



Веремчук Л.В., Минеева Е.Е., Виткина Т.И., Гвозденко Т.А.

## Особенности межсезонного и межсуточного воздействия климата на функцию внешнего дыхания при бронхиальной астме

Владивостокский филиал ФГБНУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения, 690105, Владивосток, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Бронхиальная астма (БА) остаётся одной из наиболее распространённых патологий, страдающие ею лица в значительной степени подвержены воздействию климатических факторов.

**Цель исследования** – оценка интенсивности ответной реакции функции внешнего дыхания (ФВД) больных БА на воздействие межсезонного и межсуточного контраста метеофакторов.

**Материалы и методы.** Обследованы 272 жителя Владивостока: 160 человек – контрольная группа, 112 человек – больные БА. Из данных «Прим-гидромета» отобраны семь климатических метеопараметров. Погодно-климатические условия оценивали в краткосрочном лаговом рассмотрении (синхронная, следовая, сигнальная метеореакция). Метод информационно-энтропийного анализа позволил оценить уровень метеозависимости. Определяли межсезонное интегральное воздействие климатических факторов на характер ответной реакции ФВД. Интенсивность ответной реакции определяли с помощью пошаговых регрессионных моделей.

**Результаты.** Расчёт разницы условной и безусловной энтропии указал на уровень метеозависимости. У здоровых лиц максимальный уровень метеозависимости отмечен в летний и осенний сезоны, у больных – зимой и летом. В переходные сезоны метеозависимость у больных БА и здоровых лиц отличается слабо. Уровень компенсаторной ответной реакции ФВД позволил оценить характер нарушения компенсаторной реакции (зимой – больные) и повышения резервных возможностей ФВД (летом – здоровые). Увеличение количества ответных реакций ФВД указало на повышение компенсаторного эффекта, характерного для здоровых лиц. Лаговое рассмотрение ответных реакций установило высокую эффективность контрастных метеореакций. Здоровые лица активно реагируют на сигнальные и синхронные климатические изменения, больные БА – на следовые и, в меньшей степени, на синхронные.

**Ограничения исследования.** Исследование проведено на территории Владивостока, что ограничивает применение результатов этой зоной и сходными по климатическим условиям.

**Заключение.** Климатические условия юга Дальнего Востока достаточно благоприятны для здоровья населения региона за счёт высокого оздоровительного потенциала для бронхолёгочной системы в летне-осенний период. Для больных БА характерно ослабление адаптационных механизмов зимой и летом.

**Ключевые слова:** метеофакторы; межсезонные и межсуточные метеореакции; бронхиальная астма

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование одобрено Этическим комитетом Владивостокского филиала ДНЦ ФПД – НИИМКВЛ (№ 2/2025 от 31.03.2025 г.). Исследование осуществлялось в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации. Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Веремчук Л.В., Минеева Е.Е., Виткина Т.И., Гвозденко Т.А. Особенности межсезонного и межсуточного воздействия климата на функцию внешнего дыхания при бронхиальной астме. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(2): 127–133. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-2-127-133> <https://elibrary.ru/kfopqr>

**Для корреспонденции:** Виткина Татьяна Исааковна, e-mail: tash30@mail.ru

**Вклад авторов:** Веремчук Л.В. – концепция и дизайн исследования, математическая обработка, написание текста; Минеева Е.Е. – сбор материала, обработка данных; Виткина Т.И. – анализ данных литературы, интерпретация результатов, написание текста; Гвозденко Т.А. – редактирование, утверждение окончательного варианта статьи и ответственность за целостность всех её частей.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Поступила: 09.04.2025 / Поступила после доработки: 12.05.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликовано: 13.03.2026

Lyudmila V. Veremchuk, Elena E. Mineeva, Tatyana I. Vitkina, Tatyana A. Gvozdenko

## Characteristics of the impact of interseasonal and interdiurnal climate on external respiratory function in asthma

Vladivostok Branch of the Far Eastern Scientific Centre of Physiology and Pathology of Respiration, Scientific Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment, Vladivostok, 690105, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Asthma remains one of the most widespread diseases, and patients with it are affected by climate factors. We evaluated intensity of external respiratory function's (ERF) response to the influence of interseasonal and interdiurnal contrast of meteorological factors in asthmatics.

**Materials and methods.** A total of two hundred seventy two residents of Vladivostok were examined: 160 people in the control group and 112 people with bronchial asthma. Seven climatic meteorological parameters were selected based on Primhydromet data. Weather and climatic conditions were assessed in a short-term lag consideration (synchronous, trace, signal). The method of information-entropy analysis allowed estimating the level of meteorological dependence. The interseasonal integral impact of climatic factors on the nature of the respiratory function response was determined. The intensity of the response was determined using step-by-step regression models.

**Results.** Calculation of the difference between conditional and unconditional entropy indicated the level of meteorological dependence. In healthy individuals, the maximum level of meteorological dependence was noted in the summer-autumn seasons, in patients - in winter and summer. In transitional seasons, meteorological dependence in patients with bronchial asthma and healthy individuals differs slightly. The level of compensatory ERF response allowed estimating the nature of the compensatory response impairment (in winter - patients) and the increase in ERF reserve capacities (in summer - healthy individuals). The increase in the number of ERF responses indicated to an increase in the compensatory effect typical of healthy individuals. Lag analysis of the responses established the high efficiency of contrast meteorological reactions. Healthy individuals actively respond to signal and synchronous climatic changes, while asthma patients respond to trace changes and, to a lesser extent, to synchronous changes.

**Limitations.** The study was conducted in Vladivostok, which limits the application of the results to this area and areas with similar climatic conditions.

