

Зеленый каркас Екатеринбурга: неучтенные фитопатологические проблемы при реализации градостроительного проекта

А. Г. ШИРЯЕВ¹, О. А. КИСЕЛЕВА²

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202
E-mail: anton.g.shiryaev@gmail.com

²Ботанический сад УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
E-mail: kiselevaolga@inbox.ru

Статья поступила 27.02.2023

После доработки 09.03.2023

Принята к печати 14.03.2023

АННОТАЦИЯ

Впервые приводятся результаты изучения многолетней динамики фитопатологического состояния чужеродных древесно-кустарниковых растений (ЧДКР) г. Екатеринбурга. В связи с активной реализацией многочисленных программ по озеленению, в том числе концепции водно-зеленого каркаса Екатеринбурга, в течение прошедших 5–20 лет в город поступило большое количество саженцев ЧДКР, что способствует проникновению на Урал многих, ранее не известных, видов чужеродных и патогенных грибов, число которых увеличивается экспоненциально. На интродуцированных древесных субстратах многие виды местных сапротрофных грибов проявляют патогенные свойства, что также способствует резкому увеличению патогенной активности микобиоты. Ряд инвазивных видов грибов вызывает массовые заболевания древесных растений и расширяет свой трофический спектр. Некоторые инвазивные виды грибов расширяют инвазивный ареал в естественные леса региона. Приводится перечень видов древесно-кустарниковых растений, устойчивых к местным и чужеродным болезням, которые рекомендуются для озеленения Екатеринбурга. Обсуждается применимость методики “дозорных насаждений” для раннего обнаружения и локализации чужеродных фитопатогенов. Даны рекомендации по созданию четырехступенчатой системы фитопатологического мониторинга зеленых насаждений, которая будет способствовать защите от проникновения и быстрому выявлению чужеродных патогенных грибов до начала вспышек заболеваний.

Ключевые слова: экологический мониторинг, изменения климата, динамика биоразнообразия, интродукция, инвазия, дозорные насаждения, патогенные грибы.

ВВЕДЕНИЕ

Инвазии чужеродных видов на новые территории становятся глобальной экологической проблемой, приводя к сокращению или трансформации регионального видового разнообра-

зия [Морозова, Жмылев, 2020; Petrosyan et al., 2023]. Многие инвазионные виды выступают в роли биологических загрязнителей [Capinha et al., 2015; Виноградова и др., 2010; Карпун и др., 2017]. В XXI в. инвазионные процессы

тесно связаны с ростом скорости урбанизации планеты [Самые опасные инвазионные воды..., 2018; Purahong et al., 2022].

В европейских странах задача инвентаризации инвазионных видов вышла сейчас на первое место [Wang et al., 2021; Annual report..., 2022]. Ежегодно в Европе появляется 60 чужеродных видов (растения, животные, грибы, микроорганизмы и т. п.), общее число чужеродных видов достигло уже 12 000, из которых 1500 – вредоносные [Moore, 2014; Виноградова и др., 2015]. В 1960–2020 гг. общие затраты, ассоциированные с инвазионными чужеродными видами, в Европе составили 140,2 млрд долларов США, и большая часть (60 %) приходится на Великобританию, Испанию, Францию и Германию. В Европе ущерб от инвазий показывает экспоненциальный рост: от 23,6 млрд долларов США в 2013 г. до 139,56 млрд долларов США в 2020 г. [Haubrock et al., 2021].

В европейской части России с потеплением климата, ростом транспортных потоков, со стремлением к озеленению городов ежегодно выявляется все больше новых видов чужеродных патогенов, что приводит к гибели растений-хозяев и дестабилизации фитосанитарной ситуации в искусственных и естественных экосистемах [Селиховкин и др., 2020]. В последние десятилетия наблюдается ускорение темпов инвазионного процесса [Третьякова, 2011; Карпун и др., 2017]. Выявлена очевидная динамика расширения вторичных ареалов многих видов чужеродных организмов [Mulenko et al., 2010; Мусолин и др., 2014; Kirichenko et al., 2017]. В России наиболее отчетливо рост скорости инвазионных процессов прослеживается в регионах с приморским климатом. Например, анализ инвазий насекомых-фитофагов в зоне влажных субтропиков России (Сочи) показал, что с момента начала активной интродукции древесных растений (конец первой половины XIX в.) до конца XX в. в регион попали 90 новых видов вредителей древесных растений [Карпун и др., 2017; Kitichenko et al., 2023]. При этом только за начало XXI в. выявлено 35 новых видов чужеродных дендрофагов, а также 40 новых видов фитопатогенных грибов [Булгаков, Карпун, 2020; Национальный доклад..., 2021].

Жизненный цикл патогенных грибов полностью или частично связан с растениями, по-

давливающая часть инвазионных видов перемещается из региона в регион непреднамеренно вместе с посадочным материалом [Barrico et al., 2012; Селиховкин и др., 2020; Yu et al., 2021]. В России широкие поставки крупномерного посадочного материала, отсутствие многих опасных видов в национальных перечнях карантинных организмов способствуют быстрому распространению болезней в новых для них регионах [Булгаков, Карпун, 2020]. Из грибных болезней в национальном масштабе большую опасность представляют распространяющиеся в настоящий момент фитопатогены, например, вызывающие голландскую болезнь вязов (возбудитель – *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier) [Калько, 2008; Селиховкин и др., 2020]. Согласно моделированию потенциального ареала этого патогена, к 2080 г. голландская болезнь вязов распространится по всей европейской части России и достигнет Урала [Petrosyan et al., 2023]. Также внутри крупномерных сеянцев в глубь России быстро распространяется другая серьезная болезнь – халаровый некроз ясеней, вызываемый грибом *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Nosoya. Происходящая в настоящий момент инвазия уже привела к заметному ухудшению состояния ясеней во многих частях Европейской России [Мусолин и др., 2014]. Во всех перечисленных случаях расширение вторичного ареала патогенных грибов происходит на покоящихся стадиях (мицелий, склероции, споры и т. д.), которые визуальное практически не заметны на растениях [Калько, 2008; Булгаков, Карпун, 2020].

Таким образом, в распространении фитопатогенов на большие расстояния посадочный материал играет существенную роль. При отсутствии или недостаточности фитосанитарного контроля и увеличении объемов импортируемого посадочного материала следует ожидать целого ряда новых видов грибов-патогенов растений на территории России в ближайшие годы [Жуков, 2010; Карпун и др., 2017].

Озеленение городов – один из глобальных трендов [Меренков, Янковская, 2020]. Ассортимент видов для каждого региона опирается на существующий опыт первичной и вторичной интродукции, а также мобилизации для декоративных целей представителей

природной флоры [Карпун, 2003]. В России в последние пять лет вопрос озеленения крупных городов обсуждается в связи с реализацией федерального проекта “Формирование комфортной городской среды”, который предлагается к реализации в таких крупных городах, как Екатеринбург, Казань, Краснодар и Новосибирск [Федеральный проект..., 2019; Пилотами..., 2021]. Мировой опыт в сфере создания устойчивых урбоэкосистем показывает, что для формирования жилой среды современного города необходима разработка индивидуального водно-зеленого каркаса, опирающегося на естественные природно-климатические и рельефные особенности территории [Меренков, Янковская, 2020].

Екатеринбург – крупнейший город Урала, важный инфраструктурный и промышленный узел на границе Европы и Азии, один из 15 городов-миллионников России, центр самой большой в Урало-Сибирском регионе агломерации – Екатеринбургской [Ландшафтный Екатеринбург..., 2021]. Подобные густонаселенные урбоэкосистемы неизбежно сталкиваются с проблемами деградации природных сообществ, потерей биоразнообразия и появления большого числа инвазивных видов [Theodorou, 2022].

В Екатеринбурге с 1 мая 2023 г. вступит в силу ГОСТ Р 70387–2022 “Комплексное благоустройство и эксплуатация городских территорий. Правила благоустройства муниципальных образований. Основные требования, процессы разработки и актуализации” [Стратегия..., 2017], где законодательно закрепляются новые правила ухода за городскими зелеными насаждениями. В муниципальной программе “Улучшение благоустройства территории муниципального образования “город Екатеринбург” на 2021–2025 годы” поставлена цель повышения качества городской среды за счет комплексного благоустройства территории, а в задачи входит озеленение городских общественных пространств [Муниципальная программа..., 2021].

В создаваемом Стандарте комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга [Проект..., 2021; Банникова и др., 2022] природные компоненты рассматриваются как инфраструктурный элемент водно-зеленого каркаса

Екатеринбурга. Планируется создать парки и зеленые коридоры, соединяющие центральную ось водно-зеленого каркаса – пойму р. Исеть, с лесными массивами, окружающими центральную часть города [Меренков, Янковская, 2017; Пилотами первого..., 2021]. Для этого в ближайшие годы потребуются тысячи саженцев. Большая часть крупномерного посадочного материала, состоящая из чужеродных древесно-кустарниковых растений (ЧДКР) попадает на Средний Урал из питомников, расположенных далеко за пределами региона, поскольку собственных питомников, в которых имеется подходящий по возрасту и размерам растения, мало. При закладке крупных ландшафтных парков и реализации частных проектов по озеленению высока потребность в однотипном контейнерном посадочном материале с закрытой корневой системой и заданными размерными характеристиками. В настоящее время такой товар поступает на рынок нередко из питомников европейской части страны, или закупки напрямую производятся из питомников Европы. Перемещение экземпляров-интродуцентов на значительные расстояния неизбежно ведет к заносу новых чужеродных видов в регион, в том числе патогенных.

Особенно тяжело контролировать ввоз зараженных растений при выполнении заказов для частных проектов, где нередко используется эксклюзивный посадочный материал. Наблюдения за подобными посадками, контроль и учет возможных фитопатогенов затруднены или невозможны на закрытых территориях.

Среди основных положительных особенностей Екатеринбурга авторы концепции Зеленого каркаса Екатеринбурга указывают его выгодное расположение на пересечении транспортных путей на границе Европы и Азии, а также с севера на юг. Несомненно, это положительная особенность для экономики отрицательно сказывается на проникновении в город чужеродных патогенов с запада, востока и юга. На примере европейской части России показано, что многие инвазивные фитопатогенные грибы сначала проникают в город, а оттуда распространяются в местные леса, принося существенные убытки лесным службам и аграриям [Национальный доклад..., 2021]. Поэтому проблема быстрого распространения инвазивных видов грибов, устранение

причиненного ими ущерба актуальны не только для администраций отдельных населенных пунктов и регионов, но и находятся в сфере ответственности региональных и национальной служб карантина и фитосанитарии [Национальный доклад..., 2021].

В Екатеринбурге и Свердловской области микобиоту изучают уже более 150 лет, в том числе патогенную в естественных и антропогенных условиях на местных и чужеродных древесных растениях [Shiryaev et al., 2010]. В Институте экологии растений и животных УрО РАН проводят экологический мониторинг фитопатогенов с 1960-х годов [Демидова, 1960; Степанова, Сирко, 1970; Shiryaev et al., 2010, 2022; Bulgakov, Shiryaev, 2022]. В начале XXI в. фитопатологические исследования активизировались в связи с резко увеличившимся числом выявленных патогенных грибов на древесных и травянистых интродуцированных растениях в открытом и закрытом грунте.

Проникновение чужеродных растений, а вероятно, и ассоциированных с ними грибов в Екатеринбург можно проследить с основания города в 1723 г. [Говорухин, 1937; Морозова, 2023]. В XIX в. на сорняках и культурных растениях собирали фитопатогенные грибы: *Septoria convolvuli* Desm. – на *Convolvulus arvensis* L.; *Cladosporium cucumerinum* Ellis & Arthur и *Septoria cucumis* Rodigin – на *Cucumis sativus* L. [Сюзев, 1911; Демидова, 1925]. В то время эти растения уже были широко распространены в европейской и сибирской частях России [Сюзев, 1912; Говорухин, 1937; Туганаев, 1984]. Это позволяет предположить, что перечисленные виды грибов развиваются на территории Екатеринбурга со времени заноса сюда перечисленных видов растений еще первыми переселенцами в конце XVII в.

В начале XX в. в Екатеринбурге фитопатогены были выявлены на многих ЧДКР. Так, в 1913 г. на европейском *Grossularia reclinata* (L.) Mill. собран патогенный микромицет *Sphaerotheca mors-uvae* (Schwein.) Berk. & M. A. Curtis., а на *Berberis vulgaris* L. – *Phomopsis berberina* (Sacc. & Roum.) Grove (как *Ph. berberis* Sacc.); на центральноазиатском *Caragana arborescens* Lam. выявлен патоген *Cucurbitaria caraganae* P. Karst.; на североамериканском интродуценте *Ribes aureum* Pursh.

собран *Dothiora ribesia* (Pers.) M. E. Barr, а на *Populus balsamifera* L. s. l. – *Cytospora chrysosperma* (Pers.) Fr. [Наумов, 1915; Степанова, Сирко, 1970]. В те годы местные грибы уже активно осваивали чужеродные субстраты: на европейском *Vitis vinifera* L. были выявлены патогенные *Inonotus hispidus* (Bull.) P. Karst., *Botrytis cinerea* Pers., *Nectria cinnabarina* (Tode) Fr., а также сапротрофные *Peniophora cinerea* (Pers.) Cooke, *Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. & Ryvarden, *Typhula juncea* (Alb. & Schwein.) P. Karst. [Shiryaev et al., 2021, 2022; Ширияев и др., 2022].

