

Научная статья

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ВЛИЯНИЯ РИСК-ИНДУЦИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА СОМАТИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Д.А. Эйфельд<sup>1</sup>, О.Ю. Устинова<sup>1,2</sup>, Н.В. Зайцева<sup>1,2</sup>, А.А. Савочкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

*Современная школа должна создавать благоприятные условия для обучения школьников. Осуществлены сравнительный анализ факторов риска образовательного процесса в школах различного типа и разработка нового подхода к объективной оценке сочетанного влияния факторов образовательной среды и среды обитания на здоровье школьников.*

*Объектами исследования являлись: 1) пять типов общеобразовательных организаций; МАОУ наблюдения – школы с углубленными программами обучения; МАОУ сравнения – типовые школы с аналогичным и более низким уровнем загрязнения объектов среды обитания; 2) качество компонентов среды обитания (организация образовательного процесса, качество питания, атмосферного воздуха, воздуха учебных помещений, питьевой воды, социально-экономические условия); 3) состояние здоровья 756 школьников. В ходе исследования использованы санитарно-эпидемиологические, санитарно-гигиенические, социологические методы; клиничко-лабораторные, химико-аналитические исследования. Оценка совокупного влияния факторов образовательной среды и среды обитания проводилась методом нечеткой логики.*

*Установлено, что детерминантами негативного влияния образовательного процесса на здоровье школьников являются: увеличение напряженности, монотонности учебного труда, интеллектуальных нагрузок, сокращение длительности перемен и индекса дефицита восстановления; среди факторов питания – избыток жиров, углеводов, общей калорийности рациона, дефицит белка и микронутриентов; среди химических факторов – повышенное содержание в биосредах металлов, ароматических углеводородов и альдегидов, хлорорганических соединений. Риск-индуцирующими факторами у школьников, независимо от типа образовательной организации и уровня обучения, являются организация образовательного процесса ( $I_{рj} = 0,45-0,58$ ) и школьного питания ( $I_{рj} = 0,41-0,54$ ), групповой индекс потенциальной опасности которых достигает максимальных значений ( $I_{рj} = 0,49-0,58$  и  $I_{рj} = 0,46-0,54$ ) на первом уровне образования. Максимальный уровень интегрального индекса потенциальной опасности ( $I_{ржк} = 0,41-0,46$ ), обусловленный сочетанным воздействием факторов образовательной среды и среды обитания, независимо от типа учебной организации, формируется на третьем уровне обучения в образовательных организациях, реализующих углубленные программы обучения естественно-научной направленности ( $I_{ржк} = 0,41$ ), минимальный – в школе кадетского типа ( $I_{ржк} = 0,33$ ).*

**Ключевые слова:** школьники, факторы риска здоровью, образовательный процесс, питание, среда обитания, метод нечетких множеств.

Вопросы здоровьесбережения детей входят в число основных направлений государственной социальной политики, в том числе через обеспечение санитарно-эпидемиологического благопо-

лучия населения РФ [1]. Указом Президента РФ № 240 от 29.05.2017 2018–2027 гг. объявлены Десятилетием детства, в числе приоритетных мероприятий которого рассматриваются вопросы

© Эйфельд Д.А., Устинова О.Ю., Зайцева Н.В., Савочкина А.А., 2022

**Эйфельд Дарья Александровна** – кандидат биологических наук, заместитель директора по общим вопросам (e-mail: eisfeld@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-77-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0442-9010>).

**Устинова Ольга Юрьевна** – доктор медицинских наук, заместитель директора по клинической работе (e-mail: ustinova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 236-32-64; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491>).

**Зайцева Нина Владимировна** – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Савочкина Анна Александровна** – старший преподаватель кафедры высшей математики (e-mail: aidas\_76@mail.ru; тел.: 8 (342) 239-16-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-6632>).

обеспечения комфортной и безопасной образовательной среды для подрастающего поколения. Школа должна создавать благоприятные условия для обучения школьников, объединять как учебную, так и внеучебную деятельность детей на основе здоровьесформирующих образовательных технологий [2, 3]. Современный образовательный процесс включает в себя не только вопросы организации учебной деятельности в школе, но и задачи обеспечения безопасной внутришкольной среды, полноценного питания учащихся и обучение их навыкам правильной организации внеучебной деятельности и здорового образа жизни [4]. Одним из направлений реформирования школьного образования является создание новых типов образовательных учреждений (гимназий, школ с углубленным изучением отдельных предметов, кадетских корпусов и др.), обладающих правом разрабатывать свои учебные программы и применять различные педагогические технологии [5, 6]. Однако вновь разрабатываемые образовательные технологии зачастую не проходят санитарно-гигиенической экспертизы на их безопасность для здоровья школьников, в то время как данные многочисленных исследований свидетельствуют о неблагоприятной динамике основных показателей здоровья детей по мере школьного обучения [7, 8]. В условиях роста учебных нагрузок, интенсификации и информатизации обучения освоение образовательных программ достигается значительным напряжением функциональных возможностей организма учащихся [9, 10].

В настоящее время большое количество исследований направлено на изучение влияния химических загрязнителей атмосферного воздуха, воздуха закрытых помещений и питьевой воды образовательных организаций на здоровье школьников [5]. В воздухе школ и на пришкольных территориях нередко обнаруживается сверхнормативное присутствие формальдегида, фенола, стирола, этилбензола и бензола, в питьевой воде – хлорорганических соединений, что влечет за собой превышение допустимых уровней содержания этих соединений в биосредах детей с последующим развитием общерезорбтивного и органотропного негативных эффектов [11, 12].

Важнейшим фактором, влияющим на здоровье учащихся, является питание [13]. Заболевания, возникающие в результате нарушений в питании детей, могут проявляться не только в детском возрасте, но и на более поздних этапах онтогенеза [14]. Нездоровый рацион питания детского населения вызывает все большую озабоченность не только в РФ, но и за рубежом, так как приводит к алиментарно-зависимым заболеваниям детей и увеличивает риск развития сердечно-сосудистых и других системных заболеваний в старших возрастных группах [15].

Несмотря на значительную часть времени, которую дети проводят в стенах образовательных организаций, существенна роль и социально-экономических факторов семьи проживания ребенка, а также его внеучебной деятельности. В работах ряда исследователей установлено, что уровень двигательной активности у половины детей школьного возраста не соответствует критериям ВОЗ, в то время как стремительно развивающееся информационно-интерактивное пространство вовлекает все большее их количество в число своих пользователей [16].

В последнее десятилетие большое количество работ посвящено изучению влияния различных факторов образовательного процесса на состояние биологических констант развития и соматическое здоровье школьников, однако вопросы их сочетанного воздействия остаются малоизученными [16, 17]. Для целенаправленного управления рисками здоровью учащихся, связанными с образовательным процессом, требуется разработка нового подхода к объективной оценке сочетанного влияния факторов внутри- и внешкольной среды, позволяющего выделить приоритетные факторы риска и дифференцированно определить направления санитарно-гигиенических и медико-профилактических мероприятий.

**Цель исследования** – анализ ведущих факторов риска образовательного процесса в школах различного типа и разработка нового подхода к объективной оценке сочетанного влияния факторов образовательной среды и среды обитания на здоровье школьников.

**Материалы и методы.** Объектами исследования являлись:

– пять типов общеобразовательных организаций; МАОУ наблюдения – общеобразовательные школы, реализующие углубленные образовательные программы: I тип – естественно-научной направленности; II тип – общеразвивающей направленности; III тип – физкультурно-спортивной направленности; МАОУ сравнения – типовые общеобразовательные школы с аналогичным (IV тип) и более низким (V тип) уровнем загрязнения объектов среды обитания;

– качество компонентов среды обитания (организация образовательного процесса, качество питания, атмосферного воздуха, воздуха учебных помещений, питьевой воды, социально-экономические условия);

– состояние здоровья 756 школьников.

Дизайн исследования предполагал использование санитарно-эпидемиологических, санитарно-гигиенических, социологических методов; клинико-лабораторных, химико-аналитических исследований, методов оценки риска, вероятностного анализа и нечетких множеств.

Оценка показателей организации учебного процесса на трех уровнях образования проводилась на основании их сравнительного анализа на соот-

ветствие требованиям СанПиН 2.4.3648-20<sup>1</sup> и СанПиН 1.2.3685-21<sup>2</sup>. Изучение напряженности учебного процесса выполнено в соответствии с ФР РОШУМЗ-16-2015<sup>3</sup>.