**Conclusion.** The climatic conditions of the southern Far East are quite favorable for the health of the region's population, which has a high health potential for the bronchopulmonary system in the summer-autumn period. Patients with asthma are characterized by weakening of adaptation mechanisms in winter and summer.

**Keywords:** meteorological factors; interseasonal and interdiurnal meteorological reactions; asthma

**Compliance with ethical standards.** The study was approved by the Ethics Committee of the Vladivostok's branch of "Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Breath" – Scientific Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment (No. 2/2025 dated March 31, 2025). The study was carried out in accordance with the requirements of the Declaration of Helsinki under the conditions of voluntary informed consent.

**For citation:** Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A. Characteristics of the impact of interseasonal and interdiurnal climate on external respiratory function in asthma. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2026; 105(2): 127–133. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-2-127-133> <https://elibrary.ru/kfopqr> (In Russ.)

**For correspondence:** Tatiana I. Vitkina, e-mail: tash30@mail.ru

**Contribution:** Veremchuk L.V. – the concept and design of the research, mathematical processing of results, writing the text; Mineeva E.E. – collecting the material, processing the data; Vitkina T.I. – literature data analysis, interpretation of the results, writing the text; Gvozdenko T.A. – editing the manuscript, approval of the manuscript final version, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript. 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.

**Funding.** The study had no sponsorship.

Received: April 9, 2025 / Revised: May 12, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: March 13, 2026

## Введение

Влияние климата на здоровье человека известно с древних времён, при этом задача предотвращения или хотя бы снижения негативного действия климатических факторов на организм до сих пор не решена, особенно в контексте стремительного изменения глобального климата [1, 2]. Атмосфера является главной жизнеобеспечивающей средой человека, поэтому организм должен активно приспосабливаться к климатическим изменениям. Одно из общих свойств живых систем – компенсаторно-приспособительные реакции, позволяющие сохранять постоянство внутренней среды посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия [3, 4].

Болезни органов дыхания, связанные с климатическим воздействием, относятся к наиболее распространённым в мире, поскольку дыхательная система является открытой и наиболее уязвимой, особенно к контрастному межсезонному изменению качества воздушной среды. Одна из распространённых климатозависимых патологий дыхательной системы – бронхиальная астма (БА), которой страдают ≈ 5–10% населения Земли.

Отмечено, что межсезонные колебания метеопараметров, а затем и межсезонные изменения погодных условий сказываются на содержании кислорода в воздушной среде. Это приводит к краткосрочным и длительным нарушениям газообмена, повышает физиологическую нагрузку на лёгкие больных БА [5, 6]. Одним из распространённых и доступных диагностических методов, позволяющих установить степень бронхиальной обструкции у больных БА и исследовать нарушения вентиляционной функции лёгких, в том числе в ответ на воздействие факторов среды, является спирометрия [7, 8].

Формирование краткосрочной метеореакции может не совпадать с неблагоприятной погодой. Метеореакция, наступившая раньше видимого изменения погодных условий, называется сигнальной. Сигнальные реакции возникают у метеочувствительных людей чаще всего за сутки до изменения погодных условий. Отмечаются также следовые реакции, фиксирующие остаточную метеореакцию за предыдущий день. Синхронные реакции оцениваются с учётом влияния фактических погодных условий в день обследования пациента [9, 10]. Межсезонные изменения вызывают более длительную патологическую реакцию, которая может проявляться как у здоровых лиц, так и у больных БА с разной интенсивностью метеозависимости [11, 12].

**Цель исследования** – оценить интенсивность ответной реакции функции внешнего дыхания (ФВД) у больных БА на воздействие межсезонного и межсезонного контраста метеофакторов.

## Материалы и методы

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивали уровень интегрального воздействия климатических факторов на ФВД в межсезонном рассмотрении, на втором этапе определяли патогенный и оздоровительный характер компенсаторной ответной реакции показателей спирографии у лиц с БА на воздействие метеофакторов в межсезонном и межсезонном рассмотрении.

Оценку межсезонной, межсезонной краткосрочной лаговой метеореакции проводили на базе ретроспективных исследований за период 2013–2022 гг. Обследованы 272 человека (средний возраст  $56,5 \pm 4,8$  года), проживающие в условиях дальневосточного муссонного климата Владивостока 10 и более лет. В контрольную группу вошли 160 практически здоровых лиц (81 мужчина и 79 женщин), в группу наблюдения – 112 пациентов (60 мужчин и 52 женщины) с БА лёгкой степени тяжести частично контролируемого течения. Представленные группы были сопоставимы по возрастному-половому составу. Всем обследуемым проведена диагностика ФВД по 12 показателям до и после пробы с бронхолитиком: жизненная ёмкость лёгких (VC max), ёмкость вдоха (IC), резервный объём выдоха (РВвд./ERV), форсированная жизненная ёмкость лёгких (ФЖЕЛ/FVC), объём форсированного выдоха за 1 с (ОФВ<sub>1</sub>/FEV<sub>1</sub>), процентное соотношение ОФВ<sub>1</sub> к ЖЕЛ (FEV<sub>1</sub>/VC max), процентное соотношение ОФВ<sub>1</sub> к ФЖЕЛ (FEV<sub>1</sub>/FVC), пиковый объём выдоха (PEF), максимальная объёмная скорость после выдоха 25% ФЖЕЛ, МОС<sub>25</sub> (MEF<sub>75</sub>), максимальная объёмная скорость после выдоха 50% ФЖЕЛ, МОС<sub>50</sub> (MEF<sub>50</sub>), максимальная объёмная скорость после выдоха 75% ФЖЕЛ, МОС<sub>75</sub> (MEF<sub>25</sub>), средняя объёмная скорость в интервале выдоха от 25 до 75% ФЖЕЛ, СОС<sub>25–75</sub> (ММЕФ<sub>25–75</sub>).

