



Хрипач Л.В., Бударина О.В., Железняк Е.В., Князева Т.Д., Маковецкая А.К., Коганова З.И., Сабирова З.Ф., Шипулина З.В.

Вклад переноса выбросов промышленных предприятий преобладающими ветрами в изменения медико-биологических показателей состояния здоровья населения

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства России, 119121, Москва, Россия

Введение. Горизонтальный перенос воздушных масс ветром играет большую роль в рассеивании промышленных выбросов от их первичных источников.

Цель исследования – оценка вклада повторяемости и силы преобладающих ветров в изменения медико-биологических показателей состояния организма детей дошкольного возраста, проживающих в небольшом городе на разных расстояниях и в разных направлениях от комплекса предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы. В пробах слюны 112 детей 5–7 лет, посещающих детские сады, расположенные на расстоянии от 1,74 до 5,74 км от источника выбросов (ИВ) по направлению к юго-юго-западу (ЮЮЗ), юго-юго-востоку (ЮЮВ) и юго-востоку (ЮВ) от него, определяли интенсивность люминол-зависимой хемилюминесценции (ЛЗХЛ), содержание мочевой кислоты, секреторного IgA, ИЛ-1β, ИЛ-6 и ИЛ-8, активность α-амилазы и N-ацетил-β-D-глюкозаминидазы. По данным базы Meteoblue с усреднением за год проведения обследования рассчитаны интегральные показатели повторяемости ветров разной скорости, дующих в сторону города с северо-северо-востока (ССВ), северо-северо-запада (ССЗ) и северо-запада (СЗ) (W, км/год).

Результаты. В качестве маркера эффекта выбрана интенсивность ЛЗХЛ слюны детей как имевшая наиболее выраженную связь с расстояниями до ИВ ($R = -0,524$; $p = 7 \cdot 10^{-9}$). С помощью двухфакторного регрессионного анализа показано, что расстояние между детскими садами и ИВ определяет 49% общей дисперсии этого маркера с величиной $r = 3 \cdot 10^{-8}$, а перенос выбросов с преобладающими ветрами обуславливает 16% общей дисперсии с величиной $r = 0,058$. Полученная трёхмерная модель объясняет причину достоверных различий маркера между детьми из двух равноудалённых от ИВ детских садов с двукратным различием в переносе выбросов ветром.

Ограничения исследования. Для разработки трёхмерной модели использовали архивные данные при теоретической возможности планирования обследования населения с более полным охватом румбов розы ветров.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности оценки вклада преобладающих ветров при анализе данных гигиенических обследований населения в районах расположения промышленных предприятий.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха; повторяемость и скорость ветра; дети; смешанная слюна; люминол-зависимая хемилюминесценция; ИЛ-1β; ИЛ-6; ИЛ-8; slgA; двухфакторный регрессионный анализ

Соблюдение этических стандартов: при проведении обследования детей, данные которого использованы для разработки модели, было получено письменное информированное согласие родителей.

Для цитирования: Хрипач Л.В., Бударина О.В., Железняк Е.В., Князева Т.Д., Маковецкая А.К., Коганова З.И., Сабирова З.Ф., Шипулина З.В. Вклад переноса выбросов промышленных предприятий преобладающими ветрами в изменения медико-биологических показателей состояния здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(3): 331–337. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-331-337>

Для корреспонденции: Хрипач Людмила Васильевна, доктор биол. наук, вед. науч. сотр. отд. профилактической токсикологии и медико-биологических исследований ФГБУ «ЦСП» ФМБА России. E-mail: LKhripach@cspmz.ru

Участие авторов: Хрипач Л.В. – концепция и дизайн исследования, анализ повторяемости ветров, математическая обработка результатов, написание текста; Бударина О.В. – концепция и дизайн исследования; Железняк Е.В., Князева Т.Д., Маковецкая А.К., Коганова З.И. – измерение биохимических и иммунологических показателей в пробах слюны детей; Сабирова З.Ф., Шипулина З.В. – оценка экспозиций. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование проведено в рамках выполнения Госзадания ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 26.07.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликовано: 08.04.2022

Ludmila V. Khripach, Olga V. Budarina, Evgeniya V. Zheleznyak, Tatiana D. Knyazeva, Anna K. Makovetskaya, Zoya I. Koganova, Zulfiya F. Sabirova, Zinaida V. Shipulina

Contribution of the transfer of industrial emissions by predominate winds to changes in laboratory indicators of the state of population health

Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation

Introduction. Horizontal transport of air pollutants by predominant winds plays an important role in the dispersion of emissions from their primary sources.

The purpose of this study is to assess the contribution of prevailing winds to changes of non-invasive markers in preschool children living in a small city at different distances and in different directions from the complex of agricultural processing enterprises.

Materials and methods. Next markers were determined in mixed saliva samples of 112 children (aged 5–7 years) attending 6 kindergartens at distances of 1.74–5.74 km from the source of emissions toward the SSW, SSE and SE: the intensity of luminol-enhanced chemiluminescence (LC), secretory IgA, IL-1β, IL-6, IL-8 levels, and uric acid, α-amylase and N-acetyl-β-D-glucosaminidase activities. Based on the Meteoblue database, integral indicators of wind repeatability (W, km/year) for winds, blowing towards the town from NNE, NNW and NW correspondingly, were calculated.

Results. As a marker of the effect for multiple regression analysis, the intensity of LC in children's saliva samples was chosen as having the most pronounced relationship with the distances between kindergartens and the source of emissions ($R = -0.524$; $p = 7 \cdot 10^{-9}$). The distances were shown to explain 49% of the total variance of LC intensity ($p = 3 \cdot 10^{-8}$), whereas the transfer of emissions with prevailing winds explains 16% of the total variance ($p = 0.058$). The resulting 3D model is in good agreement with previously conflicting data for two equidistant kindergartens having significant differences in children LC intensity, since corresponding wind repeatabilities differ twofold.

Limitations. To develop the 3D model, archival data were used, with the theoretical possibility of planning a population survey with a more complete coverage of the wind rose points.

Conclusion. The results obtained indicate that it is promising to assess the contribution of prevailing winds when analyzing the data of human health in the industrial areas.

Keywords: outdoor air pollution; wind speed and direction; children; mixed saliva; luminol-enhanced chemiluminescence; IL-1 β ; IL-6; IL-8; sIgA; two-factor regression analysis

Compliance with ethical standards: written informed consent of the parents was obtained in the survey of children, which was used to develop the 3D model.