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на территориях размещения общеобразовательных организаций, воздуха помещений школ и воды системы ЦХПВ выполнялась на основании результатов натурных исследований. Пробы атмосферного воздуха и воздуха помещений отбирались согласно ГОСТ 17.2.3.01 и ГОСТ Р ИСО 16017-1. Качество воздуха оценивали по содержанию фенола, бензола, толуола, этилбензола, марганца, свинца, никеля и хрома. Определение фенола в воздухе проводили фотометрическим методом, формальдегида – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), металлов – масс-спектрометрическим методом, ароматических углеводородов (бензола, толуола и этилбензола) – методом газовой хроматографии (ГХ) по стандартным методикам<sup>4</sup>. Анализ питьевой воды на содержание хло-

роформа, тетрахлорметана, 1,2-дихлорэтана выполняли ГХ-методом в соответствии с ГОСТ 31951-2012, формальдегида – методом ВЭЖХ в соответствии с ГОСТ 55227-2012, металлов – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Отбор проб воды проводили из источника централизованного водоснабжения (водопроводный кран). Рассчитывали среднеарифметические концентрации контролируемых соединений в воде. Оценку качества воздуха помещений, атмосферного воздуха и водопроводной воды проводили путем сравнения разовых и среднесуточных концентраций анализируемых соединений с нормативами (ПДК<sub>мр</sub>, ПДК<sub>сс</sub>, *RfC*, ПДК) и показателями территории сравнения. Химико-аналитическое исследование содержания в крови фенола, формальдегида, ароматических углеводородов, хлороформа, марганца, никеля, хрома, свинца осуществляли по стандартным методикам<sup>5</sup>. Критериями оценки контаминации биосред служили референтные, региональные фоновые уровни, показатели группы сравнения.

<sup>1</sup> СанПиН 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09.2020 № 28. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – 54 с.

<sup>2</sup> СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.10.2022).

<sup>3</sup> Гигиеническая оценка напряженности учебной деятельности обучающихся: федеральные рекомендации по оказанию медицинской помощи обучающимся. – М., 2015. – 18 с.

<sup>4</sup> РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 19.10.2022); МУК 4.1.1045-01. ВЭЖХ определение формальдегида и предельных альдегидов (C<sub>2</sub>–C<sub>10</sub>) в воздухе [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029341> (дата обращения: 19.10.2022); МУК 4.1.3481-17. Измерение массовых концентраций химических элементов в атмосферном воздухе методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293735/4293735234.htm> (дата обращения: 19.10.2022); МУК 4.1.3167-14. Газохроматографическое определение гексана, гептана, бензола, толуола, этилбензола, м-, о-, п-ксилолов, изопропилбензола, н-пропилбензола, стирола, а-метилстирола, бензальдегида в атмосферном воздухе, воздухе испытательной камеры и замкнутых помещений [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119249> (дата обращения: 19.10.2022).

<sup>5</sup> МУК 4.1.2108-06. Определение массовой концентрации фенола в биосредах (кровь) газохроматографическим методом [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200065240> (дата обращения: 21.10.2022); МУК 4.1.2111-06. Измерение массовой концентрации формальдегида, ацетальдегида, пропионового альдегида, масляного альдегида и ацетона в пробах крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200065243> (дата обращения: 21.10.2022); МУК 4.1.765-99. Газохроматографический метод количественного определения ароматических (бензол, толуол, этилбензол, о-, м-, п-ксилол) углеводородов в биосредах (кровь) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039012> (дата обращения: 21.10.2022); МУК 4.1.2115-06. Определение массовой концентрации хлороформа, 1,2-дихлорэтана, тетрахлорметана в биосредах (кровь) методом газохроматографического анализа равновесного пара [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200065247> (дата обращения: 21.10.2022); МУК 4.1.3230-14. Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/495856222> (дата обращения: 21.10.2022); МУК 4.1.3161-14. Измерение массовых концентраций свинца, кадмия, мышьяка в крови методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293766/4293766470.htm> (дата обращения: 21.10.2022).

Сравнительная оценка школьного питания выполнялась на основании анализа меню-раскладок с расчетом химического состава и энергетической ценности блюд, а также соотношения основных пищевых веществ рациона на соответствие требованиям СанПиН 2.3/2.4.3590-20<sup>6</sup>. На основании дневников питания выполнена сравнительная оценка соответствия среднесуточного продуктового набора нормативам. Индивидуальным весовым методом в течение четырех учебных дней по 10 измерениям определен средний вес порций и фактическое потребление блюд [18]. Рассчитана нутриентная и энергетическая ценность потребленного рациона во время завтрака и обеда (в школе III типа дополнительно во время полдника). Данные суточного потребления основных продуктов, полученные в ходе анкетирования, позволили высчитать индивидуальное содержание макро- и микронутриентов в суточном рационе. В основу расчетов были положены данные справочника химического состава российских продуктов питания<sup>7</sup>.

Анализ социально-экономических факторов риска и образа жизни проводился по данным социологического опроса, выполненного методом раздаточного анкетирования. Анкеты включали пять блоков вопросов, характеризующих образование родителей, доход семьи, жилищные условия, досуг школьников, напряженность внешкольного учебного процесса, двигательную активность (всего 65 вопросов). Оценка результатов осуществлялась по интегральному показателю, градуированному по шкале от 1 до 3 баллов (чем выше значение, тем менее качественные показатели).

Клинико-функциональное обследование детей выполнялось по стандартным методикам и включало: антропометрические измерения (в качестве контроля применялась шкала SDS), биоимпедансное исследование (БИА) – оценка ИМТ ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), доли жировой массы (ЖМ, %), фазового угла (ФУ, град.), скелетно-мышечной (СММ, кг), активной клеточной (АКМ, кг) и тощей массы (ТМ, кг), электроэнцефалографическое исследование (ЭЭГ), психологическое тестирование (оценка времени реакции, скорости движения и состояния внимания – RT-тест; оценка когнитивных функций – STROOP-тест; оценка пространственной оперативной памяти – CORSI-тест; оценка психологического состояния – тест Люшера), кардиоинтервалографию, анализ амбулаторных карт развития детей (форма № 112/у).

Оценку клинического статуса детей выполняли по результатам анализа протоколов осмотров педиатра, гастроэнтеролога, невролога, оториноларинголога, офтальмолога, эндокринолога, врача ЛФК, аллерголога-иммунолога<sup>8</sup>. Изучение результатов лабораторного обследования проводили по протоколам общеклинических, биохимических, иммунологических и иммуноферментных исследований<sup>9</sup>.

Анализ информации выполняли в пакете статистического анализа Statistica 6.0 и пакете статистических функций Microsoft Excel 2010. Математическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью параметрических методов статистики, предварительно оценивали соответствие полученных результатов закону нормального распределения. Для оценки достоверности различий полученных данных использовались критерии Стьюдента и Фишера. Статистическая обработка результатов социологических исследований выполнялась путем расчета и сравнения среднеарифметических значений, определения частотных и структурных характеристик. Проверка достоверности различий социологических показателей проводилась по критериям возраста и места обучения детей с использованием непараметрических критериев Краскела – Уоллеса и Манна – Уитни. Оценка влияния образовательного процесса, школьного питания, химических загрязнителей и социально-экономических факторов на антропометрические показатели, соматическое здоровье и психологическое состояние учащихся выполняли с применением метода однофакторного логистического регрессионного моделирования зависимостей «доза – вероятность ответа (эффект)» с оценкой значимости моделей по критерию Фишера ( $F$ ) с указанием константы ( $b_0$ ), коэффициента регрессии ( $b_1$ ) и коэффициента детерминации Nagelkerke ( $R^2$ ). Статистически значимыми считали различия при уровне  $p \leq 0,05$ . Общий вид логистической регрессионной модели:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 x)}}, \quad (1)$$

где  $p$  – вероятность отклонения ответа от нормы;  $x$  – уровень экспозиции;  $b_0$ ,  $b_1$  – параметры математической модели.

Оценка совокупного влияния организации образовательного процесса, школьного питания и антропогенных контаминантов проводилась методом, основанным на теории нечеткой логики (нечетких

<sup>6</sup> СанПиН 2.3/2.4.3590-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566276706> (дата обращения: 19.10.2022).

<sup>7</sup> Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

<sup>8</sup> Исследования выполнены врачами-специалистами ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

<sup>9</sup> Исследования выполнены специалистами отделов клинических, цитогенетических и иммунобиологических методов диагностики ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

множеств). Каждый фактор оценивали интервальными значениями для определения его принадлежности к диапазону шкалированного параметра. Для оценки степени влияния каждого из трех групп показателей на здоровье учащихся использовали шкалу на отрезке величин от 0 до 1, градирующую уровень индекса потенциальной опасности с учетом весовых вкладов отдельных показателей ( $I_{pdi}$ ) и группы в целом ( $I_{pdj}$ ) в итоговый результат. Значения весовых вкладов школьного питания, образовательного процесса и химических факторов среды обитания в тяжесть потенциальных нарушений биологического статуса школьников принимали равными: 0,4; 0,5; 0,1, а I, II, III уровней образования – 0,3; 0,2; 0,5 соответственно. Индекс потенциальной опасности ( $I_{pd}$ ) рассматривали как основную количественную величину вкладов отдельных показателей, используемую для оценки интегрального индекса ( $I_{pdk}$ ), и определяли как сумму произведений индексов потенциальной опасности каждой группы показателей ( $I_{pdj}$ ) и их весового вклада в тяжесть потенциальных нарушений биологического статуса школьников ( $V_g$ ). При расчетах степени принадлежности значения индекса потенциальной опасности к определенному диапазону шкалы метод использования множеств предполагал наличие нечетких границ диапазонов, размытых на  $\pm 20\%$ , в результате чего значения соседних диапазонов шкалы могли пересекаться. Каждый диапазон значений показателей представлял собой трапециевидное нечеткое число с функцией принадлежности к определенному диапазону шкалы. Основным инструментом реализации метода являлась функция принадлежности  $\mu(x)$  трапециевидному нечеткому числу, которое задавалось четверкой чисел ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ). В общем виде функция принадлежности значения показателя  $x$  к конкретному трапециевидному числу задавалась формулой

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a_1, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } a_1 \leq x < a_2, \\ 1, & \text{если } a_2 \leq x \leq a_3, \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } a_3 < x \leq a_4, \\ 0, & \text{если } x > a_4. \end{cases} \quad (2)$$

Величина  $\mu(x)$  отражала принадлежность диапазона значения показателя к диапазону шкалы индекса потенциальной опасности.

