

УДК 579.2:551.524
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-12-171-178

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА КАК ЗНАЧИМЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ДЛЯ ЦИРКУЛЯЦИИ СПОР ГРИБОВ

К.Б. Осмонбаева

Аннотация. Цель исследования – раскрыть данные аэромикологического спектра в г. Каракол и влияние на спектр температуры воздуха. Проведен корреляционный анализ концентрации спор грибов и температуры воздуха и осадков. Выявлено, что наиболее значимым метеорологическим фактором, влияющим на циркуляцию спор грибов в воздухе, является температура. Её повышение может способствовать появлению новых или распространению уже имеющихся аэроаллергенов и возбудителей болезней растений.

Ключевые слова: споры грибов; аэриобиологический мониторинг; метеорологические факторы; аэроаллергены; фитопатогены.

АБАНЫН ТЕМПЕРАТУРАСЫ КОЗУ КАРЫНДАРДЫН КӨБӨЙҮ КЛЕТКАЛАРЫНЫН КЫЙМЫЛЫ УЧУН МААНИЛҮҮ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫК ФАКТОР КАТАРЫ

К.Б. Осмонбаева

Аннотация. Изилдөөнүн максаты Каракол шаарындагы аэромикологиялык спектрдин маалыматтарын жана абанын температурасынын спектрге тийгизген таасирин ачып көрсөтүү болуп эсептелет. Козу карындардын көбөйү клеткаларынын концентрациясына, абанын температурасына жана жаан-чачынга корреляциялык талдоо жүргүзүлдү. Абада козу карындардын көбөйү клеткаларынын айлануусуна таасир этүүчү эң маанилүү метеорологиялык фактор температура экени аныкталды. Анын жогорулашы жаңы аэроаллергендердин жана өсүмдүктөрдүн ооруларынын козгогучтарынын пайда болушуна же жайылышына шарт түзүшү мүмкүн.

Түйүндүү сөздөр: козу карындардын көбөйү клеткалары; аэриобиологиялык мониторинг; метеорологиялык факторлор; аэроаллергендер; фитопатогендер.

AIR TEMPERATURE AS A SIGNIFICANT METEOROLOGICAL FACTOR FOR AIRBORNE FUNGAL SPORE CIRCULATION

К.Б. Осмонбаева

Abstract. The purpose of the study is to disclose the data of aeromycological spectrum in Karakol city and the influence of air temperature on the spectrum. Scientific novelty of the study lies in the correlation analysis of fungal spore concentration and air temperature and precipitation. As a result, it was revealed that the most significant meteorological factor affecting the circulation of fungal spores in the air is temperature. Its increase can contribute to the emergence of new or spread of existing aeroallergens and plant pathogens.

Keywords: fungal spores; aerobiological monitoring; meteorological factors; aeroallergens; phytopathogens.

Введение. В настоящее время широко изучается концентрация спор грибов в воздухе. Это задача, интересующая как микологов, изучающих фитопатогены растений, так и аллергологов, поскольку многие виды спор являются аллергенами. В мире описано до ста тысяч видов грибов, прогнозируемое число таксонов которых составляет 1,5 миллиона [1]. В Кыргызстане зарегистрировано более 2100 видов

грибов, и эта цифра не является окончательной и не говорит о том, что изучение микобиоты в республике окончено [2]. В этом аспекте аэриобиологический мониторинг дает возможность изучать споропыльцевой спектр населенных пунктов, т. е. состав растительности в данный период и на данной местности и болезни растений. И здесь наиболее универсально значимыми метеорологическими факторами являются температура, осадки и относительная влажность, среди которых температура – самый сильный фактор, определяющий сезонную концентрацию спор грибов [3]. Споры грибов являются важным компонентом биоаэрозолей и находятся в воздухе круглый год, поэтому считаются индикатором уровня биоагрязнения атмосферы. Избежать их присутствия в воздухе невозможно, но мы можем подсчитать их количество в атмосфере [1] и идентифицировать таксоны. Данные эти будут использованы для оценки риска аллергических заболеваний, а также заболеваний сельскохозяйственных растений.