В соседних регионах в начале XX в. также уже были известны фитопатогены на ЧДКР: на плодах *Prunus cerasus* L. выявили опасные патогены – *Monilinia fructigena* (Pers.) Honey и *Stigmata carpophila* (Lév.) M. B. Ellis. На садовой клубнике собран *Ramularia grevilleana* (Tul. & C. Tul. ex Oudem.) Jørst.; на *Malus domestica* Borlh. – *Mycosphaerella pomi* (Pass.) Lindau (как *Phyllosticta mali* Prill. & Delacr.); на *Syringa vulgaris* L. – *Phyllosticta spartinae* Brunaud и *Ascochyta orientalis* Bondartsev; на *Caragana arborescens* – *Phoma caraganigena* Kabát & Bubák. и *Camarosporidiella caraganicola* (Phukhams., Bulgakov & K. D. Hyde) Phukhams., Wanas. & K. D. Hyde; на *Philadelphus coronaries* L. – *Ascochyta philadelphi* Sacc. & Speg.

В первой половине XXI в. по европейской части страны в сторону Урала с большой скоростью распространяется ряд опасных фитопатогенов, среди которых можно назвать *Hymenoscyphus fraxineus*, вызывающий суховершинность (холаровый некроз) ясеней [Булгаков, Карпун, 2020]. Широкое распространение этой болезни привело в последние годы к деградации ясеневых лесов и посадок в большинстве стран Центральной и Восточной Европы, Северо-Западной и Центральной России. Также *Eutypella parasitica* R. W. Davidson & R. C. Lorenz. – возбудитель стволового рака кленов, известный в Центральной и Восточной Европе, – расширяет ареал на восток. Стоит назвать возбудителя сосудистого микоза пихт *Grosmannia aoshimae* (Ohtaka, Masuya & Yamaoka) Masuya & Yamaoka, известного из азиатской части России и уже обнаруженного в Московской области [Булгаков, Карпун, 2020]. С целью выявления подобных опасных болезней разработана кон-

цепция “дозорных насаждений”, которая получает все большую известность в мире [Kirichenko et al., 2017, 2023; Селиховкин и др., 2020; Raza, Bebbber, 2022]. Дозорные насаждения – это посадки саженцев или взрослых чужеродных растений, за которыми наблюдают с целью раннего выявления вредоносных видов, включая травоядных насекомых, нематод, паразитирующих на растениях, и грибов-патогенов растений [Mansfield et al., 2019]. Широко обсуждаемым примером является гибель целых рощей эндемичного вида *Buxus colchica* Pojark. в Сочи от инвазивной восточно-азиатской самшитовой огневки (*Cydalima perspectalis* Walker). Если бы была возможность выявить первые признаки появления этого вида насекомых на модельных (дозорных) растениях самшита и вовремя локализовать их, это помогло бы избежать экологической катастрофы, которая случилась на Черноморском побережье Кавказа [Карпун и др., 2017]. Таким образом, с помощью “дозорных насаждений” возможно выявлять первые признаки появления болезней в регионе. В подобных исследованиях важными модельными территориями являются ботанические сады и дендрарии, в которых сконцентрированы растения из различных биогеографических регионов планеты – потенциальных источников инвазий [Kirichenko, Kenis, 2016].

Цель исследования – установить число патогенных и сапротрофных видов грибов, развивающихся на древесине и листьях или хвое чужеродных древесно-кустарниковых растений в Екатеринбурге. Анализ полученных данных позволит оценить динамику разнообразия урбомикобиоты за 100 лет (с 1920 г.), выявить наиболее опасные фитопатогенные виды грибов, виды деревьев, на которых они развиваются, а также установить – переходят ли инвазивные виды на местные древесные растения. В результате будет предложен перечень видов древесных растений, наиболее устойчивых к грибным заболеваниям в целях озеленения города Екатеринбурга.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Регион исследования

Свердловская область – крупный старопромышленный регион, расположенный в сред-

ней части Урала, на границе Европы и Азии (рис. 1). Крупнейший город региона – Екатеринбург, расположен на границе южно-таежной и подтаежной природно-климатических зон (56,825° с. ш., 60,565° в. д., 280 м над ур. м.). Площадь города составляет 1143 км², численность населения 1,6 млн человек [Гущин, Дивакова, 2022]. Среднегодовая температура за последние десять лет колеблется в пределах 3,1–5,3 °С, а количество осадков составляет 480–560 мм в год [Fick, Hijmans, 2017]. Климат континентальный с четко выраженными сезонами. Среднегодовая температура июля 19,0 °С, максимальная достигает 39,1 °С. Среднегодовая температура января –14,3 °С, минимальная –46,7 °С [ВНИИГМИ..., 2021].

В России потепление климата происходит в 2 раза быстрее средних темпов на планете [Annual Report..., 2021], что также относится и к г. Екатеринбургу. Здесь с начала XX в. до 1970-х годов было относительно холодно, среднегодовые температуры варьировали в диапазоне –0,6 ... +3,3 °С (рис. 2). До 1970 г. наблюдались регулярные продолжительные морозы с температурами ниже –40 °С (минимум –46,7 °С отмечен 31 декабря 1978 г.). 1978-й год был самым холодным за последние полвека, включая самую холодную зиму. С 1980-х годов начинается устойчивое потепление, а морозы ослабевают, и теперь в городе температура редко опускается ниже –30 °С. Морозный период стал менее продолжительным. За 170 лет регулярных метеонаблюдений 2020-й год был рекордно теплым (5,3 °С), что на 0,7 °С превышает рекорд 2008 г. [Fick, Hijmans, 2017]. Климатический режим 2020 г. приблизился к таковому



Рис. 1. Расположение Свердловской области. Жирная линия – граница Европы и Азии

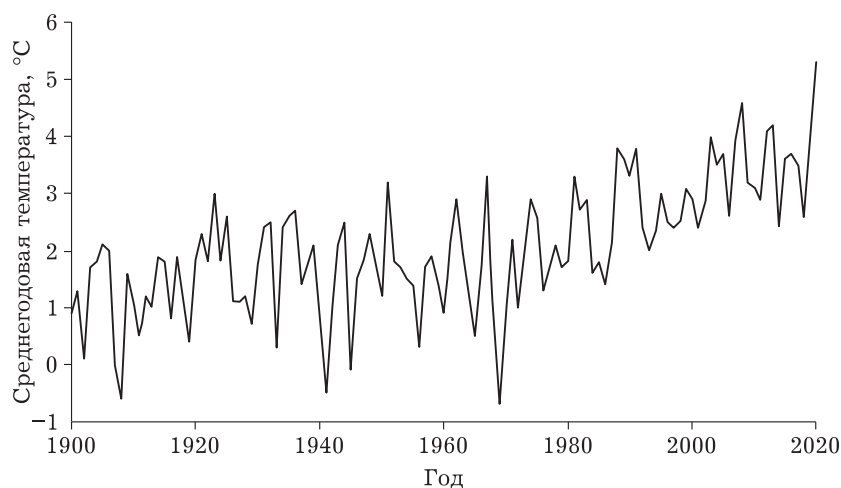


Рис. 2. Многолетняя динамика среднегодовой температуры воздуха в г. Екатеринбурге

в городах Центральной России конца XX века. За 100 лет наиболее выросла средняя зимняя температура (+3,1 °C), а летняя – незначительно (+0,2 °C) [ВНИИГМИ..., 2021].

Многолетняя динамика числа видов и фитомассы чужеродных и местных древесно-кустарниковых растений

Чужеродные растения и грибы – те, которые не развиваются в природных условиях окрестностей Екатеринбурга, а их естественные ареалы расположены в удаленных биогеографических регионах. Также сюда относим виды европейских широколиственных лесов, граница которых проходит по западному склону Урала, в 200 км западнее Екатеринбурга (*Acer platanoides* L., *Corylus avellana* L., *Euonymus verrucosa* L., *Quercus robur* L.).

Число видов ЧДКР в г. Екатеринбурге растет с шести видов в 1920-е годы до порядка 680 в 2020-е [Говорухин, 1937; Мамаев, 2000; Третьякова, 2011; Семкина, Тишкина, 2021]. Можно выделить три периода появления интродуцентов в городе: с начала XX в. до 1940-х годов проходила интродукция *Acer negundo* L., *Populus balsamifera* L. s. l., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Caragana arborescens* Lam., *Quercus robur*, *Vitis vinifera* L. и др. С 1950-х годов началась интродукция дальневосточных морозоустойчивых растений (*Actinidia kolomikta* (Maxim. & Rupr.) Maxim., *Vitis amurensis* Rupr., *Shisandra chinensis* (Turcz.) Bail., *Juglans mandshurica* Maxim., *Quercus mongolica*

Fisch. ex Lebed., *Prunus ussuriensis* Kovalev & Kostina, *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach и др.). С 1990-х из европейских интродукционных центров начался завоз саженцев восточноазиатского, североамериканского и европейского происхождения (*Aesculus hippocastanum* L., *Catalpa ovata* G. Don, *Robinia pseudoacacia* L., *Amorpha fruticosa* L., *Cotinus cogggyria* Scop., *Prunus armeniaca* L., *Carpinus betulinus* L. и др.). Некоторые из этих видов пытались интродуцировать ранее, однако из-за сурового климата они вымерзали.

В начале XXI в. в центральной части г. Екатеринбурга по уровню надземной фитомассы преобладают североамериканские ЧДКР – *Acer negundo*, *Populus balsamifera*, *Fraxinus pennsylvanica*. Замыкают пятерку два местных вида – *Tilia cordata* Mill. и *Ulmus laevis* Pall. (рис. 3). В данном случае рассматриваем вязы как комплекс двух видов – *U. laevis* и *U. glabra*, так как в 1960-е чаще встречается информация о фитомассе “вязов” без точного указания вида.

В 1968 г. первые два места занимали местные древесные растения – *Betula pendula* Roth (вероятно, вместе с *B. pubescens* Ehrh.) и *Pinus sylvestris* L., а на третьем месте располагался *Populus balsamifera* s. l. Следовательно, за 50 лет наиболее уменьшилась фитомасса *P. sylvestris* (в 2 раза) и *B. pendula* (в 1,6 раза), тогда как для *P. balsamifera* фитомасса осталась схожей, что позволило этому виду остаться в тройке ведущих растений. Фитомасса остальных растений увеличилась.

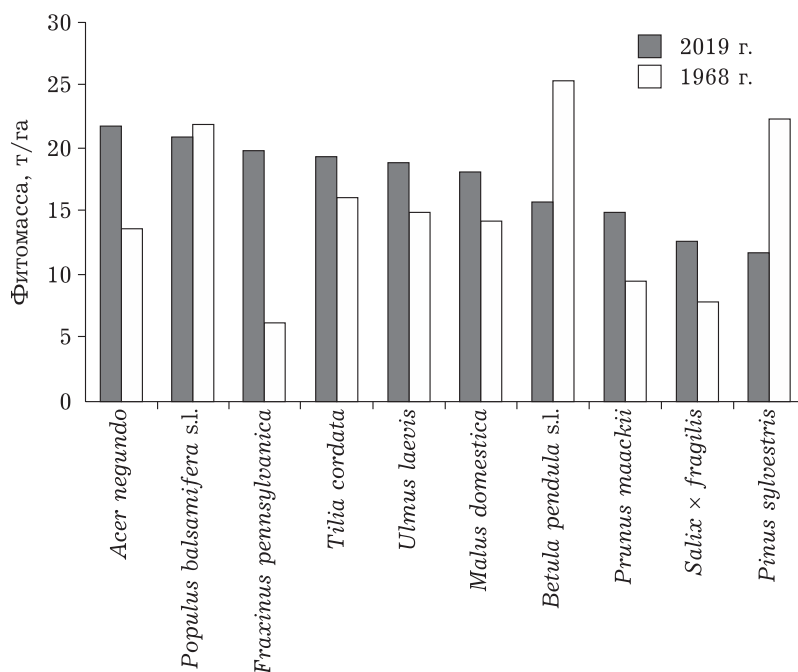


Рис. 3. Надземная фитомасса десяти ведущих видов древесно-кустарничковых растений в г. Екатеринбурге в 2019 и 1968 гг.

Наибольший рост отмечен для *Fraxinus pennsylvanica* (в 3,2 раза), тогда как для *Acer negundo*, *Prunus maackii* Rupr., *Salix x fragilis* L. в 1,6 раза.

Названия видов растений приводятся согласно базе данных World Flora Online [2023].

Исследование микобиоты

Учитывались плодовые тела грибов, выявленные только на древесине (сухостойной, валежной, живой и мертвой), на живых и мертвых ветках, листьях и хвое. Виды грибов, формирующие плодовые тела на почве и подстилке, исключены из исследования. Изучены микологические коллекции, депонированные в ряде отечественных научно-образовательных центров: Институте экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург), Уральском федеральном университете (Екатеринбург), Ботаническом институте РАН им. В. Л. Комарова (Санкт-Петербург), Всероссийском институте защиты растений (Санкт-Петербург), ФИЦ Субтропический научный центр РАН (Сочи).