Погодно-климатические условия оценивали по данным Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с позиции краткосрочной ( $\pm 1$  день) межсезонной контрастности метеоконфигуров (направление и скорость ветра, атмосферные явления, температура, влажность и атмосферное давление воздуха) относительно дня обследования пациента. День обследования пациента являлся точкой отсчёта для выделения контрастных межсезонных колебаний метеопараметров. Метеореакцию у больных БА и здоровых лиц оценивали лаговым воздействием метеофакторов на ФВД в день обследования в качестве синхронной (0) метеореакции. Метеофакторы за 1 день (–1) до дня обследования оценивали с позиции следовой реакции ФВД. Метеопараметры, отобранные на следующий день (+ 1) после дня обследования пациента, идентифицированы как сигнальная реакция. Определение ответной реакции ФВД на краткосрочное изменение климато-погодных условий во Владивостоке позволило охарактеризовать оздоровительное и патогенное воздействие климата на население города.

Таблица 1 / Table 1

## Уровень метеозависимости у здоровых лиц и больных бронхиальной астмой

Level of the dependence on meteorological factors in health persons and in patients with asthma

Сезон Season	Здоровые лица / Health persons <i>n</i> = 160			Больные БА / Patients with asthma <i>n</i> = 112		
	Условная энтропия Conditional entropy	Безусловная энтропия Unconditional entropy	$I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\%$	Условная энтропия Conditional entropy	Безусловная энтропия Unconditional entropy	$I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\%$
	$I_{\text{усл}}\%$	$I_{\text{без}}\%$		$I_{\text{усл}}\%$	$I_{\text{без}}\%$	
Зима / Winter	5.7	3.0	2.7	9.6	2.6	7.0
Весна / Spring	10.6	7.0	3.6	8.5	4.3	4.2
Лето / Summer	15.9	5.5	10.4	8.3	3.2	5.1
Осень / Autumn	7.8	3.3	4.5	6.8	2.6	4.2

В исследовании рассматриваются две малосопоставимые системы «человек – среда» (ФВД – климат), у которых при их взаимодействии возникает большой информационный шум, указывающий на высокий уровень энтропии [12, 13]. Энтропия является мерой неопределённости и упорядоченности состояния, возрастающей при системном взаимодействии различных процессов. Определение уровня упорядоченности при воздействии климата на ФВД проводили пошагово. Сначала с помощью информационно-энтропийного анализа по формуле (1) К. Шенона определяли величину энтропии ( $H$ ) [14]:

$$H = -\sum_{i=1}^i \rho_i \log_2 \rho_i, \quad (1)$$

где  $\rho_i$  – вероятностное значение обследуемых параметров.

Затем оценивали относительный показатель энтропии или коэффициент сжатия информации, который характеризовался отношением полученной энтропии к максимальной (в данном случае по общему количеству наблюдений). Этот подход особенно удобен при сравнении систем с различным количеством входных данных. В результате определяли коэффициент избыточности информации  $I\%$  по формуле (2):

$$I\% = (1 - (H_{\text{факт}} / H_{\text{макс}})) \cdot 100, \quad (2)$$

где  $H_{\text{факт}}$  – энтропия по конкретным наблюдениям;  $H_{\text{макс}}$  – энтропия по максимальному количеству наблюдений.

Относительный показатель избыточности информации ( $I\%$ ) позволил определить уровень упорядоченности хаотичных процессов в системе: чем выше показатель ( $I\%$ ), тем состояние системы более упорядочено и, следовательно, снижает каузальность [14].

Показатель ( $I\%$ ) рассматривали с двух позиций – безусловной и условной энтропии. Безусловная энтропия ( $I_{\text{без}}\%$ ) априори указывает на уровень индивидуальной неопределённости одной из систем, в данном случае системы ФВД. Условная энтропия ( $I_{\text{усл}}\%$ ) определяет вероятность совмещения двух событий (воздействие энтропии климатических факторов на энтропию ФВД у здоровых лиц и больных БА). В результате произведение безусловной вероятности ФВД и условной вероятности от воздействия климата на ФВД представлено формулой (3):

$$\rho(A/B) = \rho(A)^2 \cdot \rho(B), \quad (3)$$

где  $\rho(A)$  – вероятностный показатель ФВД;  $\rho(B)$  – вероятностный показатель климатических факторов.

Рассчитав аналогичным путём энтропию, мы получили относительный показатель избыточности информации и условной энтропии ( $I_{\text{усл}}\%$ ), который наглядно представил снижение неопределённости в системе ФВД под воздействием метеофакторов. По разнице ( $I_{\text{усл}}\% - I_{\text{без}}\%$ ) оценивали уровень метеозависимости [14].

Следующим этапом исследования было определение компенсаторной ответной реакции показателей спирографии на краткосрочное межсезонное и межсезонное воз-

действие триггерных климатических факторов. Для оценки интенсивности ответной реакции ФВД использовали пошаговую парную линейную регрессию. Отбирали показатели ( $R_{\text{рег}}$ ), которые имели статистическую значимость результата  $p < 0,05$ . Анализ уровней интенсивности ( $R_{\text{рег}}$ ) и активности (сумма отреагировавших факторов) компенсаторных реакций позволил оценить интенсивность процессов саморегуляции оптимального режима функционирования ФВД под воздействием климатических факторов и условий, при которых ответная реакция становится патогенной.

## Результаты

При проведении первого этапа исследования использованы расчёты безусловной ( $I_{\text{без}}\%$ ) и условной энтропии ( $I_{\text{усл}}\%$ ), которые позволили определить исходное состояние системы ФВД и её изменение под влиянием климатических факторов. Разница условной и безусловной энтропии ( $I_{\text{усл}}\% - I_{\text{без}}\%$ ) показала интегральный уровень воздействия климатических факторов (метеозависимость) на состояние ФВД в межсезонном рассмотрении (табл. 1).

