DOI 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ СПОР ГРИБОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РИСКА РЕСПИРАТОРНЫХ АЛЛЕРГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ (2023–2025 ГГ.)

Айтметова Шахло Каримовна[1], **Нармухамедова Мохира Камалиддин кизи**[1], **Акрамжонова Шахноза Илхомжон кизи**[1], **Исмаилова Э.Н.**[2], **Атаджанова М.Р.**[1], **Джамбекова Г.С.**[1]
[1] *Международный центр молекулярной аллергологии АН РУз*
[2] *Ташкентский государственный медицинский университет*
narmuhamedovamohira@gmail.com

Аннотация: В статье рассматривается сезонная динамика концентрации спор микроскопических грибов в атмосферном воздухе в 2023–2025 гг. и её значение для оценки риска респираторных аллергических заболеваний. Проанализированы изменения концентрации грибковых спор в различные сезоны года, а также их взаимосвязь с температурой и влажностью воздуха. Установлено, что споры микромицетов присутствуют в атмосферном воздухе в течение всего года, характеризуются продолжительным периодом спороношения и высокой суммарной концентрацией. Наиболее выраженное увеличение количества спор наблюдалось в мае: 11591 спора в 2023 году и 28567 спор в 2024 году. В летне-осенний период концентрация спор сохранялась на относительно высоком уровне, составляя 7161–8825 спор в месяц. В 2024 году в октябре был отмечен повторный пик концентрации, тогда как в 2025 году наблюдались относительная стабильность показателей и отсутствие выраженных сезонных пиков. Полученные результаты подчёркивают важность круглогодичного мониторинга грибковых спор в атмосферном воздухе для оценки потенциальных рисков развития респираторных аллергических заболеваний.
Ключевые слова: аэробиологический мониторинг, микроскопические грибы, грибковые споры, сенсибилизация, сезонная динамика.

Abstract: This study examines the seasonal dynamics of airborne microscopic fungal spore concentrations during 2023–2025 and their significance for assessing the risk of respiratory allergic diseases. Changes in fungal spore concentrations across different seasons were analyzed, along with their relationship to air temperature and humidity. The findings indicate that fungal spores are present in the atmosphere throughout the year, with a prolonged sporulation period and high overall concentrations. The most pronounced increase in spore concentrations occurred in May, reaching 11,591 spores in 2023 and 28,567 spores in 2024. During the summer and autumn months, spore concentrations remained relatively high, ranging from 7,161 to 8,825 spores per month. A secondary peak was observed in October 2024, whereas 2025 was characterized by relatively stable concentrations without clearly defined seasonal peaks. These findings highlight the importance of year-round monitoring of airborne fungal spores for assessing potential risks associated with respiratory allergic diseases.
Keywords: Aerobiological monitoring, microscopic fungi, fungal spores, sensitization, seasonal dynamics.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ
Айтметова Ш.К., Нармухамедова М.К., Акрамжонова Ш.И., Исмаилова Э.Н. и др. Сезонная динамика концентрации спор грибов в атмосферном воздухе и их значение для риска респираторных аллергических заболеваний (2023–2025 гг.) // Состояние и перспективы развития фундаментальной и прикладной микробиологии: точка зрения молодых учёных: материалы Республиканской научно-практической конференции. – Ташкент, 2026. – С. 426–433.
DOI: https://doi.org/10.66073/ReFocus-Conf/3010121

Введение

Изменения фенологии - сроков сезонной активности живых организмов в ответ на изменение климата очевидны и широко задокументированы в различных экосистемах, от полярных регионов до тропических океанов [1]. Большая часть фенологических исследований сосредоточена на заметных макроорганизмах, которые привлекли значительное внимание общественности. Например, исследования в Северной Америке и Европе показывают устойчивую тенденцию к более раннему наступлению биологических весенних событий, таких как миграция птиц, появление бабочек, нерест амфибий, а также распускание листьев и цветение растений, в ответ на потепление климата [2]. Однако соответствующим изменениям сезонности микроорганизмов, таким как фенология и интенсивность образования и выделения спор грибов, уделялось ограниченное внимание [3].