При оценке индекса потенциальной опасности по группе химических факторов для каждого показателя определяли вид негативного ответа здоровью в соответствии Руководством Р 2.1.10.1920-04 и МУ 2.1.10.3014-12, а также с иными релевантными научными данными. Присвоение ранга негативному ответу (классу болезней в соответствии с МКБ-10 от

A00 до R99) –  $l$  производили с учетом его тяжести, ранжированной в диапазоне значений от 0 до 1. Определение веса (частоты встречаемости) каждого ранжированного по степени тяжести класса болезни в совокупном негативном ответе ( $W_l$ ) осуществляли по правилу Фишберна:

$$W_l = \frac{2(K - l + 1)}{(K + 1)K}, \quad (3)$$

где  $W_l$  – вес ранжированного класса болезни в совокупном негативном ответе;  $K$  – общее количество классов болезней, установленных в совокупном негативном ответе;  $l$  – ранг негативного ответа (класса болезни) по степени тяжести.

Установленный вес каждого класса болезней ( $W_l$ ) распространялся на вес каждого показателя указанного класса, участвующего в формировании совокупного негативного ответа ( $G_i$ ). Для оценки индекса потенциальной опасности по группе факторов школьного питания и образовательного процесса устанавливался вес каждого показателя ( $G_i$ ) по формуле

$$G_i = \frac{1}{m}, \quad (4)$$

где  $m$  – количество всех рассматриваемых показателей в группе.

$$w_j = \sum_i G_i \cdot \mu_{ji}, \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (5)$$

где  $w_j$  – доля показателей, относящихся к определенному индексу потенциальной опасности (или к  $k$ -му шкалированному диапазону индекса потенциальной опасности и его рангу), от общего количества показателей группы;

$G_i$  – вес каждого показателя, участвующего в формировании совокупного негативного ответа;

$\mu_{ji}$  – значение функции принадлежности каждого показателя к  $j$ -му шкалированному диапазону индекса потенциальной опасности и его рангу.

Расчет величины индекса для каждой группы показателей ( $I_{pdj}$ ) с учетом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа осуществляли по формуле

$$I_{pdj} = \sum_{j=1}^5 \bar{I}_j \cdot w_j, \quad (6)$$

где  $I_{pdj}$  – величина индекса для каждой группы показателей с учетом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа;

$\bar{I}_j$  – середина каждого диапазона шкалы значений индекса потенциальной опасности, обусловленного воздействием каждой группы показателей;

$w_j$  – доля показателей, относящихся к определенному индексу потенциальной опасности (или

к  $k$ -му шкалированному диапазону индекса потенциальной опасности и его рангу), от общего количества показателей группы.

Интегральный индекс потенциальной опасности ( $I_{pdk}$ ) по всем группам показателей рассчитывали по формуле

$$I_{pdk} = \frac{1}{V_g} \sum_{p=1}^5 I_{pdj} \cdot V_g, \quad (7)$$

где  $I_{pdj}$  – значение величины индекса для каждой группы показателей с учетом их долевого вклада в формирование всех видов негативного ответа;

$V_g$  – весовой вклад группы в интегральный индекс потенциальной опасности;

$\bar{V}_g$  – средний весовой вклад групп в интегральный индекс.

Индексы оценивались отдельно по уровням образования, по каждому фактору, по группе факторов и по школе в целом. Полученные показатели определяли категорию школы по степени потенциальной опасности для здоровья школьников.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ организации образовательного процесса показал, что во всех типах изучаемых школ имели место нарушения СанПиН 2.4.3648-20<sup>10</sup>. Однако организация образовательного процесса в МАОУ, реализующих углубленные программы обучения, в отличие от типовых общеобразовательных школ, характеризовалась повышением в 1,4 раза интенсивности учебной нагрузки и нерациональным использованием электронных средств обучения, а режим образовательного процесса являлся в 1,4–1,9 раза более напряженным.

Оценка качества атмосферного воздуха и воздуха закрытых помещений показала, что во всех МАОУ присутствовал толуол и этилбензол, имелось повышенное (относительно ПДК<sub>ср</sub> = 0,01 мг/м<sup>3</sup>) содержание фенола и формальдегида: в 1,6–1,7 раза – в атмосферном воздухе (0,0162 ± 0,0022–0,0168 ± 0,0034 мг/м<sup>3</sup>) и в 1,2–2,0 раза – в воздухе помещений школ (0,0124 ± 0,0025–0,02136 ± 0,0044 мг/м<sup>3</sup>),  $p < 0,001$ .

В ходе оценки качества питьевой воды в обеих изучаемых группах школ установлено несоответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21<sup>11</sup>. Содержание хлороформа (0,138 ± 0,01 и 0,186 ± 0,007 мг/м<sup>3</sup>) и формальдегида (0,123 ± 0,004 и 0,094 ± 0,002 мг/м<sup>3</sup>) в питьевой воде превысило ПДК (0,06 и 0,05 мг/м<sup>3</sup>

соответственно) ( $p < 0,001$ ). В школах наблюдения концентрация хлороформа (0,138 ± 0,01 мг/м<sup>3</sup>) была в 1,4 раза ниже, а формальдегида (0,123 ± 0,004 мг/м<sup>3</sup>) и марганца (0,093 ± 0,0015 мг/м<sup>3</sup>) – в 1,3 и 28,2 раза соответственно выше аналогичных показателей школ сравнения (0,186 ± 0,007; 0,094 ± 0,002; 0,0033 ± 0,0004 мг/м<sup>3</sup> соответственно,  $p < 0,001$ ).

Изучение содержания химических веществ в биосредах детей показало превышение во всех МАОУ в 1,5–5,0 раза региональных фоновых уровней по фенолу (0,0100 ± 0,0036 мкг/мл) и в 2,2–16,8 раза – по формальдегиду (0,0050 ± 0,0014 мкг/мл) на всех уровнях образования (0,0150 ± 0,0050–0,0502 ± 0,0073 и 0,0110 ± 0,0007–0,0840 ± 0,0310 мкг/мл соответственно;  $p < 0,001$ ). В биосредах учащихся школы I типа установлено присутствие бензола и толуола; II типа – превышение референтных значений хрома (0,0027 ± 0,00199 мкг/мл) в 1,4–1,8 раза: 0,0037 ± 0,0005–0,0049 ± 0,0010 мкг/мл ( $p < 0,001$ ), обнаружены бензол, толуол, хлороформ; III типа – в 1,9–2,7 раза превышен референтный уровень хрома: 0,0052 ± 0,0005–0,0072 ± 0,0008 мкг/мл ( $p < 0,001$ ), установлена контаминация биосред бензолом, толуолом, хлороформом; IV типа – выявлены бензол и этилбензол; V типа – бензол, толуол и хлороформ.

Сравнительная гигиеническая оценка питания показала, что в меню всех школ нарушено соотношение макронутриентов относительно норматива (1:1:4). Наиболее согласуется с рекомендуемым уровнем питание детей школы IV типа (1:1,1:3,8); в питании детей школы I типа имеет место дефицит всех нутриентов – 0,8:0,7:2,6; в школах II (1,6:1,6:5,0), III<sup>12</sup> (1,4:1,5:4,3) и V (1,4:1,3:4,8) типов – превышение. Минимальный дефицит микронутриентов определен в школе I типа (кальций, витамин А), максимальный – в школе III типа (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С, А, железо, кальций, магний, фосфор). Следует отметить, что в рационах питания учащихся всех учебных заведений имел место недостаток кальция.

Установлено, что при максимальном (76,0–92,2 %) вкладе домашнего питания в формирование суточного набора продуктов у учащихся большинства МАОУ имело место превышение потребления колбасных (в 1,7–2,0 раза), макаронных (в 1,4–1,5 раза), кондитерских изделий (в 7,8–8,0 раза) и недостаточное потребление (в 1,6–3,8 раза) овощей, фруктов, рыбы, круп; трехразовое питание в школе III типа обеспечивало максимальное приближение к рекомендуемому суточному набору продуктов.

<sup>10</sup> СанПиН 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09.2020 № 28. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – 54 с.

<sup>11</sup> СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 19.10.2022).

<sup>12</sup> Сопоставление рационов питания школы III типа проводилось в соответствии с требованиями, предъявляемыми к образовательным организациям кадетского типа и кадетской направленности.