For citation: Khripach L.V., Budarina O.V., Zheleznyak E.V., Knyazeva T.D., Makovetskaya A.K., Koganova Z.I., Sabirova Z.F., Shipulina Z.V. Contribution of the transfer of industrial emissions by predominate winds to changes in laboratory indicators of the state of population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(3): 331–337. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-331-337> (In Russian)

For correspondence: Ludmila V. Khripach, MD, PhD, DSci., leading researcher of the Department of Preventive Toxicology and Biomedical Research, Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks[®] of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: LKhripach@csprmz.ru

Information about authors:

Khripach L.V.,	https://orcid.org/0000-0003-0170-3085	Budarina O.V.,	https://orcid.org/0000-0003-4319-7192
Knyazeva T.D.,	https://orcid.org/0000-0001-5279-5018	Zheleznyak E.V.,	https://orcid.org/0000-0001-9339-9310
Makovetskaya A.K.,	https://orcid.org/0000-0002-4652-1755	Koganova Z.I.,	https://orcid.org/0000-0002-4622-8110
Sabirova Z.F.,	https://orcid.org/0000-0003-3505-8344	Shipulina Z.V.,	https://orcid.org/0000-0001-8409-6713

Contributions: Khripach L.V. – research concept and design, determination of biochemical and immunological indices in saliva samples, wind data adaptation, statistical analysis, interpretation and writing of the manuscript; Budarina O.V. – research concept and design; Zheleznyak E.V., Knyazeva T.D., Makovetskaya A.K., Koganova Z.I. – determination of biochemical and immunological indices in saliva samples; Sabirova Z.F., Shipulina Z.V. – evaluation of expositions. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: July 26, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: April 08, 2022

Введение

Горизонтальный перенос воздушных масс ветром играет большую роль в распространении промышленных выбросов от их первичных источников. Известно, что при экстремальных скоростях ветра в сочетании с плоской поверхностью суши или воды взвешенные частицы могут перемещаться на расстояния в тысячи километров, что подтверждается фотосъёмкой со спутников в периоды сезонных песчаных бурь в пустынях Сахара и Гоби (рис. 1, см. на вклейке) [1–3].

Расстояния, на которые ветер может переносить компоненты выбросов в обычных городских условиях со скоростью до 10–20 м/с и наличием множественных пространственных препятствий, гораздо скромнее, но имеют тем не менее существенное практическое значение. В частности, включение данных о скорости и направлении ветра в двумерные модели распределения загрязнений атмосферного воздуха Land-Use Regression Models (дословно: регрессия землепользования) [4] позволило более точно описать пространственное распределение содержания NO₂ в воздухе Торонто [5], семи поллютантов в воздухе Гонконга [6], выбросов автотранспорта в воздухе Сеула [7] и взвешенных частиц PM_{2,5} над всей территорией США [2], опираясь на отдельные точки расположения мониторов качества атмосферного воздуха [2, 4–6] или на данные по транспортным потокам [7] как основной предиктор. В рамках международной программы TACIS разработана разновидность модели MoDAP для расчёта рассеивания выбросов в условиях г. Алматы, где мощные запирающие инверсии и горно-долинная циркуляция накладываются на региональные субширотные ветра [8]. Практически все переменные, введенные в эти модели как характеристики повторяемости и скорости ветров в изучаемом регионе, оказались статистически значимыми дополнительными предикторами в соответствующих регрессионных уравнениях.

Все эти исследования, выполненные специалистами в области прикладной математики, позиционируются авторами как направленные на оценку влияния загрязнений атмосферного воздуха на состояние здоровья населения,

но полученные модели используются для решения конкретных задач гигиены в единичных случаях. В частности, с помощью вышеописанной двумерной модели распределения взвешенных частиц по территории США найдена достоверная связь между содержанием PM_{2,5} в атмосферном воздухе и числом смертей пожилых американцев [2]; определены атрибутивные риски смерти лиц старше 30 лет и обострений бронхита у детей с астмой по трёхмерной модели распределения концентраций NO₂ в атмосферном воздухе г. Памплонны [9]; показано, что проживание в микрорайонах Лос-Анджелеса с высокой повторяемостью ветров, направленных от крупных автомагистралей, увеличивает риск смерти лиц старше 75 лет на 3,8–6,5% [10].

В статьях гигиенической направленности розы ветров используются обычно для выделения зон наибольшего влияния выбросов предприятий [11] или для объяснения данных проведённых эпидемиологических исследований [12–14], в обоих случаях на качественном уровне. В частности, показано, что из трёх районов Махачкалы наиболее высокая онкологическая заболеваемость наблюдается в Советском районе, и авторы логично объясняют это расположением района с наветренной стороны от морского порта и нефтегазавана [12]. Увеличение онкологической заболеваемости населения в 100 км к северо-востоку от Сибирского химического комбината (СХК), при том что в 30-километровой зоне вокруг него эти показатели соответствуют данным по Томской области в целом, тоже хорошо объясняется тем, что во время аварии на СХК в 1993 г. и в течение нескольких дней после неё преобладали характерные для этого региона юго-западные ветры [13, 14].

Таким образом, вклад переноса загрязнений атмосферного воздуха с преобладающими ветрами в изменения состояния здоровья населения (независимо от того, как этот вклад оценивался – качественно или количественно) до сих пор изучался эпидемиологическими методами или основанными на них методами оценки риска.

Цель исследования – оценить вклад повторяемости и скорости преобладающих ветров в изменения медико-биологических показателей состояния здоровья детей 5–7 лет,

проживающих в небольшом городе на разных расстояниях и в разных направлениях от комплекса предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции. Выбросы этих предприятий содержат вещества, обладающие достаточно выраженным запахом, что становится причиной жалоб населения. Результаты стандартного анализа зависимостей «экспозиция – эффект», учитывавшего в качестве оценок экспозиции только расстояние между местом проживания ребёнка и комплексом предприятий, опубликованы ранее [15].

Материалы и методы

Всего обследованы 112 детей 5–7 лет (53 мальчика и 59 девочек) из шести детских садов, расположенных на расстоянии 1,7–5,7 км от источника выбросов (ИВ) и достаточно равномерно распределённых по территории города. Как видно на рис. 2, три из шести обследованных детских садов находились по направлению к ЮЮЗ, два по направлению к ЮЮВ и один – по направлению к ЮВ от ИВ.

Для расчёта повторяемости ССВ, ССЗ и СЗ ветров, которые могут способствовать переносу компонентов выбросов от источника в сторону обследованных детских садов, использована база данных Meteoblue (<https://www.meteoblue.com>), созданная сотрудниками университета Базеля (Швейцария).

Пробы свободно вытекающей смешанной слюны детей отбирали в одноразовые пластиковые контейнеры. Интенсивность люминол-зависимой хемилюминесценции (ЛЗХЛ) слюны определяли в среде инкубации, содержащей 50 мкМ натриевой соли люминола, 50 мкл/мл слюны и 59 мМ перекиси водорода; результаты выражали в виде десятичных логарифмов светосуммы сигнала за первую минуту после добавления индуктора [16]. Активность N-ацетил-β-D-глюкозаминидазы (NAG) в пробах слюны детей определяли по скорости отщепления п-нитрофенола от модельного субстрата 4-нитрофенил-N-ацетил-β-D-глюкозаминида [17]. Содержание в слюне секреторного иммуноглобулина А (sIgA) и интерлейкинов ИЛ-1β, ИЛ-6, ИЛ-8 определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием тест-наборов производства ЗАО «Вектор-Бест». Клинические тест-наборы этого же производителя использовали для спектрофотометрического определения активности α-амилазы и содержания в слюне мочевой кислоты (МК).

Математический анализ полученных данных проводили с помощью компьютерной программы Statistica for Windows v. 7.0. Использовали однофакторный и двухфакторный регрессионный анализ, трёхмерные графики зависимостей «экспозиция – эффект».

