

# SCHOOL ENVIRONMENT AND LEVEL OF HEALTH OF THE LOWER SCHOOLPUPILS

Pronina T.N., Karpovich N.V., Gankin A.N., Babok N.V.

## ВНУТРИШКОЛЬНАЯ СРЕДА И СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ УЧАЩИХСЯ МЛАДШИХ КЛАССОВ



**ПРОНИНА Т.Н.,  
КАРПОВИЧ Н.В.,  
ГАНЬКИН А.Н.,  
БОБОК Н.В.**

Республиканское  
унитарное  
предприятие  
"Научно-  
практический центр  
гигиены",  
г. Минск,  
Республика  
Беларусь

УДК 371.71 :  
613.155 : 613.955

**Ключевые слова:**  
**внутришкольная  
среда, качество  
воздуха,  
респираторное  
здоровье, степень  
комфорта.**

В рамках международного проекта "Внутришкольная среда и заболеваемость органов дыхания у детей" выполнялось научное исследование, координируемое Региональным экологическим центром по Центральной и Восточной Европе (Венгрия) в целях содействия реализации 3-й региональной приоритетной задачи Европейского плана действий "Окружающая среда и здоровье детей". Выполнен лабораторно-аналитический мониторинг показателей качества воздуха внутри 38 школьных помещений и на территории 10 школ г. Минска. Проведен энергетический аудит школ, оценена степень комфорта учащихся в условиях пребывания в учебных помещениях с различными параметрами внутришкольной среды, изучены показатели респираторного здоровья.

**Материалы и методы исследования.** Преимуществами данного международного научного исследования являлись унифицированные формы для сбора данных, материалы и протоколы исследования; детальные рекомендации по отбору проб воздуха, обработке проб, вводу и обработке данных; техническая поддержка и контроль качества; закупка оборудования для мониторинга; детальная техническая спецификация для мониторов CO<sub>2</sub>; референтная лаборатория для определения загряз-

нителей воздуха; представление результатов обследования в информационной системе ENHIS; рекомендации для национальных обследований [1, 2].

Исследование проведено в г. Минске в течение отопительного сезона 2011/2012 года в 10 школах, отличающихся годом постройки, проектной вместимостью и наполняемостью, расположением (районы города с разным соотношением жилой и производственной зон, развитостью сети автомагистралей, плотностью автомобильного потока).

С целью поиска причинно-следственных связей между распространенностью данных отклонений в состоянии здоровья и основными параметрами внутришкольной среды выполнены спирометрические исследования 778 учащихся начальных классов (8-10 лет) и проведено анкетирование родителей для последующего анализа распространенности среди школьников респираторных и аллергических симптомов.

Основными загрязнителями, включенными в программу оценки качества воздуха классов, были диоксид азота (NO<sub>2</sub>), формальдегид, бензол (факультативный загрязнитель), толуол, этилбензол, ксилолы, твердые частицы, фракции размером до 10 мкм (PM<sub>10</sub>), диоксид углерода (CO<sub>2</sub>). В исследовании были использованы методы диффузионного пробоотбора и детекции поллютантов в воздухе в режиме реального времени. Пробоотборники размещались на улице и в помещении класса, в зоне дыхания ученика и на возможном удалении от нагревательных приборов и окон. Отбор проб внутри и вне помещений (пробы атмосферного воздуха) проводили одновременно на протяжении 4-х суток. Количественный химиче-

**ВНУТРИШКОЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ І СТАН ЗДОРОВ'Я УЧНІВ МОЛОДШИХ КЛАСІВ**  
**Проніна Т.Н., Карпович Н.В., Ганькин А.Н.,**  
**Бобок Н.В.**

*Республіканське унітарне підприємство  
"Науково-практичний центр гігієни",  
м. Мінськ, Республіка Білорусь*

**Мета роботи** полягала у гігієнічній оцінці внутрішньшкільного середовища та визначенні його впливу на стан здоров'я учнів.

**Матеріали та методи дослідження.** Дослідження проводилось у м. Мінськ протягом опалювального сезону 2011/2012 року у 10 школах міста.

Виконано лабораторно-аналітичний моніторинг показників якості повітря всередині шкільних приміщень та поза їх межами (проби атмосферного повітря), а також інших параметрів мікроклімату учбових приміщень, проведено енергетичний аудит. Вплив внутрішньшкільного середовища на стан здоров'я учнів вивчали шляхом анкетування та інтерв'ювання. Для обробки отриманих результатів використовували математико-статистичні методи.

**Результати та їх обговорення.** За результатами моніторингу концентрації забруднюючих речовин (бензол, толуол, етилбензол, ксилоли, формальдегід, NO<sub>2</sub>) в атмосферному повітрі Мінська

не перевищували встановлені гігієнічні нормативи, крім незначного перевищення ГДК для PM<sub>10</sub> у двох точках, а також перевищення ГДК формальдегіду та PM<sub>10</sub> у приміщеннях двох шкіл. Перевищення гігієнічних нормативів вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі навчальних приміщень шкіл зафіксовано у 37% випадків. Середні значення температури повітря в учбових приміщеннях коливались у межах від 18,8°C до 24,9°C, що відповідає встановленим національним нормативним вимогам. Показники відносної вологості коливались у межах 11,5-43,9%. Інтегральна оцінка ступеня комфорту учнів у навчальних приміщеннях — індекс комфорту (ІК) — дозволила дати кількісну оцінку ступеня комфорту учнів. Визначено зниження рівня комфорту у разі підвищення температури. Середній показник ІК склав 3,83 бали за максимального значення 5 балів. Запропонований інтегральний показник якості повітря всередині учбових приміщень дозволив не тільки дати комплексну оцінку ступеня забруднення повітря сумішшю речовин, але й виявити залежності та визначити вплив забруднюючих речовин на респираторні та алергічні симптоми в учнів.  
**Ключові слова:** внутрішньшкільне середовище, якість повітря, респираторне здоров'я, ступінь комфорту.