Общая информация о микобиоте Екатеринбурга включает данные по биоразнообразию грибов Ascomycota и Basidiomycota. Много-

летняя динамика общего списка видов изучена на примере 21-го пятилетнего периода начиная с 1920–1924, 1925–1929 гг. и т. д. до 2020–2024 гг. Для установления многолетней динамики видового богатства чужеродных и местных видов, а также сапротрофных и патогенных используем хорошо исследованную модельную группу – афиллофоровые грибы, которая включает наиболее активных дереворазрушителей: пороидные (трутовики) и кортициидные грибы. Для изучения многолетней динамики видового богатства группы используем три периода: 1920–1940, 1950–1970 и 1990–2020 гг.

Названия видов грибов приводятся согласно базе данных IndexFungorum [2023].

На 2019 г. площадь Екатеринбурга составляла 468 км². После присоединения к городу в 2020 г. новых территорий его площадь увеличилась в 2,4 раза – до 1143 км². Из работы исключены виды грибов, собранные на новых территориях. Это сделано для уточнения эффекта урбанизации: новые территории преимущественно включают естественные леса. Для сравнения выявленных параметров микобиоты в Екатеринбурге используем микологические данные, полученные для природных ландшафтов, расположенных южнее Ека-

теринбурга – в Сысертском р-не, западнее г. Сысерть, включая территорию Природного парка “Бажовские места”. В Екатеринбурге и пригородных ландшафтах изучена схожая по площади территория ($480 \pm 20 \text{ км}^2$).

Статистический анализ

Для установления корреляции между различными параметрами микобиоты, среднегодовой температуры, числа видов растений и т. д. использован коэффициент линейной корреляции Пирсона (r). U-критерий Манна – Уитни применен для оценки различий между двумя независимыми выборками с целью сравнения уровней видового богатства между видами грибов и ЧДКР. Обработку данных осуществляли с использованием пакетов статистических программ EstimateS 9.10 и MS Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТ

За 100 лет исследований (1920–2020 гг.) на ЧДКР в Екатеринбурге выявлено 297 видов чужеродных грибов. Информация о первой находке каждого из видов грибов соответ-

ствует конкретному пятилетнему временному промежутку (на основе данных из публикации или гербарной этикетки). Изменение числа найденных видов в каждый период позволяет подразделить вековую историю исследований чужеродных грибов в Екатеринбурге на три периода (рис. 4):

первый период, с 1920 по 1945 г. – число выявляемых новых чужеродных видов за пять лет варьирует в диапазоне от 1 до 5;

второй период, с 1950 по 1985 г. – число новых чужеродных видов варьирует в диапазоне от 6 до 14;

третий период, с 1990-х годов по настоящее время – начался экспоненциальный рост числа выявленных видов: с 16 видов в 1990–1994 гг. до 54 видов в 2020–2024 гг., учитывая, что пока проанализированы данные лишь за три года (2020–2022 гг.). Согласно прогнозу при сохранении нынешней скорости появления чужеродных видов грибов на ЧДКР в регионе в 2030 г. с вероятностью 91 % будет зафиксировано 67 новых видов, а к 2050 г., возможно, увеличится в 2,4 раза в сравнении с нынешним уровнем, до 130 видов. Стоит отметить, что рост числа видов грибов не связан с уровнем выборочного усилия. В каждые

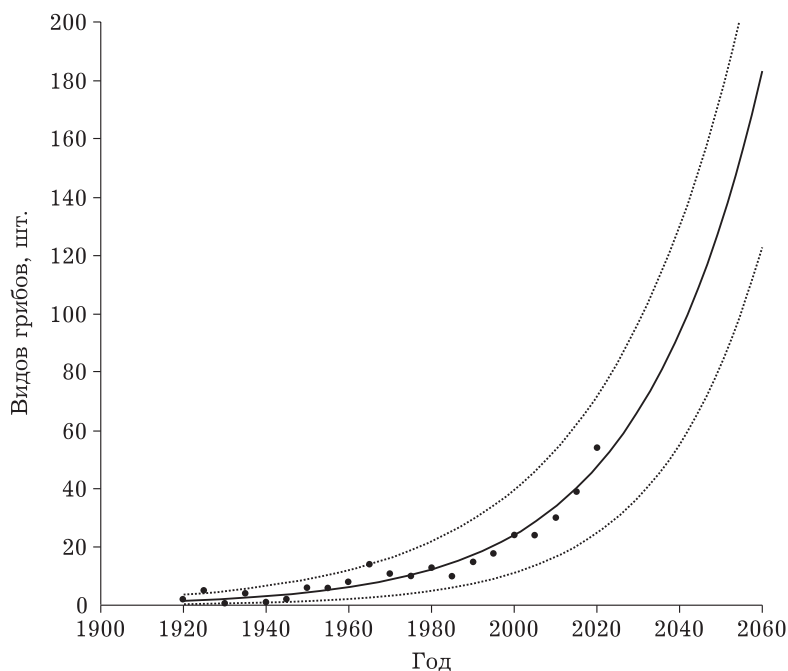


Рис. 4. Многолетняя динамика впервые выявленных чужеродных видов грибов на чужеродных древесно-кустарниковых растениях в Екатеринбурге. Жирная линия – среднее ($y = 1E - 28e^{0,034x}$, $R^2 = 0,91$; $n = 21$), пунктирные линии – 95 %-й доверительный интервал

из трех периодов работало по 3–4 исследователя [Микологические исследования..., 2008].

За 100-летний период (1920–2020 гг.) изучена связь изменений среднегодовой температуры воздуха с числом выявленных видов чужеродных грибов (рис. 5). Установлена сильная положительная корреляция ($p = 0.0001$): с повышением среднегодовой температуры на 1°C в Екатеринбурге список чужеродных видов грибов на ЧДКР увеличивается на 76,1 вида.

Точно установить год появления отдельных видов ЧДКР в Екатеринбурге проблематично. Тем не менее имеется немало источников информации, которые позволяют с высокой долей вероятности оценить появление различных видов за пятилетний период. Для этого использованы исторические фотографии, записи агрономов и садовников в крупных садах и парках предприятий. К тому же обнаружение некоторых субстрат-специфичных видов грибов с большой долей вероятности позволяет утверждать о существовании в городе конкретного ЧДКР в тот или иной период времени. Это позволяет оценить в каком пятилетнем периоде в городе появились различные виды ЧДКР и чужеродных грибов. В настоящий момент на 680 видах ЧДКР собрано 297 видов чужеродных грибов. Анализ данных за прошедшее столетие свидетельствует с вероятностью 98 %, что с увеличением числа ЧДКР на 100 видов список чужеродных грибов растёт на 44 вида.

На примере модельной группы – афиллофоровые грибы – установлено, что за вековую историю исследований общее число видов в Екатеринбурге выросло со 196 до 334, т. е. в 1,7 раза (рис. 6). При этом число местных видов достоверно не изменилось ($p > 0,05$), а чужеродных выросло с 4 до 97, т. е. в 24 раза. В первой половине XIX в. в городе выявлено в 1,4 раза больше видов афиллофоровых грибов по сравнению с природными ландшафтами. Число чужеродных видов в городе в 12 раз превосходит показатель природных ландшафтов. Схожая тенденция выявлена и для долей (%) чужеродных видов грибов: за 100 лет она выросла в 13,5 раза. В Екатеринбурге доля чужеродных видов в 9 раз выше по сравнению с природными ландшафтами. Число видов и доля патогенов в природных ландшафтах в настоящее время схожи с уровнями, выявленными для Екатеринбург-

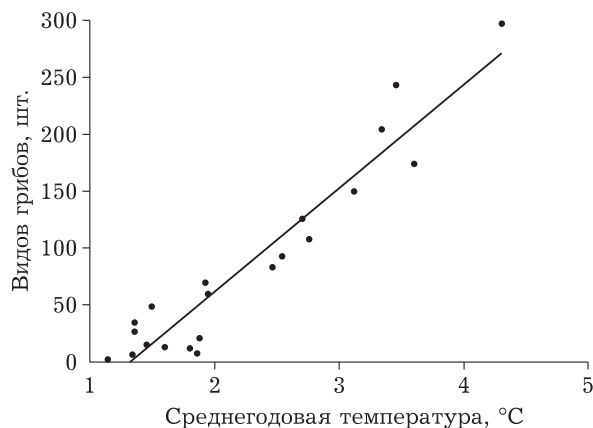


Рис. 5. Связь среднегодовой температуры воздуха с общим числом видов чужеродных грибов в Екатеринбурге за 100-летний период ($y = 90,92x - 119,89$; $R^2 = 0,91$; $n = 21$)

га в период с 1920 по 1940 г. Для патогенных видов, как и для чужеродных, установлено увеличение числа видов и их доли (%). За 100 лет число видов выросло в 7 раз, тогда как доля – в 3,5 раза. Оба показателя для патогенных грибов в современных природных ландшафтах близки с уровнями, выявленными для микобиоты Екатеринбурга в период с 1920 по 1940 г.

Таким образом, за прошедшие 100 лет число и доля чужеродных видов афиллофоровых грибов в Екатеринбурге растут по экспоненте ($y = 0,802e^{1,59x}$; $R^2 = 0,99$ и $y = 0,56e^{1,301x}$; $R^2 = 0,99$ соответственно) (рис. 7). Также по экспоненте увеличивается число видов и доля фитопатогенов ($y = 6,022e^{0,96x}$; $R^2 = 0,95$ и $y = 4,572e^{0,618x}$; $R^2 = 0,97$ соответственно).

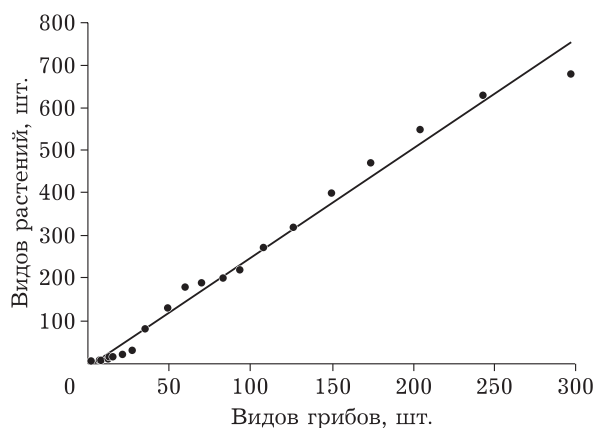


Рис. 6. Связь общего числа видов ЧДКР и чужеродных видов грибов, развивающихся на них в Екатеринбурге, за 100-летний период. Данные за пятилетние периоды ($y = 2,56x - 8,5$; $R^2 = 0,98$; $n = 21$)

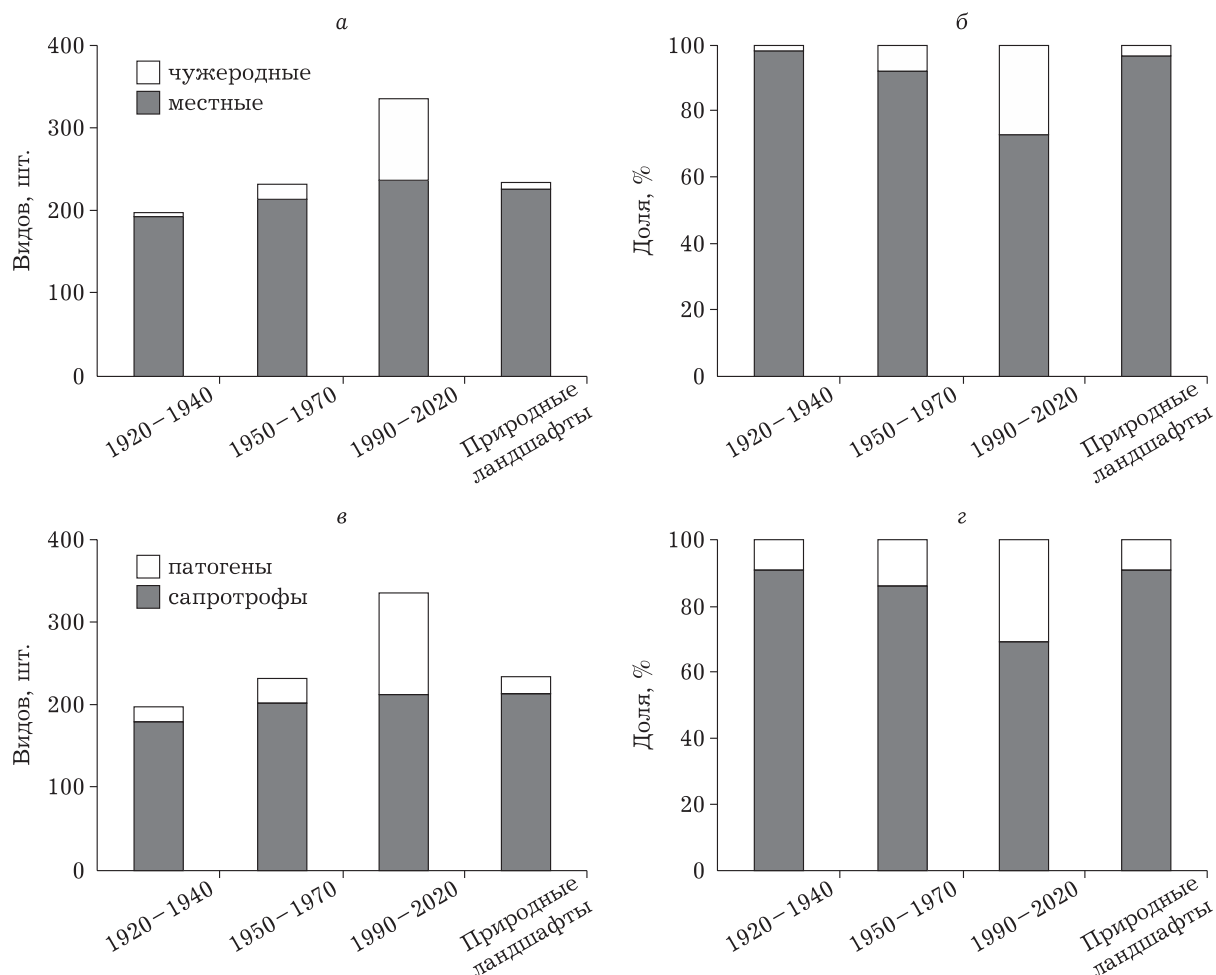


Рис. 7. Многолетняя динамика сообществ афиллофоровых грибов Екатеринбурга за три периода (1920–1940, 1950–1970, 1990–2020 гг.) и сравнение с современным состоянием природных ландшафтов: а – число видов чужеродных и местных видов; б – доля чужеродных и местных видов; в – число видов патогенов и сапротрофов; г – доля видов патогенов и сапротрофов