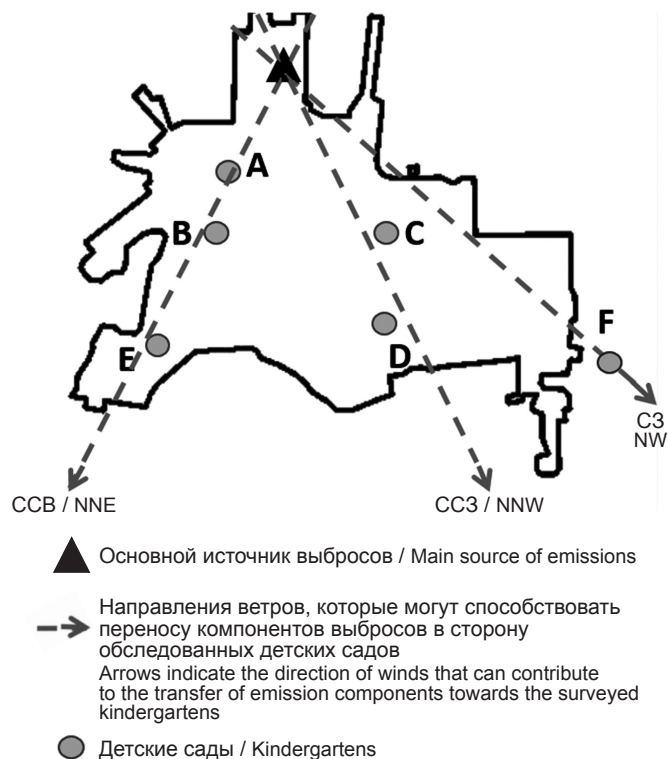


Рис. 2. Расположение обследованных детских садов на территории города.

Fig. 2. The location of the surveyed kindergartens.

Результаты

Стандартный однофакторный анализ влияния промышленных выбросов на биохимические и иммунологические показатели в слюне обследованных детей. Как упоминалось выше, первоначально проведён стандартный однофакторный анализ влияния выбросов на медико-биологические показатели в слюне обследованных детей с учётом только расстояний между детскими садами и ИВ. Полученные результаты подробно изложены в публикации [15] и кратко представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Уравнения линейной регрессии «экспозиция – эффект» при однофакторном анализе влияния промышленных выбросов на медико-биологические показатели в слюне обследованных детей (n = 112)

Linear regressions "exposure-effect" in the one-factor analysis of the impact of industrial emissions on biomedical indicators in the saliva of the examined children (n = 112)

Маркеры слюны Saliva markers	Уравнение $y = a + bx$ Equation $y = a + bx$	R	p
ЛЗХЛ, lg имп./мин (Luminol-enhanced chemiluminescence, lg cpm)	$y = 6.98 - 0.17x$	-0.517	$7.2 \cdot 10^{-9}$
ИЛ-8, пг/мл (IL-8, pg/ml)	$y = 776.2 - 83.2x$	-0.338	0.0003
ИЛ-1β, пг/мл (IL-1β, pg/ml)	$y = 508.1 - 54.8x$	-0.299	0.0016
NAG, Ед/мл (N-acetyl-β-D-glucosaminidase, U/ml)	$y = 13.94 - 0.93x$	-0.208	0.037
ИЛ-6, пг/мл (IL-6, pg/ml)	$y = 9.93 - 0.20x$	-0.016	0.887
sIgA, мкг/мл (sIgA, mkg/ml)	$y = 150.9 - 3.9x$	-0.058	0.543
МК, мкМ (Uric acid, mkM)	$y = 78.9 + 12.0x$	0.118	0.214
α-амилаза, Ед · 10 ³ /л (α-amylase, U · 10 ³ /L)	$y = 36.06 + 2.11x$	0.085	0.375

Пр и м е ч а н и е. x – расстояние между ИВ и детским садом, км; y – соответствующий показатель в слюне детей. Жирным шрифтом выделены достоверные уравнения.

Note. x is the distances between the source of emissions and kindergartens, km; y is the indicated marker in the saliva. Statistically significant equations are highlighted in bold.

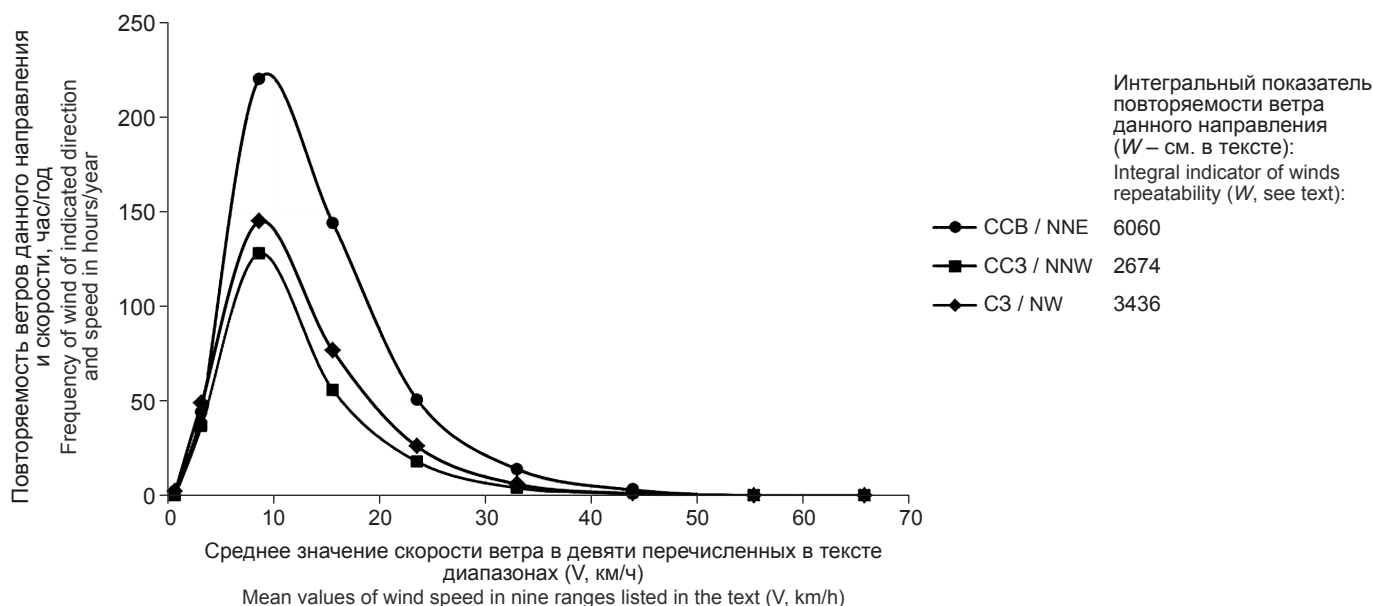


Рис. 3. Повторяемость CCB, CC3 и C3 ветров, которые способствуют переносу выбросов от источника в сторону детских садов (A, B, E), (C, D) и F соответственно.

Fig. 3. Repeatability of NNE, NNW and NW winds that can contribute to the transfer of emissions from the source towards kindergartens (A, B, E), (C, D) and F, respectively.