© Пронина Т.Н., Карпович Н.В., Ганькин А.Н., Бобок Н.В. СТАТТЯ, 2015.

ский анализ проб проводился в референтной лаборатории методом газовой хроматографии с использованием масс спектрометрического детектора.

Объем исследования составил: отобранных проб воздуха — 294, в т.ч. 234 — в помещениях, 60 — на улице; выполненных замеров концентраций  $PM_{10}$  и диоксида углерода всего — около 1460, в помещениях — 260, на улице — 1200; количество учебных помещений — 38.

Для комплексной оценки степени загрязнения воздуха смесью веществ рассчитали интегральный показатель качества воздуха внутри помещения (КВП).

Замеры концентраций  $PM_{10}$  и  $CO_2$  в воздухе учебных помещений школ и атмосферном воздухе выполнялись в режиме реального времени на протяжении всего учебного дня в 4-х учебных помещениях каждой из 10 школ при помощи прибора HAZ-DUST EPAM-5000 (SKC Inc. USA) и  $CO_2$ /T/RH monitor TSI IAQ (Indoor Air Quality) (TSI Inc. USA) соответственно.

Показатели энергопотребления школы оценивались с помощью опросника энергоэффективности, а также путем мониторинга показателей теплового режима с помощью портативного прибора — даталоггера KIMO KT-110-A0 (регистратор температуры для систем вентиляции, отопления и кондиционирования) и с использованием средств инструментальной оценки в контрольных точках — тепловизионной съемкой. По результатам исследований составлялся технический отчет о проведенном комплексном энергетическом обследовании, включающий определение реальных расходов в сетях теплоснабжения, холодного и горячего водоснабжения, количе-



## ГИГІЕНА ДІТЕЙ ТА ПІДЛІТКІВ

ства и качества потребляемой электроэнергии, определение соответствия помещений санитарным нормам и правилам.

Изучение степени комфорта выполняли путем интервьюирования учащихся с помощью опросника состояния комфорта, ощущений и симптомов состояния здоровья, возникающих при нахождении в определенном учебном помещении.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась при помощи пакета прикладных программ STATISTICA (StatSoft Inc., версия 6.0) с применением параметров описательной статистики (среднее арифметическое и стандартное отклонение — для данных, подчиняющихся закону нормального распределения; медиана и интерквартильный размах — для данных, имеющих вид распределения с отклонением от нормального). Вид распределения определяли по результатам теста Шапиро-Уилка. Для сравнения групп использовались тесты Краскелла-Уолиса и Манна-Уитни. Уровень статистической значимости  $<0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Значения концентраций исследованных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска не превышали установленные гигиенические нормативы [3], а так-

же находились ниже рекомендованных ВОЗ уровней содержания, за исключением  $PM_{10}$  (табл. 1) [4, 5]. Средние значения  $PM_{10}$  находились ниже уровня, рекомендованного ВОЗ —  $50 \text{ мкг/м}^3$ , и составляли  $45,17 \text{ мкг/м}^3$ . Концентрация  $PM_{10}$  превышала ПДКсс в атмосферном воздухе лишь в районе расположения двух школ (№ 02 —  $77,10 \text{ мкг/м}^3$ ; № 10 —  $71,0 \text{ мкг/м}^3$ ), что превышает рекомендованный ВОЗ уровень [6]. Эти школы расположены в центральной части города в непосредственной близости от оживленных транспортных магистралей. Средняя концентрация  $PM_{10}$  в воздухе помещений школ —  $28,46 \text{ мкг/м}^3$ . Определена статистически значимая прямая корреляционная связь между концентрацией  $PM_{10}$  в воздухе помещений и в атмосферном воздухе ( $R=0,76$  при  $p=0,011143$ ). Максимальное значение концентрации  $PM_{10}$  в воздухе учебных помещений установлено в школе № 10 ( $48,0 \text{ мкг/м}^3$  медиана и 25% —  $19,0 \text{ мкг/м}^3$ ; 75% —  $55,0 \text{ мкг/м}^3$ ), а минимальное — в школе № 03 ( $20,5 \text{ мкг/м}^3$  медиана, 25% —  $16,5 \text{ мкг/м}^3$ ; 75% —  $22,0 \text{ мкг/м}^3$ ). Зафиксировано превышение гигиенического норматива ПДКсс концентрации  $PM_{10}$  в воздухе учебного помещения школы № 10 (максимальное

Таблица 1

Характеристики обследованных школ г. Минска

Код школы	Район города	Год постройки школы	Площадь класса ( $\text{м}^2$ )	Объем класса ( $\text{м}^3$ )	Средняя наполняемость класса	Время эксплуатации мебели класса	Время после ремонта	$PM_{10}$ , $\text{мкг/м}^3$	$CO_2$ , ppm
01	Московский	2009	65,4	196,2	21	3 года	3 года	0,029	1298
02	Первомайский	1972	55	154	20	6 лет	< 1 года	0,022	1209
03	Октябрьский	1982	55,6	166,7	19	10 лет	>3 лет	0,019	1087
04	Первомайский	1988	58,5	175,5	21	>10 лет	1-2 года	0,035	1854
05	Московский	1993	66,1	196,5	18	2 года	1-2 года	0,028	963
06	Партизанский	2001	56,3	140,8	21	>10 лет	1-2 года	0,021	1615
07	Партизанский	1950	60,25	180,8	19	10 лет	1-2 года	0,029	1350
08	Октябрьский	1977	52,4	157,2	23	7 лет	>3 лет	0,021	998
09	Первомайский	1960	48	144	19	5 лет	1-2 года	0,031	1590
10	Советский	1937	50	125	26	5 лет	< 1 года	0,041	1415

определенное значение — 55,0 мкг/м<sup>3</sup>, ПДКсс — 50,0 мкг/м<sup>3</sup>).