Цель и задачи исследования. Цель данных исследований – контроль аэромикологического спектра в условиях города и влияние на спектр метеорологических параметров.

Материалы и методы исследования. Образцы были отобраны с помощью волюметрического метода с использованием сертифицированного аппарата «Lanzoni s.r.l.», модели VPPS 2010. Этот прибор основан на ловушке Д.М. Хирста, которая специально была сконструирована как *спороуловитель* для отдела патологии растений сельскохозяйственного научно-исследовательского института Ротамстед (позже с ее помощью начали получать данные о концентрации переносимой по воздуху аллергеной пыли растений). Наше исследование включает данные аэриобиологического мониторинга, проведенного в 2015–2017 гг. и в 2022 г. Пробоотборник размещался на крыше здания в г. Каракол вдали от парковых зон и промышленных предприятий на высоте 13 м над уровнем земли в центральной части города и в сельской местности (с. Джолголот Ак-Суйского района). Барабаны пробоотборника меняли еженедельно, и ленты разрезали на 48-миллиметровые сегменты, соответствующие предыдущим 7 дням. Споры улавливали на липкой ленте Melinex и разрезали на повседневные части. Каждый сегмент ленты помещали на стекло микроскопа, закрывали покровными стеклами, затем образцы просматривали под микроскопами («Newtech-medical» (США) и «Zeiss» (Германия)). Подсчет спор грибов из аэриобиологических образцов, их идентификацию проводили по стандартной методике [4–6]. Для идентификации спор грибов использовали определитель грибов-фитопаразитов, атлас аллергических спор и специально разработанный определитель, основанный на дихотомическом ключе [7–9]. Статистическую обработку данных проводили общепринятыми методами вариационной статистики на основе анализа абсолютных и относительных величин.

Результаты и обсуждение. Результаты аэриобиологического мониторинга г. Каракол в 2015–2017 гг. авторы неоднократно описывали (Кобзарь В.Н., Осмонбаева К.Б., 2018; Osmonbaeva K.B., 2022; Осмонбаева К.Б., 2022; Осмонбаева К.Б., Кобзарь В.Н., 2022). Они позволили определить количественный и качественный состав аэромикологического спектра воздуха г. Каракол. За период исследования 2015–2017 гг. на ленты ловушки выпало спор грибов 24 таксона: 15 таксонов класса Deuteromycetes (Несовершенные грибы или Fungi imperfecti) и 9 таксонов класса Fungi perfecti (Совершенные грибы). В воздухе города наблюдались высокие концентрации спор грибов. Зафиксировано максимальное количество спор альтернарии, кладоспория, фузария, устилага во всех декадах сезонов наблюдения.

Мониторинг современных изменений климата, который проводится в Тянь-Шанском высокогорном научном центре Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, позволяет изучать такие изменения на различных высотах и составлять климатические модели в Центральноазиатском регионе. Так, по данным этой станции в периоды 1956–1969 гг. и 2013–2018 гг. температура воздуха сохраняла тенденцию к повышению [10]. Даже на высотах 3300 м тренды температуры воздуха положительные. По данным МС Кызыл-Суу (2550 НУМ) положительные тренды температуры воздуха были отмечены в июле, августе, сентябре 1971–2019 гг. В 2015 г. в июле наблюдался продолжительный (более 2-х недель) высокий температурный фон. В 2017 г. был наибольший по продолжительности