В весенний период года межсезонная безусловная энтропия, характеризующая функциональную согласованность показателей спирографии, соответствовала максимальному показателю  $I_{\text{без}}\%$  у здоровых лиц (7%) и больных БА (4,3%) (см. табл. 1). Минимальные показатели  $I_{\text{без}}\%$  зафиксированы зимой у здоровых лиц (3%) и в осенне-зимний период у больных БА (2,6%). Условная энтропия, отражающая воздействие климатических факторов на ФВД, имела максимальные значения в летний период у здоровых лиц (15,9%), в зимний – у больных БА (9,6%). Разница условной энтропии и безусловной ( $I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\%$ ), указывающая на интегральный уровень метеозависимости ФВД по сезонам года, показала довольно сильную связь у здоровых лиц в летний период ( $I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\% = 10,4$ ), а в группе больных БА – в зимний период ( $I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\% = 7$ ). В переходные сезоны года (весна, осень) данный показатель находился в близких пределах как у здоровых ( $I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\% = 3,5-3,6$ ), так и у больных БА ( $I_{\text{усл}} - I_{\text{без}}\% = 4,2$ ) (см. табл. 1).

На втором этапе исследования был проведён расчёт компенсаторной ответной реакции ФВД на климатическое воздействие в межсезонном, межсезонном и краткосрочном режиме ( $\pm 1$  день), что позволило по величине компенсаторного ответа установить направленность метеореакции (табл. 2).

На основе величины ответной компенсаторной реакции ФВД с помощью регрессионных модельных связей ( $R_{\text{рег}}$ ) определён уровень ответной реакции, который указывал на потенциал сопротивления негативному внешнему воздействию: чем выше по величине  $R_{\text{рег}}$ , тем сильнее компенсаторные возможности ФВД.

В группе здоровых лиц в летний период отмечены наибольшие величины регуляторной компенсаторной реакции ФВД ( $R_{\text{рег}} = 0,95-0,99$ ), а наименьшие – в зимний ( $R_{\text{рег}} = 0,75$ ), весной и осенью ( $R_{\text{рег}} = 0,8-0,91$ ). Для пациентов с БА компенсаторная реакция по всем сезонам года

Таблица 2 / Table 2

**Компенсаторная ответная реакция ( $R_{\text{пер}}/p$ ) функции внешнего дыхания на сезонное и межсуточное краткосрочное воздействие метеофакторов у здоровых и больных бронхиальной астмой**Compensatory response ( $R_{\text{пер}}/p$ ) of external respiratory function to seasonal and interdiurnal impact of meteorological factors in healthy individuals and patients with asthma

Сезон Season	Здоровые лица / Health persons $n = 160$				Больные БА / Patients with asthma $n = 112$			
	Показатели спирографии Spirometry indicators	Ответная реакция Response $R_{\text{пер}}/p$	Воздействующие метеопараметры Influencing meteorological factors	$I_{\text{усл}} - I_{\text{бес}}\%$	Показатели спирографии Spirometry indicators	Ответная реакция Response $R_{\text{пер}}/p$	Воздействующие метеопараметры Influencing meteorological factors	$I_{\text{усл}} - I_{\text{бес}}\%$
Зима Winter	ММЕФ <sub>25/75</sub> , %	0.75/0.02	Давление (0) Pressure (0)	2.7	MEF <sub>25</sub> , %	0.51/0.04	Давление (0) Pressure (0)	7.0
Весна Spring	ЖЕЛ, % VC, %	0.81/0.03	Облачность (+ 1) Cloudiness (+ 1)	3.6	ММЕФ <sub>25/75</sub> , %	0.61/0.02	Атмосферные явления (-1) Atmospheric phenomena (-1)	4.2
	ФЖЕЛ, % FVC, %	0.8/0.03	Облачность (+ 1) Cloudiness (+ 1)	—	—	—	—	—
Лето Summer	PEF, %	0.98/0.01 0.95/0.05	Облачность (-1, + 1) Температура (0) Cloudiness (-1, + 1), Temperature (0)	10.4	MEF <sub>25</sub> , %	0.56/0.04	Атмосферные явления (-1.0) Atmospheric phenomena (-1.0)	5.1
	ФЖЕЛ, % FVC, %	0.95/0.05	Облачность (-1) Cloudiness (-1)	—	IC, %	0.57/0.008	Влажность (0) Humidity (0)	—
	ОФВ <sub>1</sub> /ФЖЕЛ, % FEV <sub>1</sub> /FVC, %	0.99/0.006	Атмосферные явления (-1, +1) Atmospheric phenomena (-1, +1)	—	—	—	—	—
Осень Autumn	IC, %	0.91/0.05 0.91/0.005	Атмосферные явления (0) Осадки (0) Atmospheric phenomena (0) Precipitation (0)	4.5	MEF <sub>25</sub> , %	0.6/0.0001	Направление ветра (-1, +1) Wind direction (-1, +1)	4.2
	PEF, %	0.92/0.003	Скорость ветра (+ 1) Wind speed (+ 1)	—	ОФВ <sub>1</sub> /ЖЕЛ FEV <sub>1</sub> /VC	0.67/0.001	Направление ветра (-1, +1) Wind direction (-1, +1)	—
	—	—	—	—	РВ <sub>выд.</sub> , % ERV, %	0.69/0.03	Температура (-1) Temperature (-1)	—

Примечание. ЖЕЛ – жизненная ёмкость лёгких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная ёмкость лёгких; ММЕФ<sub>25</sub> – максимальная объёмная скорость после выдоха 25% ФЖЕЛ; ММЕФ<sub>25-75</sub> – средняя объёмная скорость в интервале выдоха от 25 до 75% ФЖЕЛ; PEF – пиковый объём выдоха; ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ – процентное соотношение объёма форсированного выдоха за 1 с к ФЖЕЛ; IC – ёмкость вдоха; РВ<sub>выд.</sub> – резервный объём выдоха.

