = 0,000 <sup>2-3</sup> p = 0,000 <sup>3-4</sup> p = 0,000
Экскурия грудной клетки, см	4,9±1,5	5,1±1,7	5,1±1,2	5,4±1,7	-
Жизненный индекс, мл/кг	49,5±9,5	53,9±7,5	49,4±5,8	57,2±5,4	<sup>1-4</sup> p = 0,033



Оценка содержания химических веществ в атмосферном воздухе г. Ангарска показала, что загрязненность атмосферного воздуха обусловлена, прежде всего, высоким содержанием бенз(а)пирена, концентрации которого в среднем превышают ПДК в 4 раза (максимальные среднемесячные зарегистрированы в зимние месяцы – кратность составила – 17,7 ПДК). Высокая кратность превышения среднегодового норматива отмечена также для формальдегида (среднее - 3 ПДКсг, максимальное среднемесячное – 2,5 ПДКсс), взвешенных веществ (1,6 ПДКсг, максимальное среднемесячное – 1,6 ПДКсс), диоксида азота (1,3 ПДКсг, максимальное среднемесячное – 1,1 ПДКсс).

В рассматриваемых помещениях концентрации химических веществ не превышали ПДК<sub>мр</sub> и находились в пределах следующих значений: формальдегид – 0,003-0,054 мг/м<sup>3</sup>; диоксид азота – 0,017-0,155 мг/м<sup>3</sup>; оксид углерода – 0,159-1,8 мг/м<sup>3</sup>; взвешенные вещества – 0,041-0,381 мг/м<sup>3</sup>; диоксид серы – 0,007-0,094 мг/м<sup>3</sup>; фтористый водород – 0,002-0,007 мг/м<sup>3</sup>; фенол – 0,0001-0,007 мг/м<sup>3</sup>. Отмечено, что учебные классы и особенно кабинеты информатики содержат большее количество примесей, по сравнению с жилыми помещениями.

Величины ингаляционного риска для отдельных групп подростков представлены в таблицах 3 и 4. Установлено, что дозы поступления химических веществ из всех видов воздушной среды у юношей больше, чем у девушек, что связано, во-первых, с различием жизненной емкости легких и, следовательно, скорости ингаляции. Во-вторых, величины суммарных доз зависят от времени экспозиции у юношей и девушек в условиях воздуха жилых помещений (наименее загрязненных) и на открытом воздухе, где содержание таких примесей, как формальдегид, бенз(а)пирен, диоксид азота, взвешенные вещества, превышает концентрации в воздухе жилых помещений [13].

При оценке ингаляционного риска для здоровья юношей 15 лет установлено, что суммарные дозы формальдегида и бенз(а)пирена, поступающих в организм, превышают RfD при хроническом ингаляционном воздействии. Сравнительная оценка HQ показала, что у юношей всех кластеров HQ большинства веществ не превышает допустимый уровень ингаляционного риска (0,11-1,0). Тогда как HI соответствует высокому уровню риска (>3) у всех обследованных юношей, достигая максимального значения во 2-м кластере (HI= 4,98). Отмечено, что наибольший вклад в величину HI у юношей всех 4 кластеров вносят формальдегид (33,5-33,8%), бенз(а)пирен (20-20,1%) и взвешенные вещества (16,5-16,7%).

Таблица 3

**Оценка риска для здоровья юношей 15 лет, обусловленного ингаляционным воздействием**

Table 3

**Health risk assessment for 15-year-old boys due to inhalation exposure**

Химические вещества	1-й кластер		2-й кластер		3-й кластер		4-й кластер	
	суммар. доза, мг/сут.	HQ	суммар. доза, мг/сут.	HQ	суммар. доза, мг/сут.	HQ	суммар. доза, мг/сут.	HQ
<b>Взвешенные вещества</b>	1,2	0,73	1,1	0,83	0,9	0,80	0,9	0,76
SO <sub>2</sub>	0,2	0,20	0,2	0,23	0,2	0,22	0,2	0,21
CO	5,8	0,09	5,4	0,11	4,8	0,10	4,3	0,10
NO <sub>2</sub>	0,3	0,41	0,3	0,47	0,3	0,46	0,3	0,43
NO	0,2	0,16	0,2	0,18	0,2	0,18	0,2	0,17
Фенол	0,0	0,16	0,0	0,18	0,0	0,17	0,0	0,16
HF	0,2	0,27	0,2	0,31	0,1	0,29	0,1	0,28
Формальдегид	0,1	1,48	0,1	1,67	0,1	1,63	0,1	1,55
Бенз(а)пирен*	18,6	0,88	17,0	1,00	15,1	0,97	13,7	0,92
HI		4,39		4,98		4,82		4,59