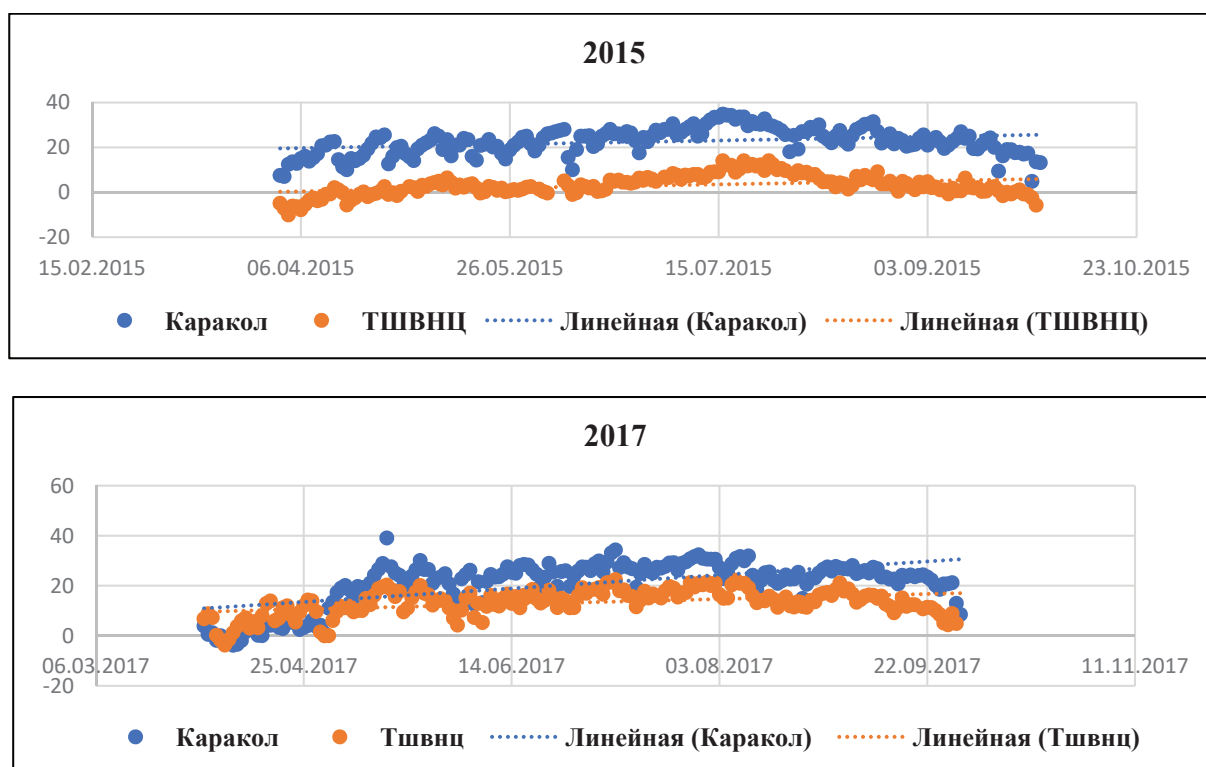


Рисунок 1 – Температуры воздуха в г. Каракол (1760 НУМ) и на МС Кызыл-Суу (2550 НУМ)

период с положительными температурами воздуха (105 дней), обусловленный положительным трендом температуры воздуха в сентябре [10] (рисунок 1).

Результаты трехлетних исследований показали, что аэроспоры циркулировали в воздухе г. Каракол в течение всего сезона исследования (весенне-осенний период) с максимальным содержанием в июне–августе (рисунки 2, 3). 2017 год, как показано на рисунке 2, был наиболее мощным по количественному и таксономическому составу аэромикологического спектра.

В 2015 г. наивысший пик концентрации спор грибов пришелся на 3-ю декаду июля, из них 56 % спор *Cladosporium* и 13,5 % спор *Alternaria*. Эти данные коррелируют с температурой воздуха. В это время (во 2-й и 3-й декадах июля) наблюдались самые высокие температуры воздуха (соответственно 34,8° и 33,5°). В 2015 г. июль–август был экстремально сухим.

Среди спор грибов по количественному составу во все годы исследования преобладали споры 3-х таксонов: *Cladosporium* (суточный максимум – 31248 (27 июля 2015 г.)); *Alternaria* (суточный максимум – 5376 (28 июля 2015 г.)); *Fusarium* (суточный максимум – 18036 с. г/см²; (30 июня 2017 г.)) (рисунок 4).