Сравнительная характеристика атмосферного воздуха на территории школ и воздуха внутришкольных помещений представлена в таблице 2. Высокие концентрации NO<sub>2</sub> в г. Минске зафиксированы в атмосферном воздухе вблизи школ, расположенных в центральной части города, а также вблизи оживленных транспортных магистралей (31,0 мкг/м<sup>3</sup> — в районе школы № 01, 28,1 мкг/м<sup>3</sup> — в районе школы № 07), при этом не выявлено превышений гигиенического норматива (ПДКсс 100,0 мкг/м<sup>3</sup>).

Концентрации исследуемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска в целом не превышали гигиенические нормативы и составляли для этилбензола (0,2-1,1 мкг/м<sup>3</sup>), РМ<sub>10</sub> и СО<sub>2</sub> (23,9-77,1 мкг/м<sup>3</sup> и 318,25-406,88 ppm соответственно). Концентрации остальных загрязняющих веществ также не превышали установленные гигиенические нормативы (ПДКсс): формальдегид — 1,92 ± 0,497 мкг/м<sup>3</sup> (ПДКсс 12,0 мкг/м<sup>3</sup>), бензол — 2,01 ± 1,03 мкг/м<sup>3</sup> (ПДКсс 40,0 мкг/м<sup>3</sup>), толуол — 4,48 ± 1,5 мкг/м<sup>3</sup> (ПДКсс 300,0 мкг/м<sup>3</sup>), ксилолы — 3,51 ± 1,7 мкг/м<sup>3</sup> (ПДКсс 100,0 мкг/м<sup>3</sup>).

В воздухе учебных помещений средняя концентрация бензола была сопоставима с уличным значением (1,99 мкг/м<sup>3</sup> и 2,01 мкг/м<sup>3</sup>). При этом установлена прямая корреляционная связь (r=0,75) между данными величинами, позволяющая

предположить, что основным источником поступления бензола в помещения является загрязненный им атмосферный воздух. Наиболее высокая концентрация бензола в учебных помещениях установлена в школе № 07 (3,07 мкг/м<sup>3</sup>, среднее — 2,94 мкг/м<sup>3</sup>, 95% ДИ 3,099; 2,781), тогда как наименьшая — в школе № 08 (0,79 мкг/м<sup>3</sup>, среднее — 0,83 мкг/м<sup>3</sup>, 95% ДИ 0,9; 0,76). По значениям доверительных интервалов можно судить о статистически значимых различиях концентраций бензола в помещениях.

Концентрация толуола в воздухе учебных помещений была несколько ниже по сравнению с атмосферным воздухом (4,4 мкг/м<sup>3</sup> и 4,48 мкг/м<sup>3</sup> соответственно), в то же время концентрации этилбензола и ксилолов в воздухе помещений — выше значений в атмосферном воздухе (0,9 мкг/м<sup>3</sup> и 0,66 мкг/м<sup>3</sup> — этилбензол, 4,6 мкг/м<sup>3</sup> и 3,51 мкг/м<sup>3</sup> — ксилолы). Наибольшая концентрация толуола, этилбензола и ксилолов определена в учебных помещениях школы № 06 на территории Партизанского района с достаточно загруженным промышленными предприятиями районе, в непосредственной близости от троллейбусного депо (10,37 мкг/м<sup>3</sup>, 1,87 мкг/м<sup>3</sup> и 13,73 мкг/м<sup>3</sup>), тогда как наименьшая концентрация определена в помещениях школ № 08 и № 09 на территории Советского и Первомайского районов (различия в значениях статистически значимы — критерий

Манна-Уитни, Z=-2,12, при p=0,0339).

Средняя концентрация формальдегида в воздухе учебных помещений минских школ статистически значимо выше, чем в атмосферном воздухе (5,86±2,25 мкг/м<sup>3</sup>, 95% ДИ 5,13 мкг/м<sup>3</sup>; 6,59 мкг/м<sup>3</sup> — воздух учебных помещений; 1,92±0,497 мкг/м<sup>3</sup> 95% ДИ 1,56 мкг/м<sup>3</sup>; 2,28 мкг/м<sup>3</sup> — атмосферный воздух). Превышение концентрации формальдегида зафиксировано в воздухе учебного помещения школы № 01 и составило 1,08 долей ПДКсс (12,97 мкг/м<sup>3</sup>, ПДКсс — 12 мкг/м<sup>3</sup>). При этом максимальная концентрация зафиксирована в воздухе школы № 01 (медиана — 7,33 мкг/м<sup>3</sup>, максимальное/минимальное значение — 12,97/6,32 мкг/м<sup>3</sup>), тогда как минимальная — в воздухе учебных помещений школы № 09 (медиана — 3,05 мкг/м<sup>3</sup>, максимальное/минимальное значение — 3,69/2,11 мкг/м<sup>3</sup>), критерий Манна-Уитни — 2,309, при p=0,0209. Высокие значения содержания формальдегида в воздухе учебных помещений школы № 01 (недавно введенное в эксплуатацию здание с новой мебелью, оборудованием, инвентарем и отделочными материалами) свидетельствуют о присутствии источников выделения данного поллютанта в учебных помещениях, что также подтверждается наличием значимой корреляционной связи между годом постройки школ и концентрацией формальдегида в воздухе учебных помещений (r=0,54 при p<0,05).

