

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

ДРОЖЖЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ В ПОЧВАХ НЕКОТОРЫХ ЮЖНЫХ  
ГОРОДОВ РОССИИ (КРАСНОДАР, МАЙКОП, СИМФЕРОПОЛЬ, СОЧИ)

© 2020 г. А. М. Глушак<sup>а, б</sup>, А. В. Качалкин<sup>а, с, \*</sup>, А. Б. Умарова<sup>а</sup>, М. А. Бутылкина<sup>а</sup>,  
А. А. Кокорева<sup>а</sup>, А. Е. Иванова<sup>а, д</sup>, А. Г. Болотов<sup>е</sup>, Е. А. Дунаева<sup>ф</sup>, И. А. Максимова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

<sup>б</sup>НИИ вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова, Москва, 105064 Россия

<sup>с</sup>Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН, Пущино, 142290 Россия

<sup>д</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, 119071 Россия

<sup>е</sup>РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, 127550 Россия

<sup>ф</sup>Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, 295493 Россия

\*e-mail: [kachalkin\\_a@mail.ru](mailto:kachalkin_a@mail.ru)

Поступила в редакцию 13.05.2020 г.

После доработки 16.05.2020 г.

Принята к публикации 29.05.2020 г.

Исследованы численность и видовое разнообразие дрожжевых грибов в почвах южных городов России (Краснодар, Майкоп, Симферополь и Сочи), характеризующихся различной интенсивностью антропогенного воздействия. Для выявления степени антропогенного влияния были также исследованы почвы ботанических садов и фоновые почвы в окрестностях городов. Максимальная численность дрожжевых грибов была выявлена в слое 0–20 см в урбаноземах Сочи и Симферополя и составила  $5.7 \pm 0.2$  и  $5.4 \pm 0.01$  lg (КОЕ/г) соответственно. Минимальная численность дрожжевых грибов  $2.0 \pm 0.1$  lg (КОЕ/г) была характерна для слоя 60–80 см фоновых почв всех городов. Показано, что численность дрожжевых грибов в первую очередь зависела от глубины и типа почвы и в меньшей степени от локации. Всего из исследованных почв было выделено 20 видов дрожжевых грибов: 10 аскомицетов и 10 базидиомицетов. Все выделенные из урбаноземов и контрольных почв базидиомицетовые дрожжи относятся к типичным представителям педобионтного и эпифитного дрожжевых комплексов. В урбаноземах крупных туристических городов Сочи и Симферополя обнаружено высокое относительное обилие аскомицетовых видов *Candida sake* и *Meyerozyma guilliermondii*, что принципиально отличает исследованные почвы от урбаноземов Краснодара и Майкопа. Города Сочи и Симферополь характеризуются большей по сравнению с Краснодаром и Майкопом интенсивностью антропогенной нагрузки, связанной не только с высокой численностью населения, но и со значительной туристической нагрузкой, поэтому обнаружение в урбаноземах видов *C. sake* и *M. guilliermondii*, которые по некоторым данным относятся к клинически значимым, является закономерным.

**Ключевые слова:** урбаноземы, дрожжи, биодиагностика, *Candida sake*, *Meyerozyma guilliermondii*

**DOI:** 10.31857/S0026365620050092

Урбанизированные территории характеризуются глобальными изменениями всех природных компонентов экосистемы, в том числе и почвы. В городах почвенный покров играет как специфическую роль основы для городской инфраструктуры, так и выполняет разнообразные экологические функции: обеспечение функционирования зеленых насаждений, поглощение загрязняющих веществ и препятствие их проникновению в почвенно-грунтовые воды и атмосферу и т.д. Городские почвы, являясь одним из главных элементов регулирования качества окружающей среды, требуют детального и углубленного изучения их

свойств и режимов как в связи с теоретической, так и с практической значимостью.

Постоянным и обязательным элементом почвенного покрова являются микробные сообщества, которые играют ключевую роль в круговороте веществ в природе и определяют состояние других компонентов экосистемы (Добровольский и соавт., 2011; Добровольская и соавт., 2015). Дрожжевые грибы являются неотъемлемой составляющей всех почвенных микробных комплексов различных географических зон и типов почв, включая почвы городских территорий (Botha, 2011; Чернов, 2013; Yurkov et al., 2015; Yurkov, 2017; Тепеева и соавт., 2018а; Тепеева и со-