В г. Каракол во всех декадах июня, июля, августа 2015–2017 гг. отмечены высокие концентрации спор *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*. 2015 год показал идеальную зависимость этих трех таксонов от высоких температур воздуха (рисунок 5). Такое положение отмечается во многих исследованиях. В 4-летних исследованиях на северо-западе Польши (2007–2010 гг.) максимальное обилие спор *Alternaria*, *Drechslera* и *Cladosporium* наблюдалось при более высоких значениях средней температуры [11]. В Загребе (Хорватия) из-за благоприятных погодных условий (более высокая температура воздуха и минимальное количество осадков) в августе 2003 г. концентрации спор *Alternaria* и *Cladosporium* были в 3,4 раза выше, чем в том же месяце 2002 г. [12]. В атмосфере Анкары хотя

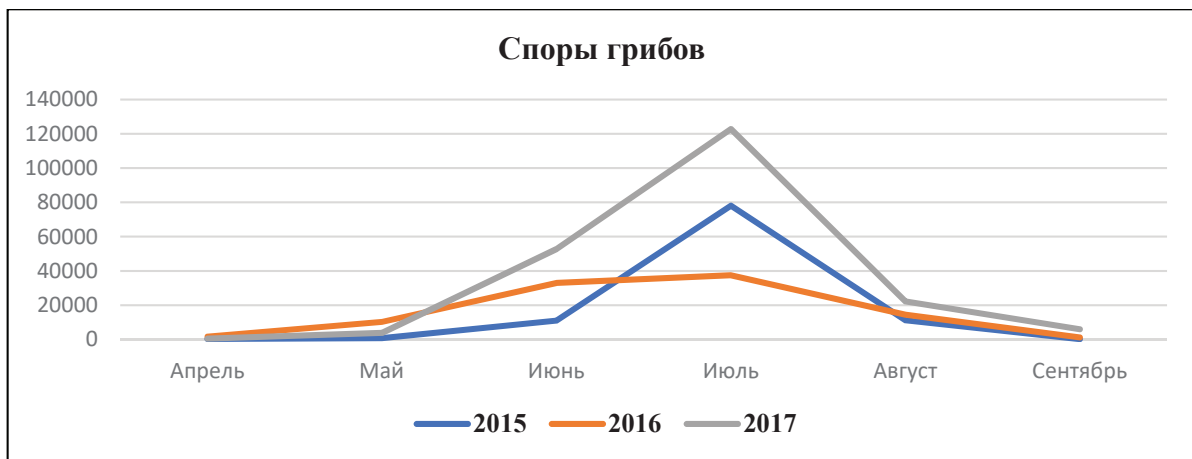


Рисунок 2 – Концентрация аэроспор по годам исследования

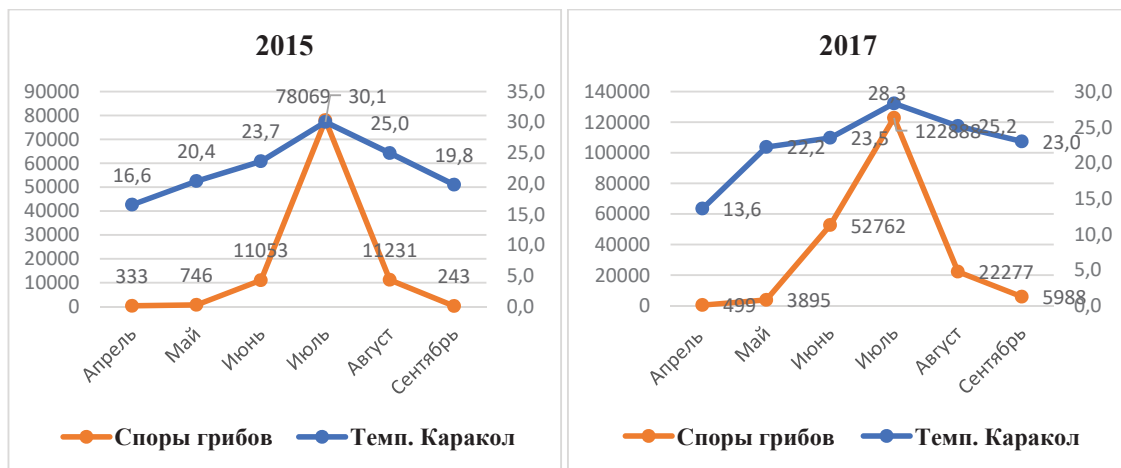


Рисунок 3 – Температуры воздуха в г. Каракол и концентрация спор

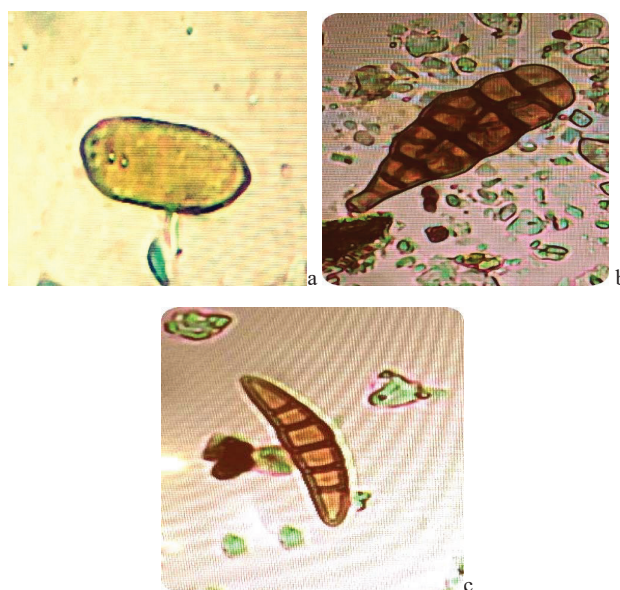


Рисунок 4 – Споры Cladosporium (a), Alternaria (b), Fusarium (c) (г. Каракол, 2017 г.)