Note. VC – Vital capacity; FVC – Forced vital capacity; MEF<sub>25</sub> – Maximal expiratory flow 25; ММЕФ<sub>25-75</sub> – Maximal mid-expiratory flow 25/75; PEF – Peak expiratory flow; FEV<sub>1</sub>/FVC – Forced expiratory volume in 1 second / Forced vital capacity; IC – Inspiratory capacity; ERV – Expiratory reserve volume.

значительно снижена, особенно в зимний ( $R_{\text{рег}} = 0,51$ ) и летний ( $R_{\text{рег}} = 0,56-0,57$ ) периоды (см. табл. 2).

По количеству реагировавших показателей спирографии в течение всего года отмечена следующая тенденция: у здоровых лиц ответная компенсаторная реакция зафиксирована по 10 показателям спирографии из 13, а у пациентов с БА – по 7. При этом у больных БА активно реагировал показатель спирографии, характеризующий максимальную объёмную скорость после 25% выдоха ФЖЕЛ (MEF<sub>25</sub>л/с), на действие межсуточных контрастов (давления воздуха, атмосферных явлений и направления ветра) в разные сезоны года. Здоровые лица реагировали на внешнее воздействие более активно и позитивно по сравнению с больными БА, у которых компенсаторный потенциал ФВД был снижен до двух раз (см. табл. 2).

Характер климатического воздействия оценивается и по межсуточным краткосрочным лаговым характеристикам. Здоровые лица активно реагируют на контрастное межсуточное воздействие метеопараметров: пять реакций

в сигнальном и четыре реакции в синхронном аспектах. У больных БА межсуточная активность ответной реакции проявилась пятью реакциями показателей спирографии в следовом и тремя реакциями в синхронном рассмотрении (см. табл. 2).

## Обсуждение

Качество воздушной городской среды Владивостока в целом определяется региональными климатическими особенностями [15]. В Дальневосточном регионе преобладает муссонный климат, для которого характерно контрастное межсезонное и межсуточное изменение направления ветра: в зимний период преобладают ветра с континента, а в летний – с океана. В результате зимой устанавливается устойчивая погода с сильными ветрами, низкой влажностью и небольшим количеством осадков, а в летний сезон – очень влажная, дождливая, маловетренная погода. В переходные сезоны (весна, осень) происходит ломка устойчивых воздушных масс

с континента (сибирский антициклон — высокое давление) и мощного тихоокеанского влияния влажного воздуха с низким атмосферным давлением, которая вызывает межсуточные контрастные изменения в лаговом аспекте рассмотрения метеореакции. Для этих сезонов характерна изменчивость погодных условий: резкие межсуточные и межсезонные изменения направления и скорости ветра, атмосферного давления, влажности и других метеофакторов [16].

На первом этапе исследования оценивали интегральный уровень межсезонного воздействия климатических факторов на функцию внешнего дыхания, который определяли на основании комплексного изменения показателей спирографии.

Для получения репрезентативных результатов сравнивали две группы обследуемых лиц (здоровые лица и группа больных БА). Анализ величины безусловной энтропии ( $I_{\text{бес}}\%$ ) в группах здоровых лиц и больных астмой показал, что во все сезоны года у здоровых людей ФВД находилась в более устойчивом состоянии ( $I_{\text{бес}}\% = 3-7\%$ ), у больных БА — в менее стабильном ( $I_{\text{бес}}\% = 2,6-4,3\%$ ), что позволяет судить о различиях в состоянии здоровья лиц обследуемых групп [12, 13].

Условная энтропия характеризовала изменение безусловной энтропии ФВД под воздействием климатических факторов и указывала на некоторое упорядочение процессов как уточняющую информацию, объясняющую причины формирования метеозависимости. В результате во всех межсезонных вариациях условная энтропия ( $I_{\text{усл}}\%$ ) здоровых и больных лиц была выше, чем безусловная ( $I_{\text{бес}}\%$ ), что позволяет судить о формировании метеозависимости у обследуемого контингента [14] (см. табл. 1).

Оценка разницы условной и безусловной энтропии ( $I_{\text{усл}} - I_{\text{бес}}\%$ ) даёт возможность определить межсезонную разницу уровня метеозависимости органов дыхания исходя из состояния здоровья человека. Установлено, что максимальная метеозависимость у здоровых лиц отмечается в летний период, а у больных БА — в зимний и летний периоды (см. табл. 1) [12–14]. Повышенную межсезонную разницу метеозависимости можно дифференцировать по характеру воздействия. Предположительно, у здоровых лиц летние погодные условия вызывают адекватные процессы саморегуляции, а на больных БА зимние холода и летняя духота (высокая влажность при высоких температурах) влияют негативно, вызывая патогенную реакцию ФВД [5, 17, 18].

В переходные сезоны года (весна и осень) уровень метеозависимости у здоровых и больных БА отличается незначительно. Этот тренд можно связать с тем, что межсезонье в регионе одинаково тяжело для всего населения города [19]. В то же время у больных БА метеореакция за счёт малого компенсаторного резерва ФВД несколько снижена (см. табл. 1).

Целью второго этапа исследования было определение ответной реакции показателей спирографии на воздействие климатических параметров, позволяющей по уровню компенсаторного ответа установить характер (оздоровительный или патогенный) метеореакции в межсезонном и краткосрочном ( $\pm 1$  день) рассмотрении. Чем выше компенсаторная реакция ( $R_{\text{пер/р}}$ ) и чем большее количество показателей ФВД ответило на климатическое воздействие, тем активнее и эффективнее происходит процесс восстановления функции внешнего дыхания, создавая адекватный характер метеореакции. Низкие же показатели ( $R_{\text{пер/р}}$ ) при меньшем количестве отреагировавших показателей ФВД указывают на патогенный компенсаторный ответ на внешнее воздействие.