Примечание: суммарная доза поступления бенз(а)пирена представлена в нг/сутки

Note: the total dose of benzo(a)pyrene intake is presented in ng/day

Оценка ингаляционного риска для здоровья девушек 15 лет показала, что суммарная доза формальдегида, поступающая в организм из воздуха вне и внутри помещений, превышает RfD при хроническом ингаляционном воздействии. Сопоставление HQ у девушек 1-4-го кластеров показало, что HQ по остальным веществам соответствует допустимому уровню ингаляционного риска. При этом HI у девушек, как и у юношей, оценивается как высокий. Максимальное значение HI выявлено у девушек 2-го кластера (HI=4,26). Установлено, что существенный вклад в величину HI у девушек всех 4 кластеров, как и у юношей, вносят формальдегид (33,9-34,3%), бенз(а)пирен (19,5-19,6%) и взвешенные вещества (15,9-16,8%).

Таблица 4

**Оценка риска для здоровья девушек 15 лет, обусловленного ингаляционным воздействием**

Table 4

**Health risk assessment for girls aged 15 due to inhalation exposure**

Химические вещества	1-й кластер		2-й кластер		3-й кластер		4-й кластер	
	суммар. доза, мг/сут.	HQ	суммар. доза, мг/сут.	HQ	суммар. доза, мг/сут.	HQ	суммар. доза, мг/сут.	HQ
<b>Взвешенные вещества</b>	0,77	0,62	0,77	0,71	0,77	0,65	0,73	0,68
SO <sub>2</sub>	0,14	0,17	0,14	0,20	0,14	0,18	0,14	0,19
CO	3,89	0,08	3,89	0,09	3,89	0,08	3,72	0,09
NO <sub>2</sub>	0,23	0,34	0,23	0,40	0,23	0,36	0,22	0,38
NO	0,13	0,13	0,13	0,15	0,13	0,14	0,12	0,15
Фенол	0,01	0,13	0,01	0,15	0,01	0,14	0,01	0,15
HF	0,11	0,23	0,11	0,27	0,11	0,24	0,11	0,26
Формальдегид	0,06	1,25	0,06	1,45	0,06	1,33	0,06	1,39
Бенз(а)пирен*	11,86	0,72	11,86	0,83	11,87	0,76	11,36	0,80
HI		3,68		4,26		3,88		4,07

Примечание: суммарная доза поступления бенз(а)пирена представлена в нг/сутки

Note: the total dose of benzo(a)pyrene intake is presented in ng/day

Долевой вклад маршрута воздействия в HI у юношей представлен следующим образом: атмосферный воздух – 14,3%; воздух учебных классов – 55,3%; кабинета информатики – 2,6%; спортзала – 2,7%; жилых помещений – 25,1%. Распределение вклада у девушек не имело статистически значимых различий ( $p > 0,05$ ): атмосферный воздух – 15,5%; воздух учебных классов – 51,6%; кабинета информатики – 2,6%; спортзала – 3,2%; жилых помещений – 27,1%.

**Обсуждение.** Проведенные исследования дают возможность продвинуться в решении одной из актуальных задач, поставленных пленумом Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды Российской Федерации в 2014 году, – «обоснование моделей причинной обусловленности неинфекционной заболеваемости и смертности населения от воздействия факторов окружающей среды для оценки риска их возникновения и разработки профилактических мероприятий с использованием эпидемиологических методов исследования» [14].

Формирование антропометрических профилей в популяции подростков 15 лет позволило установить вариабельность величины ингаляционного риска для здоровья среди юношей и девушек одной возрастной группы. Необходимо отметить, что у всех обследованных юношей и девушек значения HI соответствуют высокому уровню риска. При

этом максимальные значения ингаляционного риска отмечены у юношей 2-го кластера с оптимальными показателями физического развития – нормостеническим телосложением, нормальной массой тела, средним уровнем развития грудной клетки и аппарата внешнего дыхания. У девушек 2-го кластера с максимальным значением HI определено астеническое телосложение, нормальная масса тела, слабое развитие грудной клетки в сочетании с высоким уровнем развития аппарата внешнего дыхания. Таким образом, ингаляционный риск имеет более высокие значения у подростков с оптимальным развитием органов дыхания.