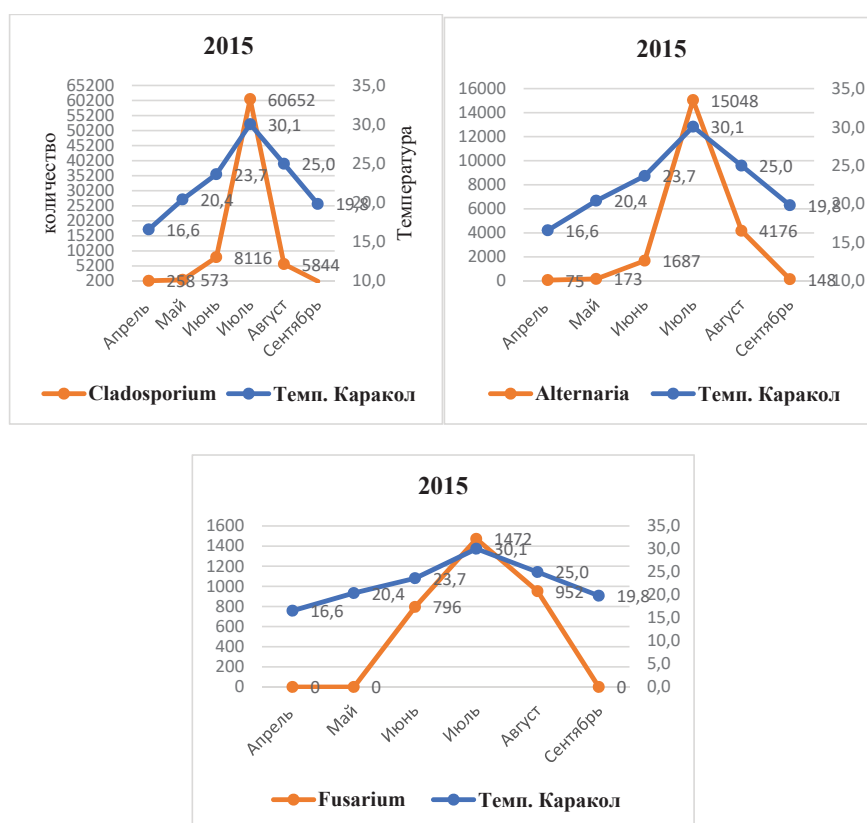


Рисунок 5 – Температуры воздуха в г. Каракол и концентрация спор Cladosporium, Alternaria, Fusarium

споры грибов обнаруживались во все месяцы, оценка сезонного распределения концентраций спор показала, что наибольшее значение было обнаружено в июле (100,697 спор/м³) [13]. В Чамкору (Турция) в сентябре–октябре 2003 г. и июне, июле, августе 2004 г., споры *Alternaria* и *Cladosporium* наблюдались в интенсивно высоком количестве. А в мае 2004 г. количество спор *Alternaria* и *Cladosporium* достигло максимума, так как температура, дождь и скорость ветра были оптимальными [14]. Ежегодную тенденцию количественного увеличения спор альтернарии и кладоспория в атмосфере г. Краснодара отмечают и российские исследователи [15]. Беспрецедентная скорость глобального потепления и увеличения концентрации CO₂ в атмосфере оставляет мало шансов биологическим видам и экосистемам на приспособление к столь быстрым климатическим переменам. Это приводит к изменению географического распространения видов фитопатогенных грибов [16].

В г. Каракол мы отметили сильную положительную корреляцию. Когда значение температуры увеличивается, количество спор грибов увеличивается аналогичным образом. Температура, осадки, относительная влажность и другие метеорологические параметры, такие как ветер, влияют на рост грибов, а также на концентрацию и распределение спор грибов в атмосфере. Исследования показали, что ежедневные и сезонные изменения этих параметров существенно влияют на концентрацию и распределение спор грибов в атмосфере [1]. Метеорологические переменные, преимущественно температура, осадки и относительная влажность, были основными факторами, связанными с сезонностью грибов воздуха [17]. Количество спор в воздухе колеблется, оно зависит от высоты атмосферного слоя, характера местности, времени года, состава растительности и других факторов. Так, в воздухе у поверхности земли на высоте до 2 метров в 1 м³ содержится до 12,5 тысяч спор (*Cladosporium* до 47 % от общего числа). В более низком слое воздуха, чем двухметровый, количество спор возрастает, в более высоком – снижается, максимум содержания обычно отмечается в полдень, минимум – в полночь [18].

Концентрация спор грибов в г. Каракол в 2015–2017 гг. показала также зависимость от осадков. Здесь можно отметить сильную отрицательную корреляцию, когда значение одной переменной, т. е. осадков, увеличивается, значение другой переменной – количества спор грибов – имело тенденцию к уменьшению (рисунок 6). В дождливые дни биочастицы атмосферы становятся тяжелыми, поэтому они выпадают на землю. Это обстоятельство называется «омывание дождем» [14].

Для других переменных картина более сложная. Например, *Torula*, *Tilletia*, *Curvularia*, *Didymella* (впервые отмечена в Караколе в 3-й декаде июня 2017 г.) не имеют сильной зависимости от метеопараметров. Некоторые исследователи отмечают, что связь этих типов спор с температурой была слабее. В частности, выделение и рассеивание спор дидимеллы не сильно зависит от температуры воздуха [11]. Вероятно, это зависит от наличия спор этих грибов в воздухе в малых концентрациях.