В результате установлено, что наибольший показатель ответной реакции наблюдается у здоровых лиц в летний и осенний периоды. При этом во все сезоны года у здорового населения отмечен не только высокий компенсаторный ответ, но и наибольшее количество отреагировавших показателей спирографии. Подобное сочетание объясняет популярность оздоровительного отдыха в регионе в эти периоды года [20, 21].

У больных БА отмечена достаточно низкая интенсивность ответной компенсаторной метеореакции в зимний и летний периоды. Это подтверждается участием в ответной реакции показателя спирографии (MEF<sub>25</sub>), характеризующего скорость воздушного потока на уровне дистальных бронхов и реагирующего на воздействие разных метеопараметров (давление и атмосферные явления), часто взаимосвязанных [22]. Летом интенсивность компенсаторной реакции дыхательной системы несколько увеличивается за счёт изменения показателя ёмкости вдоха (IC), отражающего сопротивление ФВД повышенной летней влажности муссонного климата. В целом у больных БА наибольшая компенсаторная активность ФВД (три показателя спирографии) отмечается в осенний период, однако по интенсивности компенсаторной ответной реакции она остаётся достаточно низкой. Можно предположить, что муссонный климат Дальневосточного региона оказывает неблагоприятное воздействие на больных БА, но в осенний период эти пациенты чувствуют себя лучше [19, 20].

Лаговое рассмотрение воздействия на ФВД межсуточных изменений ( $\pm 1$  день) метеофакторов позволило выявить преобладание у здорового населения сигнальных и синхронных реакций, а у больных БА — следовых реакций. Следовательно, здоровые лица более чувствительны к предстоящему изменению погодных условий и к фактическим (синхронным) метеоусловиям и демонстрируют быстрое включение компенсаторного механизма ответной реакции. У больных БА преобладают следовые реакции, что указывает на затяжное течение негативного процесса, связанного с произошедшим накануне изменением погодных условий. Такая тенденция более всего выражена в переходные сезоны года (весна и осень), когда в регионе стоит неустойчивая погода, связанная с ломкой континентальных и тихоокеанских воздушных масс [5]. Поэтому у больных БА в осенний период органы дыхания активно реагируют на изменение скорости ветра и температуры воздуха. Эти факторы являются основными триггерами, формирующими циркуляционный режим атмосферы региона [10, 11].

## Заключение

Дальневосточный муссонный климат имеет характерные региональные особенности, которые в межсезонном и межсуточном лаговом рассмотрении формируют различный по интенсивности и характеру профиль метеореакций у здоровых лиц и больных БА.

У больных бронхиальной астмой уровень неопределённости процессов функционирования ФВД на 20% превышал показатели энтропии в группе здоровых лиц. Самый высокий уровень метеозависимости у больных БА отмечен в зимний и летний периоды, у здоровых лиц — летом и осенью, что указывает на разный характер метеореакции.

Ответная компенсаторная реакция ФВД у здоровых лиц имеет благоприятный закаливающий характер в летне-осенний периоды, а у больных БА резкое снижение компенсаторной реакции отмечается в зимний и летний период, что говорит об увеличении патогенности воздействия на дыхательную систему зимних холодных погодных условий и летней духоты.

Показатель спирографии MEF<sub>25</sub>, характеризующий скорость воздушного потока, максимально и негативно (низкий компенсаторный ответ) отреагировал в зимний период, летом же к компенсаторной реакции подключился показатель ёмкости вдоха (IC), отражающий сопротивление ФВД повышенной летней влажности воздуха.

Осенью, в наиболее благоприятный для Дальневосточного региона сезон года, у здоровых и больных лиц усиливался адаптационно-компенсаторный ответ ФВД. У здорового населения региона наблюдается активная компенсаторная реакция на синхронное воздействие состояния воздушной среды и сигнальные импульсы изменения погодных условий. У пациентов с БА преобладали следовые и синхронные

реакции, однако в осенний период повышение компенсаторной активности позволило больным БА реагировать даже на сигнальные импульсы межсуточных контрастов метеофакторов, связанных с изменением направления ветра.

Таким образом, климатические условия юга Дальнего Востока весьма благоприятны для здоровья населения, имеют высокий оздоровительный потенциал для бронхолегочной системы в летне-осенний период. У здоровых лиц сезонная перестройка компенсируется адекватными защитно-приспособительными механизмами в летне-осенний период. У больных БА защитные реакции нарушены, что вызывает перенапряжение ФВД и может привести к утяжелению течения болезни. Зимой и летом создаются условия, неблагоприятные для функции внешнего дыхания больных БА.

Прогнозирование неблагоприятных погодных ситуаций, вызывающих снижение резервных возможностей внешнего дыхания, необходимо для проведения профилактических мероприятий. Знание триггеров и уменьшение воздействия этих факторов позволит улучшить контроль симптомов бронхиальной астмы. Перед неблагоприятными сезонами больные БА должны находиться под наблюдением врача-пульмонолога, проводить оценку функции внешнего дыхания для современной коррекции лечения. Летом пациенты с БА должны больше времени проводить на морском побережье. В зимнее время года, особенно при холодной ветреной погоде, пациентам с БА рекомендуется больше времени проводить в закрытых тёплых помещениях и без необходимости не выходить на открытый воздух.