Как это видно из табл. 1, достоверные уравнения «экспозиция – эффект» получены для четырёх из восьми измерявшихся показателей. По мере приближения места расположения обследованных детских садов к предприятиям в пробах слюны детей монотонно увеличивались показатели, имеющие отношение к активности фагоцитов слюны (интенсивность ЛЗХЛ слюны, содержание в ней провоспалительных цитокинов ИЛ-1β и ИЛ-8, активность лизосомального фермента NAG), при отсутствии реакции со стороны маркеров антигелообразования (содержание в слюне sIgA) и психологического стресса (активность α-амилазы). Полученные результаты свидетельствовали о том, что градиент выбросов данных предприятий не содержит гаптенных или иммунотоксичных соединений, но содержит взвешенные вещества, вызывающие функциональное увеличение активности фагоцитов в полости рта детей. Эти же маркеры эффекта имели достоверные регрессионные связи и с уровнями запаха выбросов основного предприятия в ЕЗ/м³, которые определяли ольфактометрически с последующим моделированием рассеивания запаха [18].

Идея проверить возможный вклад преобладающих ветров в изменения маркеров эффекта возникла при анализе точечного графика зависимости интенсивности ЛЗХЛ слюны детей от расстояний до ИВ (рис. 2 в статье [15]). Несмотря на то что аппроксимация в целом была удачной, дети из детских садов В и С (равноудалённых, но расположенных в

разных направлениях от ИВ) различались по среднегрупповым значениям маркера ($6,63 \pm 0,09$ и $6,3 \pm 0,09$ lg имп./мин соответственно; $p = 0,02$).

Анализ повторяемости CCB, CC3 и C3 ветров, которые могут способствовать переносу выбросов от источника в сторону обследованных детских садов. База Meteoblue предоставляет данные по повторяемости и скорости ветров запрашиваемого периода осреднения (неделя, месяц, год, несколько лет и т. п.) в двух вариантах – графическом и табличном. По умолчанию предоставляется стандартная графическая информация в виде розы ветров – 16-румбовой круговой диаграммы, построенной в масштабе «часы в год». Кроме того, по запрашиваемым румбам можно дополнительно получить числовую информацию – таблицы повторяемости ветров данного направления в часах в год для каждого из девяти выделенных диапазонов скорости (0–1; 1–5; 5–12; 12–19; 19–28; 28–38; 38–50; 50–61; 61 и выше км/ч).

На рис. 3 запрошенные нами табличные данные по повторяемости CCB, CC3 и C3 ветров в изучаемом населённом пункте с усреднением за год проведения обследования представлены в виде графиков. Здесь и далее направления ветра обозначены по принятым в метеорологии правилам (румб указывает направление, откуда дует ветер).

Используя данные базы Meteoblue, представленные на рис. 3, рассчитаны соответствующие интегральные показатели повторяемости CCB, CC3 и C3 ветров, дующих от комплекса предприятий в сторону города:

$$W = \sum (V_i \cdot t_i),$$

где i – номер диапазона скоростей ветра (от 1 до 9); V_i – среднее значение скорости ветра данного румба в i -м диапазоне (в км/ч); t_i – повторяемость ветра i -го диапазона скорости по данному румбу (в часах в год); W – интегральный показатель повторяемости ветров по данному румбу, пропорциональный площади под соответствующей кривой на рис. 3.

Согласно формуле, величина W имеет размерность км/год и следующий физический смысл: это расстояние в километрах, на которое в течение года переносится ветром данного направления ограниченный объём воздуха.

Полученные значения W вместе с расстояниями между источником выбросов и обследованными детскими садами приведены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Основные предикторы для двухфакторной модели «экспозиция – эффект»

Main predictors for two-factor "exposure – effect" model

Детские сады Kindergartens	Расстояние от ИВ, км Distance from source, km	Ветер, переносающий выбросы к детскому саду The wind that carries emissions to the kindergarten	Повторяемость ветра (W, км/год) Repeatability of the wind (W, km/year)
A	1.74	CCB / NNE	6060
B	3.01	CCB / NNE	6060
C	3.03	CC3 / NNW	2674
D	4.28	CC3 / NNW	2674
E	5.58	CCB / NNE	6060
F	5.87	C3 / NW	3436

Таблица 3 / Table 3

Уравнение множественной линейной регрессии для зависимой переменной «интенсивность ЛЗХЛ слюны»**Multiple linear regression for the dependent variable "saliva LC intensity"**

Сводка регрессии для зависимой переменной: Lum / Regression Summary for Dependent Variable: Lum
 $R = 0.54028890$; $R^2 = 0.29191209$; $F(2, 109) = 22.056$; $p = 0.00000$

	Beta	Стандартная ошибка Standard error	B	Стандартная ошибка Standard error	t(109)	p	Число случаев n
Константа / Intercept			6.708	0.177	37.8819	0.000000	
d, км (km)	-0.492	0.082	-0.159	0.027	-5.9657	0.000000	112
W, км/год (km/year)	0.158	0.082	0.000047	0.000025	1.91995	0.0575	112

Двухфакторный анализ влияния промышленных выбросов на биохимические и иммунологические показатели в слюне обследованных детей. Из четырёх показателей, оказавшихся достоверными маркерами экспозиции детей промышленными выбросами при однофакторном анализе (см. табл. 1), наиболее выраженная связь с расстояниями до ИВ наблюдалась для интенсивности ЛЗХЛ слюны детей ($R = -0,517$; $p = 7,2 \cdot 10^{-9}$). С помощью двухфакторного регрессионного анализа (табл. 3) показано, что перенос выбросов с преобладающими ветрами вносит близкий к достоверному вклад в увеличение интенсивности ЛЗХЛ слюны детей, объясняя около 16% общей дисперсии этого маркера с величиной $p = 0,058$. Основным предиктором в двухфакторной линейной модели для этого показателя остаётся расстояние между детскими садами и ИВ, объясняющее 49% общей дисперсии зависимой переменной с величиной $p = 3 \cdot 10^{-8}$.

На рис. 4 (см. на вклейке) уравнение множественной регрессии для зависимой переменной «интенсивность ЛЗХЛ слюны» показано графически. Оно, в частности, хорошо объясняет вышеописанные достоверные различия между равноудалёнными детскими садами В и С, поскольку учитывает двукратное различие в переносе выбросов ветром.

Как видно из табл. 1, интенсивность ЛЗХЛ слюны детей лидирует в перечне достоверных маркеров экспозиции с большим отрывом. У остальных достоверных маркеров (ИЛ-8, ИЛ-1 β и NAG) значения коэффициента регрессии в 1,5–2,5 раза ниже, а величина p на 5–7 порядков выше. Поэтому неудивительно, что для этих трёх маркеров, связанных с оценками экспозиции намного более слабо, чем интенсивность ЛЗХЛ слюны, нам не удалось найти даже близкого к достоверному вкладу повторяемости ветров, хотя трёхмерные графики зависимости этих показателей от расстояний до ИВ и повторяемости ветров соответствующих направлений (рис. 5, см. на вклейке) имеют большое сходство с аналогичным графиком для лидирующего маркера – интенсивности ЛЗХЛ слюны.