ОБСУЖДЕНИЕ

За проанализированный 100-летний период рост числа видов чужеродных грибов сильно положительно линейно связан ($p = 0,98$) с числом видов ЧДКР (см. рис. 6), а также со среднегодовой температурой в Екатеринбурге (см. рис. 5). Благодаря потеплению теплолюбивые растения стали меньше вымерзать и началось увеличение их фитомассы (см. рис. 3). Следовательно, стало возможным расширение перечня интродуцированных теплолюбивых ЧДКР, что в свою очередь определило экспоненциальный рост числа чужеродных видов грибов в Екатеринбурге (см. рис. 4).

Среди наиболее приспособившихся к среднечисленному климату можно назвать следующие виды ЧДКР: *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch., *Hippophae rhamnoides* L., *Malus*

mandshurica, *Juglans manshurica*, *Phellodendron amurense* Rupr., *Populus balsamifera* s. l., *Prunus maackii* Rupr., *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb., *Syringa reticulata* subsp. *amurensis* (Rupr.) P. S. Green & M. C. Chang, *Syringa vulgaris* L. и др.

Уже 50 лет назад в Екатеринбурге росли, но подмерзали, а теперь быстро увеличивают надземную фитомассу следующие ЧДКР: *Actinidia kolomikta*, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *F. excelsior* L., *Maackia amurensis* Rupr., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Michx., *Prinsepia sinensis* (Oliv.) Hallier, *Quercus robur* L., *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill., *Thuja occidentalis* L., *Vitis amurensis* Rupr. и др. (см. рис. 3).

За прошедшие 20 лет растения субтропиков стали лучше чувствовать себя, напри-

мер, *Aesculus hippocastanum*, *Chaenomeles japonica*, *Cotinus coggygria*, *Morus nigra* L., *Robinia pseudoacacia* L., в садах все чаще выращивают *Prunus armeniaca* L. и лозы *Vitis vinifera* L. Тем не менее ряд теплолюбивых ЧДКР по-прежнему плохо переносят суровые зимы, ежегодно отмерзая до уровня снега: *Catalpa ovata* G. Don, *Gleditsia triacanthos* L., *Gymnocladus dioica* (L.) K. Koch. и др.

В Екатеринбурге и окрестностях в 1950–1970 гг. проводились активные исследования чужеродных грибов на ЧДКР [Демидова, 1962, 1963; Степанова, Сирко, 1970, 1977; Степанова, 1971]. В те годы проводилась массовая интродукция растений с Дальнего Востока, быстро развивалась сеть лесополос вдоль автомобильных и железных дорог, сформированных различными видами ЧДКР [Мамаев, 2000]. В 1950–1970 гг. (за пятилетние периоды) выявляли по 6–14 новых видов грибов на ЧДКР (см. рис. 4). В результате чего в городе был собран ряд восточноазиатских видов грибов, отсутствующих в естественных условиях Урала (*Daedalea dickinsii* Yasuda, *Microporus xanthopus* (Fr.) Kuntze, *Radulodon licentii* (Pilát) Ryvarden и др.).

С начала 1990-х годов по настоящее время отмечается резкое увеличение чужеродных видов грибов (с 16 до 54) благодаря потеплению климата и резкому увеличению числа ЧДКР. В связи с этим в Екатеринбурге, расположенном в таежной зоне, за прошедшие 20 лет выявлен ряд макроскопических видов грибов, новых для России, характеризующихся восточноазиатским (*Physalacria cryptomeriae* Berthier & Rogerson) и тропическим (*Botryobasidium rubiginosum* (Fr.) Rossman & W. C. Allen, *Physalacria orientalis* (Kobayasi) Berthier) распространением. Среди микромицетов выявлено два новых вида для страны: тропический – *Alternaria obtusa* B. W. Ferreira & R. W. Barreto, инвазивный гриб, вызывающий болезнь пятнистости листьев *Tropaeolum* spp., а также центральноазиатский – *Ramularia bergeniae* Vasyag., вызывающий болезнь пятнистости листьев *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch.

С начала 2000-х годов в Екатеринбурге на ЧДКР появились следующие виды чужеродных макроскопических грибов. На восточноазиатских ЧДКР: на стволах *Syringa reticulata* subsp. *amurensis* выявлены восточноазиатские

Phellinus cf. *baumii* Pilát и *Hymenochaete intricata* (Lloyd) S. Ito.; на отмерших ветках *Lonicera maackii* Maxim. развивается азиатский трутовик *Tropicoporus linteus* (Berk. & M. A. Curtis) L. W. Zhou et Y. C. Dai; на древесине *Tilia mandshurica* Rupr. & Maxim. паразитирует восточноазиатский пороидный *Leucophellinus irpicoides* (Bondartsev ex Pilát) Bondartsev [Volobuev et al., 2021]; на *Juglans mandshurica* выявлен “южный” трутовик *Phellinus rimosus* (Berk.) Pilát; на живом стволе *Phellodendron amurense* собраны базидиомы *Oxyporus phellodendri* Bondartsev & Lj. N. Vassilieva.

На европейских ЧДКР: у основания живого *Quercus robur* выявлен европейский патогенный трутовик *Ganoderma pfeifferi* Bres.; на стволе живого *Q. robur* собран “южный” трутовик *Fomitiporia robusta* (P. Karst.) Fiasson & Niemelä s. str., хотя на Урале этот гриб не отмечен восточнее границ ареала дуба [Shiryayev et al., 2010]; на интродуцированном виде вяза (*Ulmus minor* Mill.) и уже на местном *U. glabra* Huds. собраны новые для области грибы европейского распространения – *Hymenochaete ulmicola* Corfixen et Parmasto и *Inonotus ulmicola* Corfixen; широко распространенный в Европе на древесине растений семейства Fagaceae пороидный гриб *Steccherinum fimbriatellum* (Peck) Miettinen формирует плодовые тела среди мусора на отмерших стеблях полыни, малины и веток яблони; на кавказской жимолости *Lonicera orientalis* L. выявлен кортициоидный гриб *Peniophora versicolor* (Bres.) Sacc. et P. Syd., широко распространенный в субтропическом климате Евразии [Yurchenko, 2010]. На живой древесине “южного” инвазивного *Hippophae rhamnoides* L. развивается специфичный пороидный патоген *Phellinus hippophaeicola* H. Jahn [Shiryayev et al., 2010].

За прошедшие 20 лет в Екатеринбурге впервые собраны многие виды микромицетов. Так, одной из широко распространенных групп грибов, поражающих различные древесные покрытосеменные растения в Екатеринбурге, являются мучнисторосые грибы (Ascomycota, Erysiphaceae). В 1970 г. на листьях деревьев и кустарников в Свердловской области было известно лишь шесть видов мучнисторосых грибов, в том числе такие вредоносные чужеродные виды, как *Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun &

S. Takam. – на *Quercus robur*; *Erysiphe necator* Schwein. – на *Vitis vinifera*, а *Podosphaera mors-uvae* (Schwein.) U. Braun & S. Takam. – на *Ribes uva-crispa* L. [Степанова, Сирко, 1970]. За прошедшие 20 лет список этой группы вырос до 29 видов. В Екатеринбурге появились чужеродные виды, которые ранее достоверно не отмечались на Урале: *Erysiphe palczewskii* (Jacz.) U. Braun & S. Takam. – на *Caragana arborescens*; *Erysiphe syringae-japonicae* (U. Braun) U. Braun & S. Takam. – на *Syringa vulgaris*, *Erysiphe vanbruntiana* (W. R. Gerard) U. Braun & S. Takam. – на *Sambucus racemosa* L., *Erysiphe viburni* Duby – на *Viburnum lantana* L., а также *Podosphaera* cf. *spiraeae* (Sawada) U. Braun & S. Takam. – на *Spiraea chamaedryfolia* L. (рис. 8). Все перечисленные виды в настоящее время являются широко распространенными и существенно снижают декоративность своих растений-хозяев в Екатеринбурге. Необходимо отметить, что эти чужеродные виды происходят из Восточной Азии, в частности, они известны как аборигенные виды на Дальнем Востоке (Приморский и Хабаровский края), в Северном Китае, Корее и Японии. Единственным исключением является *Erysiphe viburni*, который, вероятно, попал на Урал из Европы вместе с культивируемым растением-хозяином, или же является аборигенным видом [Bulgakov, Shiryaev, 2021].

Следует отметить факт обнаружения в 2021 г. в Екатеринбурге возбудителя мучнистой росы лещины *Erysiphe corylacearum* U. Braun & S. Takam. (см. рис. 8). На Урале *Corylus avellana* находится на восточном пределе европейского ареала. Это первая на Урале находка данного вида гриба, который проник из Восточной Азии в западную часть Евразии и быстро распространился по всей территории Центральной и Восточной Европы и Западной Азии (Малая Азия, Кавказ, Иран) [Bulgakov, Shiryaev, 2021]. В России этот вредоносный патоген лещин впервые появился на Черноморском побережье Краснодарского края примерно в 2013 г., и к 2016–2017 гг. был отмечен на остальной территории Краснодарского края, в Крыму и Ростовской области [Булгаков, Карпун, 2020]. Обнаружение *E. corylacearum* в Екатеринбурге свидетельствует, что в настоящее время он распространился по всей европейской части России в местах произрастания лещин. Активное раз-

витие *E. corylacearum* приводит к деформации молодых листьев и побегов и ухудшает фитосанитарное состояние лещины [Bulgakov, Shiryaev, 2021].

Многие виды субстрат-специфичных патогенных микромицетов собраны в городе в начале 2020-х годов. Так, в Ботаническом саду УрО РАН Екатеринбурга на живых листьях *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt. (Berberidaceae) найден ржавчинный гриб *Cumminsella mirabilissima* (Peck) Nannf., занесенный в Европу в начале XX в. из Северной Америки [Траншель, 1939]. В России он не был известен до середины XX в., хотя уже в 1930-е годы отмечался в Западной и Центральной Европе. Однако уже в 1950-х годах он стал обычным видом в европейской части страны. На листьях восточноазиатской лианы *Menispermum dauricum* DC. впервые на Урале собран чужеродный гриб *Asteromella ovata* Thum., а на листьях *Hydrangea paniculata* Siebold впервые выявлен чужеродный вид *Cercospora hydrangeae* Ellis et Everh. В 2020 г. в городском парке сделана интересная находка: на *Prunus padus* L. собран *Polystigma fulvum* Pers. ex DC., недавно переописанный по материалам из Белоруссии [Bundhun et al., 2019]. Исключительно на живых листьях *Acer negundo* обильно развивается гриб *Sphaerulina neoaceris* Crous et Bulgakov, который лишь недавно был описан в Ростовской области [Bulgakov, Shiryaev, 2021]. Можно предположить, что этот узкоспециализированный паразит может иметь широкое распространение в России на инвазивном *A. negundo*. Быстро расширяет ареал, численность и спектр деревьев-хозяев *Monilinia fructigena* (Pers.) Honey, вызывающий монилиоз плодов яблони, груши и сливы. Среди прочего стоит назвать возбудителя коккомикоза косточковых культур – *Blumeriella jaarii* (Rehm) Arx, резко увеличившего численность в садах региона. Можно сделать вывод: благодаря богатому разнообразию пришедших новых видов грибов, микобиота города теряет свою региональную специфику – она становится унифицированной.