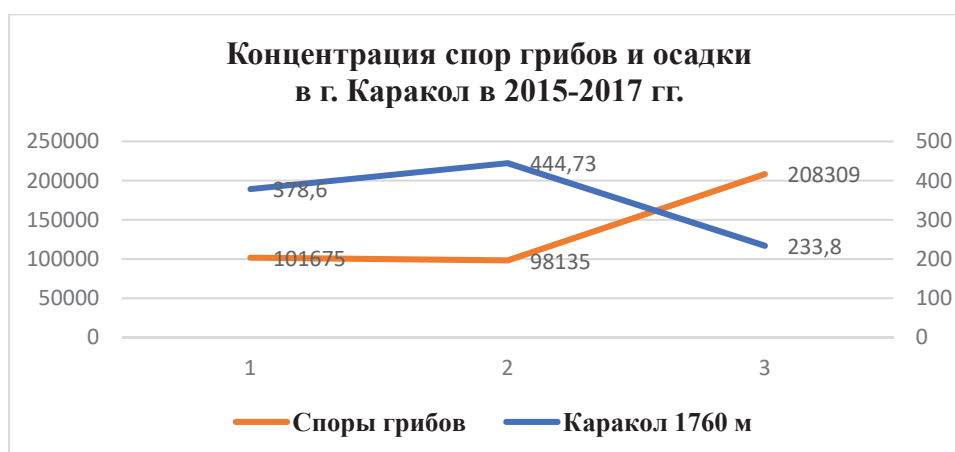


Рисунок 6 – Значения осадков и концентрации спор грибов

В связи с увеличением территории посевных земель и с более высокой температурой поверхности в городах растет количество и таксономический состав спор грибов в воздухе городов. Луга, пахотные земли и хвойные леса определили в качестве основных потенциальных источников спор грибов [18]. По данным И.В. Бильдер (2004), которая проводила таксономический и биоэкологический анализ патогенной микобиоты еловых лесов северного Кыргызстана, наибольшую угрозу для ели тянь-шанской (*Picea schrenkiana*) представляют 8 видов микромицетов, большая часть из которых относится к ржавчинным грибам [19]. Ржавчинный гриб – *Russinia*, который тоже является паразитом хвойных деревьев, впервые зарегистрирован в трех декадах июня 2016–2017 гг. в воздухе г. Каракол.

Выводы. Экологическая пластичность, высокий коэффициент жизнеспособности спор грибов (выживаемость) выносит микромицетов на высокий уровень. Наиболее значимым метеорологическим фактором, влияющим на циркуляцию спор грибов в воздухе, является температура. Её повышение может способствовать появлению новых или распространению уже имеющихся аэроаллергенов и возбудителей болезней растений.

Климатические изменения на планете имеют международное значение, поэтому своевременным было бы создание международной сети наблюдений за распространением заболеваний растений, и обеспечение постоянного обмена информацией между странами [16]. Результаты аэриобиологического мониторинга вносят большой вклад в экологию грибов, так как дают более достоверное представление о распространенности спор грибов в воздухе.

Поступила: 17.10.2023; рецензирована: 31.10.2023; принята: 03.11.2023.