Обсуждение

Большинство метеорологических факторов (температура окружающей среды, атмосферное давление, геомагнитная активность, интенсивность ультрафиолетового излучения и т. п.) способны влиять на состояние здоровья населения напрямую, вызывая адаптивные изменения состояния организма здоровых людей и дезадаптивные реакции у метеозависимых лиц, имеющих определённые хронические заболевания [19–24]. Эти же факторы могут участвовать в процессах трансформации химических соединений, содержащихся в воздухе (образование озона, сульфатов, фотохимические реакции и т. п.), и тем самым влиять на здоровье населения опосредованно [25, 26]. В отличие от большинства метеорологических факторов ветровой режим оказывает влияние на здоровье населения только опосредованно, создавая условия вертикального и горизонтального рассеивания выбросов химических веществ от различных источников [27].

В настоящее время установлено, что изменения скорости ветра во времени в произвольной точке земного шара с достаточной точностью могут быть описаны функцией распределения Вейбулла $1 - \exp[-(x/\lambda)^k]$, имеющей два параметра – форму (k) и масштаб (λ) [28–31]. Иными словами, если взять исходные данные любой метеостанции, измерявшей скорость ветра каждый час в течение года, и построить гистограмму распределения полученных значений скорости ветра (как это сделано в цитированных выше работах), то мы увидим немного асимметричное распределение характерной формы, впервые описанное математиком Вейбуллом для анализа наработки и отказов промышленных циклов.

Эти же распределения Вейбулла мы видим и на построенных нами графиках повторяемости скоростей ССВ, ССЗ и СЗ ветров, которые могут способствовать переносу компонентов выбросов в сторону обследованных детских садов (см. рис. 3). Если определить для каждого из этих графиков значения параметров k и λ (по таблицам, вероятностной номограмме Вейбулла или с помощью программного обеспечения), то мы полностью охарактеризуем положение всех точек распределений, то есть заменим каждый из графиков двумя цифрами.

Однако для целей нашего исследования нужно охарактеризовать каждый из графиков на рис. 3 не двумя цифрами, а одной. В математическом анализе одним из стандартных приёмов сравнения сходных нелинейных зависимостей является их интегрирование, то есть определение площади под каждой кривой. Поэтому мы ввели интегральный показатель повторяемости ветров W , описанный в разделе «Результаты», с размерностью $(\text{км/ч} \cdot \text{ч/год}) = \text{км/год}$ и простым физическим смыслом: это расстояние в километрах, на которое в течение года переносится ветром данного направления ограниченный объём воздуха. Мы проверили также, используется ли аналогичная величина в метеорологии, и действительно нашли её в учебниках как один из вариантов построения розы ветров (среднюю скорость ветра по каждому румбу предлагается умножать на его повторяемость, получая расстояние, на которое был бы в результате перенесён ограниченный объём воздуха) [32].

Поиск в базах данных Google Academy, Web of Science, Scopus, Pubmed и e-Library не обнаружил других исследований, направленных на количественную оценку вклада преобладающих ветров в изменения медико-биологических показателей состояния здоровья населения, поэтому полученные нами результаты не с чем пока сравнивать.

Объективно можно отметить, что использованные нами данные не идеальны, поскольку обследование первоначально планировалось с другими целями. Выбирая шесть дошкольных детских учреждений из имеющихся в городе шестнадцати, мы руководствовались только принципом их равномерного распределения по территории города с учётом общего расположения жилой зоны по отношению к промышленному комплексу. В результате при достаточно большом объёме выборки детей и относительно монотонном нарастании основного предиктора (расстояния между

ИВ и детскими садами; см. табл. 2), дополнительный предиктор принимает всего три значения с максимальным различием в 2,3 раза по величине интегрального показателя повторяемости ветров *W*. Если бы исходной целью исследования было изучение вклада ветров в наблюдающиеся изменения состояния организма детей, можно было бы выбрать детские сады более удачным образом, по возможности задействовав направления с максимальными различиями в повторяемости ветров и увеличив количество значений этого предиктора.

С другой стороны, мы удачно выбрали предполагаемые маркеры эффекта для определения их в пробах слюны детей: четыре из восьми измеренных показателей имели достоверную связь с расстояниями до ИВ, причём один из четырёх – настолько выраженную, что она купировала недостатки, связанные с ограниченным количеством изученных направлений ветров и относительно небольшим диапазоном значений их повторяемости. Кроме того, мы выполнили конкретную задачу, направившую нас на изучение возможного вклада преобладающих ветров в изменения маркеров эффекта в рамках данного обследования – объяснили достоверные различия по величине интенсивности ЛЗХЛ слюны между равноудалёнными детскими садами В и С.

Таким образом, проведённое исследование инициирует некое новое направление, на котором можно будет учесть его позитивный опыт и исправить слабые стороны.

Ограничения данного пилотного исследования связаны с тем, что трёхмерная модель «экспозиция – эффект» с учётом вклада преобладающих ветров в изменения маркеров эффекта разрабатывалась на основе данных уже проведённого обследования при теоретической возможности планирования обследования населения с более полным охватом румбов розы ветров данной местности.

Заключение

Таким образом, в данной статье впервые предпринята попытка оценить количественно вклад переноса загрязнений атмосферного воздуха преобладающими ветрами в изменения медико-биологических показателей состояния здоровья населения (на примере выборки детей, проживающих на территории небольшого города на разных расстояниях и в разных направлениях от источника промышленных выбросов).

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности оценки вклада преобладающих ветров при анализе данных гигиенических обследований населения в районах расположения промышленных предприятий.

Литература

(п.п. 1–3, 5–7, 9, 10, 23–25, 28, 29 см. References)