В связи с потеплением с 1970-х годов до нынешнего времени в Екатеринбурге в 5 раз выросли площади виноградников и в 3,7 раза – их урожайность [Shiryaev et al., 2022]. На виноградах выявлено 33 вида патогенных грибов, из них 13 видов макромицетов (*Armil-*



Рис. 8. Патогенные грибы на древесно-кустарниковых растениях в Екатеринбурге.
 а – *Ophiostoma novo-ulmi*, поразивший живое дерево *Ulmus laevis*; б – *Phellinus rhamni* на живом стволе *Rhamnus tatarica*; в – *Erysiphe syringae-japonicae* на живых листьях *Syringa vulgaris*; г – *Sawadaea tulasnei* на живых листьях *Acer tataricum*; д – *Erysiphe corylacearum* на живых листьях *Corylus avellana*; е – *Podosphaera pannosa* на живых листьях *Rosa* spp.

laria borealis Marxm. & Korhonen, *Fomitiporia punctata* (P. Karst.) Murrill, *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers., и др.) и 20 видов микромицетов (*Erysiphe necator* Schwein., *Phyllosticta ampelicida* (Engelm.) Aa, *Pseudocercospora vitis* (Lév.) Speg., *Ragnhildiana ampelopsidis* (Peck) U. Braun, C. Nakash., Videira & Crous и др.). В 1970-е годы на виноградах было известно лишь 20 видов патогенных грибов, следовательно, за 50 лет их число выросло на 62 %. Несомненно, число встречающихся грибов на винограде в Екатеринбурге постепенно растет с потеплением климата из-за вызываемого им роста биомассы растений. В то же время распространение новых фитопатогенов и увеличение их общего числа может создать ощутимые проблемы для аграриев региона по мере расширения зоны северного виноградарства [Shiryaev et al., 2022].

На виноградах, как и на других интродуцированных лианах (*Actinidia*, *Schisandra*, и др.), развивающаяся микобиота оказалась биогеографически весьма гетерогенна. Выявленные макромицеты (*Basidiomycota*) – это преимущественно местные широко распространенные виды, но отмечены и экзотические с центрами ареалов в восточноазиатских тропиках и субтропиках (*Hydnophlebia chrysorhiza* (Eaton) Parmasto, *Lilaceophlebia ochraceofulva* (Bourdot et Galzin) Spirin & Zmitr., *Tomentella olivascens* (Berk. & M. A. Curtis) Bourdot et Galzin, *Radulomyces rickii* (Bres.) M. P. Christ., *Steccherinum bourdotii* Saliba & A. David, *Crustomyces expallens* (Bres.) Hjortstam, *Gloeohypochnicium analogum* (Bourdot & Galzin) Hjortstam), которые до этого никогда не были выявлены на Урале. С другой стороны, выявленные микромицеты (преимущественно *Ascomycota*) широко распространены в пределах ареала виноградов и отсутствуют в естественных условиях таежной зоны Евразии. Стоит отметить, что видовое богатство на виноградах в Екатеринбурге схоже или даже выше по сравнению с субтропическими регионами, расположенными на северной границе виноградарства (Киргизия, Узбекистан, Казахстан, Кавказ и юг России) [Shiryaev et al., 2022].

Одна из опаснейших болезней древесных растений – голландская болезнь вязов (вызываемая грибом *Ophiostoma novo-ulmi*) – расширяет свой ареал в Европе и европейской

части России. Согласно прогнозированию, потенциально-комфортные климатические условия для данного патогена на Урале сформируются к концу XXI в. [Petrosyan et al., 2023]. Однако благодаря росту транспортных потоков эта болезнь уже не меньше трех лет поражает вязы в Екатеринбурге. С большой долей вероятности болезнь вязов была завезена в Свердловскую область с крупномерным посадочным материалом из других регионов страны или Европы, так как текущие суровые природно-климатические условия Среднего Урала не способствуют расширению ареала болезни. В Европе тысячи гектаров вязовников погибли от этой болезни, а теперь эта болезнь с помощью человека и транспорта распространилась на 1000 км от самой западной точки в Европе. В Свердловской области нами эта болезнь выявлена пока только в Екатеринбурге, где в среднем болеет 9 деревьев на 1 км². Вероятно, в ближайшее время голландская болезнь вязов начнет распространяться в естественные вязовники Зауралья, что приведет к катастрофическим последствиям, как минимум, в региональном масштабе. Это связано с тем, что вязовники в Свердловской области расположены на восточной границе европейского ареала, т. е. они ослаблены в связи с тем, что развиваются в крайне пессимальных природно-климатических и эдафических условиях [Мамаев и др., 2004]. Стоит отметить, что всем местонахождениям вязов на восточном склоне Урала в пределах Свердловской области присвоен статус ООПТ [Мамаев и др., 2004].

Одним из удручающих примеров ввоза зараженных саженцев являются посадки крупномерных деревьев вдоль новых проспектов и во внутренних дворах внутри частных жилых комплексов. Многие растения настолько поражены или ослаблены, что в результате невозможно поддерживать высокий уровень декоративности ЧДКР без систематического использования фунгицидов и других средств, направленных на усиление неспецифической сопротивляемости растений. Дополнительно ворота для инфекции открываются в связи с модой на выставочные шоу-сады, выстроенные с нуля буквально за две недели. Подавляющее большинство древесных растений на подобных мероприятиях – чужеродные, некоторые из которых ввозятся в регион

специально для экспонирования на фестивалях. Внешний анализ фитопатологического состояния саженцев на одном из таких фестивалей в 2022 г. позволил выявить ряд опаснейших заболеваний: 1) мучнистая роса розы (*Podosphaera pannosa* (Wallr.) de Bary) – злейший враг культуры роз в России и Европе, на Среднем Урале патоген выявлен впервые в 2016 г. и теперь все чаще встречается на завозных кустах роз; 2) церкоспороз листьев гортензии (*Cercospora hydrangeae* Ellis et Everh.) – вторая находка на Урале; 3) патоген веток ореха маньчжурского (*Juglanconis oblonga* (Berk.) Voglmayr & Jaklitsch); 4) аскохитоз листьев чубушника (*Ascochyta philadelphica* Sacc. & Speg.); 5) корневая губка на *Picea pungens* Engelm. (*Heterobasidion parviporum* Niemela & Korhonen). Все перечисленные виды грибов – злейшие инвазивные фитопатогены, два из которых (*Ascochyta philadelphia* и *Juglanconis oblonga*) впервые выявлены в Свердловской области.

Отсутствие должной выбраковки и утилизации зараженного материала, отказ от систематического применения профилактических и лечебных мер, регулярных осмотров новых или зараженных посадок специалистами, бездумная стихийная посадка больных ЧДКР усугубляет ситуацию. Нередко по вине недобросовестных поставщиков или неосторожных и неграмотных исполнителей и заказчиков, непосредственно осуществляющих посадки, зараженные опасными грибными фитопатогенами растения из одной и той же партии попадают одновременно в разные уголки города и области. Это прямой путь для мгновенного распространения новых болезней по всей территории города и региона.

В итоге, благодаря резко возросшему потоку саженцев из-за пределов региона за 2020–2022 гг., в Екатеринбурге выявлено 54 новых вида чужеродных грибов (24 вида сапротрофа и 30 патогенов), включая один – *Botryobasidium rubiginosum* – новый для России.

Не стоит забывать об уже имеющихся старых городских насаждениях вдоль улиц, в парках, ботанических садах и дендрариях. Эти насаждения, где ЧДКР находятся близко друг от друга, инфекция скапливается годами. Скученность посадок в сочетании с погрешностями ухода (нерегулярные санитарные

обрезки, профилактические обработки или их отсутствие, наличие аварийных и упавших мертвых деревьев и проч.) приводят к тому, что такие насыщенные интродуцентами объекты концентрируют фитопатогенов, являясь рефугиумами для их дальнейшего расселения. С одной стороны, в дендрологических коллекциях много уникальных растений со своими специфичными патогенами, которые не могут переселиться на другие виды ЧДКР, так как в городе больше нет таких же видов растений (или близкородственных). Но если среди недавно введенных из других регионов и высаженных крупномеров будут подходящие ЧДКР, даже незараженные, здоровые, то фитопатогены из старых насаждений непременно распространятся на новые посадки и начнут расширять свою географию в городе. Поэтому так необходим мониторинг, своевременное лечение больных, уборка и замена погибших ЧДКР на территории старых садов и парков. Иначе, бездействуя, благодаря мощному потоку новых ЧДКР можно спровоцировать эпифитотии на близкородственных растениях. В центре города подобными рассадниками являются старые яблони, караганы, тополя, маньчжурские орехи и клены. Можно предположить, что фитопатогены с недавно введенных ЧДКР могут прижиться на старых посадках, уже имеющихся в городе.

В Ботаническом саду УрО РАН наибольшее количество разнообразных ЧДКР. На старых деревьях высоко разнообразие узкоспециализированных фитопатогенных грибов, например возбудителей различных пятнистостей листьев и некрозов ветвей: *Erysiphe palczewskii* (Jacq.) U. Braun & S. Takam., *Camarosporidiella mackenziei* Wanas., Bulgakov & K. D. Hyde, *Nothoseptoria caraganae* (Henn.) Crous & Bulgakov на *Caragana arborescens*; *Neodidymelliopsis negundinis* Manawasinghe, Camporesi & K. D. Hyde и *Sphaerulina neoaceris* Crous & Bulgakov – на *Acer negundo*. Чужеродные патоккомплексы выявлены также на древесных лианах – винограде обыкновенном (*Vitis vinifera*) и амурском (*V. amurensis*): *Coniella diplodiella* (Speg.) Petr. & Syd., *Elsinoe ampelina* Shear, *Erysiphe necator* Schwein., *Eutypa scabrosa* (Bull.) Auersw., *Phaeomoniella chlamydospora* (W. Gams, Crous, M. J. Wingf. & Mugnai) Crous & W. Gams, *Phyllosticta ampel-icida* (Engelm.) Aa, *Plasmopara viticola* (Berk.

& M. A. Curtis) Berl. & De Toni, *Pseudocercospora vitis* (Lév.) Speg., а также на партеноциссусе пятилистчковом (*P. quinquefolia*): *Colletotrichum parthenocissicola* Jayaward., Bulgakov, Huanraluek & K. D. Hyde, *C. quinquefoliae* Jayaward., Bulgakov & K. D. Hyde, *Ragnhildiana ampelopsidis*. Все перечисленные виды грибов чужды естественной микобиоте Среднего Урала. Тем не менее за последние 5–20 лет они уже широко распространились за пределы города по загородным посадкам, лесополосам и поймам.

По нашим данным, в центральной части Екатеринбурга наиболее доступными местами для проникновения в ЧДКР видов фитопатогенных грибов являются: морозобоины – 38 %, повреждения корней и корневой шейки техникой – 33 %, сухобочины и обрезанные ветки – 26 %. Причем в целом деревья в городе и так ослаблены, поэтому вышеперечисленными путями проникают преимущественно факультативные патогены, которые в природе, как правило, развиваются в качестве сапротрофов. В целом в городе в 6,2 раза больше видов патогенов (на примере афиллофоровых грибов) по сравнению с природными ландшафтами (см. рис. 7). Отметим, что при должной системе ухода, интродуцированные тополя, яблони, клены, боярышники, винограды и т. п. живут 70 лет и больше, при этом на них не развивается патогенная микобиота, или лишь незначительная часть листьев веток слабо поражена.

Расселение чужеродных фитопатогенов в уральские леса

Уже отмечены случаи, когда чужеродные фитопатогены, выявленные в посадках парков, садов, дворов, по имеющимся зеленым насаждениям распространяются в пойму р. Исеть, где много местных и чужеродных древесных растений семейства Salicaceae. На них переселяются патогены (*Cytospora chrysosperma*) с интродуцированных видов тополей и ив. Также в пойме рек города присутствуют заросли *Acer negundo*, по которым за пределы города распространяются грибные болезни (*Sphaerulina neoaceris*). Благодаря древесным растениям в поймах фитопатогены смогут дальше распространиться в леса. С ослабленных ЧДКР в городских и приго-

родных лесопарках грибы (*Erysiphe ehrenbergii* (Lév.) U. Braun, *M. Bradshaw* & S. Takam., *Ganoderma resinaceum* Boud., *Sawadaea tulasnei* (Fuckel) Homma) расселяются в среднеуральские леса, где местные растения не знакомы с этими болезнями, и, следовательно, они не устойчивы к ним.