В работе Осмонбаевой К.Б. отмечена выраженная положительная корреляция: констатировано, что температура, осадки, относительная влажность и такие метеорологические параметры, как ветер, влияют на рост грибов, а также на концентрацию и распределение спор грибов в атмосфере. Повышение температуры, обеспечивая сухость окружающей среды, благоприятствует интенсивному выбросу спор и увеличению их концентрации в атмосфере [4].

Микроскопическая природа грибковых спор, переносимых по воздуху, приводит к неизбежному вдыханию, при этом более 80 родов грибов связаны с аллергической сенсибилизацией, которая характеризуется значительной вариабельностью в зависимости от таксономических родов и видов грибов, при этом *Alternaria*, *Cladosporium* и *Aspergillus* признаны наиболее важными сенсибилизаторами [1].

Вдыхание грибковых аэрозолей может оказывать воздействие на человека тремя основными способами: вызывать инфекционные заболевания; вызывать и усугублять аллергию; провоцировать развитие тяжелых токсических реакций, вызванных микотоксинами, иногда с летальным исходом у пациентов с ослабленным иммунитетом [5]. Микотоксины, продуцируемые грибами, токсичны как для человека, так и для животных; вызывают серьезные осложнения со стороны печени, почек, желудочно-кишечного тракта, сердца, центральной нервной системы и иммунной системы; некоторые считаются канцерогенными [6]. К числу распространенных респираторных заболеваний, вызываемых грибами у человека, относятся инвазивный легочный аспергиллез, аллергический бронхолегочный аспергиллез (АБЛА), аллергический грибковый синусит и грибковые аллергические инфекции уха [7]. В настоящее время доказано значение микогенной сенсибилизации в патогенезе аллергического ринита, бронхиальной астмы, экзогенного аллергического альвеолита и атопического дерматита [8,9].

Наибольшее число зарегистрированных грибковых аллергенов принадлежит к четырем родам микромицетов: *Aspergillus, Alternaria, Cladosporium, Penicillium* [10]. Сенсибилизирующая способность обусловлена микроскопическими размерами спор грибов (от 1 до 5 мкм), что позволяет им проникать в дыхательные пути человека, вызывая клинические симптомы респираторных аллергозов [11].

Alternaria alternata - повсеместно распространенный вид, который встречается преимущественно на растениях, в почве и на разлагающихся органических субстратах, при этом его высокая численность часто отмечается как на травянистых, так и на лесных растительных ассоциациях [12]. Известно, что поражает растения, вызывая «синдром пятнистости листьев»; является важным аллергеном, переносимым по воздуху; ассоциирован с развитием у людей ринита и астмы [13].

A. fumigatus - один из наиболее распространенных грибов, переносимых по воздуху, характеризуется обильным спорообразованием - каждая конидия этого гриба высвобождает тысячи спор в атмосферу; также широко присутствует в почве и разлагающихся органических веществах [14]. Сообщается, что люди ежедневно вдыхают не менее нескольких сотен спор *A.*

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

fumigatus [15] и постоянное вдыхание этих спор людьми с ослабленным иммунитетом приводит к развитию инвазивного легочного аспергиллеза [16].

Cladosporium, широко известный гриб, вызывающий астму, считается одним из наиболее распространенных и обильно встречающихся в воздухе грибов по всему миру. При этом данные показывают, что *C. herbarium*, *C. macrocarpum* и *C. cladosporioides* являются наиболее часто встречающимися видами в окружающей среде [17]. Исследования, основанные на культивировании и проведенные для оценки концентрации *Cladosporium* в воздухе в различных регионах Европы и Северной Америки, показали круглогодичное присутствие *Cladosporium* в атмосферном воздухе [18].

В журнале *Aerobiologia* (2026) опубликованы данные систематического обзора, включающего 94 исследования, в которых анализируется связь между концентрацией спор грибов в наружном воздухе и респираторными заболеваниями. Наиболее часто регистрируемыми таксонами грибов были *Alternaria sp*. и *Cladosporium sp*. В 77% этих исследований указывается на наличие четкой связи между концентрацией грибковых спор в воздухе и возникновением респираторных симптомов у сенсибилизированного населения. Значительный объем исследований указывает на связь между повышенным уровнем спор грибов в воздухе и увеличением числа госпитализаций и смертности от астмы [19].