Изучение социальных факторов и образа жизни учащихся показало, что уровень доходов семей учеников инновационных школ существенно выше, а количество родителей с высшим образованием больше, чем в типовых школах. Для учащихся инновационных школ характерна большая дополнительная образовательная и спортивная нагрузка – до 3,5 раза.

Сравнительная оценка физического развития школьников показала, что для учащихся школы I типа характерен гармоничный вариант, который встречался на первых двух уровнях образования в 1,8–2,4 раза чаще, чем в школах сравнения; вместе с тем к III уровню относительный риск развития по дисгармоничному типу до 4,0 раза превышал аналогичный в типовой школе. Для детей школы II типа характерно соответствие роста, веса, данных кистевой динамометрии возрастным нормам; в то же время относительный риск развития к завершению обучения высокорослости более чем в 6,0 раза превышал аналогичный в группе сравнения. Детей школы III типа отличали средние показатели веса, развитая грудная клетка и тенденция к увеличению в 1,6 раза показателей экскурсии грудной клетки к III уровню обучения, при этом риск развития избытка массы тела у выпускников школы III типа в 3,0 раза превышал аналогичный в группе сравнения. Для учащихся III уровня обучения типовых общеобразовательных школ характерны средние показатели роста, однако формирование у каждого третьего подростка избытка массы тела ( $p = 0,02$ ).

Оценка нутритивного статуса выявила в типовых МАОУ к III уровню обучения увеличение в 2,0–2,3 раза числа детей с ИМТ и долей ЖМ, превышающих в 1,4–1,8 раза норму; одновременно низкие значения СММ и АКМ регистрировались у 14,0–27,6 % и 25,6–31,0 % соответственно, в то время как на первых двух уровнях – лишь в единичных случаях. Для учащихся школы I типа характерно снижение к старшим классам до 2,5 раза показателей ИМТ и доли ЖМ на фоне повышения в 1,3–2,6 раза значений ФУ, АКМ, СММ. Учащихся школы II типа отличала физическая активность на протяжении всех уровней образования, о чем свидетельствует в 1,6–2,3 раза более частая регистрация повышенных значений СММ и увеличение в 3,2 раза с возрастом числа детей с нормальными значениями СММ. Результаты БИА в школе III типа показали лучшую, чем у детей типовых МАОУ, физическую подготовку и двигательную активность, что подтверждается в 1,2–1,8 раза большими значениями АКМ, СММ, ФУ.

Анализ результатов ЭЭГ учащихся обеих групп исследования выявил снижение с возрастом частоты нарушений биоритмики головного мозга. В типовых МАОУ к третьему уровню обучения число случаев дисфункций не превышало 10,0 и 7,6 % соответственно, в то время как у учащихся школ I и II типов наблюдалась тенденция к скачкообразной динамике: стабилизация биоэлектрической активности мозга у большинства детей ко второму уровню образования

(86,4–100,0 %) и дестабилизация у 23,8–26,0 % учеников на третьем уровне. Относительный риск увеличения числа детей школы I типа с отклонениями от нормы на третьем уровне обучения в 3,8 раза превышал аналогичный в школе сравнения. В школе III типа в начале обучения доля детей с показателями ЭЭГ, соответствующими и не соответствующими возрастной норме, составляла 50,0 %. К III уровню задержка созревания корковой ритмики регистрировалась лишь у 13,3 % учеников, однако относительный риск сохранения дисфункции биоэлектрической активности мозга у детей школы III типа был в 1,8 раза выше, чем в группе сравнения.

Данные психологического тестирования выявили у детей школ I, II и III типов на первом уровне образования в 1,2–2,9 раза меньшие значения показателей стресса и тревожности, чем у учащихся типовых МАОУ, и большие – когнитивной гибкости. Сопоставление данных тестирования в начале и в конце учебного года показало снижение результативности тестирования у детей всех типов исследуемых школ. В большей степени разница в показателях характерна для учащихся школ I и III типов (до 2,8 раза). Дети школ, реализующих углубленные общеобразовательные программы, демонстрировали в 1,2–2,9 раза более устойчивый характер рабочей памяти, но значительное повышение показателей стресса, тревожности, переутомления и избыточного возбуждения к старшим классам. Относительный риск увеличения числа детей с признаками психологического стресса на третьем уровне обучения в школе I типа в 12,0 раза превышал аналогичный показатель группы сравнения; в школе II типа – более чем в 4,0 раза.

Результаты оценки функционального состояния вегетативной нервной системы выявили преобладание эйтонического варианта исходного вегетативного тонуса (ИВТ) у детей обеих групп на всех ступенях образования. В школе I типа частота регистрации детей с эйтонией к старшим классам уменьшалась в 1,6 раза (с 67,6 до 41,7 %); относительный риск повышения числа детей с ваготоническим вариантом ИВТ на третьем уровне обучения в 2,0 раза превышал показатель группы сравнения. Доля учащихся с симпатико-тоническим типом ВР в типовых МАОУ и школе III типа по мере взросления детей сохранялась на одном уровне, в то время как в школе I и II типов имела тенденцию к снижению в 1,3–1,8 раза. У учащихся школ, реализующих углубленные общеобразовательные программы, наблюдалось увеличение к выпускным классам до 4,0 раза числа случаев регистрации асимпатико-тонического типа ВР (с 0,0–5,9 до 15,4–23,8 %).

Анализ заболеваемости учащихся показал во всех образовательных организациях к старшим классам рост в 3,1–5,2 раза случаев регистрации патологии глаза (с 7,7–18,2 до 23,5–71,6 %), что в большей степени характерно для учащихся школы I типа (71,6 %), в меньшей – III типа (23,0 %). Для учеников школы I типа характерен рост в 1,7 раза патологии



нервной системы (с 54,2 до 89,5 %). Во всех остальных школах отмечена тенденция к увеличению заболеваемости болезнями эндокринной системы (с 35,4–77,1 до 45,1–89,5 %). Дети типовых МАОУ демонстрировали к третьему уровню образования в 1,2–3,1 раза более высокий уровень соматической заболеваемости по большинству классов болезней.

Анализ распределения учащихся по группам здоровья выявил в группе наблюдения на первом и втором уровнях образования в 1,2–1,8 раза меньшее количество детей с 1-й и 2-й группами здоровья и в 1,8–2,5 раза большее – с 3-й группой, чем в группе сравнения. На втором уровне образования относительный риск увеличения числа детей с 3-й группой здоровья в школах, реализующих углубленные образовательные программы, более чем в 3,0 раза превышал показатель группы сравнения; на третьем уровне – в 1,9 раза.

Оценка закономерностей формирования негативных эффектов по результатам лабораторных исследований показала, что в случаях, когда факторы образовательного процесса превышали нормативные значения, содержание химических веществ в атмосферном воздухе, воздухе учебных помещений, питьевой воде и биосредах – предельно допустимые концентрации и значения фоновых / референтных уровней, при этом баланс макро-, микро-нутриентов и калорийность школьного питания не соответствовали возрастным нормам, а социальные факторы не отвечали в полной мере физиологическим потребностям учащихся, у школьников развивался дисбаланс нейроэндокринной и нейровегетативной регуляции ( $R^2 = 0,26–0,31$ ), нарушения окислительно-антиоксидантных процессов ( $R^2 = 0,10–0,22$ ), разбалансированность основных видов обмена ( $R^2 = 0,13–0,89$ ) и формировался вторичный транзиторный иммунодефицит на фоне сенсibilизации ( $R^2 = 0,10–0,68$ ). Дисбаланс нейроэндокринной и нейровегетативной регуляции у детей группы наблюдения проявлялся в 1,4 раза более низким уровнем серотонина, кортизола, в 1,2 раза –  $T_4$  свободного, в 1,7 раза – ацетилхолина и в 2,0 раза более высоком содержании ТТГ. Нарушение окислительно-антиоксидантного гомеостаза характеризовалось снижением АОА в 1,9 раза чаще, чем в группе сравнения, повышением в 2,9 раза уровня МДА и до 4,4 раза  $\Delta$ -АЛК. Расстройство основных видов обмена сопровождалось билирубинемией, гипергликемией и снижением процессов ремоделирования костной ткани и встречалось в 1,3–1,5 раза чаще в группе наблюдения. Вторичные иммуносупрессивные состояния манифестировали повышением в 1,2–1,4 раза показателей сенсibilизации на фоне снижения в 1,2–1,6 раза количества лимфо- и моноцитов, СД19, содержания ИЛ-4 и активности фагоцитоза.