По обширной сети лесополос вдоль полей и автодорог болезнетворные и сапротрофные грибы расселяются далеко от города. Благодаря освоению лесополос с *Caragana arborescens* некоторые аборигенные виды грибов, вопреки местным природно-климатическим условиям, расширяют свой ареал (*Camarosporidiella mackenziei* Wanas., Bulgakov & K. D. Hyde, *Erysiphe palczewskii*, *Stromatonectria caraganae* (Höhn.) Jaklitsch & Voglmayr и др.). В уральской лесостепи в посадках *C. arborescens* выявлены два таежных вида, предпочитающие хвойные древесные растения – *Pycnoporellus fulgens* (Fr.) Donk и *Daedalea xantha* (Fr.) A. Roy & A. B. De. На лиственных субстратах эти виды встречаются крайне редко, а представители семейства Fabaceae не были указаны в качестве известных растений-хозяев [Ryvarden, Melo, 2014]. В противоположную сторону – севернее своего естественного ареала – проникают *Antrodiella serpula* (P. Karst.) Spirin & Niemelä, *Baltazaria galactina* (Fr.) Leal-Dutra, Dentinger & G. W. Griff., *Xylodon flaviporus* (Berk. & M. A. Curtis ex Cooke) Riebesehl & Langer – ранее известные от лесостепи до южной тайги [Shiryaev et al., 2010, 2021], а в посадках караганы впервые собраны в средней тайге.

Чужеродные древесно-кустарниковые растения, рекомендуемые для озеленения Екатеринбурга

Многие годы в Ботаническом саду УрО РАН ведется работа по отбору устойчивых древесных растений, рекомендуемых для городского озеленения на Среднем Урале. Перечень включает 100 видов местных и чужеродных растений: 12 хвойных и 88 лиственных [Коновалов, 1961; Петухова, 1961; Ботанический сад..., 1986; Мамаев, 1991; Беляева и др., 1998, 2003; Махнева, 1998; Мамаев, Дорофеева, 2005]. Авторы данной работы проанализировали список с точки зрения фитопатогенной устойчивости видов ЧДКР. Исключо-

чив местные виды растений и те, о которых недостаточно фитопатологической информации, получили список, включающий 50 видов ЧДКР (таблица). В основу составления этого списка положено сравнение успешности освоения ЧДКР патогенными грибами в настоящее время и 50 лет назад, а также число привнесенных ими в микобиоту Екатеринбурга субстрат-специфичных чужеродных видов грибов.

Анализ фитопатологического состояния ЧДКР (см. таблицу) свидетельствует, что большую часть видов (40/80 %) можно рекомендовать к озеленению в Екатеринбурге, так как они не только устойчивы к местному континентальному климату, но на них развивается небольшое число патогенов, они не привносят новые специфичные фитопатогены и не способствуют распространению болезней в уральские леса. Два вида (*Acer tataricum*, *Rosa rugosa*) рекомендуем исключить из перечня потенциальных кандидатов в связи с тем, что на них развивается много чужеродных фитопатогенов, растения легко расселяются в естественные ландшафты и способствуют расселению болезней. Для восьми видов необходим регулярный мониторинг, ряд из них включен в Черную книгу флоры Средней России [Виноградова и др., 2010] и ТОП-100 самых опасных инвазивных видов России [Самые опасные инвазионные виды, 2018], но в природно-климатических условиях Среднего Урала некоторые из них не проявляют агрессивных свойств (*Amelanchier spicata*, *Caragana arborescens*, *Sorbaria sorbifolia*), однако на них выявлены новые для региона виды фитопатогенных грибов.

Стоит заметить, что наибольшее число патогенных видов грибов собрано на ЧДКР, которые широко используются в озеленении Екатеринбурга: *Acer negundo*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Populus balsamifera*, *Prunus maackii*, *Salix alba* и др. Богатая патогенная и сапротрофная микобиота развивается сопряженно с максимальной адаптацией этих ЧДКР к городским условиям: за 70–100-летний период жизни в Екатеринбурге, эти растения расселились на самые большие площади и достигли максимальной фитомассы (см. рис. 4). По существующим правилам такие виды растений надо исключать из озеленения. Однако мы рекомендуем почти все

эти виды в озеленение Екатеринбурга, кроме *Acer negundo* и *Populus balsamifera*. В силу своей инвазивной природы с распространением *A. negundo* необходимо бороться: на нем в городе выявлено максимальное число видов дереворазрушающих грибов (70). Дерево хрупкое, легко ломается при ветре и поздневесенних снегопадах. Деревья *Populus balsamifera* быстро поражаются патогенами, облигатными и факультативными. Их необходимо заменить, поскольку в большинстве своем тополя бальзамические больные и старые, аварийно-опасные, часто падают, повреждая городское хозяйство и машины. В качестве замены можно предложить специально выведенные для условий Среднего Урала гибриды Коновалова [Коновалов, 1961; Мамаев, 1991], на которых развивается минимум местных патогенов и нет чужеродных.

Также при озеленении надо делать упор на ассортимент местных видов, например устойчивые, крепкие и долгоживущие *Tilia cordata*. Их микобиота сформирована преимущественно местными видами грибов, при этом в последнее время появилось небольшое число видов из числа южных сапротрофов, но чужеродных патогенов не зафиксировано. Липы можно рекомендовать для использования в новой стратегии “Зеленого каркаса Екатеринбурга”. С этими же аргументами можно рекомендовать *Ulmus laevis* и *U. glabra*. К сожалению, в последние годы появилась голландская болезнь язвов и пока не известно, как будет распространяться болезнь в континентальных климатических условиях Екатеринбурга. Также мы можем рекомендовать в озеленение *Alnus incana*, *Juniperus communis*, *Larix sibirica*, *Sorbus aucuparia* и др.

Рекомендации для реализации четырехступенчатой системы фитопатологического мониторинга зеленых насаждений города Екатеринбурга.

1. Усилить национальный и региональный фитосанитарный контроль.
2. Разработать сеть “дозорных насаждений”, направленных на раннее выявление новых видов чужеродных болезнетворных грибов.
3. Рекомендовать среднеуральским питомникам выращивать местные, а также хорошо зарекомендовавшие себя виды ЧДКР.
4. Регламентировать борьбу со вспышками заболеваний.

**Чужеродные древесно-кустарниковые растения, рекомендуемые для озеленения
в городе Екатеринбурге после фитопатологического исследования**

Вид дерева	Выявлены патогены 50 лет назад	Рекомендовать
<i>Acer ginnala</i> Maxim. ex Rupr.	–	+/-
<i>A. platanoides</i> L.	–	+
<i>A. tataricum</i> L.	+	–
<i>Actinidia kolomikta</i> (Rupr. et Maxim.) Maxim.	–	+
<i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) K.Koch	–	+/-
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	–	+/-
<i>B. vulgaris</i> L.	+	+/-
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	+	+/-
<i>Cornus alba</i> L.	–	+
<i>Corylus avellana</i> L.	–	+
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	+	+
<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb.	–	+
<i>Elaeagnus commutata</i> Bernh. ex Rydb.	+	+
<i>Forsythia ovata</i> L.	–	+
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	–	+
<i>F. pennsylvanica</i> Marshall	+	+
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	–	+
<i>Juniperus sabina</i> L.	–	+
<i>Lonicera tatarica</i> L.	+	+/-
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	+	+
<i>Parthenocysus quinquefolia</i> (L.) Michx.	–	+
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	–	+
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.	–	+
<i>Picea pungens</i> Engelm.	–	+
<i>Pinus mugo</i> Turra	–	+
<i>Populus × berolinensis</i> K. Koch	+	+/-
<i>Populus alba × P. bolleana</i>	–	+
<i>Prinsepia sinensis</i> (Oliv.) Hallier	–	+
<i>Prunus maackii</i> Rupr.	+	+
<i>P. virginiana</i> L.	–	+
<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim.	+	+
<i>Quercus robur</i> L.	–	+
<i>Ribes alpinum</i> L.	–	+
<i>R. aureum</i> Pursh	–	+
<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	–	–
<i>Salix alba</i> L.	+	+
<i>Salix × fragilis</i> L.	+	+
<i>Schisandra chinensis</i> (Turcz.) Baill.	–	+
<i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Braun	–	+/-
<i>Spiraea betulifolia</i> Pall.	–	+
<i>Spiraea hypericifolia</i> L.	–	+
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S. F. Blake	–	+
<i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i> (Rupr.) P. S. Green & M. C. Chang	+	+
<i>Syringa josikaea</i> J. Jacq. ex Rehb.	–	+
<i>Syringa vulgaris</i> L.	+	+
<i>Thuja occidentalis</i> L.	–	+
<i>Tripterygium regelii</i> Sprague et Takeda	–	+
<i>Ulmus pumila</i> L.	–	+
<i>Viburnum lantana</i> L.	–	+
<i>Vitis amurensis</i> Rupr.	–	+

П р и м е ч а н и е. + – рекомендовать; – – не рекомендовать; +/- – необходим мониторинг, возможны проблемы.

Борьба со вспышкой заболеваний трудна и экономически более затратная по сравнению с предотвращением проникновения болезней в регион и быстрым выявлением первых признаков. По нашему мнению, чтобы этого избежать, необходимо:

1. Выявлять болезни посадочного материала при пересечении границы России, или по прибытию в регион. Во время закупок посадочного материала, особенно крупномеров, за границей необходим строжайший фитосанитарный контроль. Как правило, визуальный осмотр саженцев дает минимальный результат: получается выявить лишь те грибы, которые в момент осмотра находятся в стадии плодоношения или открытого поверхностного мицелия (на листьях, ветках, стволах и т. д.). Однако до 90 % видов грибов перемещаются в покоящихся стадиях – споры, мицелий и склероции скрыты внутри почвы, в корнях, листьях или же древесине, а это, как правило, патогенные виды, которые наносят максимальный ущерб растениям. Грибы в подобных покоящихся стадиях необходимо выявлять в генетико-биологических лабораторных условиях. В XXI в. генетико-молекулярные исследования во всем мире воспринимаются как рутинный элемент выявления и изучения грибов, контроля их численности. Если молекулярно-генетические инструменты используются в контроле только тогда, когда очевидно, что растение чем-то больно, мы упускаем большую часть инфекции, ведь чаще всего признаков болезни не видно. Необходимо создать и оснастить соответствующие лаборатории хорошо зарекомендовавшими себя системами, например Illumina, или подобными, способными выявлять грибы внутри древесины, листьев и т. п. Это позволит обнаруживать не только единичных патогенов, а десятки и сотни видов скрытых внутри субстрата. На данный момент никто не знает, в каком объеме патогенные виды грибов распространены в условиях Екатеринбурга, как скоро они начнут активно поражать местные древесные растения. Это проблема выходит за масштабы одного города или региона.

2. Разрабатывать концепцию “дозорных насаждений” с целью раннего выявления новых видов чужеродных патогенных грибов. Очевидно, что обнаружение первых “наружных” признаков грибного заболевания уже свиде-

тельствует о глубоком поражении растения, особенно если это касается макроскопических грибов, мицелий которых развивается внутри ствола живого дерева. В Екатеринбурге в качестве “ядра” дозорных насаждений наш коллектив изучает следующие посадки ЧДКР: 1) Ботанического сада УрО РАН, так как здесь самые крупные и разнообразные посадки ЧДКР в открытом грунте и оранжереях; 2) Дендрария на ул. 8 Марта; 3) Дендрария на ул. Первомайская; 4) Уральского сада лечебных культур имени проф. Л. И. Вигорова; 5) Ботанического сада УрФУ; 6) Ивановского кладбища; 7) Центрального парка культуры и отдыха им. В. В. Маяковского. Важно, что сотрудники этих учреждений достаточно компетентны для обнаружения первых признаков болезней и своевременно информируют о них. В перечисленных семи территориях сформировалось максимальное разнообразие чужеродных и местных видов древесных растений в регионе (95 %), в связи с чем здесь выявлено порядка 75 % чужеродных видов грибов за последние 20 лет [Shiryaev et al., 2010, 2021, 2022; Bulgakov, Shiryaev, 2021, 2022]. Например, на этих насаждениях обнаружены следующие чужеродные патогены, отсутствующие в природных условиях Урала: на корневой шейке европейского *Quercus robur* – европейский патоген *Ganoderma pfeifferi* Bres.; на корневой шейке живого восточноазиатского *Quercus mongolica* – восточноазиатский патоген *Laetiporus cremeriporus* Y. Ota & T. Hatt.; на стволе живого “южного” *Rhamnus cathartica* – *Phellinus rhamni* (Bondartseva) H. Jahn; на живых листьях европейского *Euonymus europaeus* L. – *Erysiphe euonymi* DC.; на живых листьях *Sambucus racemosa* L. – *Erysiphe vanbruntiana* (W. R. Gerard) U. Braun et S. Takam. var. *sambuci-racemosae* (U. Braun) U. Braun et S. Takam.; на листьях *Spiraea chamaedryfolia* L. – *Podosphaera spiraeae* (Sawada) U. Braun et S. Takam.; на живых ветках *Robinia pseudoacacia* – *Diaporthe oncostoma* (Duby) Fuckel и *Camarosporidiella robinicola* (Wijayaw., Camporesi & K. D. Hyde) Wijayaw., Wanas. & K. D. Hyde; на живом стволе *Caragana arborescens* – восточноазиатский трутовик *Sanghuangporus* cf. *baumii* (Pilát) L. W. Zhou & Y. C. Dai и др.