### Литература

(п.п. 1, 4, 8, 13, 17–20, 22 см. References)

2. Зинченко Ю.В., Терентьев Н.Е. Риски климатических изменений здоровья и адаптация населения: обзор мирового опыта и уроки для России. *Проблемы прогнозирования*. 2022; (6): 131–44. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-195-131-144> <https://elibrary.ru/aqmwij>
3. Рахманов Р.С., Тарасов А.В. *Адаптационные реакции организма при влиянии морского климата на здоровье населения в регионах России*. Нижний Новгород; 2018. <https://elibrary.ru/yvedpa>
5. Воронина Л.В. Экстремальные проявления погоды и климата как фактор, влияющий на здоровье человека. *Медицина Кыргызстана*. 2015; (2): 28–30. <https://elibrary.ru/xifadz>
6. Салтыкова М.М., Бобровницкий И.П., Банченко А.Д. Основные аспекты изучения влияния метеотропных реакций. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2018; (4): 19–24. <https://elibrary.ru/bddudd>
7. Пирогов А.Б., Приходько А.Г., Пирогова Н.А., Перельман Ю.М. Клинические и патогенетические аспекты нейтрофильного воспаления бронхов у больных бронхиальной астмой с холодовой гиперреактивностью дыхательных путей (обзор литературы). *Бюллетень сибирской медицины*. 2023; 22(1): 143–52. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-1-143-152> <https://elibrary.ru/hnvqyk>
9. Груздева А.Ю., Салтыкова М.М., Бобровницкий И.П., Балакаева А.В., Герман С.В. Влияние сезонов года на развитие обострений наиболее распространённых болезней системы кровообращения. Гендерно-возрастные особенности. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(8): 839–44. <https://elibrary.ru/wwyescw>
10. Дубровская С.В. *Метеочувствительность и здоровье*. М.: РИПОЛ Классик; 2017.
11. Салтыкова М.М., Бобровницкий И.П., Яковлев М.Ю., Банченко А.Д., Нагорнев С.Н. Новый подход к анализу влияния погодных условий на организм человека. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(11): 1038–42. <https://elibrary.ru/urpxhul>
12. Кузнецов В.М. Информационно-энтропийный подход к анализу генетического разнообразия популяций (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(2): 159–73. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.159-173> <https://elibrary.ru/Issuyz>
14. Бандарин В.А. *Теория информации в медицине*. Минск: Беларусь; 1974.
15. Веремчук Л.В., Виткина Т.И., Барскова Л.С. Самоочищение атмосферного воздуха от пылевых частиц в условиях прибрежного морского климата. *Теоретическая и прикладная экология*. 2024; (1): 199–208. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-1-199-208> <https://elibrary.ru/dkekfw>
16. Мезенцева Л.И., Федулов А.С. Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке. *Известия КГТУ*. 2017; (46): 175–83. <https://elibrary.ru/wpcscj>
21. Диханова З.А., Мухаметжанова З.Т., Исакова А.К., Алтаева Б.Ж., Мукашева Б.Г. Влияние климата на организм человека. *Гигиена труда и медицинская экология*. 2017; (1): 11–6.

### References

1. Romanello M., McGushin A., Di Napoli C., Drummond P., Hughes N., Jamart L., et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet*. 2021; 398(10311): 1619–62. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6)
2. Zinchenko Yu.V., Terent'ev N.E. Risks of climate change to health and adaptation of the population: a review of world experience and lessons for Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2022; 33(6): 671–9. <https://doi.org/10.1134/s1075700722060168> <https://elibrary.ru/dzyhzm>
3. Rakhmanov R.S., Tarasov A.V. *Adaptive Reactions of the Body under the Influence of Sea Climate on the Population's Health in Regions of Russia [Adaptatsionnye reaktzii organizma pri vliyaniy morского климата na zdorov'e naseleniya v regionakh Rossii]*. Nizhny Novgorod; 2018. <https://elibrary.ru/yvedpa> (in Russian)
4. Zhao X.Y., Zhang Y., Fan G.C., Li Y.P., Yin Ch.Y., Chen J.Y. Effect of meteorological factors on respiratory system diseases in Funan, China. *Appl. Ecol. Env. Res.* 2019; 17(4): 9515–28. [https://doi.org/10.15666/aecr/1704\\_95159528](https://doi.org/10.15666/aecr/1704_95159528)
5. Voronina L.V. Extreme manifestations of weather and climate as a factor influencing health of the person. *Meditsina Кыргызстана*. 2015; (2): 28–30. <https://elibrary.ru/xifadz> (in Russian)
6. Saltykova M.M., Bobrovnikskii I.P., Banchenko A.D. Main aspects of studying the influence of meteorotropic reactions. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2018; (4): 19–24. <https://elibrary.ru/bddudd> (in Russian)
7. Pirogov A.B., Prikhod'ko A.G., Pirogova N.A., Perel'man Yu.M. Clinical and pathogenetic aspects of neutrophilic bronchial inflammation in asthma patients with cold-induced airway hyperresponsiveness (literature review). *Byulleten' sibirskoi meditsiny*. 2023; 22(1): 143–52. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2023-1-143-152> <https://elibrary.ru/hnvqyk> (in Russian)
8. Davis R.E., Hondula D.M., Sharif H. Examining the diurnal temperature range enigma: why is human health related to the daily change in temperature? *Int. J. Biometeorol.* 2020; 64(3): 397–407. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01825-8>
9. Груздева А.Ю., Салтыкова М.Ю., Бобровницкий И.П., Балакаева А.В., Герман С.В. The influence of seasons on the development of exacerbations of the most common diseases of the circulatory system. Gender and age peculiarities. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(8): 839–44. <https://elibrary.ru/wwyescw> (in Russian)
10. Dubrovskaya S.V. *Meteosensitivity and Health [Meteochuvstvitel'nost' i zdorov'e]*. Moscow: RIPOL Classic; 2017. (in Russian)
11. Saltykova M.M., Bobrovnikskii I.P., Yakovlev M.Yu., Banchenko A.D., Nagornev S.N. A new approach to the analysis of the influence of weather conditions on the human organism. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(11): 1038–42. <https://elibrary.ru/urpxhul> (in Russian)
12. Kuznetsov V.M. Information-entropy approach to the analysis of genetic diversity of populations (analytical review). *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*. 2022; 23(2): 159–73. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.159-173> <https://elibrary.ru/Issuyz> (in Russian)
13. Corso G., Ferreira G.M.F., Lewinsohn T.M. Mutual information as a general measure of structure in interaction networks. *Entropy*. 2020; 22(5): 528. <https://doi.org/10.3390/e22050528>
14. Bandarin V.A. *Theory of Information in Medicine [Teoriya informatsii v meditsine]*. Minsk: Belarus; 1974. (in Russian)
15. Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Barskova L.S. Self-purification of atmospheric air from dust particles in a coastal marine climate. *Teoreticheskaya i prikladnaya ehkologiya*. 2024; (1): 199–208. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-1-199-208> <https://elibrary.ru/dkekfw> (in Russian)
16. Mezentseva L.I., Fedulov A.S. Climatic tendencies of atmospheric circulation in Far East. *Izvestiya KGTU*. 2017; (46): 175–83. <https://elibrary.ru/wpcscj> (in Russian)
17. Lepeule J., Litojua A.A., Gasparrini A., Koutrakis P., Sparrow D., Vokonas P.S., et al. Lung function association with outdoor temperature and relative humidity and its interaction with air pollution in the elderly. *Environ. Res.* 2018; 165: 110–7. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.039>
18. D'Amato M., Molino A., Calabrese G., Cecchi L., Annesi-Maesano I., D'Amato G. The impact of cold on the respiratory tract and its consequences to respiratory health. *Clin. Transl. Allergy*. 2018; 8: 20. <https://doi.org/10.1186/s13601-018-0208-9>
19. Veremchuk L.V., Tsarouhas K., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Gvozdenko T.A., Antonyuk M.V., et al. Impact evaluation of environmental factors on respiratory