Увеличение числа видов патогенных грибов связано с процессом глобального потепления в результате увеличения концентрации CO_2, закиси азота. Исследования в Новосибирске показали, что на формирование микобиоты оказывают влияние температура и влажность окружающей среды. При сухой, жаркой, безветренной погоде количество спор микромицетов постепенно увеличивалось (в основном, за счет грибов рода *Cladosporium*) [13]. Споры грибов - это постоянно присутствующий компонент воздуха, их концентрация и состав колеблются в зависимости от сложного взаимодействия биологических и экологических факторов, это: географическое положение, загрязнение воздуха, погодные условия, деятельность человека и местные источники растительности. Споры одних и тех же таксонов всегда обнаруживаются независимо от метода мониторинга [20].

В связи с климатическими изменениями и антропогенным воздействием, для выявления изменений в биоаэрозоле и прогнозирования их дальнейшей динамики, актуальным представляется необходимость проведения постоянного аэромониторинга, нового, но успешно развивающегося направления в Узбекистане [21].

Споры родов *Alternaria* и *Cladosporium* были впервые собраны с помощью гравиметрического пробоотборника Дюрама из атмосферы Эскишехира (Турция) в период с 1 января 2000 года по 31 декабря 2001 года. Были зафиксированы суточные, месячные и годовые колебания количества спор *Cladosporium* и *Alternaria* на см². За этот период было зарегистрировано в общей сложности 10231 спора, принадлежащих к родам *Cladosporium* и *Alternaria*. Из них 5103 были идентифицированы в 2000 году и 5128 — в 2001 году. При этом 63,09% от общего числа спор составляли споры *Cladosporium*, а 36,91% - споры *Alternaria*. Статистически исследована взаимосвязь между наличием спор грибов в воздухе и метеорологическими условиями [22].

В работе российских ученых изучалась концентрация спор плесневых грибов и причинно-значимых аллергенов пыльцы трав в городах юга России и частота мультисенсибилизации у пациентов с учетом определения специфических IgE к плесневым грибам. По результатам проведенных согласно международным методикам аэропалинологических исследований, установлено высокое содержание спор плесневых грибов в атмосферном воздухе изученных городов, которое сочеталось с ежесезонным ростом концентрации пыльцевых аллергенов в атмосферном воздухе. Также показано, что для южного региона РФ характерно круглогодичное присутствие аллергенов плесневых грибов с пиками спороношения в июле, августе и сентябре. Данные комплексной аллергодиагностики выявили превалирование (71%) полисенсибилизированных пациентов, чувствительных к пыльцевым аллергенам и спорам плесневых грибов [23].

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

Учитывая вышеизложенное, целью настоящего исследования явилось изучение сезонной динамики концентрации спор микромицетов в атмосферном воздухе в 2023–2025 гг. и оценка её взаимосвязи с температурой и влажностью воздуха для определения потенциального риска развития респираторных аллергических заболеваний.

Методы исследования

Для проведения аэропалинологических исследований пыльцевые ловушки итальянской фирмы «Lanzoni» VPPS 2010 (рис.1) установлены в Ташкенте и в регионах республики (рис.2).



Рисунок 1. Пыльцевая ловушка «Lanzoni» VPPS 2010 (слева). Рисунок 2. Карта размещения ловушек в Ташкенте и регионах республики (справа)

Ловушка обеспечивает постоянный поток воздуха за счет работы помпы. Внутри ловушки находится барабан, на поверхность которого приклеена лента. Барабан вращается с постоянной скоростью относительно щели, через которую засасывается воздух. На ленту барабана ловушки собираются все микрочастицы из воздуха. Из этой ленты специалисты готовят препараты (рис.3) и под микроскопом определяют таксономическую принадлежность пыльцы или спор грибов, а также ведут их подсчет. На сегодняшний день идентифицируются пыльца 14 таксонов деревьев, 6 таксонов травянистых растений и 5 таксонов спор грибов.