- Медведев А.Н., Медведев М.А. О применении подхода Land Use Regression для моделирования площадного загрязнения снега при малом количестве точек наблюдения. В кн.: *Сборник докладов XI Международной конференции «Российские регионы в фокусе перемен»*. Том 1. Екатеринбург; 2016: 487–94.
- Закарин Э.А., Делова Т.В., Миркаримова Б.М., Яковлева Н.А., Садвакасов Е.К. Численный анализ влияния горно-долинной циркуляции на загрязнение атмосферного воздуха города Алматы. *Гидрометеорология и экология*. 2018; (2): 7–24.
- Селюнина С.В., Петров Б.А., Цапков П.И. Заболеваемость населения, проживающего в зонах влияния атмосферных выбросов городских предприятий теплоэнергетики. *Вятский медицинский вестник*. 2005; (2): 64–7.
- Рябова А.В., Гасангаджиева А.Г., Гаджиева З.Я. Эколого-эпидемиологические особенности заболеваемости злокачественными новообразованиями населения города Махачкалы Республики Дагестан. *Юг России: экология, развитие*. 2009; 4(3): 122–6.
- Дорошенко А.В. Онкологическая заболеваемость населения, проживающего в зоне действия Сибирского химического комбината. *Сибирский онкологический журнал*. 2007; (Прил. 2): 42–3.
- Писарева Л.Ф., Одинцова И.Н., Бояркина А.П., Чердынцева Н.В., Воевода М.И., Белявская В.А. и др. Заболеваемость и смертность от злокачественных новообразований населения, проживающего в зоне влияния Сибирского химического комбината. *Сибирский онкологический журнал*. 2009; (6): 28–36.
- Хрипач Л.В., Князева Т.Д., Железняк Е.В., Маковецкая А.К., Коганова З.И., Бударина О.В. и др. Скрининг и пост-скрининг маркеров загрязнения атмосферного воздуха в пробах слюны детей дошкольного возраста. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(6): 610–7. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-610-617>
- Хрипач Л.В. Применение свободнорадикальных методов для оценки влияния полихлорированных диоксинов и фуранов на состояние здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2002; 81(2): 72–6.
- Покровский А.А., Кравченко Л.В., Тутельян В.А. Влияние афлатоксина и митомицина С на активность лизосомальных ферментов. *Биохимия*. 1971; 36(4): 690–6.
- Бударина О.В. *Научное обоснование современных гигиенических основ нормирования, контроля и оценки запаха в атмосферном воздухе населенных мест*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2020.
- Бобровницкий И.П., Нагорнев С.Н., Яковлев М.Ю., Шашлов С.В., Банченко А.Д., Груздева А.Ю. и др. Перспективы исследований влияния метеорологических и геомагнитных параметров на заболеваемость и смертность населения. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(11): 1064–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-11-1064-67>
- Салтыкова М.М., Груздева А.Ю., Бобровницкий И.П., Балакаева А.В., Банченко А.Д., Яковлев М.Ю. и др. Температурные волны и болезни системы кровообращения. В кн.: *Материалы III Международного форума Научного Совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды «Современные проблемы оценки, прогноза и управления экологическими рисками здоровью населения и окружающей среды, пути их рационального решения»*. М.; 2018: 342–4.
- Карпов Ю.А., Булкина О.С., Лопухова В.В., Козловская И.Л. Влияние климатических и метеорологических факторов на течение ишемической болезни сердца. *Кардиологический вестник*. 2013; 8(2): 41–8.
- Каширина И.Л., Хохлов Р.А., Казакова А.О. Прогнозирование развития инфаркта миокарда на основании анализа метеорологических факторов и данных областного регистра. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии*. 2016; (3): 116–23.
- Евстафьева Е.В., Лапченко В.А., Макарова А.С., Бурухина Т.Ф., Абибулаева Н.К., Евстафьева И.А. Оценка динамики концентрации приземного озона и метеорологических параметров как факторов риска возникновения неотложных состояний здоровья населения. *Химическая физика*. 2019; 38(11): 42–51. <https://doi.org/10.1134/S0207401X19110037>
- Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Курышина В.Ю., Головатюк Н.Д. Учет метеорологических факторов при расчетах многолетних полей концентраций загрязняющих веществ для оценки экологических рисков здоровью населения. *Геофизический журнал*. 2012; 34(1): 105–14.
- Монзикова А.К., Кудрявцев В.Н., Ларсен С.Е., Шапрон Б.Ж.А. Оценка ветроэнергетического потенциала Финского залива. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2013; 30: 116–33.
- Самбурский Д.Н., Гора М.А., Краснощеков Ю.В. Статистический анализ ветровой нагрузки в Омске. В кн.: *Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации»*. Омск; 2019: 328–31.
- Хромов С.П., Петросянц М.А. *Метеорология и климатология*. М.; 2012.

References

- The Particle Pollution Report. Current Understanding of Air Quality and Emissions through 2003. US Environmental Protection Agency Washington, DC; 2004.
- Deryugina T., Heutel G., Miller N., Molitor D., Reif J. The effect of pollution on health and health care utilization: evidence from changes in wind direction. Working paper (2016, March). Available at: <https://ipl.econ.duke.edu/seminars/system/files/seminars/1333.pdf>
- Kim M.J. The effects of transboundary air pollution from China on ambient air quality in South Korea. *Heliyon*. 2019; 5(12): e02953. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02953>
- Medvedev A.N., Medvedev M.A. The application of land use regression approach for modeling of the areal snow pollution with a small number of observation points. In: *Collection of Reports of the XI International Conference «Russian Regions in the Focus of Changes»*. Volume 1 [Sbornik докладov XI Mezhdunarodnoy konferentsii «Rossiyskie regiony v fokuse peremem». Tom 1]. Екатеринбург; 2016: 487–94. (in Russian)
- Arain M.A., Blair R., Finkelstein N., Brook J.R., Sahsuvaroglu T., Beckerman B., et al. The use of wind fields in a land use regression model to predict air pollution concentrations for health exposure studies. *Atmospheric Environ.* 2007; 41(16): 3453–64.