Оценка влияния комплекса факторов на параметры компонентного состава тела учащихся показала, что повышенные концентрации фенола и хрома снижают вероятность формирования физиологического уровня АКМ, в то время как поступление с пищей железа, витаминов С и В<sub>1</sub> в возрастных дозиров-

ках – повышают. Вероятность физиологического формирования СММ повышается при сбалансированном поступлении с питанием кальция, магния, фосфора и белка и снижается при повышенном содержании в крови никеля и формальдегида. Формирование АКМ и СММ снижается при увеличении учебных нагрузок. Развитие ТМ на первом уровне достоверно снижает повышение монотонности нагрузок и напряженности учебного труда, на втором уровне – сокращение продолжительности перемен, уменьшение индекса восстановления, а также повышение в крови уровня хрома и формальдегида. На третьем уровне образования на формирование ТМ значимое влияние оказывает дефицит магния и белка в школьном питании. Показатели основного обмена в большей степени снижают повышенные учебные нагрузки, снижение продолжительности перемен и показателя индекса восстановления, а также увеличение концентрации хрома и формальдегида в крови. Повышают вероятность накопления ЖМ и увеличения ИМТ снижение учебной нагрузки и ее интеллектуальной составляющей, сокращение продолжительности перемен, в то время как повышение концентрации хрома в крови снижает данные показатели. На первых уровнях образования повышенное содержание бензола в крови детей повышает вероятность избыточного накопления ЖМ. Адекватное потребление белков, жиров и углеводов приобретает особую значимость на втором и третьем уровнях образования. Показатели роста на первом уровне снижают повышенное содержание свинца и никеля в крови, в то время как на втором и третьем уровнях вероятность соответствия ростовых показателей возрастной норме повышается при соблюдении нормативов питания по содержанию кальция, фосфора, железа, витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С.

Оценка влияния комплекса факторов на структуру заболеваемости учащихся показала, что на манифестацию заболеваний сердечно-сосудистой системы максимальное влияние оказывает повышенное содержание в крови детей бензола, никеля, свинца, увеличение учебных нагрузок и индекса дефицита восстановления, сокращение перемен. Повышает вероятность развития заболеваний нервной системы сверхнормативная калорийность школьного питания, дефицит магния, витамина В<sub>1</sub>, увеличение монотонности учебного труда, дневной учебной и эмоциональной нагрузок, а также повышенное содержание в крови свинца, формальдегида и фенола. Вероятность развития болезней мочеполовой, пищеварительной и дыхательной систем увеличивается в условиях присутствия в крови хлороформа и превышения допустимых концентраций никеля, формальдегида, хрома, свинца и фенола. Развитие патологии пищеварительной системы могут провоцировать: монотонность учебного труда, увеличение дневной учебной нагрузки и индекса дефицита восстановления, сокращение продолжительности перемен, а также дефицит магния, белка, витамина С



и избыток жиров. Вероятность развития болезней органов дыхания повышают монотонность и напряженность учебного процесса, увеличение числа уроков, а также наличие в биосредах толуола. Частота манифестации заболеваний глаза возрастает при повышении концентрации формальдегида в крови, дефиците в школьном питании витаминов А и С, а также при увеличении эмоциональных, интеллектуальных нагрузок и рекомендуемого количества уроков в день. Развитие заболеваний кожи и подкожной клетчатки провоцирует превышение референтных уровней хрома и никеля в крови, а также повышение монотонности, напряженности учебного процесса и дневной учебной нагрузки. Установлена связь развития заболеваний опорно-двигательного аппарата с превышением в школьном питании общей калорийности блюд и углеводного компонента, дефицитом витамина С, увеличением количества уроков в день, напряженности учебного труда, его интеллектуальной составляющей, а также уровнем свинца и марганца. На заболевания эндокринной системы оказывают влияние превышение углеводной составляющей, дефицит белка, витаминов С и В<sub>1</sub> в школьном питании и сокращение продолжительности перемен.

Оценка влияния комплекса факторов на результаты психологического тестирования учащихся продемонстрировала, что повышение учебной нагрузки, длительности учебного времени, монотонности учебного процесса, возрастание интеллектуальных и эмоциональных нагрузок снижают зрительно-пространственную краткосрочную память, вместе с тем снижение индекса дефицита восстановления и увеличение длительности перемен ее улучшают. Эффективность когнитивных процессов снижает повышение длительности учебного времени, а также сокращение перемен, увеличение интеллектуальной и дневной учебной нагрузки. Оценка влияния антропогенных загрязнителей продемонстрировала снижение когнитивных функций учащихся на всех уровнях образования при повышении в крови концентрации марганца, свинца, никеля, фенола и хлороформа. Установлено, что повышение концентрации никеля на первом уровне, фенола и хлороформа – на втором уровне, марганца, никеля – на третьем уровне снижает зрительно-пространственную краткосрочную память. Повышение концентрации магния, никеля, свинца, фенола и контаминация хлороформом увеличивают вероятность снижения скорости психологических реакций на всех ступенях образования. Оценка влияния питания на результаты психологического тестирования показала снижение гибкости когнитивных процессов при дефиците в школьном питании белка, кальция, железа, витаминов С, В<sub>1</sub>, избытке углеводов и превышении общей калорийности блюд. Зрительно-пространственную память детей ухудшает дефицит кальция, витаминов С, А, В<sub>2</sub>, белка, сверхнормативное потребление жиров. Время реакции при прохождении психологического тестирования достоверно снижает дефицит кальция, железа, магния, витамина С, белка и пре-

вышение углеводного компонента. Установлена зависимость снижения когнитивных функций от увеличения напряженности внешкольного учебного процесса на всех уровнях образования, в то время как увеличение двигательной активности повышает гибкость когнитивных процессов. Результативность рабочей памяти имеет прямую зависимость от повышения социально-экономического уровня семьи, однако доля данного фактора в числе прочих на всех уровнях составляет не более 6,0–10,0 %.

Таким образом, основными детерминантами негативного влияния образовательного процесса на биологический статус школьников являются: повышение напряженности, монотонности учебного труда, интеллектуальных нагрузок, сокращение длительности перемен и индекса дефицита восстановления; среди факторов питания – избыток жиров, углеводов, общей калорийности, дефицит белка, микронутриентов; среди химических факторов – повышенное содержание в биосредах марганца, свинца, хрома, никеля, фенола, формальдегида, присутствие в биосредах ароматических углеводородов.

На основе метода нечеткой логики определены величины, структурирован и классифицирован индекс потенциальной опасности воздействия факторов образовательного процесса и среды обитания на морфофункциональный, соматический и психологический статус школьников. Для школы I типа индекс потенциальной опасности, связанной с нарушениями в школьном питании, на первом уровне образования составил  $I_{pdj} = 0,065$ , на втором и третьем уровнях –  $I_{pdj} = 0,033–0,082$ ; в целом по трем уровням образования его значение достигало  $I_{pdj} = 0,180$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, обусловленной нарушениями в организации образовательного процесса, на первом уровне составлял  $I_{pdj} = 0,087$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,052$ , на третьем уровне –  $I_{pdj} = 0,123$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,262$  (низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, сопряженной с антропогенными загрязнителями, на первом и втором уровнях образования составил  $I_{pdj} = 0,005–0,003$  с тенденцией повышения на третьем уровне до  $I_{pdj} = 0,008$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,016$  (пренебрежимо малая опасность) (таблица).

Интегральный индекс потенциальной опасности многокомпонентного влияния школьного питания, учебного процесса и антропогенных загрязнителей на первых двух уровнях образования составил  $I_{pdk} = 0,39$  (средне-низкая), на третьем уровне –  $I_{pdk} = 0,46$  (средняя). В школе I типа на каждом уровне образования интегральный индекс потенциальной опасности превышал безопасный ( $I_{pd} < 0,15$ ) в 2,6–3,1 раза и в целом с первого уровня к третьему повышался в 1,2 раза. Общий интегральный индекс потенциальной опасности нарушений биологического статуса учащихся всех уровней образования школы I типа составил  $I_{pdk} = 0,47$  (средний), что в 3,0 раза превышает границу безопасного уровня (рисунок).

Индексы по степени потенциальной опасности нарушений биологического статуса учащихся школ различного типа