Необходимо рекомендовать высаживать различные виды здоровых ЧДКР по 2–5 штук

в разных частях города, чтобы выявлять первые симптомы появления новых заболеваний. Это крайне актуально, поскольку с помощью таких дозорных насаждений можно зарегистрировать старт развития болезни. Чаще всего он скрыт от глаз наблюдателя по разным причинам: истинное происхождение зараженного посадочного материала нередко остается не известным для озеленителей или же намеренно утаивается в связи с коммерческой тайной и другими обязательствами. Чтобы избежать финансового наказания за несоответствие посадочного материала нормативной документации, на некоторые объекты доступ специалистов ограничен в связи с режимом допуска, особенно это касается частных владений. Наконец, в силу некомпетентности за лечение берутся неподготовленные люди, их знаний недостаточно для диагностики, назначения адекватного лечения и принятия своевременных фитосанитарных мер. В сумме все перечисленные факторы приводят к плачевному состоянию насаждений, массовому прогрессированию заболеваний и распространению фитопатогенов по городу и окрестностям.

В качестве дозорных также рассматриваем искусственные лесополосы, протянувшиеся в меридиональном и долготном направлениях от Екатеринбурга. В подобных насаждениях нами выявлено 15 % новых видов чужеродных грибов. Например, наш коллектив изучил разнообразие микобиоты на древесине центральноазиатской *C. arborescens* вдоль широтно-зональной трансекты, протянувшейся от средней тайги Свердловской области до степей Челябинской (800 км с севера на юг), а также долготной, в пределах подтаежной и лесостепной подзон Свердловской области, от Пермского края до Курганской области (300 км с запада на восток). Это позволило выявить 15 новых видов Ascomycota и Basidiomycota для Свердловской области [Ширяев и др., 2023]. Оказалось, что на этом интродуценте развивается в 4 раза больше видов грибов, чем на всех местных видах семейства Fabaceae. На древесине *C. arborescens* собраны базидиомы *Lentaria surculus* – это четвертая находка данного тропического гриба в России. В южных регионах страны этот гриб был найден на субтропических древесных растениях, тогда как в таежной зоне выявлен, в том числе, в рудеральных сообществах на мертвых

стеблях инвазионного *Heracleum sosnowskyi* Manden. [Ширяев и др., 2023]. Можно предположить, что чужеродные растения способствуют расселению данного гриба на север.

3. Возможно, ужесточение ограничений на импорт посадочного материала сможет переломить ситуацию в лучшую сторону, дефицит новых ЧДКР заставит обратить внимание на проверенные породы из числа представителей местной флоры или виды, которые успешно прошли вторичный интродукционный эксперимент, подтолкнет руководителей питомников к использованию для размножения акклиматизированного, устойчивого, отобранного ассортимента растений. Несомненно, это более долгий путь по сравнению с завозом готового материала, но это гарантирует, что к моменту посадки каждый саженец будет здоров и прослужит долго, а все больные уже будут отфильтрованы, вылечены или уничтожены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потепление климата способствует росту числа завезенных ЧДКР, что привносит в микобиоту Екатеринбурга многие, не свойственные ей, чужеродные виды грибов. За 20 прошедших лет микобиоту города заселили восточноазиатские, европейские, североамериканские и “южные” виды. Особенно интенсивно процесс биогеографической унификации видового состава проявляется для фитопатогенного комплекса грибов.

В суровом континентальном климате Екатеринбурга холодная зима традиционно защищает флору и микобиоту от инвазивных вторжений. Но благодаря потеплению резко активизировался процесс внедрения опасных чужеродных фитопатогенов, которые представляют серьезную биологическую опасность. В связи с ростом поставок ЧДКР резко увеличивается видовое богатство патогенных инвазивных видов, что в долгосрочной перспективе ведет к гибели городских зеленых насаждений – легкие города. При быстрой акклиматизации, мигрируя вдоль приречных ценозов, лесополос, дорог, благодаря развитию загородного озеленения фитопатогены способны нанести ущерб уральским лесам. Если 20–30 лет назад такое было невозможно представить, то сейчас мы наблюдаем, как расширяются вторичные ареалы патогенных

инвазивных видов грибов в леса, окружающие Екатеринбург. Обозначенная сложная ситуация с распространением инвазий фитопатогенов на Среднем Урале не просто экологически важная проблема, это вызов сохранности здоровья и долголетия наших лесов, экономически сложная дилемма на уровне региона. Поэтому важно контролировать процесс в системном ключе в связи с другими регионами и на национальном уровне. Отсутствие должного контроля уже привело к слишком большому количеству примеров инвазий карантинных видов (не только грибов, но и растений, насекомых, микроорганизмов).

Во избежание будущих проблем и для решения существующих авторы предлагают следующие меры: 1) завоз посадочного материала должен проходить под строгим контролем национальной и региональных фитосанитарных служб, у каждого ЧДКР, ввезенного в Россию или выращенного в питомниках, обязан быть актуальный фитосанитарный сертификат; 2) необходимо поддерживать деятельность лабораторий и профильных кафедр в региональных учреждениях науки и образования (оснащение, методическая поддержка, обучение достаточного количества кадров); усилить финансирование фитосанитарных исследований; 3) для раннего выявления болезней необходимо развивать сеть дозорных насаждений.

Необходимо отказаться от надуманных предпологов, которые негативно влияют на рациональную систему использования водно-зеленого каркаса города и ведут к сокращению площадей ООПТ, разрозненности зеленых насаждений, распространению опасных инфекций, ослаблению компонентов экосистемы. Чтобы сохранять и создавать “зеленый щит” города, недостаточно просто высадить много любых красивых растений. Необходимо иметь четкие представления о жизнеспособности созданных насаждений, их продуктивности или контрпродуктивности (в случае опасных инвайдеров), проектировать объекты, прогнозировать долгосрочные последствия неудачных решений, рассматривать естественные фитоценозы, окружающие город и внутри города, как главную ценность, а также требовать соблюдения фитосанитарных норм и предписаний. В современных реалиях необходимо продолжать мониторинг,

активно выявлять новые очаги инфекций, действовать на опережение, предотвращая расселение фитопатогенов.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-26-00228). За помощь в сборе и определении материала благодарим Булгакова Т. С. (Сочи), Змитровича И. В. (Санкт-Петербург), Котиранта Х. (Хельсинки), Кнудсена Х. (Копенгаген).

ЛИТЕРАТУРА

- Банникова Л. А., Хриченков А. В., Бурцев А. Г., Тиганова И. А., Третьякова А. С., Груданов Н. Ю., Владыкина В. Д. Принципы формирования подхода к благоустройству озелененных пространств Екатеринбурга // Лесн. вестн. 2022. Т. 26, № 6. С. 106–113.
- Беляева И. В., Семкина Л. А., Епачинцева О. В. Арктомонтанные ивы в культуре на Среднем Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 92 с.
- Беляева И. В., Шабуров В. И., Дьяченко А. А. Низкорослые декоративные формы ивы в культуре на Среднем Урале // Сб. статей конф. “Экология и акклиматизация растений”. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 105–113.
- Ботанический сад на Урале: Путеводитель / сост. С. А. Мамаев. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 89 с.
- Булгаков Т. С., Карпун Н. Н. Современные сведения о фитопатогенных грибах на древесных и древовидных растениях в дендропарке санатория имени М. В. Фрунзе (Сочи) // Материалы Всерос. конф. “Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О. А. Катаева)” / под ред. Д. Л. Мусолина и др. СПб., 2020. С. 101–102.
- Виноградова Ю. К., Абрамова Л. М., Акатова Т. В., Аненхонов О. А., Анкипович Е. С., Антипова Е. М., Антонова Л. А., Афанасьев В. Е., Багрикова Н. А., Баранова О. Г., Борисова Е. А., Борисова М. А., Бочкин В. Д., Буланый Ю. И., Верхозина А. В., Владимиров Д. Р., Григорьевская А. Я., Ефремов А. Н., Зыкова Е. Ю., Кравченко А. В., Крылов А. В., Куприянов А. Н., Лавриненко Ю. В., Лактионов А. П., Лысенко Д. С., Майоров С. Р., Меньшакова М. Ю., Мещерякова Н. О., Мининзон И. Л., Михайлова С. И., Морозова О. В., Нотов А. А., Панасенко Н. Н., Пликина Н. В., Пузырев А. Н., Раков Н. С., Решетникова Н. М., Рябовол С. В., Сагалаев В. А., Силаева Т. Б., Силантьева М. М., Стародубцева Е. А., Степанов Н. В., Стрельникова Т. О., Терехина Т. А., Трemasова Н. А., Третьякова А. С., Хорун Л. В., Чернова О. Д., Шауло Д. Н., Эбель А. Л. “Черная Сотня” инвазивных растений России // Информ. бюл. Совета ботанических садов стран СНГ при Международной Ассоциации Академий Наук. 2015. Вып. 4 (27). С. 85–89.
- Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
- ВНИИГМИ-МЦД. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обнинск:

- ВНИИГМИ-МЦД, 2021. URL: <https://www.meteo.ru> (дата обращения: 09.11.2021).
- Говорухин В. С. Флора Урала. Определитель растений, обитающих в горах Урала и его предгорьях от берегов Карского моря до южных пределов лесной зоны. Свердловск, 1937. 536 с.
- Гущин А. Н., Дивакова М. Н. Водно-зеленый каркас Екатеринбурга: история, проблемы, будущее // Архитектон. Изв. вузов. 2022. № 2 (78). С. 1–13.
- Демидова З. А. Краткий обзор болезней культурных и дикорастущих растений в Уральской области // ОБЛЗУ. 1925. № 1. С. 7–25.
- Демидова З. А. Краткий обзор исследований по микологии и фитопатологии на Урале // Мат. по грибным болезням растений Урала / отв. ред. З. А. Демидова. Свердловск: УФАН СССР, 1960. С. 5–15.
- Демидова З. А. К флоре ржавчинных грибов на Урале // Материалы по изуч. флоры и растительности Урала / отв. ред. П. Л. Горчаковский. Свердловск: УФАН СССР, 1962. С. 111–118.
- Демидова З. А. Базидиальные грибы, поражающие древесину на Урале // Материалы по микологии Урала. Свердловск: Ин-т биол. УФАН СССР, 1963. 49 с.
- Жуков А. М. Проблемы использования растений-экзотов в лесных культурах и озеленении // Лесн. вестник. 2010. № 3. С. 222–228.
- Калько Г. В. Голландская болезнь язв в Санкт-Петербурге // Микология и фитопатология. 2008. Т. 42 (6). С. 564–571.
- Карпун Н. Н., Журавлева Е. Н., Волкович М. Г., Проценко В. Е., Мусолин Д. Л. К фауне и биологии новых чужеродных видов насекомых-вредителей древесных растений во влажных субтропиках России // Изв. Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 220. С. 169–185.
- Карпун Ю. Н. Основы интродукции растений // Hortus Botanicus. 2003. Т. 2. С. 17–32.
- Коновалов Н. А. Выведение быстрорастущих форм тополей в Свердловском ботаническом саду // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. 1961. Вып. 23. С. 22–31.
- Ландшафтный Екатеринбург: справочник-альманах. Екатеринбург: Изд-во ИП Пиджаков А. В., 2021. 320 с.
- Мамаев С. А. Экология и интродукция растений Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 120 с.
- Мамаев С. А. Определитель деревьев и кустарников Урала. Местные и интродуцированные виды. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 259 с.
- Мамаев С. А., Дорофеева Л. М. Интродукция клена на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 104 с.
- Мамаев С. А., Ипполитов В. В., Князев М. С., Ухналев В. А. Природные резерваты Свердловской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 131 с.
- Махнева О. В. Цветение декоративных деревьев и кустарников в г. Екатеринбурге // Сб. конф. “Экология и акклиматизация растений”. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 133–139.
- Меренков А. В., Янковская Ю. С. Стратегии и перспективы развития Екатеринбурга. Концепция водно-зеленого каркаса // Новые идеи нового века: материалы Междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. Владивосток: Тихоокеанский гос. ун-т. 2017. Т. 1. С. 291–297.
- Меренков А. В., Янковская Ю. С. “Зеленая архитектура” и устойчивое развитие жилой среды современного города. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 156 с.
- Микологические исследования на Урале. Библиографический указатель работ, выполненных в Институте экологии растений и животных УрО РАН в 1945–2008 гг. / отв. ред. В. А. Мухин. Екатеринбург: Голицынский, 2008. 140 с.
- Морозова О. В. Археофиты во флоре Европейской России // Рос. журн. биол. инвазий. 2023. № 1. С. 53–129.
- Морозова О. В., Жмылев П. Ю. Таксономическая дифференциация и функциональная гомогенизация флор Средней России в результате натурализации чужеродных видов // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2020. Т. 65 (2). doi: 10.21638/spbu07.2020.204
- Муниципальная программа “Улучшение благоустройства территории муниципального образования “город Екатеринбург” на 2021–2025 годы”. Екатеринбург, 2021 (утв. 28.10.2020 Администрацией г. Екатеринбург). URL: <https://docs.cntd.ru/document/570970384>
- Мусаев Т. И., Сухарев А. А. Концепция законопроекта по внесению изменений в нормативы градостроительного проектирования города Екатеринбурга // Бизнес, менеджмент и право: Digital reality: материалы междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2021. С. 605–615.
- Мусолин Д. Л., Булгаков Т. С., Селиховкин А. В., Адамсон К., Дренкхан Р., Васайтис Р. *Dothistroma septosporum*, *D. pini* и *Hymenoscyphus fraxineus* (Ascomycota) – патогены древесных растений, вызывающие серьезную озабоченность в Европе // VII Чтения памяти О. А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах: материалы междунар. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С. 54–55.
- Наумов Н. А. Грибы Урала // Записки УОЛЕ. 1915. Т. 35. 64 с.
- Национальный доклад о карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации в 2020 году / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору. М., 2021. 34 с.
- Петухова И. П. Краткий очерк истории интродукции древесных растений на Среднем Урале // Тр. Ин-та биол. УФАН СССР. 1961. Вып. 23. С. 43–49.
- Пилотами первого этапа российско-французского проекта “Водно-зеленый городской каркас” стали Екатеринбург, Казань и Краснодар, 2021 URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/pilotami-pervogo-etapa-rossiysko-frantsuzskogo-proekta-vodno-zelenyy-gorodskoy-karkas-stali-ekaterin/> (дата обращения: 14.02.2023)
- Проект Стандарта комплексного благоустройства набережных, парков, скверов, бульваров Екатеринбурга. 2021. URL: <https://drive.google.com/file/d/1g4dv23eVkb04pEKHk3d81niEgy89KDec/edit> (дата обращения: 14.02.2023).
- Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / ред. Ю. Ю. Дгебуадзе и др. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2018. 688 с.
- Селиховкин А. В., Дренкхан Р., Мандельштам М. Ю., Мусолин Д. Л. Инвазии насекомых-вредителей и грибных патогенов древесных растений на северо-западе европейской части России // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2020. Т. 65 (2). doi: 10.21638/spbu07.2020.203
- Семкина Л. А., Тишкина Е. А. Рост и продуктивность инорайонных древесных видов в условиях Средне-