авт., 2018б). В зональных почвах умеренных широт дрожжевое население представлено в основном базидиомицетовыми видами и родами: *Apiotrichum* (*A. porosum*, *A. dulcitum*), *Goffeauzyma gastrica*, *Naganishia* (*N. adeliensis*, *N. albida*), *Papiliotrema terrestris*, *Saitozyma podzolica*, *Solicoccozyma* (*S. aerea*, *S. terrea*, *S. terricola*), *Tausonia pullulans*, а также аскомицетами из родов *Cyberlindnera*, *Schwanniomyces*, *Barnettozyma*. Кроме того, из почв регулярно выделяются эпифитные дрожжевые грибы из родов *Filobasidium* (*F. magnum*, *F. wieringae*), *Rhodotorula* (*Rh. babjevae*, *Rh. mucilaginoso*), *Rhodosporidiobolus* (*R. colostri*), *Sporobolomyces* (*Sp. roseus*), которые попадают в почву вместе с растительными остатками (Botha, 2011; Чернов, 2013; Yurkov, 2017). В почвах дрожжи участвуют в деструкции органических веществ, в процессах биогеохимической трансформации минеральных элементов (Чернов, 2013). Дрожжевые грибы играют значимую роль в формировании физико-химических свойств почв: в создании почвенной структуры, в синтезе специфических внеклеточных полисахаридов, во влиянии на обмен ионов в почве, на ее водоудерживающую способность и плодородие, участвуют в процессах продукции физиологически активных веществ в почве и т.д. (Vishniac, 1995; Bronick, Lal, 2004; Ларионов и соавт., 2018; Streletskii et al., 2019).

В связи с возрастающим в последние годы значением актуальности вопросов экологической безопасности и устойчивости природных компонентов в урбоэкосистемах, все чаще в работах отечественных и зарубежных исследователей почвенной биоты затрагиваются вопросы структурных и функциональных трансформаций сообществ почвенных микроорганизмов и беспозвоночных в зависимости от различного по качеству и интенсивности антропогенного воздействия (Bååth, 1989; Šmejkalová et al., 2003; Марфенина, 2005; Newbound et al., 2010; Ашихмина и соавт., 2018; Лысак, Лапыгина, 2018; Глушакова и соавт., 2021). При этом дрожжевой компонент почвенных микробных сообществ в условиях городской среды остается практически не изученным. Единственным мегаполисом в России, в котором проводились мониторинговые исследования дрожжевых группировок, является крупнейший по численности населения и один из самых загрязненных субъектов РФ город Москва (Тепеева и соавт., 2018а). Результатом этой работы стала оценка общей численности и видового разнообразия дрожжей в гумусовом горизонте городских почв различных локаций в городе. Оказалось, что численность дрожжевых грибов в почве заметно меняется в течение года не только под воздействием сезонных колебаний значений факторов окружающей среды и микроклиматических показателей, но также существенно трансформируется под воздействием антропогенных условий, таких как повышение температуры почвы в районе теп-

лотрасс, наличие хозяйственно-бытовых загрязнений, автотранспортного загрязнения, типа землепользования (Тепеева и соавт., 2018а; Тепеева и соавт., 2018б).

В связи с очевидной необходимостью реализации концепции устойчивого развития урбоэкосистем, существует потребность в расширении географии исследования трансформаций различных природных почвенных и растительных сообществ в условиях антропогенеза. Вследствие этого целью данного исследования являлась попытка дать характеристику микробных дрожжевых комплексов урбаноземов на территории некоторых южных городов (Краснодар, Майкоп, Симферополь, Сочи), различающихся по почвенно-климатическим характеристикам, величине, численности населения и интенсивности антропогенной нагрузки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Образцы почв.** Исследовали образцы урбаноземов, отобранные на территории Краснодара, Майкопа, Симферополя и Сочи. Для исследования были выбраны почвы, расположенные на внутренних дворовых территориях образовательных и научных учреждений с основными постройками зданий в 1950–70-е гг. Почвы данных территорий представляли собой урбаноземы с включениями хозяйственно-бытовых и строительных материалов, и одновременно, они имели признаки зональности и специфики отложений, на которых данные почвы были сформированы. Для простоты изложения результатов нашего исследования все типичные городские почвы, имеющие значительную степень антропогенной трансформации, в этой статье названы нами “урбаноземы”. С одной стороны, этот термин, введенный для определенного типа почв (Добровольский и соавт., 1997), уже давно используется для обозначения всех почв, на формирование которых активно повлияла селитебная среда. С другой стороны, все почвы, объединенные нами под этим названием, имеют в своем профиле диагностический горизонт урбик (Прокофьева и соавт., 2014). Подробные названия даны в соответствии с классификацией и диагностикой почв России (Шишов и соавт., 2004) и с проектом группы авторов введения городских почв в эту классификацию (Прокофьева и соавт., 2014). Так, в Краснодаре они представлены урбо-черноземом на карбонатных лессовидных суглинках (WRB – Calcic Chernozem (Technic)), в Майкопе – урбостратоземом техногенным, подстилаемым аллювием речных террас (по WRB – Urbic Technosol), в Симферополе – темногумусовой на техногенных отложениях (WRB – Urbic Technosol), в Сочи – урбостратоземом, подстилаемым бетонной плитой (WRB – Isolatic Urbic Technosol).