Фактор риска	Школа I типа			Школа II типа			Школа III типа			Школа IV типа			Школа V типа		
	Уровень образования														
<i>Школьное питание</i>	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Белки, г	0,06	0,05	0	0	0	0	0,04	0,03	0,05	0	0,04	0	0	0,03	0
Жиры, г	0	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03	0,03	0,04	0,1	0,03	0,07	0,10	0,05	0,07
Углеводы, г	0	0,04	0,06	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,05	0,1	0,04	0,06	0,10	0,05	0,06
Калорийность, Ккал	0	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,1	0,04	0,05	0,10	0	0,05
V <sub>1</sub> , мг	0,07	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0	0,03	0,05	0	0,05	0,05
V <sub>2</sub> , мг	0,06	0,03	0,05	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,05	0	0,05	0	0	0,05	0,05
C, мг	0,06	0,04	0	0	0	0	0,06	0,05	0,06	0,09	0,04	0	0,09	0,05	0
A, мг	0,08	0,05	0	0,06	0	0	0,05	0,05	0,05	0	0,07	0	0	0,03	0
Ca, мг	0,06	0,07	0,08	0	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0	0,06	0,08	0	0,03	0,08
P, мг	0,06	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0	0	0	0,08	0,06	0,05	0,08	0,05	0,05
Mg, мг	0,06	0	0	0	0	0	0,04	0,03	0,05	0	0,04	0	0	0,04	0
Fe, мг	0,05	0	0	0	0	0	0,05	0,04	0,03	0	0,04	0	0	0	0
Итог (I <sub>pd</sub> )	0,54	0,42	0,41	0,43	0,41	0,41	0,46	0,42	0,49	0,46	0,53	0,41	0,46	0,43	0,41
I <sub>pdj</sub> по уровню образования	0,065	0,033	0,082	0,052	0,033	0,082	0,054	0,033	0,098	0,055	0,042	0,082	0,055	0,034	0,082
I <sub>pdj</sub> по школе в целом	0,180			0,166			0,185			0,180			0,171		
<i>Образовательный процесс</i>															
Перерыв между сменами и факультативными занятиями	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,13	0,09	0,14	0,17	0,17	0,14	0,14	0,15
Большая перемена	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
Перемены между уроками	0,1	0,1	0,1	0,07	0,07	0,07	0,08	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0,07
Наполняемость классов, м <sup>2</sup>	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,1	0,1	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06
Недельная нагрузка	0,08	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06
Дневная нагрузка, уроки	0,08	0,05	0,07	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
Итог (I <sub>pd</sub> )	0,58	0,52	0,55	0,49	0,45	0,49	0,50	0,38	0,34	0,53	0,49	0,48	0,53	0,51	0,47
I <sub>pdj</sub> по уровню образования	0,087	0,052	0,123	0,074	0,045	0,123	0,068	0,038	0,085	0,080	0,049	0,120	0,080	0,051	0,012
I <sub>pdj</sub> по школе в целом	0,262			0,242			0,191			0,249			0,142		
<i>Антропогенные контаминанты</i>															
Фенол, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Толуол, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Бензол, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Формальдегид, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Хром, мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Никель, мг/дм <sup>3</sup>	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Хлороформ, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1,2-дихлорэтан, мг/дм <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Этилбензол	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Четыреххлористый углерод, мг/дм <sup>3</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Свинец, мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Итог (I <sub>pd</sub> )	0,15	0,15	0,16	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16
I <sub>pdj</sub> по уровню образования	0,005	0,003	0,008	0,005	0,003	0,008	0,004	0,003	0,007	0,005	0,003	0,008	0,005	0,003	0,008
I <sub>pdj</sub> по школе в целом	0,016			0,016			0,014			0,016			0,016		
Интегральный I <sub>pdk</sub> по уровню образования	0,39	0,39	0,46	0,34	0,32	0,42	0,34	0,30	0,32	0,36	0,37	0,42	0,35	0,37	0,41
Общий по уровню, %	100,0	4,60 95,30	100,0	16,53 83,47	42,89 57,11	23,85 76,15	2,36 97,64	87,1 21,9	67,43 32,57	100,0	100,0	29,49 70,51	100,0	6,58 93,42	36,17 63,83
Общий интегральный (I <sub>pdk</sub> ) по школе в целом	0,472			0,425			0,400			0,444			0,435		
Общий по школе, %	100,0			25,46 74,54			50,05 49,95			5,63 94,37			15,2 84,8		

Примечание:

- малая опасность
- низкая опасность
- средняя опасность
- высокая опасность
- очень высокая опасность

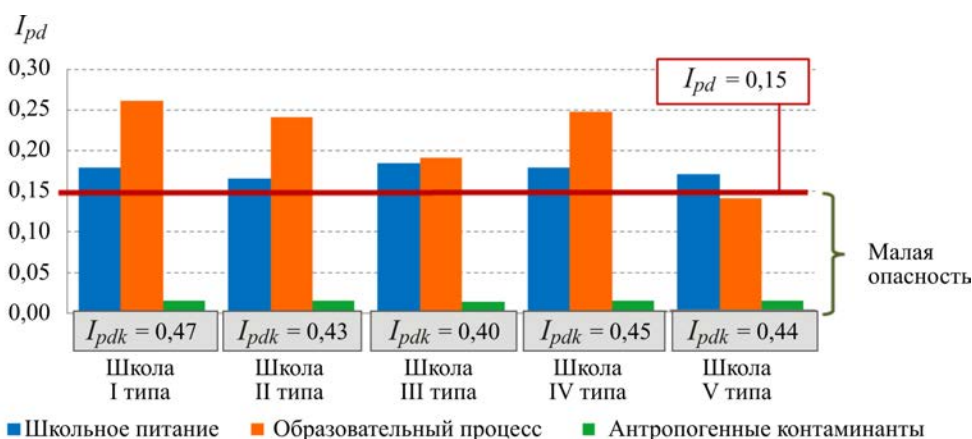


Рис. Профили индексов потенциальной опасности нарушений биологического статуса школьников в условиях сочетанного воздействия комплекса факторов образовательной среды

В школе II типа индекс потенциальной опасности, сопряженной с нарушениями в питании, на первом уровне образования составил  $I_{pdj} = 0,052$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,033$ , на третьем уровне –  $I_{pdj} = 0,082$ ; в целом по трем уровням образования его значение достигало  $I_{pdj} = 0,166$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, связанной с факторами образовательного процесса, составил на первом уровне образования  $I_{pdj} = 0,074$ , на втором –  $0,045$ , на третьем –  $I_{pdj} = 0,123$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,242$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, обусловленный антропогенными контаминантами, на первом уровне имел величину  $I_{pdj} = 0,005$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,003$ , на третьем –  $I_{pdj} = 0,008$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,016$  (пренебрежимо малая опасность). Интегральный индекс потенциальной опасности нарушений биологического статуса школьников под влиянием всех изучаемых факторов на первом уровне образования составил  $I_{pdk} = 0,34$ , на втором –  $I_{pdk} = 0,32$  (низкая опасность); на третьем уровне его значение возрастало в 1,2–1,3 раза до  $I_{pdk} = 0,42$  (средне-низкая опасность). Интегральный индекс потенциальной опасности для всех учащихся школы II типа составил  $I_{pdk} = 0,43$  (средне-низкая), превышая границу допустимого уровня в 2,9 раза. В школе III типа на первом уровне образования индекс потенциальной опасности, связанной с нарушениями в питании, составил  $I_{pdj} = 0,054$ ; на втором уровне –  $I_{pdj} = 0,033$ ; на третьем уровне –  $I_{pdj} = 0,098$ ; в целом по трем уровням образования его значение достигало  $I_{pdj} = 0,185$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Нарушения в организации образовательного процесса на первом уровне сформировали индекс потенциальной опасности с величиной  $I_{pdj} = 0,068$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,038$ , на третьем уровне –  $I_{pdj} = 0,085$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,191$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, сопряженной с антропо-

генными контаминантами, на первом уровне равнялся  $I_{pdj} = 0,004$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,003$ , на третьем –  $I_{pdj} = 0,007$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,014$  (пренебрежимо малая опасность). Интегральный индекс потенциальной опасности нарушений биологического статуса учащихся при сочетанном влиянии факторов на первом уровне образования составил  $I_{pdk} = 0,34$ ; на втором уровне –  $I_{pdk} = 0,30$ ; на третьем уровне –  $I_{pdk} = 0,32$  (низкая). Интегральный индекс потенциальной опасности для всех учащихся школы III типа составил  $I_{pdk} = 0,40$  (средне-низкая), превышая допустимую границу в 2,7 раза ( $I_{pd} < 0,15$ ). В школе IV типа индекс потенциальной опасности, связанный с несоответствием школьного питания нормативам, составлял  $I_{pdj} = 0,055$  на первом уровне,  $I_{pdj} = 0,042$  – на втором уровне и  $I_{pdj} = 0,082$  – на третьем уровне образования; в целом по трем уровням образования его значение достигало  $I_{pdj} = 0,180$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, связанной с нарушениями в организации учебного процесса, на первом уровне образования достигал  $I_{pdj} = 0,080$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,049$ , на третьем –  $I_{pdj} = 0,120$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,249$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, сопряженной с антропогенными контаминантами, на первом уровне равнялся  $I_{pdj} = 0,005$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,003$ , на третьем –  $I_{pdj} = 0,008$ ; в целом по трем уровням образования –  $I_{pdj} = 0,016$  (пренебрежимо малая опасность). Интегральный индекс потенциальной опасности одновременного воздействия факторов образовательного процесса и среды обитания составил на первом и втором уровнях  $I_{pdk} = 0,36$  и  $I_{pdk} = 0,37$  соответственно; на третьем уровне  $I_{pdk} = 0,42$  (средне-низкая опасность) – являлся неприемлемым ( $I_{pdk} > 0,15$ ) на всех уровнях образования, возрастая от первого к третьему уровню в 1,2 раза. Интегральный индекс потенциальной опасности для всех учащихся школы IV типа составил  $I_{pdk} = 0,45$  (средняя), превысив гра-

ницу допустимого уровня в 3,0 раза. У учащихся школы V типа индекс потенциальной опасности, сопряженной с нарушениями в школьном питании, составил  $I_{pdj} = 0,055$  на первом уровне образования,  $I_{pdj} = 0,034$  – на втором и  $I_{pdj} = 0,082$  – на третьем; в целом по трем уровням образования его значение достигало  $I_{pdj} = 0,171$  (пренебрежимо малая – низкая опасность). Индекс потенциальной опасности, связанной с нарушениями в организации образовательного процесса, у учащихся первого уровня образования достигал  $I_{pdj} = 0,080$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,051$ ; на третьем –  $I_{pdj} = 0,012$  и составлял в целом  $I_{pdj} = 0,142$  (пренебрежимо малая опасность). Индекс потенциальной опасности, обусловленной антропогенными контаминантами, на первом уровне составлял  $I_{pdj} = 0,005$ , на втором –  $I_{pdj} = 0,003$ , на третьем –  $I_{pdj} = 0,008$ ; в целом по всем уровням образования составляя  $I_{pdj} = 0,016$  (пренебрежимо малая опасность). Интегральный индекс потенциальной опасности всех действующих факторов на первом уровне образования составил  $I_{pdk} = 0,35$ , на втором –  $I_{pdk} = 0,37$ , на третьем –  $I_{pdk} = 0,41$  (средне-низкая опасность), возрастая в 1,2 раза к третьему уровню. В целом для всех детей школы V типа интегральный индекс потенциальной опасности риск-индуцирующих факторов образовательного процесса и среды обитания составил  $I_{pdk} = 0,44$  (средне-низкая опасность), что превышает безопасный порог ( $I_{pd} < 0,15$ ) в 2,9 раза.