Оценка значений HQ выявила приоритетный вклад в величину HI следующих веществ – формальдегида, бен(а)пирена и взвешенных веществ. Изучение суммарной дозы анализируемых химических веществ у юношей и девушек 1-4-го кластеров указывает на отсутствие безопасности для здоровья. Долевой вклад в индекс опасности веществ, поступающих из атмосферного воздуха, составляет 14,5-15,7%, воздуха жилых помещений – 25,2-27,1%, воздуха школьных помещений с учетом длительности пребывания в них подростков – 57,6-60,8%. Установленный факт подтверждает необходимость разработки безопасных в гигиеническом отношении схем пребывания на открытом воздухе, занятий физической активности и т.д.

Совмещение персонализированного и риск-ориентированного подходов при оценке риска для здоровья детей и подростков позволяет на основе научно-медицинских знаний определять стратегические направления контрольно-надзорной деятельности по обеспечению санитарно-гигиенической безопасности для здоровья подрастающего поколения [15, 16].

Полученные в результате проведенного исследования данные могут быть включены в банки информационных данных о физическом развитии и ингаляционном риске для здоровья детей 7-17 лет в различных субъектах РФ. Ограничение результатов исследования обусловлено трудоемкостью и затратностью материально-технических и финансовых ресурсов для проведения специальных исследований, получения информации о здоровье подростков, качестве воздушной среды. Кроме того, для повышения точности оценки необходимо учитывать вариативность содержания химических веществ в атмосферном воздухе в различных районах города, а также рассеивание загрязняющих веществ в пределах территории наблюдения [17, 18].

**Заключение.** Оценка ингаляционного риска у юношей и девушек, проведенная с персонализированным учетом антропометрических параметров и сценария ингаляционной экспозиции выявила колебания значений общетоксического риска в пределах одной возрастной группы. Долевой вклад в индекс опасности веществ, поступающих из атмосферного воздуха, значительно ниже, чем из воздуха помещений. Наибольшее значение в формирование нагрузки вносит загрязнение воздуха школьных помещений, что определяет необходимость усиления контрольно-надзорных мероприятий за локальными источниками эмиссии токсикантов, соблюдением режима проветривания, наполняемости. Заслуживает внимания тот факт, что более высокие значения ингаляционного риска установлены у подростков с оптимальным уровнем развития органов дыхания. Анализ

результатов исследования свидетельствует о необходимости оценки риска для здоровья детей разного пола в период получения общего и среднего образования. Можно предположить, что к моменту завершения обучения в образовательной организации происходит суммация неблагоприятного влияния загрязнения воздушной среды атмосферы и учебных помещений.

#### Список литературы:

1. Прусакова А.В., Прусаков В.М. Оценка медико-экологического компонента качества жизни по уровню риска заболеваемости массовыми неинфекционными заболеваниями. *ActaBiomedicaScientifica* 2019; 4(2) : 44-50.
2. Попова А.Ю., Кузьмин С.В., Зайцева Н.В., Май И.В. Приоритеты научной поддержки деятельности санитарно-эпидемиологической службы в области гигиены: поиск ответов на известные угрозы и новые вызовы. *Анализ риска здоровью* 2021; 1 : 4-14.
3. Schraufnager DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *Chest* 2019; 155(2):409-416.
4. Landrigan PJ, Fuller R, Fisher S, Suk WA, Sly P, Chiles TC et al. Pollution and children's health. *Sci Total Environ* 2019; 650(Pt 2):2389-2394.
5. Маснабиева Л.Б., Кудаева И.В. Влияние ингаляционной нагрузки формальдегидом на уровень цитокинов у подростков промышленных центров. *Анализ риска здоровью* 2020; 2: 110-116.
6. Brumberg HL, Karr CJ; COUNCIL ON ENVIRONMENTAL HEALTH. Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children. *Pediatrics* 2021; 147(6):e2021051484.
7. Мыльникова И.В. Гигиеническая оценка внутришкольной среды городских и сельских общеобразовательных учреждений. *Гигиена и санитария* 2016; 95(12): 1193-1197.
8. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
9. Кучма В.Р., Сухарева Л.М., Рапопорт И.К., Шубочкина Е.И., Скоблина Н.А., Милушкина О.Ю. Популяционное здоровье детского населения, риски здоровью и санитарно-эпидемиологическое благополучие обучающихся: проблемы, пути решения, технологии деятельности. *Гигиена и санитария* 2017; 96 (10): 990-995.
10. Marcus M. Pollution at schools and children's aerobic capacity. *Health Econ.* 2021;30(12):3016-3031.
11. Costa LG, Cole TB, Dao K, Chang YC, Coburn J, Garrick JM. Effects of air pollution on the nervous system and its possible role in neurodevelopmental and neurodegenerative disorders. *Pharmacol Ther* 2020;210:107523.
12. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