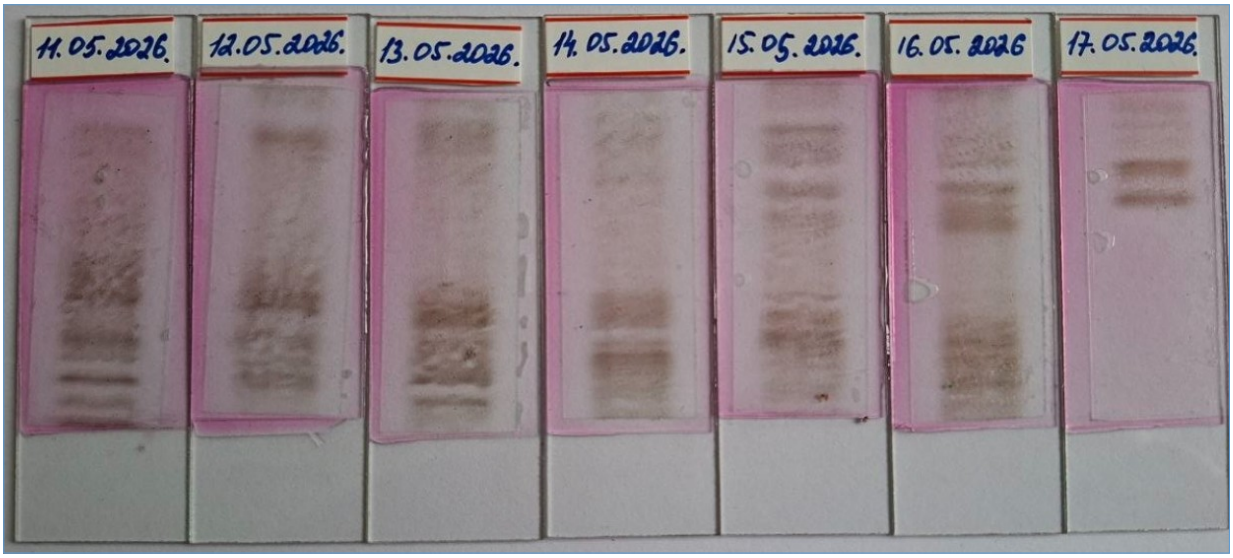


Рисунок 3. Препараты, приготовленные из ленты ловушки для микроскопического анализа

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

Результаты и обсуждение

Споры микромицетов доминируют в составе аэропалинологического спектра круглогодично, характеризуются наиболее продолжительным сезоном спороношения и высокой суммарной концентрацией. Анализ динамики за 2023–2025 гг. выявил связь между пиками спороношения и ходом кривых температур и влажности.

В весенне-летний период наблюдается закономерное увеличение концентрации спор, достигающее максимума в мае (11591 спора в 2023 г. и 28567 спор в 2024 г.), что обусловлено оптимальным сочетанием суточных температур и уровня влажности. В летне-осенний период (июнь–сентябрь) концентрация спор стабильно высокая (7161–8825 спор в месяц) и формирует устойчивый аллергенный фон.

Особого внимания заслуживает межсезонная вариативность осенней динамики: если в 2023 году отмечалось постепенное снижение концентрации спор, то в октябре 2024 года зафиксирован повторный пик концентрации. В 2025 году, напротив, наблюдалась относительная стабильность концентрации спор (2471–6376 единиц) без отчетливо выраженных пиков, что, вероятнее всего, объясняется постепенным снижением влажности воздуха в осенний период. Независимо от сезонных колебаний, уровень концентрации спор в ноябре и декабре неизменно превышает концентрацию пыльцы растений, что позволяет рассматривать споры грибов как круглогодичный фактор риска для пациентов с респираторной аллергией. На графике (рис.4) отображена годовая динамика распространения в воздухе аллергенных спор двух основных родов микроскопических грибов *Alternaria* и *Cladosporium* за 2023 год. Сезон спороношения ярко выражен и приходится на теплое время года — с апреля по октябрь. Споры *Cladosporium* (оранжевая линия) демонстрируют значительно более высокие показатели концентрации в течение всего года по сравнению с *Alternaria* (синяя линия). Первый пик *Cladosporium* наблюдается в мае, а самый высокий пик активности зафиксирован в августе, когда концентрация спор достигает максимального значения за весь год. Концентрация *Alternaria* нарастает более плавно и достигает пика в летне-осенний период, при этом максимальное значение отмечено в сентябре.



Рисунок 4. Годовая динамика концентрации спор Alternaria и Cladosporium в атмосферном воздухе за 2023 год

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

Полученные результаты свидетельствуют о выраженной сезонной изменчивости концентрации спор микромицетов в атмосферном воздухе в течение 2023–2025 гг. При этом сохранение спор в воздушной среде на протяжении всего года указывает на необходимость учитывать их потенциальное влияние на состояние здоровья людей не только в периоды максимального спороношения, но и в осенне-зимние месяцы.