В целом наибольшую значимость для формирования индекса потенциальной опасности, сопряженной с нарушениями в школьном питании учащихся всех уровней образования, имеет дефицит микронутриентов, особенно витаминов С, В<sub>2</sub>, А, кальция, фосфора, магния и избыток макронутриентов (жиров, углеводов). Среди факторов образовательного процесса наибольший вклад в формирование интегрального индекса потенциальной опасности нарушений здоровья школьников всех уровней образования вносят превышение дневной и недельной учебных нагрузок, сокращение перемен между уроками и факультативными занятиями, повышенная наполняемость классов. Среди антропогенных контаминантов наиболее значимы бензол, толуол, этилбензол и хлороформ. Несмотря на то что их влияние лежит в пределах допустимого уровня –  $I_{pdj} = 0,15–0,16$  (пренебрежимо малая – низкая), при сочетанном воздействии с другими риск-индуцирующими факторами они формируют интегральный индекс потенциальной опасности нарушений биологического статуса учащихся.

Сравнение значений интегрального индекса потенциальной опасности нарушений здоровья школьников всех уровней образования различных

типов школ с диапазонами шкалы показало, что его величины ( $I_{pdk} = 0,40–0,47$ ) в 2,7–3,1 раза превышали допустимый уровень ( $I_{pd} \leq 0,15$ ), при этом первое ранговое место по одновременному негативному влиянию риск-индуцирующих факторов принадлежит школе I типа, реализующей углубленную программу образования естественно-научной направленности, второе – типовым средним общеобразовательным школам, третье – школе II типа, четвертое – школе III типа.

#### **Выводы:**

1. Основными детерминантами негативного влияния образовательного процесса на здоровье школьников являются: превышение напряженности, монотонности учебного труда, интеллектуальных нагрузок, сокращение длительности перемен и индекса дефицита восстановления; среди факторов питания – избыток жиров, углеводов, общей калорийности рациона, дефицит белка и микронутриентов; среди химических факторов – повышенное содержание в биосредах металлов, ароматических углеводородов и альдегидов, хлорорганических соединений.

2. Ведущим риск-индуцирующим фактором у школьников независимо от типа образовательной организации и уровня обучения является организация образовательного процесса ( $I_{pj} = 0,45–0,58$ ) и школьного питания ( $I_{pj} = 0,41–0,54$ ), групповой индекс потенциальной опасности которых достигает максимальных значений ( $I_{pj} = 0,49–0,58$  и  $I_{pj} = 0,46–0,54$  соответственно) на первом уровне образования.

3. Максимальный уровень интегрального индекса потенциальной опасности ( $I_{pdk} = 0,41–0,46$ ), обусловленной сочетанным действием факторов образовательного процесса, школьного питания и антропогенных контаминантов, независимо от типа учебной организации, формируется на третьем уровне обучения.

4. В условиях сочетанного воздействия факторов образовательного процесса и среды обитания максимальный уровень интегрального индекса потенциальной опасности здоровью школьников формируется в образовательных организациях, реализующих углубленные программы обучения естественно-научной направленности ( $I_{pdk} = 0,41$ ), минимальный – в школе кадетского типа ( $I_{pdk} = 0,33$ ).

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственных бюджетных научно-исследовательских работ ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

**Конфликт интересов.** Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Бузинов Р.В., Аверина Е.А., Унгуриян Т.Н. Влияние условий образовательной среды на состояние здоровья детей дошкольного и школьного возраста на территории Архангельской области // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 3. – С. 27–32.
2. Прахин Е.И., Гуров В.А., Пономарева Э.В. Психосоматические особенности детей в медико-педагогическом мониторинге здоровьесформирующей деятельности школ // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 7. – С. 635–641. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-7-635-641
3. Вирабова А.Р., Кучма В.Р., Шклярова О.А. Комплексный подход к использованию ресурсов для здоровьесбережения детей и подростков в личностно-ориентированной образовательной среде современной школы // Антропологическая дидактика и воспитание. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 10–23.
4. High intensity intermittent games-based activity and adolescents' cognition: moderating effect of physical fitness / S.B. Cooper, K.J. Dring, J.G. Morris, C. Sunderland, S. Bandelow, M.E. Nevill // BMC Public Health. – 2018. – Vol. 18, № 1. – P. 603. DOI: 10.1186/s12889-018-5514-6
5. Никифорова Н.В. Риск здоровью детей при загрязнении формальдегидом воздушной среды помещений дошкольных учреждений // Актуальные проблемы безопасности и анализа риска здоровью населения при воздействии факторов среды обитания: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2016. – С. 244–247.
6. Гигиена детей и подростков в современной школьной медицине / В.Р. Кучма, С.Г. Сафонкина, В.В. Молдованов, Н.Ю. Кучма // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1024–1028. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1024-1028
7. Ефимова Н.В., Мыльникова И.В. О влиянии факторов окружающей среды и образа жизни на формирование синдрома вегетативной дисфункции у школьников // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 76–81. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-76-81
8. Романенко С.П. Оценка питания и двигательной активности детей в образовательных организациях кадетского типа // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 1. – С. 63–68. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-1-63-68
9. Характеристика физического здоровья учащихся современных общеобразовательных организаций / Е.С. Богомолова, М.В. Шапошникова, Н.В. Котова, Т.В. Бадеева, Е.О. Максименко, А.С. Киселева, С.Н. Ковальчук, М.В. Ашина, Е.О. Олюшина // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 9. – С. 956–961. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-9-956-961
10. Проблемы здоровья школьников в современных условиях: индикация риска, методы профилактики / М.А. Лобкис, И.И. Новикова, Ю.В. Ерофеев, М.А. Кузьменко // Современные проблемы гигиены, токсикологии и медицины труда: материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященная 90-летию образования ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора. – Омск, 2020. – С. 155–159.
11. Особенности нервно-психического статуса и качества жизни детей и подростков как результат воздействия факторов риска образовательной среды / А.Г. Сетко, Е.А. Терехова, А.В. Тюрин, М.М. Моисеева // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 2. – С. 62–69. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.07
12. Heavy metal quantification of classroom dust in school environment and its impacts on children health from Rawang (Malaysia) / S.Y. Tan, S.M. Praveena, E.Z. Abidin, M.S. Cheema // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2018. – Vol. 25, № 34. – P. 34623–34635. DOI: 10.1007/s11356-018-3396-x
13. Яценко А.К., Транко вская Л.В. Влияние факторов окружающей среды, обучения и воспитания на биологическое развитие детей (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 5. – С. 102–107.
14. Погожева А.В., Смирнова Е.А. Роль образовательных программ в области здорового питания как основы профилактики неинфекционных заболеваний (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1426–1430. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1426-1430
15. Patchy progress on obesity prevention: emerging examples, entrenched barriers, and new thinking / C.A. Roberto, B. Swinburn, C. Hawkes, T.T.-K. Huang, S.A. Costa, M. Ashe, L. Zwicker, J.H. Cawley, K.D. Brownell // Lancet. – 2015. – Vol. 385, № 9985. – P. 2400–2409. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61744-X
16. Научные основы и технологии обеспечения гигиенической безопасности детей в «цифровой школе» / В.Р. Кучма, Л.М. Сухарева, М.И. Степанова, П.И. Храмов, И.Э. Александрова, С.Б. Соколова // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 12. – С. 1385–1391. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-12-1385-1391
17. Методические аспекты оценки потенциального ущерба здоровью школьников / И.И. Новикова, Ю.В. Ерофеев, А.В. Денисов, И.В. Мыльникова // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 10. – С. 1124–1128. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-10-1124-1128
18. Перевалов А.Я., Лир Д.Н. Выбор метода изучения питания детей в организованных коллективах при оценке риска здоровью // Санитарный врач. – 2015. – № 9. – С. 15–21.