6. Shi Y., Lau K.K., Ng E. Incorporating wind availability into land use regression modelling of air quality in mountainous high-density urban environment. *Environ. Res.* 2017; 157: 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.007>
7. Kim Y., Guldmann J.M. Impact of traffic flows and wind directions on air pollution concentrations in Seoul, Korea. *Atmospheric Environ.* 2011; 45(16): 2803–10.
8. Zakarin E.A., Dedova T.V., Mirkarimova B.M., Yakovleva N.A., Sadvakasov E.K. Numerical simulations of the impact of mountain-valley wind circulation on the Almaty city atmospheric pollution. *Gidrometeorologiya i ekologiya.* 2018; (2): 7–24. (in Russian)
9. Rivas E., Santiago J.L., Lechón Y., Martín F., Ariño A., Pons J.J., et al. CFD modelling of air quality in Pamplona City (Spain): Assessment, stations spatial representativeness and health impacts valuation. *Sci. Total Environ.* 2019; 649: 1362–80. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.315>
10. Anderson M.L. As the wind blows: The effects of long-term exposure to air pollution on mortality. *J. Eur. Econ. Assoc.* 2020; 18(4): 1886–927. <https://doi.org/10.1093/jeea/jvz051>
11. Selyunina S.V., Petrov B.A., Tsapok P.I. Morbidity rate among population as a result of atmospheric pollution by urban heat and power engineering plants. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik.* 2005; (2): 64–7. (in Russian)
12. Ryabova A.V., Gasangadzhieva A.G., Gadzhieva Z.Ya. Ecological epidemiological features of disease of the malignant new growths of the population of Makhachkala of Dagestan Republic. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye.* 2009; 4(3): 122–6. (in Russian)
13. Doroshenko A.V. Oncological morbidity of the population living in the zone of action of the Siberian chemical plant. *Sibirskiy onkologicheskiy zhurnal.* 2007; (Suppl. 2): 42–3. (in Russian)
14. Pisareva L.F., Odintsova I.N., Boyarkina A.P., Cherdyntseva N.V., Voevoda M.I., Belyavskaya V.A., et al. Cancer morbidity and mortality among population inhabiting areas exposed to environmental contamination from the Siberian Chemical Plant. *Sibirskiy onkologicheskiy zhurnal.* 2009; (6): 28–36. (in Russian)
15. Khripach L.V., Knyazeva T.D., Zheleznyak E.V., Makovetskaya A.K., Koganova Z.I., Budarina O.V., et al. Screening and post-screening of air pollution markers in mixed saliva of preschool children. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2020; 99(6): 610–7. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-6-610-617> (in Russian)
16. Khripach L.V. Application of free radical methods to assess the effect of polychlorinated dioxins and furans on the health status of the population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2002; 81(2): 72–6. (in Russian)
17. Pokrovskiy A.A., Kravchenko L.V., Tutel'yan V.A. Effect of aflatoxin and mitomycin C on the activity of lysosomal enzymes. *Biokhimiya.* 1971; 36(4): 690–6. (in Russian)
18. Budarina O.V. *Scientific substantiation of modern hygienic principles of rationing, control and evaluation of odor in the atmospheric air of populated areas:* Diss. Moscow; 2020. (in Russian)
19. Bobrovnikskiy I.P., Nagornev S.N., Yakovlev M.Yu., Shashlov S.V., Banchenko A.D., Gruzdeva A.Yu., et al. Perspectives of research of the impact of meteorological and geomagnetic parameters on the incidence and mortality of the population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2018; 97(11): 1064–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-11-1064-67> (in Russian)
20. Saltykova M.M., Gruzdeva A.Yu., Bobrovnikskiy I.P., Balakaeva A.V., Banchenko A.D., Yakovlev M.Yu., et al. Temperature waves and diseases of the circulation system. In: *Proceedings of the III International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on Human Ecology and Environmental Hygiene «Modern Problems of Assessment, Forecasting and Management of Environmental Risks to Public Health and the Environment, Ways of Their Rational Solution» [Materialy III Mezhdunarodnogo foruma Nauchnogo Soveta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiene okruzhayushchey sredy «Sovremennyye problemy otsenki, prognoza i upravleniya ekologicheskimi riskami zdorov'yu naseleniya i okruzhayushchey sredy, puti ikh ratsional'nogo resheniya»].* Moscow; 2018: 342–4. (in Russian)
21. Karpov Yu.A., Bulkina O.S., Lopukhova V.V., Kozlovskaya I.L. The impact of climatic and meteorological factors on the course of ischemic heart disease. *Kardiologicheskiy vestnik.* 2013; 8(2): 41–8. (in Russian)
22. Kashirina I.L., Khokhlov R.A., Kazakova A.O. Prediction of myocardial infarction based on analysis of meteorological factors and the data of the regional register. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii.* 2016; (3): 116–23. (in Russian)
23. Yin Q., Wang J. A better indicator to measure the effects of meteorological factors on cardiovascular mortality: heat index. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018; 25(23): 22842–9. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2396-1>
24. Li M., Hu S., Yu N., Zhang Y., Luo M. Association between meteorological factors and the rupture of intracranial aneurysms. *J. Am. Heart Assoc.* 2019; 8(17): e012205. <https://doi.org/10.1161/jaha.119.012205>
25. Seinfeld J., Pandis S. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.* John Wiley & Sons, Inc.; 2006.
26. Evstafeva E.V., Lapchenko V.A., Makarova A.S., Burukhina T.F., Abibulaeva N.K., Evstafeva I.A. Assessment of the dynamics of the concentration of ground-level ozone and meteorological parameters as risk factors for the emergence of urgent health conditions of the population. *Khimicheskaya fizika.* 2019; 38(11): 42–51. <https://doi.org/10.1134/S0207401X19110037> (in Russian)
27. Stepanenko C.H., Voloshin V.G., Kuryshina V.Yu., Golovatyuk N.D. Accounting for meteorological factors in the calculation of multi-year fields of concentrations of pollutants for the assessment of environmental risks to public health. *Geofizicheskiy zhurnal.* 2012; 34(1): 105–14. (in Russian)
28. Azad A.K., Rasul M.G., Alam M.M., Uddin S.A., Mondal S.K. Analysis of wind energy conversion system using Weibull distribution. *Procedia Eng.* 2014; 90: 725–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.803>
29. Shoaib M., Siddiqui I., Amir Y.M., Rehman S.U. Evaluation of wind power potential in Baburband (Pakistan) using Weibull distribution function. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017; 70: 1343–51. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.037>
30. Monzikova A.K., Kudryavtsev V.N., Larsen C.E., Shapron B.Zh.A. Estimation wind power potential of the Gulf of Finland. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta.* 2013; 30: 116–33. (in Russian)
31. Samburskiy D.N., Gora M.A., Krasnoshchekov Yu.V. Statistical analysis of wind load in Omsk. In: *Collection of Materials of the III International Scientific and Practical Conference «Architectural, Construction and Road Transport Complexes: Problems, Prospects, Innovations» [Sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii»].* Omsk; 2019: 328–31. (in Russian)
32. Khromov S.P., Petrosyants M.A. *Meteorology and Climatology [Meteorologiya i klimatologiya].* Moscow; 2012. (in Russian)

К статье Л.В. Хрипач и соавт.
To the article by L.V. Khripach et al.

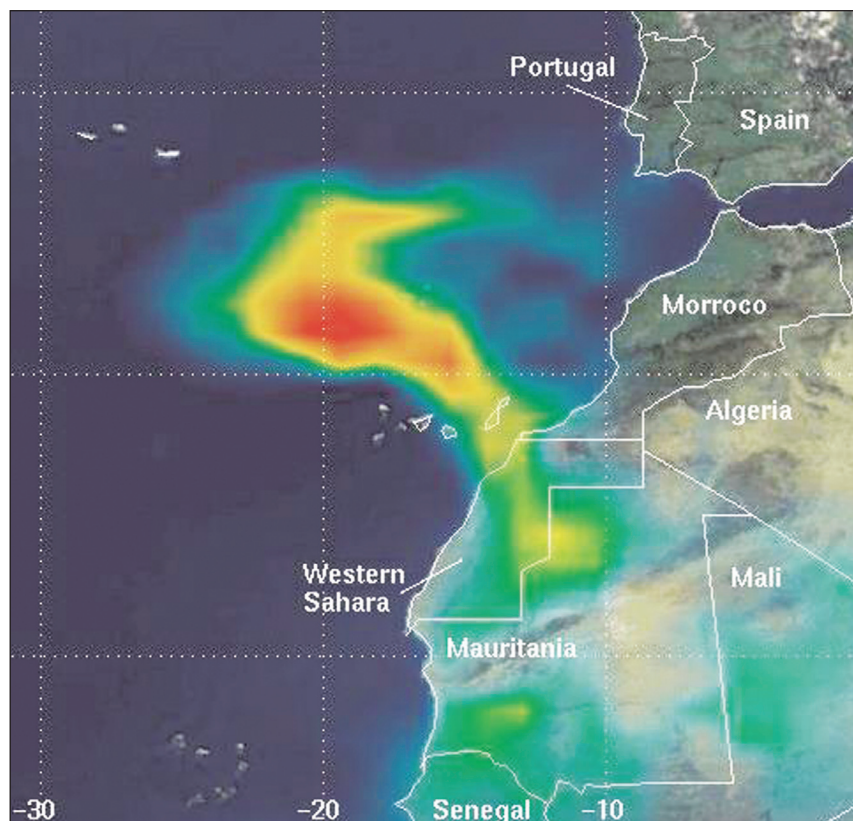


Рис. 1. Фотография гигантского облака пыли, движущегося из Северной Африки на запад в сезон песчаных бурь в пустыне Сахара [1].
Fig. 1. Photo of a giant dust cloud moving from North Africa to the West during the sandstorm season in the Sahara Desert [1].