Таблица 2

### Сравнительная характеристика атмосферного воздуха на территории школ г. Минска и воздуха внутришкольных помещений

Код школы / измерение	Бензол (мкг/м <sup>3</sup> )		Этилбензол (мкг/м <sup>3</sup> )		Толуол (мкг/м <sup>3</sup> )		Ксилол (мкг/м <sup>3</sup> )		Формальдегид (мкг/м <sup>3</sup> )		Диоксид азота (мкг/м <sup>3</sup> )		Интегральная оценка качества воздуха	
	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in
01 <sup>1</sup>	2,88	2,78	0,7	0,88	5,6	4,58	3,3	6,30	2,68	8,49	31,0	10,05	1,063	1,232
02 <sup>2</sup>	1,81	2,00	0,7	0,98	4,2	4,58	5,0	5,83	2,27	5,35	9,1	7,80	1,025	0,820
03 <sup>3</sup>	1,22	1,70	0,4	0,64	4,1	4,78	2,3	4,06	1,36	5,69	4,0	7,44	0,514	0,842
04 <sup>2</sup>	2,54	2,16	0,7	0,73	5,2	5,20	3,7	4,40	1,10	3,66	10,4	9,98	0,233	0,889
05 <sup>1</sup>	0,92	2,08	0,3	1,60	2,1	10,38	1,7	11,23	1,91	6,93	5,8	4,05	0,908	1,056
06 <sup>4</sup>	1,44	1,42	1,0	1,87	4,8	10,37	6,6	13,73	2,28	8,20	6,8	5,73	0,733	1,146
07 <sup>4</sup>	3,88	2,94	1,1	0,85	6,5	4,38	5,2	5,10	2,41	7,10	28,1	15,13	0,957	1,103
08 <sup>3</sup>	0,61	0,83	0,2	0,35	2,0	3,28	1,3	2,33	1,52	5,66	5,3	4,53	0,543	0,840
09 <sup>2</sup>	2,96	1,74	0,9	0,48	6,3	2,95	3,5	3,03	1,86	2,97	9,7	10,63	1,575	0,753
10 <sup>5</sup>	1,82	2,26	0,6	0,70	4,0	3,73	2,5	3,47	1,85	4,99	24,2	16,63	1,486	1,177
среднее	2,01	1,99	0,66	0,91	4,48	5,42	3,51	5,95	1,92	5,90	13,44	9,20	0,904	0,986

Примечания: обозначение места измерений: "out" — вне помещений (школьный двор), "in" — внутри помещений; расположение школ в

районах г. Минска: 1 — Московский, 2 — Первомайский, 3 — Октябрьский, 4 — Партизанский, 5 — Советский.

SCHOOL ENVIRONMENT AND LEVEL OF HEALTH OF THE LOWER SCHOOL PUPILS

Pronina T.N., Karpovych N.V., Gankyn A.N., Bobok N.V.

Republican unitary enterprise "Scientific practical centre of hygiene, Minsk, Belarus

**The aim of this study** was to assess school environment in terms of hygiene and to describe its influence on level of pupils' health.

**Materials and methods.** The study was performed in Minsk over a heating season 2011/2012 in 10 municipal schools. Laboratory analytical monitoring of air quality indexes inside and outside school rooms (atmospheric air samples) and also other parameters of school room climate was performed; energy auditing was conducted. Influence of school environment on health of the school pupils was researched using questionnaire poll and interviewing procedure. Mathematical and statistical methods were used to handle received results.

**Results and their discussion.** Concentration of pollutants (benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, formaldehyde, NO<sub>2</sub>) in atmospheric air

of Minsk did not exceed established hygienic standards except insignificant exceeding of MPC for PM<sub>10</sub> in two points and also exceeding of MPC for formaldehyde and PM<sub>10</sub> in rooms of two schools by results of monitoring. Exceeding of hygienic standards for CO<sub>2</sub> content in air of school rooms was settled in 37% of cases. Mean values of air temperature in school rooms ranged between 18.8°C and 24.9°C; characteristics of relative humidity ranged between 11.5% and 43.9%. Integral estimate of pupils' comfort degree in school rooms — Comfort Index (CI) — made possible to estimate pupils' comfort degree in terms of quantity. Comfort degree decrease while temperature rising was identified. Mean value of CI was 3.83 points where as maximal value is 5 points. Introduced integral indicator of air quality inside school rooms allowed giving a complex appraisal of air pollution rate by composition of matter as well showing dependences and determining influence of pollutants on respiratory and allergic symptoms in children.

**Keywords:** School environment, air quality, respiratory health, comfort degree.

Наибольшее значение концентрации NO<sub>2</sub> установлено в воздухе учебных помещений школы № 10 — 16,63 мкг/м<sup>3</sup>, тогда как наименьшее — в воздухе учебных помещений школы № 05 — 4,05 мкг/м<sup>3</sup>. Одним из основных источников поступления NO<sub>2</sub> в воздух помещений является атмосферный воздух (объекты промышленности и автомобильный транспорт). Так, установлена прямая корреляционная связь между концентрацией NO<sub>2</sub> в воздухе помещений и в атмосферном воздухе ( $r=0,77$ , при  $p<0,05$ ).

Большое разнообразие загрязняющих веществ, эффекты их воздействия на здоровье, присутствие их во внутришкольной среде в концентрациях, не превышающих ПДК, но при этом находящихся в широких диапазонах колебаний, а также длительность пребывания детей в школьных помещениях диктуют необходимость разработки интегрального показателя качества воздуха внутри помещений, дающего количественную оценку качества воздуха. Так, нами предложен, разработан и применен комплексный показатель качества воздуха внутри помещений (КВП), представляющий собой сумму отношений определенных концентраций загрязняющих веществ в воздухе к значениям их безопасных уровней воздействия. Полученные значения КВП в учебных помещениях школ позволили дать сравнительную интегральную оценку качества воздуха внутри учебных помещений. Так, наибольшее значение показателя КВП определено в школе № 01 (1,232 при значении показателя "Р" — комплексный показатель загрязнения атмосферы — 1,063), тогда

как наименьшее — в школе № 09 (0,753 при показателе "Р" — 1,575). Сравнительный анализ интегральных показателей качества наружного и внутреннего воздуха (показатель "Р" и показатель КВП) позволил констатировать отсутствие корреляционной связи. Таким образом, качество наружного воздуха не являлось определяющим фактором при формировании загрязнения воздуха внутри помещений, что, в свою очередь, указывает на значимость других источников загрязнения воздуха помещений. Расположение школ на территории одного района города указывало на близкие по значениям величины КВП (№ 02, № 04 и № 09 в Первомайском районе — 0,820, 0,889 и 0,753 соответственно, № 03 и № 08 в Октябрьском районе — 0,842 и 0,840).