*Оценка потенциальной опасности влияния риск-индуцирующих факторов образовательного процесса и среды обитания на соматическое здоровье учащихся школ различного типа / Д.А. Эйфельд, О.Ю. Устинова, Н.В. Зайцева, А.А. Савочкина // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 72–86. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.07*

UDC 614.72

DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.07.eng



Research article

## ASSESSMENT OF POTENTIAL HAZARDS POSED BY INFLUENCE OF RISK-INDUCING ENVIRONMENTAL FACTORS AND FACTORS RELATED TO THE EDUCATIONAL PROCESS ON SOMATIC HEALTH OF SCHOOLCHILDREN IN DIFFERENT SCHOOLS

D.A. Eisfeld<sup>1</sup>, O.Yu. Ustinova<sup>1,2</sup>, N.V. Zaitseva<sup>1,2</sup>, A.A. Savochkina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

<sup>2</sup>Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

*Contemporary school should create favorable conditions for schoolchildren. The aim of the study was to comparatively analyze risk factors related to the educational process in different schools and to develop a new approach to objective assessment of combined exposure to environmental factors and factors related to the educational process and its influence on schoolchildren's health.*

*The study focused on the following research objects: 1) five different secondary schools, the test ones providing profound educational programs and the reference ones being ordinary secondary schools with the same or lower levels of pollution in environmental objects; 2) quality of components in the school environment (organization of the educational process, quality of meals provided by school, quality of ambient air on a school territory and inside a school, quality of drinking water, socioeconomic conditions); 3) health of 756 schoolchildren. The study was conducted by using sanitary-epidemiological, sanitary-hygienic and sociological methods; clinical and laboratory examinations; chemical analytical tests. Fuzzy logic was applied to estimate combined influence exerted by factors related to the educational process and environmental factors.*

*We established several determinants of negative effects produced by the educational process on schoolchildren's health. They included elevated intensity and monotony of educational and intellectual loads, shorter breaks between classes and recovery index deficiency. Diet-related factors included excess consumption of fats and carbohydrates, overall caloric contents being too high, protein and micronutrient deficiency. Chemical factors were elevated levels of metals, aromatic hydrocarbons, aldehydes, and chlorinated organic compounds in biological media. Risk-inducing factors of schoolchildren, regardless of a school and age, include organization of the educational process ( $I_{pj} = 0.45-0.58$ ) and school meals ( $I_{pj} = 0.41-0.54$ ); the group potential hazard index for these factors reached its peak values in primary school ( $I_{pj} = 0.49-0.58$  and  $I_{pj} = 0.46-0.54$ ). The maximum value of the integral potential hazard index ( $I_{pdk} = 0.41-0.46$ ) caused by combined exposure to factors related to the educational process and environmental factors, regardless of a school type, was detected in senior schoolchildren in school with profound studies of natural sciences ( $I_{pdk} = 0.41$ ); the minimum value was detected in a military school ( $I_{pdk} = 0.33$ ).*

**Keywords:** schoolchildren, health risk factors, educational process, diet, environment, fuzzy sets.

### References

1. Buzinov R.V., Averina E.A., Unguryanu T.N. The impact of learning environment on child health at pre-schools and secondary schools in Arkhangelsk region. *Health Risk Analysis*, 2015, no. 3, pp. 25–31.
2. Prakhin E.I., Gurov V.A., Ponomareva E.V. Psychosomatic characteristics of children according to the results of medical pedagogical monitoring of health-forming activities in schools. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 7, pp. 635–641. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-7-635-641 (in Russian).
3. Virabova A.R., Kuchma V.R., Shklyarova O.A. Integrated approach to the use of resources for the health preservation of children and adolescents in the personally-oriented educational environment of the modern school. *Antropologicheskaya diaktika i vospitanie*, 2022, vol. 5, no. 2, pp. 10–23 (in Russian).

© Eisfeld D.A., Ustinova O.Yu., Zaitseva N.V., Savochkina A.A., 2022

**Darja A. Eisfeld** – Candidate of Biological Sciences, Deputy Director responsible for general issues (e-mail: eisfeld@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-77-06; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0442-9010>).

**Ol'ga Yu. Ustinova** – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director responsible for Clinical Work (e-mail: ustinova@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 236-32-64; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9916-5491>).

**Nina V. Zaitseva** – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

**Anna A. Savochkina** – Senior lecturer at the Higher Mathematics Department (e-mail: aidas\_76@mail.ru; tel.: +7 (342) 239-16-97; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-6632>).

4. Cooper S.B., Dring K.J., Morris J.G., Sunderland C., Bandelow S., Nevill M.E. High intensity intermittent games-based activity and adolescents' cognition: moderating effect of physical fitness. *BMC Public Health*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 603. DOI: 10.1186/s12889-018-5514-6
5. Nikiforova N.V. Risk zdorov'yu detey pri zagryaznenii formal'degidom vozduшной sredey pomeshcheniy doskol'nykh uchrezhdeniy [Health risks for children under exposure to formaldehyde pollution of the air in the premises of pre-school institutions]. *Aktual'nye problemy bezopasnosti i analiza riska zdorov'yu naseleniya pri vozdeystvii faktorov sredey obitaniya: materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2016, pp. 244–247 (in Russian).
6. Kuchma V.R., Safonkina S.G., Moldovanov V.V., Kuchma N.Yu. Hygiene of children and adolescents in modern school medicine. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1024–1028. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1024-1028 (in Russian).
7. Efimova N.V., Mylnikova I.V. On the question of the impact of environmental factors and lifestyle on the formation of the syndrome of autonomic dysfunction in school children. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 76–81. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-76-81 (in Russian).
8. Romanenko S.P. Evaluation of nutrition and physical activity of children in educational organizations of the cadet type. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 1, pp. 63–68. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-1-63-68 (in Russian).
9. Bogomolova E.S., Shaposhnikova M.V., Kotova N.V., Badeeva T.V., Maksimenko E.O., Kiseleva A.S., Kovalchuk S.N., Ashina M.V., Olyushina E.O. Characteristics of physical health of students of modern educational institutions. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 9, pp. 956–961. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-9-956-961 (in Russian).
10. Lobkis M.A., Novikova I.I., Erofeev Yu.V., Kuz'menko M.A. Problemy zdorov'ya shkol'nikov v sovremennykh usloviyakh: indikatsiya riska, metody profilaktiki [Health problems of schoolchildren in modern conditions: risk indication, methods of prevention]. *Sovremennye problemy gigeny, toksikologii i mediciny truda: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennaya 90-letiju obrazovaniya FBUN «Novosibirskij NII gigeny» Rospotrebnadzora*. Omsk, 2020, pp. 155–159 (in Russian).
11. Setko A.G., Terekhova E.A., Tyurin A.V., Mokeeva M.M. Peculiarities of neuro-psyche state and life quality of children and teenagers formed under influence exerted by risk factors existing in educational environment. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 2, pp. 62–69. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.07.eng
12. Tan S.Y., Praveena S.M., Abidin E.Z., Cheema M.S. Heavy metal quantification of classroom dust in school environment and its impacts on children health from Rawang (Malaysia). *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2018, vol. 25, no. 34, pp. 34623–34635. DOI: 10.1007/s11356-018-3396-x
13. Yatsenko A.K., Trankovskaya L.V. Modern view on children's biological development (a literature review). *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 5, pp. 102–107 (in Russian).
14. Pogozheva A.V., Smirnova E.A. Educational programs for the population in the field of the healthy nutrition is the basis for the prevention of non-communicable diseases. *Gigiena i sanitariya*, 2020, vol. 99, no. 12, pp. 1426–1430. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1426-1430 (in Russian).
15. Roberto C.A., Swinburn B., Hawkes C., Huang T.T.-K., Costa S.A., Ashe M., Zwicker L., Cawley J.H., Brownell K.D. Patchy progress on obesity prevention: emerging examples, entrenched barriers, and new thinking. *Lancet*, 2015, vol. 385, no. 9985, pp. 2400–2409. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61744-X
16. Kuchma V.R., Sukhareva L.M., Stepanova M.I., Khramtsov P.I., Aleksandrova I.E., Sokolova S.B. Scientific bases and technologies of security hygienic safety of children in the “digital school”. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 12, pp. 1385–1391. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-12-1385-1391 (in Russian).
17. Novikova I.I., Erofeev Yu.V., Denisov A.V., Mylnikova I.V. Methodological aspects of assessment of potential damage to schoolchildren's health. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 10, pp. 1124–1128 (in Russian).
18. Perevalov A.Ya., Lir D.N. Choice of study method of nutrition in children in organized groups while implementing health risk assessment. *Sanitarnyi vrach*, 2015, no. 9, pp. 15–21 (in Russian).

Eisfeld D.A., Ustinova O.Yu., Zaitseva N.V., Savochkina A.A. Assessment of potential hazards posed by influence of risk-inducing environmental factors and factors related to the educational process on somatic health of schoolchildren in different schools. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 4, pp. 72–86. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.07.eng

Получена: 29.06.2022

Одобрена: 07.09.2022

Принята к публикации: 01.12.2022