Литература

1. Geter T. Effects of global-warming and climate-changes on atmospheric fungi spores distribution / T. Geter // Communication Faculty of Sciences University Ankara. 2018. Series C. 27 (2). Pp. 263–272. URL: https://doi.org/10.1501/commuc_0000000223.
2. Мосолова С.Н. Итоги и перспективы изучения грибов Кыргызстана / С.Н. Мосолова, С.Л. Приходько // Fen Bilimleri Dergisi. Özel Sayı: 10, 2009. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/819757> (дата обращения: 30.08.2020).
3. Anees-Hill S. A systematic review of outdoor airborne fungal spore seasonality across Europe and the implications for health / S. Anees-Hill, P. Douglas, C.H. Pashley, A. Hansell, E.L. Marczylo // The Science of the Total Environment. Apr 20; 818: 151716. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151716> (дата обращения: 16.06.2023).
4. Кобзарь В.Н. Микроскопический эксперт: монография / В.Н. Кобзарь. Бишкек: Изд-во КPCУ, 2010. 152 с.
5. Мейер-Меликян Н.Р. и др. Принципы и методы аэропалеонтологических исследований / Н.Р. Мейер-Меликян, Е.Э. Северова, Г.П. Гапочка и др. М., 1999. 48 с.
6. Методика аэриобиологических исследований пыльцы растений и спор грибов для составления календарей пыления / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Минск: Республиканский научно-практический центр гигиены, 2005. 27 с.
7. Пидопличко Н.М. Грибы-паразиты культурных растений. Определитель: в 3 т. / Н.М. Пидопличко. Киев: Наукова думка, 1977.
8. Wilken-Jensen K. Atlas of Moulds in Europe causing respiratory allergy / K. Wilken-Jensen, S. Gravesen. Copenhagen: ASK Publishing, 1984. 110 p.
9. Кобзарь В.Н. Влияние изменения землепользования на спектр спор грибов / В.Н. Кобзарь, К.Б. Осмонбаева // Бюллетень науки и практики. 2018. Том 4. № 11 (36). С. 51–60.
10. Современное состояние ледников Внутреннего Тянь-Шаня и их влияние на водные ресурсы Кыргызской Республики // Водные и гидроэнергетические ресурсы Кыргызстана в условиях изменения климата / Р.А. Сатылканов, В.И. Шатравин, К.Б. Осмонбаева и др. Бишкек, 2022. С. 7–49.
11. Green-Gofron A. Influence of meteorological factors on the composition of selected fungal spores in air / A. Green-Gofron, & B. Bosiacka // Aerobiologia. 2015. 31 (1). Pp. 63–72. URL: <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9347-1>. (дата обращения: 23.04.2022).
12. Peternel R. Atmospheric concentrations of Cladosporium spp. and Alternaria spp. spores in Zagreb (Croatia) and effects of some meteorological factors / R. Peternel, J. Culig, I. Hrga // Annals of Agricultural and

- Environmental Medicine. 2004. 11(2): Pp. 303–307. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15627341/> (дата обращения: 13.06.2023).
13. Ceter T. Atmospheric concentration of fungus spores in Ankara and the effect of meteorological factors in 2003 period / T. Ceter, N.M. Pinar // Mikrobiyoloji bülteni. 2009. 43(4):627-38. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20084916/> (дата обращения: 30.06.2023).
 14. Kizilpinar I. Allergen Alternaria and Cladosporium Spores Concentration in the Atmosphere of Camkoru (Ankara, Turkey), 2003–2004 / I. Kizilpinar, C. Dogan // Hacettepe J. Biol. & Chem. 2011. 39 (4). Pp. 427–434. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hjbc/issue/61879/92603> (дата обращения: 18.06.2023).
 15. Клименко Я.В. Аэропалиномониторинг спор грибов рода Cladosporium и Alternaria в г. Краснодаре в динамике 4-х лет (2018–2021 гг.) / Я.В. Клименко, И.И. Павлюченко, А.Н. Мороз, Г.А. Голубцова, Ю.И. Прозоровская, Н.Я. Костюшок // Ученые записки Крымского федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2022. Том 8 (74). № 1. С. 117–124 (дата обращения: 06.07.2023).
 16. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата / М.М. Левитин // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647. URL: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.641rus> (дата обращения: 06.07.2023).
 17. Билай В.И. Основы общей микологии / В.И. Билай. Киев: Вища школа, 1974. 327 с.
 18. Grinn-Gofron A. Airborne fungal spore load and season timing in the Central and Eastern Black Sea region of Turkey explained by climate conditions and land use / A. Grinn-Gofron, T. Ceter, N.M. Pinar, B. Bosiacka, S. Ceter, T. Keceli, M. Mysliwy, A.A. Sahin, P. Bogawski // Agricultural and Forest Meteorology. 2020. Vol. 295. 15 108191. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108191> (дата обращения: 06.07.2023).
 19. Бильдер И.В. Патогенные микромицеты деревьев и кустарников лесов Кыргызстана: автореф. дис... канд. биол. наук / И.В. Бильдер. СПб., 2004. (дата обращения: 06.07.2023).