Для контроля фоновой антропогенной нагрузки в городской среде следующая группа объектов исследования представлена почвами ботанических садов, расположенных в центральных районах Краснодара, Симферополя, Сочи. Они представлены следующими почвами: чернозем тяжелосуглинистый на карбонатных лессовидных суглинках (WRB – Calcic Chernozem), стратозем темногумусовый на щебнистом делювии (WRB – Skeletic Regosol) и желтозем глееватый галечниковый (WRB – Stagnic Alisol) соответственно.

В качестве фоновой почвы выбирались почвы территорий в нескольких километрах от городской черты. Для Краснодара фоновая почва представлена агрочерноземом на карбонатных лессовидных суглинках (WRB – Calcic Chernozem), для Майкопа – темной слитой почвой на отложениях речной террасы (WRB – Leptic Vertisol) и в Симферополе – агрочерноземом на гравелистом делювии (WRB – Gleyic Chernozem).

Отбор почвенных образцов проводили в 2019 году в летне-осенний период на глубинах: 0–10, 30–50 и 60–70 см.

Всего было проанализировано 49 смешанных образцов.

**Численность и видовой состав дрожжевого населения** определяли с помощью прямого метода посева. Из каждого образца брали 10 навесок массой около 1 г, помещали в пробирки и заливали стерильной водой для получения разведения 1 : 10. Полученные суспензии в шестикратной повторности высевали на глюкозо-пептонно-дрожжевую среду (ГПДА) (глюкоза – 20 г/л, пептон – 10 г/л, дрожжевой экстракт – 5 г/л, агар – 20 г/л) с добавлением хлорамфеникола (500 мг/л) для предотвращения роста бактерий. Посевы инкубировали параллельно при температуре 25°C и при 37°C в течение 5–7 сут. Выросшие колонии дрожжей с помощью бинокулярной лупы разделяли на морфологические типы и подсчитывали число колоний каждого типа. Представители каждого типа колоний были выделены в чистую культуру.

Видовую идентификацию дрожжевых грибов проводили на основе анализа нуклеотидной последовательности ITS региона рДНК. Выделение ДНК и постановку ПЦР проводили по ранее описанной методике (Глушаклова, Качалкин, 2017). Секвенирование ДНК проводили с помощью набора реактивов Big Dye Terminator V3.1 Cycle Sequencing Kit (“Applied Biosystems”, США) с последующим анализом продуктов реакции на секвенаторе Applied Biosystems 3130xl Genetic Analyzer в ЗАО “Евроген” (Москва). Для секвенирования был использован праймера ITS5 (5'-GGA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G). Идентификацию дрожжей на основании полученных результатов секвенирования проводили, используя данные генбанка NCBI

(www.ncbi.nlm.nih.gov) и базы данных MycoID (www.mycobank.org). Полученные нуклеотидные последовательности размещены в генбанке NCBI (MT502776–MT502795).

**Статистическую обработку** полученных результатов проводили, используя пакет STATISTICA 10 (StatSoft).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя численность дрожжевых грибов уменьшалась в ряду урбаноземы–почвы ботанических садов–почвы в пригороде во всех городах (Краснодар, Майкоп, Симферополь и Сочи). Максимальная численность дрожжевых грибов была выявлена в слое 0–20 см в исследованных урбаноземах. В Сочи она составила  $5.7 \pm 0.18$  lg (КОЕ/г), в Симферополе –  $5.4 \pm 0.01$  lg (КОЕ/г), в Краснодаре и Майкопе –  $4.03 \pm 0.03$  и  $4.02 \pm 0.09$  lg (КОЕ/г) соответственно. Минимальная численность дрожжевых грибов,  $2.0 \pm 0.07$  lg (КОЕ/г) была характерна для слоя 60–80 см почв в окрестностях городов Краснодар, Майкоп и Симферополь, а также для аналогичного слоя в урбаноземе в Краснодаре (рис. 1). Тренд численности бактерий сапротрофного комплекса в этом же ряду почв южных городов носил аналогичный характер (Глушаклова и соавт., 2021). Таким образом, показатели численности дрожжей в почвах южных городов характеризуются общей спецификой, состоящей в снижении плотности популяций микроорганизмов при переходе от почв города к пригороду.