Наиболее высокие показатели концентрации спор были зарегистрированы в мае 2023 и 2024 гг., составив 11591 и 28567 спор соответственно. Различия между этими показателями указывают на существенную межгодовую вариабельность спороношения. Одним из возможных объяснений такой динамики являются изменения метеорологических условий, включая температуру и влажность воздуха, которые могут влиять на развитие грибов, образование спор и их поступление в атмосферу. Однако для установления степени влияния отдельных метеорологических факторов необходим дополнительный статистический анализ.

В период с июня по сентябрь концентрация спор сохранялась на относительно высоком уровне, составляя 7161–8825 спор в месяц. Продолжительное сохранение повышенных показателей может способствовать формированию устойчивого фона воздействия грибковых биоаэрозолей. С учётом аллергенного потенциала ряда микромицетов, в частности представителей родов *Alternaria*, *Cladosporium* и *Aspergillus*, данные результаты представляют интерес для аэробиологических исследований и оценки потенциальных рисков развития респираторных аллергических заболеваний.

Сравнение осенней динамики за исследуемые годы выявило различия в характере изменения концентрации спор. В 2023 г. отмечалось постепенное снижение показателей, тогда как в октябре 2024 г. наблюдался повторный пик спороношения. В 2025 г. концентрация спор варьировала в пределах 2471–6376 единиц без выраженных пиков. Такая межгодовая изменчивость подчёркивает необходимость многолетних наблюдений, поскольку данные одного сезона не всегда позволяют достоверно охарактеризовать закономерности распространения грибковых спор в атмосферном воздухе.

Особое значение имеет сохранение высокой относительной представленности грибковых спор в конце календарного года. Превышение их концентрации над содержанием пыльцы растений в ноябре и декабре указывает на то, что после завершения основного сезона пыления растений грибковые споры могут оставаться значимым компонентом атмосферного биоаэрозоля. Вместе с тем оценка фактического риска для здоровья требует учёта таксономического состава спор, их аллергенного потенциала, индивидуальной сенсибилизации населения и клинических данных.

Таким образом, результаты исследования подтверждают важность круглогодичного аэробиологического мониторинга микромицетов и совместного анализа концентрации спор и метеорологических показателей. Полученные данные могут использоваться в качестве основы для дальнейшего изучения сезонных закономерностей распространения грибковых спор и их возможной связи с распространённостью респираторных аллергических заболеваний.

Заключение

По результатам исследования сезонной динамики спор микромицетов в атмосферном воздухе за 2023–2025 гг. установлено, что грибковые споры присутствуют в воздушной среде круглогодично и характеризуются выраженной сезонной и межгодовой изменчивостью концентрации. Максимальные показатели зарегистрированы в мае 2023 и 2024 гг. и составили 11591 и 28567 спор соответственно. В летне-осенний период (июнь–сентябрь) концентрация спор сохранялась на относительно высоком уровне, достигая 7161–8825 спор в месяц. Осенняя динамика различалась по годам: в октябре 2024 г. отмечен повторный пик концентрации, тогда как в 2025 г. наблюдались относительно стабильные показатели в диапазоне 2471–6376 единиц без выраженных пиков. Выявленные закономерности подчёркивают значимость метеорологических условий для дальнейшего изучения сезонного распространения грибковых спор и необходимость круглогодичного аэробиологического мониторинга. Учитывая

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

аллергенный потенциал ряда микромицетов, полученные результаты представляют интерес для оценки потенциальных рисков развития респираторных аллергических заболеваний и обосновывают необходимость дальнейшего изучения взаимосвязи концентрации грибковых спор с метеорологическими показателями и клиническими данными.