13. Лисецкая Л.Г., Дедкова Л.А., Тихонова И.В., Тараненко Н.А. Оценка степени загрязненности воздуха и патология верхних дыхательных путей у подростков урбанизированных территорий Иркутской области. *Acta Biomedica Scientifica* 2013; 3-1(91): 91-95.
14. Решение Пленума Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды Российской Федерации «Приоритеты профилактического здравоохранения в устойчивом развитии общества: состояние и пути решения проблем». *Гигиена и санитария* 2014; 93(6) : 119-121.
15. Дедов И.И. Персонализированная медицина. *Вестник РАМН* 2019;74(1):61–70.
16. Reis J., Spencer P.S. Decision-making under uncertainty in environmental health policy: new approaches. *Environ Health Prev Med* 2019; 24: 57.
17. Morelli X, Rieux C, Cyrus J, Forsberg B, Slama R. Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. *Environ Res* 2016;147:59-70.
18. Fellini S, Salizzoni P, Ridolfi L. Vulnerability of cities to toxic airborne releases is written in their topology. *Sci Rep* 2021;11(1):23029.

**References:**

1. Prusakova A.V., Prusakov V.M. Assessment of the medical and environmental component of the quality of life in terms of the risk of morbidity with mass non-communicable diseases. *ActaBiomedicaScientifica* 2019; 4(2) : 44-50.
2. Popova A.Yu., Kuzmin S.V., Zaitseva N.V., Mai I.V. Priorities of scientific support for the activities of the sanitary and epidemiological service in the field of hygiene: the search for answers to known threats and new challenges. *Analiz riska zdorov'yu* 2021; 1 : 4-14.
3. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *Chest* 2019; 155(2):409-416.
4. Landrigan PJ, Fuller R, Fisher S, Suk WA, Sly P, Chiles TC et al. Pollution and children's health. *Sci Total Environ* 2019; 650(Pt 2):2389-2394.
5. Masnavieva L.B., Kudaeva I.V. Influence of formaldehyde inhalation load on the level of cytokines in adolescents from industrial centers. *Analiz riska zdorov'yu* 2020; 2: 110-116.
6. Brumberg HL, Karr CJ; COUNCIL ON ENVIRONMENTAL HEALTH. Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children. *Pediatrics* 2021; 147(6):e2021051484.
7. Mylnikova I.V. Hygienic assessment of the intra-school environment of urban and rural educational institutions. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(12): 1193-1197.
8. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
9. Kuchma V.R., Sukhareva L.M., Rapoport I.K., Shubochkina E.I., Skoblina N.A., Milushkina O.Yu. Population health of the child population, health risks and sanitary and

- epidemiological well-being of students: problems, solutions, technologies of activity. *Gigiena i sanitariya*. 2017; 96 (10): 990-995.
10. Marcus M. Pollution at schools and children's aerobic capacity. *Health Econ*. 2021;30(12):3016-3031.
  11. Costa LG, Cole TB, Dao K, Chang YC, Coburn J, Garrick JM. Effects of air pollution on the nervous system and its possible role in neurodevelopmental and neurodegenerative disorders. *Pharmacol Ther* 2020;210:107523.
  12. Sanitary Rules and Norms 1.2.3685-21 "Hygienic requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans".
  13. Lisetskaya L.G., Dedkova L.A., Tikhonova I.V., Taranenko N.A. Assessment of the degree of air pollution and pathology of the upper respiratory tract in adolescents from urbanized areas of the Irkutsk region. *Acta Biomedica Scientifica* 2013; 3-1(91): 91-95.
  14. Decision of the Plenum of the Scientific Council of the Plenum of the Scientific Council on Human Ecology and Environmental Hygiene of the Russian Federation "Priorities of preventive healthcare in the sustainable development of society: state of the art and ways to solve problems." *Gigiena i sanitariya*. 2014; 93(6) : 119-121.
  15. Dedov I.I. Personalized medicine. *Herald of RAMS* 2019;74(1):61–70.
  16. Reis J., Spencer P.S. Decision-making under uncertainty in environmental health policy: new approaches. *Environ Health Prev Med* 2019; 24: 57.
  17. Morelli X, Rieux C, Cyrus J, Forsberg B, Slama R. Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. *Environ Res* 2016;147:59-70.
  18. Fellini S, Salizzoni P, Ridolfi L. Vulnerability of cities to toxic airborne releases is written in their topology. *Sci Rep* 2021; 11(1):23029.

Поступила/Received: 04.04.2022

Принята в печать/Accepted: 05.05.2022