## Original article

- function of asthma patients living in urban territory. *Environ. Pollut.* 2018; 235: 489–96. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.122>
20. Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Grigorieva E.A., Gvozdenko T.A., Golokhvast K.S. The response ranges of pulmonary function and the impact criteria of weather and industrial influence on patients with asthma living in Vladivostok. *J. Environ. Health Sci. Eng.* 2020; 18(1): 235–42. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00458-z>
21. Dikhanova Z.A., Mukhametzhanova Z.T., Iskakova A.K., Altaeva B.ZH., Mukasheva B.G. Climate's influence on human's organism. *Gigiena truda i meditsinskaya ekhologiya.* 2017; (1): 11–6. (in Russian)
22. Zhang X., Xu Z., Wen X., Huang G., Nian S., Li L., et al. The onset, development and pathogenesis of severe neutrophilic asthma. *Immunol. Cell Biol.* 2022; 100(3): 144–59. <https://doi.org/10.1111/imcb.12522>

**Сведения об авторах**

**Веремчук Людмила Васильевна**, доктор биол. наук, вед. науч. сотр., лаб. медицинской экологии и рекреационных ресурсов, Владивостокский филиал ДНЦ ФПД-НИИМКВЛ, 690105, Владивосток, Россия. E-mail: veremchuk\_lv@mail.ru

**Минеева Елена Евгеньевна**, канд. мед. наук, врач функциональной диагностики клинического подразделения, науч. сотр. лаб. восстановительного лечения, Владивостокский филиал ДНЦ ФПД-НИИМКВЛ, 690105, Владивосток, Россия. E-mail: elmineeva@yandex.ru

**Виткина Татьяна Исаковна**, доктор биол. наук, зав. лаб. медицинской экологии и рекреационных ресурсов, Владивостокский филиал ДНЦ ФПД-НИИМКВЛ, 690105, Владивосток, Россия. E-mail: tash30@mail.ru

**Гвозденко Татьяна Александровна**, доктор мед. наук, профессор РАН, гл. науч. сотр. лаб. восстановительного лечения, Владивостокский филиал ДНЦ ФПД-НИИМКВЛ, 690105, Владивосток, Россия. E-mail: vfdnz\_nch@mail.ru

**About the authors**

**Ljudmila V. Veremchuk**, DSc (Biology), leading researcher, Laboratory of medical ecology and recreational resources, Vladivostok Branch, Far Eastern Scientific Centre of Physiology and Pathology of Respiration, Scientific Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment, Vladivostok, 690105, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6372-6560> E-mail: veremchuk\_lv@mail.ru

**Elena E. Mineeva**, PhD (Medicine), doctor, Clinical department of the functional diagnostic, researcher, Laboratory of rehabilitation treatment, Vladivostok Branch, Far Eastern Scientific Centre of Physiology and Pathology of Respiration, Scientific Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment, Vladivostok, 690105, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4286-2827> E-mail: elmineeva@yandex.ru

**Tatyana I. Vitkina**, DSc (Biology), professor RAS, head, Laboratory of medical ecology and recreational resources, Vladivostok Branch, Far Eastern Scientific Centre of Physiology and Pathology of Respiration, Scientific Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment, Vladivostok, 690105, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1009-9011> E-mail: tash30@mail.ru

**Tatyana A. Gvozdenko**, DSc (Medicine), professor RAS, chief researcher, Laboratory of rehabilitation treatment, Vladivostok Branch, Far Eastern Scientific Centre of Physiology and Pathology of Respiration, Scientific Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment, Vladivostok, 690105, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6413-9840> E-mail: vfdnz@mail.ru