- го Урала // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 6 (384). С. 100–109.
- Степанова Н. Т. Эколого-географическая характеристика афиллофоровых грибов Урала: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск: ИЭРиЖ УНЦ АН СССР, 1971. 681 с.
- Степанова Н. Т., Сирко А. В. К флоре сумчатых и несовершенных грибов Урала // Споры растений Урала: материалы по изучению флоры и растительности Урала. Свердловск: УФАН СССР, 1970. С. 3–52.
- Степанова Н. Т., Сирко А. В. К флоре агариковых грибов и гастеромицетов Урала // Микологические исследования на Урале. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1977. С. 51–100. (Тр. Института экологии растений и животных. Вып. 107).
- Стратегия пространственного развития Екатеринбурга, концепция (коллектив авторов). Екатеринбург: ТАТЛИН, 2017. 312 с.
- Сюзев П. В. Грибные паразиты, причиняющие болезни культурным и полевым растениям в Пермской губернии // Материалы по изучению Пермского края. Вып. IV. Пермь: Изд-во Пермск. науч.-пром. музея, 1911. С. 1–27.
- Сюзев П. В. Конспект флоры Урала в пределах Пермской губернии // Материалы к познанию фауны и флоры Российской империи. Отд. Ботаника. М., 1912. Вып. 7. С. 1–206.
- Траншель В. Г. Обзор ржавчинных грибов СССР. М., Л.: Наука, 1939. 426 с.
- Третьякова А. С. Инвазионный потенциал адвентивных видов Среднего Урала // Рос. журн. биол. инвазий. 2011. Т. 4 (3). С. 62–69.
- Туганаев В. В. Агрофитоценозы современного земледелия и их история. М.: Наука, 1984. 88 с.
- Указ Президента Российской Федерации О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (1.12.2016 № 642). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 19.01.2023).
- Федеральный проект “Формирование комфортной городской среды”, 2019 URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/50262/> (дата обращения: 19.01.2023).
- Ширяев А. Г., Змитрович И. В., Чжао П., Сенатор С. А., Булгаков Т. С. Биоразнообразие грибов на местных и чужеродных видах древесных растений семейства Fabaceae на Среднем Урале // Сиб. экол. журн. 2023. Т. 30, № 4. С. 402–427.
- Ширяев А. Г., Змитрович И. В., Ширяева О. С. Новые и редкие виды агарикомицетов на древесных интродуктах в г. Екатеринбурге // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, вып. 5. С. 350–356.
- Annual Report and Council Recommendations 2021 // EPPO Bull. 2022. Vol. 52 (3). P. 730–747.
- Barrico L., Azul A. M., Morais M. C., Coutinho A. P., Freitas H., Castro P. Biodiversity in urban ecosystems: Plants and macromycetes as indicators for conservation planning in the city of Coimbra (Portugal) // Landscape and Urban Planning. 2012. Vol. 106 (1). P. 88–102.
- Bulgakov T. S., Shiryaev A. G. New finds of phyllostrophic plant pathogenic microfungi in Ekaterinburg city and its suburbs // Mycol. Phytopathol. 2021. Vol. 55 (6). P. 405–410.
- Bulgakov T. S., Shiryaev A. G. Powdery mildews (Erysiphaceae) on wood plants in urban habitats of Sverdlovsk region (Russia) // Mycology and Phytopathology. 2022. Vol. 56(5). P. 323–331.
- Bundhun D., Jeewon R., Dayarathne M. C., Bulgakov T., Khramtsov A. K., Aluthmuhandiram J. V. S., Pem D., To-Anuk C., Hyde K. A morphomolecular re-appraisal of *Polystigma fulvum* and *P. rubrum* (Polystigma, Polystigmataceae) // Phytotaxa. 2019. Vol. 422 (3). P. 209–224.
- Capinha C., Essl F., Seebens H., Moser D., Pereira H. M. The dispersal of alien species redefines biogeography in the Anthropocene // Science. 2015. Vol. 378, Issue 6240. P. 1248–1251.
- Fick S. E., Hijmans R. J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // Int. J. Clim. 2017. Vol. 37. P. 4302–4315.
- Haubrock P. J., Turbelin A. J., Cuthbert R. N. et al. Economic costs of invasive alien species across Europe // NeoBiota. 2021. Vol. 67. P. 153–190.
- IndexFungorum. CABI Database. London: The Royal Botanic Gardens Kew, 2023. URL: <https://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 15.01.2023).
- Kirichenko N., Kenis M. Using a botanical garden to assess factors influencing the colonization of exotic woody plants by phyllophagous insects // Oecologia. 2016. Vol. 182. P. 243–252.
- Kirichenko N. I., Karpun N. N., Zhuravleva E. N., Shoshina E. I., Anikin V. V., Musolin D. L. Invasion Genetics of the Horse-Chestnut Leaf Miner, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae), in European Russia: A Case of Successful Involvement of Citizen Science in Studying an Alien Insect Pest // Insects. 2023. Vol. 14. P. 117.
- Kirichenko N., Triberti P., Ohshima I., Haran J., Byun B.-K., Li H., Augustin S., Roques A., Lopez-Vaamonde C. From east to west across the Palearctic: Phylogeography of the invasive lime leaf miner *Phyllonorycter issikii* (Lepidoptera: Gracillariidae) and discovery of a putative new cryptic species in East Asia // PLoS One. 2017. Vol. 12 (2). e0171104.
- Mansfield S., McNeill M. R., Aalders L. T., Bell N. L., Kean J. M., Barratt B. I. P., Boyd-Wilson K., Teulon D. A. J. The value of sentinel plants for risk assessment and surveillance to support biosecurity // NeoBiota. 2019. Vol. 48. P. 1–24.
- Moor N. The EU IAS regulation – Policy and Implementation // Neobiota. 2014. Proc. 8th Intern. Conf. on Biological Invasions: From understanding to action. Antalya, 2014. P. 131.
- Mulenko W., Piatek M., Wolczanska A., Kozłowska M., Ruszkiewicz-Michalska M. Plant parasitic fungi introduced to Poland in modern times. Alien and invasive species // Biol. Invasions in Poland. 2010. Vol. 1. P. 49–71.
- Petrosyan V., Osipov F., Feniova I., Dergunova N., Warshavsky A., Khlyap L., Dzialowski A. The TOP-100 most dangerous invasive alien species in Northern Eurasia: invasion trends and species distribution modeling // NeoBiota. 2023. Vol. 82. P. 23–56.
- Purahong W., Günther A., Gminder A., Tanunchai B., Gossner M. M., Buscot F., Schulze E.-D. City life of mycorrhizal and wood-inhabiting macrofungi: Importance of urban areas for maintaining fungal biodiversity // Landscape and Urban Planning. 2022. Vol. 221. P. 104360.
- Raza M. M., Bebbler D. P. Climate change and plant pathogens // Curr. Opinion in Microbiol. 2022. Vol. 70. 102233.
- Ryvarden L., Melo I. Poroid fungi of Europe. Oslo: Fungi-flora, 2014. 455 p. (Synopsis Fungorum. Vol. 31).

- Shiryaev A. G., Kotiranta H., Mukhin V. A., Stavishenko I. V., Ushakova N. V. Aphyllophoroid fungi of Sverdlovsk region, Russia. Biodiversity, ecology and the IUCN threat categories. Ekaterinburg: Goschitskiy Publ., 2010. 304 p.
- Shiryaev A. G., Zmitrovich I. V., Bulgakov T. S., Shiryaeva O. S., Dorofeyeva L. M. Warming favors the development of rich and heterogeneous mycobiota on alien vines in a boreal city under continental climate // *Forests*. 2022. Vol. 13 (2). P. 323.
- Shiryaev A. G., Zmitrovich I. V., Shiryaeva O. S. Species richness of Agaricomycetes on hedge vines in Ekaterinburg city (Russia) // *Mycol. Phytopathol.* 2021. Vol. 55 (5). P. 340–352.
- Theodorou P. The effects of urbanisation on ecological interactions // *Cur. Opinion in Insect Sci.* 2022. Vol. 52. doi: 10.1016/j.cois.2022.100922
- Volobuev S. V., Bolshakov S. Yu., Khimich Yu. R., Shiryaev A. G., Rebriev Yu. A., Potapov K. O., Popov E. S., Kapitonov V. I., Palamarchuk M. A., Kalinina L. B., Kosolapov D. A., Stavishenko I. V., Perevedentseva L. G., Vlasenko V. A., Ezhov O. N., Kirillov D. V., Botyakov V. N., Palomozhnykh E. A., Botalov V. S., Zvyagina E. A., Dejidmaa T., Leostin A. V., Efimova A. A., Borovichev E. A., Shakhova N. V., Shishigin A. S., Vlasenko A. V., Zmitrovich I. V. New Species for Regional Mycobiotas of Russia. 6. Report 2021 // *Mycol. and Phytopathol.* 2021. Vol. 55 (6). P. 411–422.
- Wang M., Tang X., Sun X., Jia B., Xu H., Jiang S., Siemann E., Lu X. An invasive plant rapidly increased the similarity of soil fungal pathogen communities // *Annals of Botany*. 2021. Vol. 127. P. 327–336.
- World Flora Online. An Online Flora of All Known Plants, 2023. URL: <http://www.worldfloraonline.org> (дата обращения: 19.01.2023).
- Yu H., Wang T., Skidmore A., Heurich M., Bässler C. The critical role of tree species and human disturbance in determining the macrofungal diversity in Europe // *Global Ecol. Biogeogr.* 2021. Vol. 30 (10). P. 2084–2100.
- Yurchenko E. O. The genus *Peniophora* (Basidiomycota) of Eastern Europe. Minsk: Belorusskaya Nauka, 2010. 339 p.

Greenway planning in Ekaterinburg city: unaccounted phytopathological problems of urban strategy project

A. G. SHIRYAEV¹, O. A. KISELEVA²

¹*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Science
620144, Ekaterinburg, 8 Marta str., 202
E-mail: anton.g.shiryaev@gmail.com*

²*Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
620144, Ekaterinburg, 8 Marta str., 202a
E-mail: anton.g.shiryaev@gmail.com*

Annotation: For the first time, the results of studying the long-term dynamics of the phytopathological state of alien tree and shrub plants (hereinafter as ATSP) in Ekaterinburg city (Russia, Ural) are presented. In connection with the active implementation of numerous landscaping programs, including the concept of the Greenway planning of Ekaterinburg city, over the past twenty years, a large number of ATSP seedlings have arrived in the city, which contributes to the penetration of many previously unknown species of alien and pathogenic fungi into the Urals, the number of which increases exponentially. On alien woody substrates, many species of local saprotrophic fungi exhibit pathogenic properties, which also contribute to a sharp increase in the pathogenic activity of urban mycobiota. A number of invasive fungal species cause mass diseases of woody plants and expand their trophic spectrum. Some invasive fungal species are expanding their invasive range into the natural forests. A list of ATSP species resistant to local and alien diseases, which are recommended for greening Ekaterinburg, is given. The applicability of the “sentinel plantations” technique for the early detection and localization of alien phytopathogens is discussed. Recommendations are given for the creation of a four-stage system of phytopathological monitoring of green urban spaces, which will contribute to the protection against penetration and the rapid detection of alien pathogenic fungi before diseases outbreaks.

Key words: biodiversity dynamics, climate change, environmental monitoring, introduction, invasion, pathogenic fungi, sentinel plantations.