Энергетический аудит выявил существенные тепловые потери в большинстве обследованных школьных зданий, в то же время температура внутри учебных помещений не была ниже установленных нормативов. По результатам непрерывного мониторинга параметров микроклимата в течение учебного дня средние значения температуры воздуха в различных учебных помещениях варьировали от 18,8°C до 24,9°C. Ни в одном из обследованных помещений средняя температура в учебное время не была ниже установленной национальными нормативными требованиями (18-20°C). В большинстве классов средняя температура составила более 20,0°C, относительная влажность в учебных помещениях составила 11,5-43,9%. В половине учебных помещений (53%) зафиксирована влажность менее 30%.

Признанным традиционным методом определения качества воздуха внутри помещений является изучение уровня CO<sub>2</sub> [7]. Критерием определения является уровень превышения CO<sub>2</sub> по сравнению с наружным воздухом. Помимо этого, уровень содержания CO<sub>2</sub> является хорошим индикатором эффективности вентиляции. Минимальные значения содержания CO<sub>2</sub> отмечены в начале учебных занятий (865,5-1686 ppm), в динамике учебного дня уровень CO<sub>2</sub> в классах повышался в 1,4-2,9 раза, достигая максимума в конце учебного дня (2089-2412 ppm). Необходимо отметить, что уровень CO<sub>2</sub> вне школьных помещений составлял от 370,5 ppm до 424,3 ppm. Средний уровень CO<sub>2</sub> в воздухе учебных помещений составил 1305±346,4 ppm, в атмосферном воздухе — 354±40 ppm. Наибольшая концентрация CO<sub>2</sub> определена в учебных помещениях школы № 04 (медиана 2034,5 ppm, 25% и 75% 1949,0 ppm и 2067,0 ppm соответственно), тогда как наименьшая концентрация — в школе № 05 (медиана 985,0 ppm, 25% и 75% 879,5 ppm и 1047,0 ppm соответственно) при статистически значимых различиях (критерий Манна-Уитни 2,309 при  $p=0,0209$ ).

Обращает на себя внимание динамика изменения величин CO<sub>2</sub> при соблюдении санитарно-гигиенического режима содержания учебных помещений. Результаты исследования позволили констатировать, что уровень концентрации CO<sub>2</sub> во внутришкольных помещениях увеличивался в несколько раз к концу занятия, даже если класс проветривали перед началом урока.

Снижение уровня CO<sub>2</sub> отмечалось во время перемен, когда дети покидали класс и проветривалось помещение (рис. 1).

Следующий рисунок отражает исходно высокий уровень CO<sub>2</sub> внутри учебного помещения и постепенное увеличение его содержания в динамике учебного дня при достаточно низкой наполняемости класса (15 человек). При этом дети в течение дня на переменах практически не покидали учебное помещение, которое не проветривалось. Более того, достаточно высокие уровни CO<sub>2</sub> (1200-1686 ppm) на начало учебного дня (вторая смена) позволяют констатировать нарушение санитарно-гигиенического режима по уборке и проветриванию помещений между учебными сменами (рис. 2).

При измерении концентрации CO<sub>2</sub> в классах установлено, что показатели существенно отличались в разных учреждениях, а также в разных классах одного учреждения. Наблюдалась прямая зависимость уровня CO<sub>2</sub> от наполняемости класса, объема воздуха на одного человека, площади открываемой части окна, режима проветривания (длительность и кратность проветривания), функционирования вентиляции. Так, при количестве учащихся в классе до 18 человек средняя концентрация CO<sub>2</sub> — на уровне 905,4 ppm, PM<sub>10</sub> — 0,026 мкг/м<sup>3</sup>, площадь помещения на 1 человека — 3,2 м<sup>2</sup>, площадь открываемой части окна — 0,72 м<sup>2</sup>. При количестве учащихся в классе более 21 человека средняя концентрация CO<sub>2</sub> была на уровне 1775,7 ppm, PM<sub>10</sub> — 0,032 мкг/м<sup>3</sup>, площадь помещения на 1 человека — 2,6 м<sup>2</sup>, площадь открываемой части окна — 0,58 м<sup>2</sup>.

Результаты динамического наблюдения в обследуемых учебных помещениях показали относительно приемлемый уровень загрязнения по величине PM<sub>10</sub>: 0,013-0,055 мкг/м<sup>3</sup> при среднем значении PM<sub>10</sub> = 0,028 мкг/м<sup>3</sup>.

Согласно Европейскому стандарту, который описывает создание здорового и комфортного микроклимата, наружный воздух (outdoor) разделен на 5 уровней от ODA 1 (чистый воздух, за исключением временных загрязнений, например пылицы) до ODA 5 (воздух с высокой концентрацией газа и частиц). Установлено, что воздух высокого качества в помещении должен отличаться от наружного воздуха населенного пункта всего на 350 ppm CO<sub>2</sub>.

Категория качества воздуха на обследованных территориях г. Минска (в ареале учреждений образования) соответствует ODA 2/3 (качество воздуха для небольших городов при уровнях концентрации CO<sub>2</sub> 400 ppm и PM<sub>10</sub> 10-30 мкг/м<sup>3</sup>). Так, в г. Минске показатели концентрации CO<sub>2</sub> колебались от 316 ppm до 450 ppm в зависимости от расположения учреждения и погодных условий; среднее значение составило 376 ppm. Уровень CO<sub>2</sub> в ареале учреждения редко поднимался выше 450 ppm. Следует отметить, что на территориях каждой второй из школ средняя концентрация CO<sub>2</sub> составила менее 350 ppm, что классифицируется Европейским стандартом как норматив для воздуха сельской местности без значительных источников загрязнения.