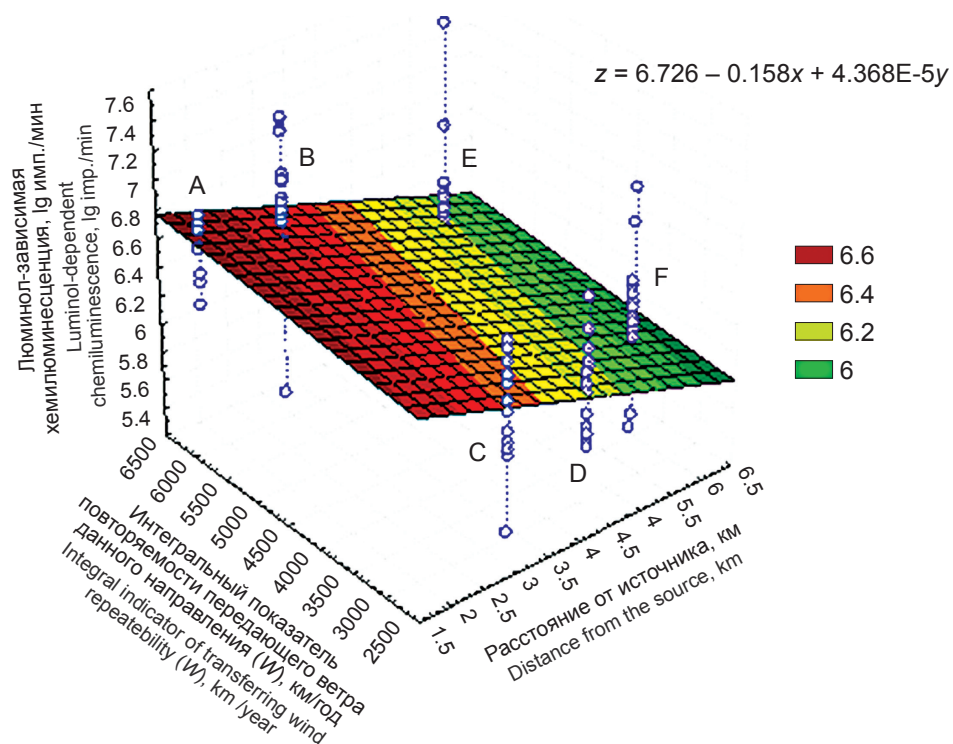


Рис. 4. Трёхмерный график зависимости интенсивности ЛЗХЛ слюны детей от расстояния до ИВ и интегрального показателя повторяемости ветров, способных переносить выбросы от источника к изучаемым детским садам.

Fig. 4. 3D graph LC intensity in children's saliva samples to depend on two predictors – the distance from the source and integral indicator of transferring wind repeatability.

К статье Л.В. Хрипач и соавт.
To the article by L.V. Khripach et al.

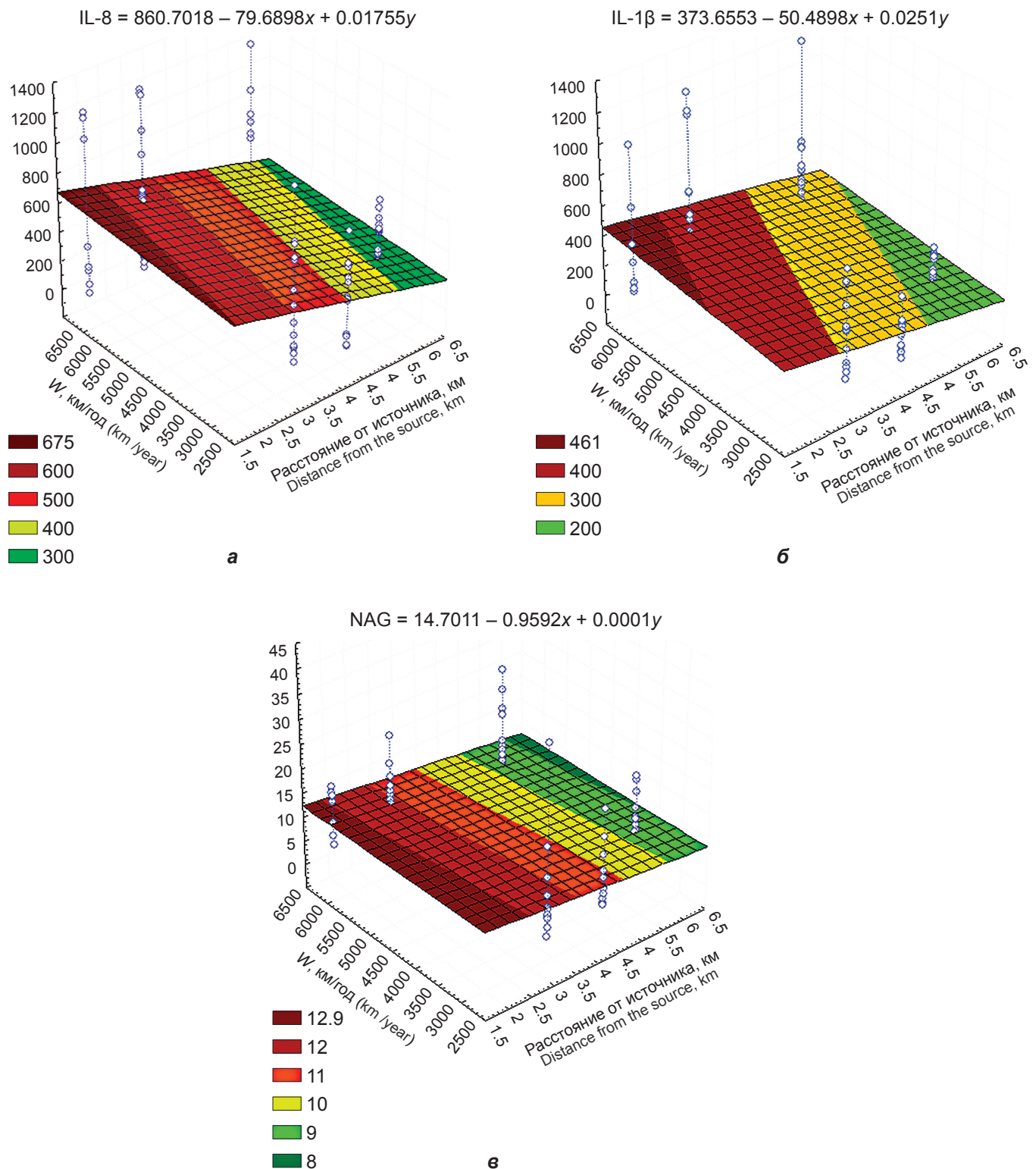


Рис. 5. Трёхмерные графики зависимости содержания ИЛ-8 (а), ИЛ-1β (б) и активности NAG (в) в слюне детей от расстояния до источника выбросов и интегрального показателя повторяемости ветров (W), направленных от источника выбросов к детским садам.

Fig. 5. 3D graphs of IL-8 levels (a), IL-1β levels (б) and NAG activities (в) in children saliva samples depending on the distance from the source and integral indicator of transferring wind repeatability (W).