Список литературы

1. Anees-Hill S, Douglas P, Pashley Ch, et al. (2022) A systematic review of outdoor airborne fungal spore seasonality across Europe and the implications for health. *Sci Total Environ* 818: 151716.
2. Menzel A (2000) Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int J Biometeorol* 44: 76–81.
3. Wu R, Song Y, Head JR, et al. (2025) Fungal Spore Seasons Advanced Across the US Over Two Decades of Climate Change. *GeoHealth* 9: e2024GH001323.
4. Осмонбаева К.Б. Изменение климата и концентрация пыльцы растений и спор грибов в воздухе. автореферат 2025. Бишкек
5. Yamamoto N, Bibby K, Qian J, et al. (2012) Particle-size distributions and seasonal diversity of allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *ISME J* 6: 1801–1811.
6. Edmondson DA, Nordness ME, Zacharisen MC, et al. (2005) Allergy and ‘toxic mold syndrome’. *Ann Allergy Asthma Immunol* 94: 234–239.
7. Horner WE, Helbling A, Salvaggio JE, et al. (1995) Fungal allergens. *Clin Microbiol Rev* 8: 161–179.
8. Аак О.В. Аллергены грибов. Особенности микогенной сенсибилизации (обзор). Проблемы медицинской микологии. 2005;7(2):12–16.
9. Zureik M., Neukirch C., Leynaert B. et al. Sensitisation to airborne moulds and severity of asthma: cross sectional study from European Community respiratory health survey. Br Med J. 2002; 325:411–414. DOI: 10.1136/bmj.325.7361.411
10. Grinn-Gofroń A, Strzelczak A, Stępalska D, et al. (2016) A 10-year study of Alternaria and Cladosporium in two Polish cities (Szczecin and Cracow) and relationship with the meteorological parameters. *Aerobiologia (Bologna)* 32: 83–94.
11. Чурюкина Э.В., Назарова Е.В. Особенности грибкового спектра воздушной среды в Ростовской области по результатам аэропалинологического мониторинга 2019 года. Российский аллергологический журнал. 2021;18(2):32–45. DOI: 10.36691/RJA1415.
12. Salo PM, Yin M, Arbes SJ, et al. (2005) Dustborne Alternaria alternata antigens in US homes: results from the National Survey of Lead and Allergens in Housing. *J Allergy Clin Immunol* 116: 623–629.
13. Kustrzeba-Wójcicka I, Siwak E, Terlecki G, et al. (2014) Alternaria alternata and its allergens: a comprehensive review. *Clin Rev Allergy Immunol* 47: 354–365.
14. Paulussen C, Hallsworth JE, Álvarez-Pérez S, et al. (2017) Ecology of aspergillosis: insights into the pathogenic potency of Aspergillus fumigatus and some other Aspergillus species. *Microb Biotechnol* 10: 296–322.
15. Latgé JP (1999) Aspergillus fumigatus and aspergillosis. *Clin Microbiol Rev* 12: 310–350.
16. Dagenais TRT, Keller NP (2009) Pathogenesis of Aspergillus fumigatus in Invasive Aspergillosis. *Clin Microbiol Rev* 22: 447–465.
17. Gravesen S (1979) Fungi as a cause of allergic disease. *Allergy* 34: 135–154.
18. Priyamvada H, Singh RK, Akila M, et al. (2017) Seasonal variation of the dominant allergenic fungal aerosols – One year study from southern Indian region. *Sci Rep* 7: 11171.
19. Jiménez-Uribe DA, Acevedo-Barrios R, Rubiano-Labrador C, et al. (2026) Relationship of airborne fungal spores to epidemiological data on respiratory disease: a systematic review. *Aerobiologia* 42: 11.

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010121

20. Осмонбаева К.Б., Чурюкина Э.В., Джамбекова Г.С., Назарова Е.В. Особенности концентраций аэроаллергенов в городах и влияние на них температуры воздуха. РМЖ. Медицинское обозрение. 2024;8(3):124-131. DOI: 10.32364/2587-6821-2024-8-3-2.
21. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 865 от 25 октября 2018 года «О создании Международного центра молекулярной аллергологии при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан».
22. Erkara IP, Asan A, Yilmaz V, et al. (2008) Airborne Alternaria and Cladosporium species and relationship with meteorological conditions in Eskisehir City, Turkey. E*nviron Monit Assess* 144: 31–41.
23. О.П. Уханова, Е.В. Богомолова, П.В. Будников и др. Микологические факторы риска развития респираторных аллергозов тяжелого течения у населения, проживающего на юге России. РМЖ. Медицинское обозрение. Т. 7, №2, 2023 / Russian Medical Inquiry. Vol. 7, №2, 2023.