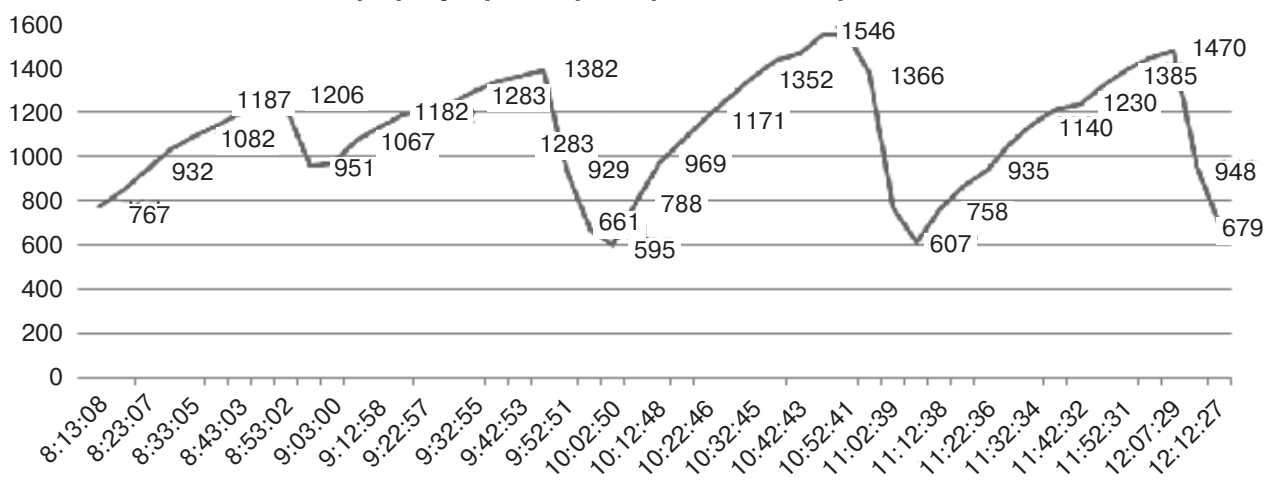
Вместе с тем при категоризации помещений по качеству воздуха несмотря на относительно благоприятные показатели вне-

шнего воздуха среди обследованных классов не было ни одного, соответствующего требованиям к помещениям первой категории indoor air (IDA 1) по классификации EN 13779 (с высоким качеством воздуха, превышением концентрации CO<sub>2</sub> в помещении относительно концентрации в наружном воздухе менее 400 ppm). В большинстве учебных классов качество воздуха было средним и приемлемым (IDA 2 и IDA 3 категории помещений соответственно 13% и 50%). Низкое качество воздуха IDA 4 (превышение концентрации CO<sub>2</sub> в помещении относительно концентрации в наружном воздухе более 1000 ppm) зафиксировано в 37% помещений. В соответствии с полученными данными в помещениях категории IDA 4 обучаются 39% школьников, IDA 3 категории — 52,5%, IDA 2 категории — 15%. Большинство детей (88%) обучается в помещениях со средней концентрацией CO<sub>2</sub> более 1000 ppm; 8% учащихся — в классах с концентрацией PM<sub>10</sub> более 40 мкг/м<sup>3</sup>.

Использование рекомендованного европейскими экспертами опросника по изучению отношения учащихся к параметрам микроклимата учебных помещений позволило отметить, что субъективная оценка свежести воздуха детьми снижалась к концу учебного дня. Помимо этого, опрос учащихся включал изучение субъективной оценки теплового комфорта, уровня шума, достаточности освещения в классе. Так, если в начале дня воздух оценивали как "свежий" и "очень свежий" 81% учеников разных классов, то в конце занятий — только 54%. Помимо этого возрастал удельный вес отрицательных субъективных оценок качества воздуха. Каждый тре-

Рисунок 1

График изменения уровня углекислого газа в классе в динамике учебного дня при регулярном проветривании на переменах



тий учащийся, находящийся в классе с уровнем концентрации CO<sub>2</sub> больше 1500 ppm, отмечал наличие головной боли (32%).

На основании опросника по субъективной оценке комфорта учащихся рассчитан интегральный количественный показатель, объективно отражающий степень комфорта учащихся в конкретных условиях внутришкольной среды — индекс комфорта (ИК). Ответы ранжировались по пятибалльной шкале от 1 (очень плохо) до 5 (очень хорошо). При расчете ИК применялись поправочные коэффициенты с учетом различного вклада отдельных факторов. Рассчитанный для каждого учащегося ИК колебался в пределах от 1,3 до 5 баллов, в среднем составил 3,83 балла. У 44% школьников ИК составил 4 и более баллов, у 12% — менее 3 баллов. Средний для класса ИК колебался от 3,27 до 4,76 баллов, при этом в каждом третьем классе (29% учебных помещений) средний ИК учеников составил 4 и более баллов, что позволяет говорить о достаточной степени комфорта учащихся в существующих условиях. Установлена слабая отрицательная связь индекса комфорта ИК с фактической температурой воздуха в учебных помещениях ( $r = -0,35$  при  $p < 0,05$ ).

Изучение респираторных симптомов путем анкетирования родителей и с помощью объективных данных позволило получить информацию о диагностированных заболеваниях и о недиагностированных респираторных симптомах. Так, регулярный утренний кашель в осенний и зимний период отмечали родители 17% школьников, распро-

страненность симптома значительно колебалась (0-36,8%) в зависимости от параметров микроклимата в классах. Наблюдалось увеличение частоты данной жалобы при уменьшении значения относительной влажности воздуха,  $p < 0,05$ . В классах с относительной влажностью более 30,0% распространенность регулярного утреннего кашля составила 13,1%, в то время как в классах с меньшей относительной влажностью данный симптом встречался значительно чаще — 23,5% опрошенных. Регулярный дневной кашель отмечался у 10,1% всех опрошенных школьников, причем была выявлена зависимость между концентрацией формальдегида в классе и частотой регулярного дневного кашля. Регулярный дневной кашель отмечен у 6,1% детей, обучающихся в классах с концентрацией формальдегида менее 5 мкг/м<sup>3</sup>. Среди детей, обучающихся в классах с более высокими концентрациями формальдегида, данная жалоба встречалась более чем в два раза чаще (14,4%,  $p < 0,05$ ). Необходимо отметить тенденцию к увеличению частоты регулярного утреннего кашля при увеличении концентрации формальдегида. Несмотря на невысокую распространенность диагностированной астмы (3,5%, лечение от астмы в течение последнего года получали 2,3% детей), достаточно часто встречались ассоциируемые с астмой симптомы, имевшие место в течение последнего года: "сухой ночной кашель" (не связанный с простудой) — 14,8%, "дыхание с одышкой или со свистом" — 8,2% (6,6% при физической нагрузке). Дыхание с одышкой или

со свистом, имевшее место более года назад, отмечалось родителями 12,5% школьников.

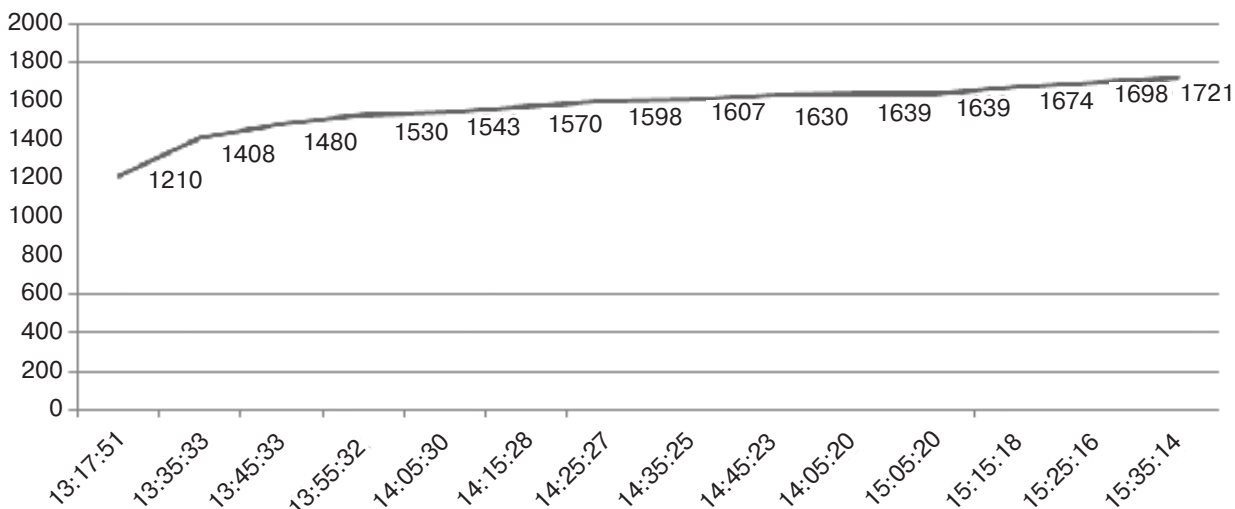
Установлена прямая корреляционная связь между частотой сухого ночного кашля, не связанного с простудой и концентрацией PM<sub>10</sub> в воздухе школьных помещений ( $p < 0,05$ ). Удельный вес детей с сухим ночным кашлем статистически значимо отличался в помещениях с концентрацией PM<sub>10</sub> менее и более 30 мкг/м<sup>3</sup> (11,6% и 18,3% соответственно,  $p < 0,01$ ). Аналогичная связь с концентрацией PM<sub>10</sub> выявлена и для симптома "дыхание с одышкой или со свистом" ( $p < 0,05$ ). У каждого десятого школьника, обучающегося в учебном помещении с концентрацией PM<sub>10</sub> более 30 мкг/м<sup>3</sup>, отмечен данный симптом (9,9%). Среди детей, обучающихся в помещениях с меньшей концентрацией PM<sub>10</sub>, дыхание с одышкой или со свистом встречалось реже — 6,6%,  $p < 0,05$ .

Распространенность аллергических реакций в целом составила 36,3%. В частоте встречаемости отмечен большой разброс данных от 0 до 52,9% в помещениях с различными условиями внутришкольной среды. Выявлены различия распространенности поллиноза в зависимости от этажа, на котором располагалась классная комната: статистически значимо реже ( $p < 0,05$ ) поллиноз встречался при расположении класса на 3 этаже здания по сравнению с классами, расположенными на 1-2 этажах. Средняя распространенность составила 1,3% и 3,4% соответственно.

Не было установлено статистически значимых связей между концентрациями отдельных химиче-

Рисунок 2

**График роста уровня углекислого газа в классе в динамике учебного дня без проветривания на переменах**



ских веществ (бензол, этилбензол, толуол, ксилол, диоксид азота) в воздухе и частотой респираторных и аллергических симптомов у школьников, что, вероятно, объясняется содержанием веществ в концентрациях значительно ниже предельно допустимых.

Показатели функции внешнего дыхания учащихся позволили констатировать отсутствие obstructивных и рестриктивных нарушений у большинства обследованных.

### Выводы

1. По результатам мониторинга качества воздуха внутри- и внешкольных помещений, превышений среднесуточных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Минска (бензол, толуол, этилбензол, ксилолы, формальдегид,  $\text{NO}_2$ ) не установлено. Выявлено незначительное превышение ПДКсс  $\text{PM}_{10}$  в атмосферном воздухе в двух точках. В воздухе учебных помещений концентрации бензола, толуола, этилбензола, ксилолов,  $\text{NO}_2$  не превышали ПДКсс. Зафиксировано превышение ПДКсс формальдегида ( $12,97 \text{ мкг/м}^3$  при ПДКсс —  $12 \text{ мкг/м}^3$ , что может быть связано с новой современной постройкой школьного здания, недавним вводом объекта в эксплуатацию) и  $\text{PM}_{10}$  в двух школах ( $55,0 \text{ мкг/м}^3$  при ПДКсс  $50,0 \text{ мкг/м}^3$ , предположительно, обусловлено влиянием внешних источников загрязнения воздуха — плотностью автомобильного потока и недостаточностью систем вентиляции в здании).

2. Предложенный интегральный показатель качества воздуха внутри помещения позволил не только дать комплексную оценку степени загрязнения воздуха смесью веществ, но и выявить зависимости, определить влияние загрязняющих веществ на респираторные и аллергические симптомы у учащихся.

3. Концентрация  $\text{CO}_2$  в воздухе учебных помещений школ составила  $1305 \text{ ppm}$ . Низкое качество воздуха (превышение концентрации  $\text{CO}_2$  в помещении относительно концентрации в наружном воздухе более  $1000 \text{ ppm}$ ) зафиксировано в 37% помещений.

4. Проведенный энергетический аудит выявил существенные тепловые потери в большинстве обследованных школьных зданий, в то же время температура внутри помещений не была ниже установленных нормативов, в большинстве классов превышала национальные требования.

5. Интегральная оценка степени комфорта учащихся в определенных учебных помещениях (индекс комфорт) позволила дать количественную оценку степени комфорта учащихся. Определено снижение уровня комфорта при повышении температуры ( $r = -0,35$ , при  $p < 0,05$ ). Средний показатель ИК составил  $3,83$  балла при максимальном значении  $5$  баллов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструменты для мониторинга выполнения обязательств Пармской конференции : отчет о совещании 25-26 ноября 2010 г. — Бонн, Германия.

2. Методы мониторинга качества воздуха в школьных помещениях : отчет о совещании 4-5 апреля 2011 г. — Бонн, Германия.

3. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения : утв. Постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 30.12.2010 г. № 186. — Минск: ГУ РЦГЭ и ОЗ, 2011. — 144 с.

4. Air quality guidelines for Europe, 2nd edition : WHO Regional Publications, European Series, № 91 // WHO Regional Office for Europe [Electronic resource]. — 2000. — Mode of access: <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>. — Date of access: 05.06.2012.

5. World Health Organization guidelines for indoor air quality: selected pollutants // WHO Regional Office for Europe [Electronic resource]. — 2010. — Mode of access: [www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf). — Date of access: 05.04.2012.

6. Health effects of particulate matter : Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia [Electronic resource] / WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2013. — Mode of access: [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf). — Date of access: 08.07.2013.

7. Уровни содержания диоксида углерода в воздухе помещений современных жилых и общественных зданий / Ю.Д. Губернский и др. // Науч.-метод. основы совершенствования нормативно-правовой базы профилактического здравоохранения: проблемы и пути их решения: матер. пленума Науч. совета по экологии человека и гигиене окруж. среды Рос. Федерации, Москва, 13-14 дек. 2012 г. / ПАМН. — М., 2012. — С. 87-90.

### REFERENCES

1. Instrumenty dlia monitoringa vypolneniia obiazatelstv Parmskoi konferentsii : otchet o soveshchani [Instruments for the Implementation of Parma Conference Commitments:

Report of the Meeting, 25-26 November 2010, Bonn, Germany]. Mode of access — [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/135662/e94788R.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/135662/e94788R.pdf) (in Russian).

2. Metody monitoring kachestva vozdukh v shkolnykh pomeshcheniakh : otchet o soveshchani [Methods for Monitoring of Air Quality in School Premises: Report of the Meeting, 4-5 April 2011, Bonn, Germany]. Mode of access [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0012/147999/e95417R.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0012/147999/e95417R.pdf?ua=1) (in Russian).

3. Normativy predelno dopustimyykh kontsentratsii zagriazniashchikh veshchestv v atmosfornom vozdukh i orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistviia zagriazniashchikh veshchestv v atmosfornom vozdukh naselennykh punktov i mest massovogo otdykh naseleniia [Standards of the Maximum Allowable Concentrations of the Pollutants in the Ambient Air and Tentative Safe Exposure Levels of the Pollutants in the Ambient Air of the Settlements and Places of Public Entertainment]. Minsk ; 2011 : 144 p. (in Russian).

4. Air Quality Guidelines for Europe, 2-nd edition : WHO Regional Publications, European Series, № 91(2000). Mode of access — <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>. — Date of access: 05.06.2012.

5. World Health Organization Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. 2010. — Mode of access — [www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf). — Date of access: 05.04.2012.

6. Health Effects of Particulate Matter : Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2013. Mode of access — [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf). — Date of access: 08.07.2013.

7. Gubernskii Yu.D. et al. Urovni sodержaniia dioksida ugleroda v vozdukh pomesheni sovremennykh zhidlykh i obshchestvennykh zdani [Levels of the Content of Carbonic Acid Gas in the Indoor Air of Modern Dwelling Houses and Public Buildings]. In : Nauchno-metodologicheskie osnovy sovershenstvovaniia normativno-pravovoi bazy profilakticheskogo zdavookhraneniia: problemy i puti ikh resheniia : materialy plenuma Nauchnogo soвета po ekologii cheloveka i gigiene okruzhaiushchei sredy Rossiiskoi Federatsii [Scientific-Methodological Bases for the Improvement of the Standard-Legislative Base of the Preventive Public Health: Problems and the Ways for Their Solution: Materials of the Plenary Session of the Scientific Council on Human Ecology and Environmental Hygiene, the Russian Federation]. Moscow ; 2012 : 87-90 (in Russian).

Надійшла до редакції 17.04.2015