Вниз по профилю исследованных урбаноземов и контрольных почв численность дрожжевых грибов закономерно снижалась (рис. 1).

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа показали, что численность дрожжевых грибов наиболее достоверно зависит от глубины отбора образца (критерий Фишера 49.40) и типа почвы (критерий Фишера 24.12) и в меньшей степени от локации (критерий Фишера 8.87). Следовательно, наиболее существенный вклад в формирование структуры комплексов дрожжевых грибов в исследованных почвах вносит именно почвенный горизонт.

Всего из исследованных почв было выделено 20 видов дрожжевых грибов – 10 аскомицетов и 10 базидиомицетов (табл. 1). Все выделенные из урбаноземов и контрольных почв базидиомицетовые дрожжи относятся к типичным представителям педобионтного и эпифитного дрожжевых комплексов и характерны для лесных и луговых почвенно-растительных сообществ дрожжевых грибов умеренного климата (Wójcik et al., 2013). Среди обнаруженных аскомицетовых дрожжей некоторые виды больше ассоциированы с почвой – *Barnettozyma californica*, *Candida* sp. (сходство 100% по ITS региону рДНК со штаммов NY7122 (Gen-

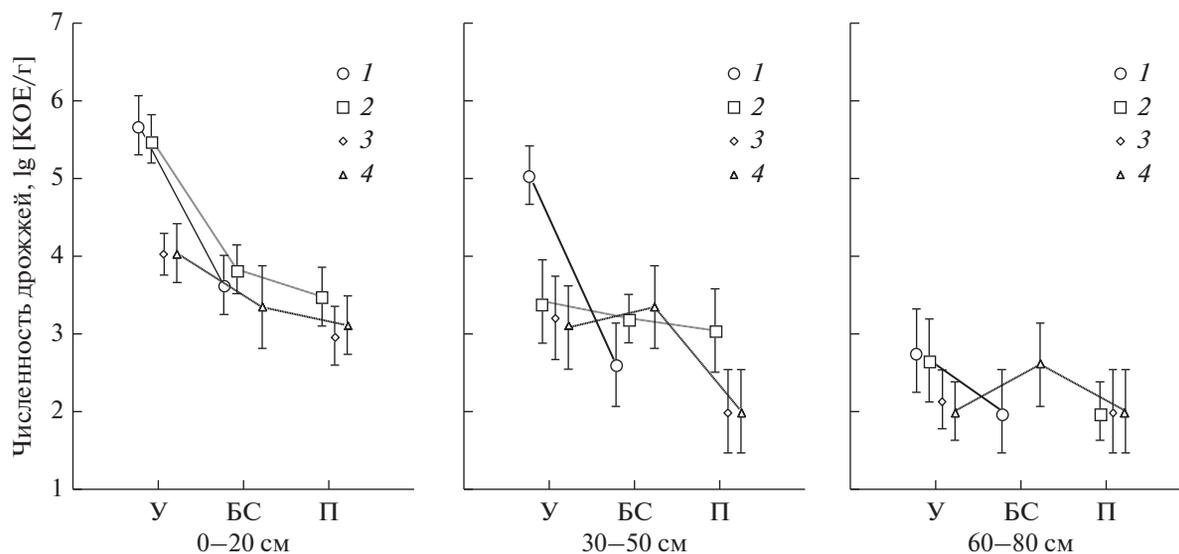


Рис. 1. Численность дрожжевых грибов в почвах исследованных городов: 1 – г. Сочи, 2 – г. Симферополь, 3 – г. Майкоп, 4 – г. Краснодар (по слоям); У – урбанозем, БС – ботанический сад, П – почва в пригороде.

Bank AB663086) из почвы в Японии, *Cyberlindnera misumaiensis*, другие чаще встречаются на растительных субстратах (*Debaryomyces fabryi*) (Kurtzman et al., 2011). Среди выделенных аскомицетовых видов дрожжевых грибов два вида, *Candida sake* и *Meyerozyma guilliermondii*, относятся по некоторым данным к клинически значимым грибам (Hoegl et al., 1998; Pârву et al., 2019). Они принимают участие в формировании кандидозной инфекции у людей, прежде всего, с пониженным иммунным статусом. Их выявленное относительное обилие было высоким в урбаноземах Сочи и Симферополя в слое 0–20 см (24.47 и 15.33% соответственно в Сочи и 18.67 и 12.74% – в Симферополе).

Дополнительное опасение вызывает тот факт, что у многих природных штаммов оппортунистических дрожжей родов *Candida* и *Meyerozyma*, в том числе и тех, которые выделяют из городских почв, все чаще за последнее время обнаруживается резистентность к широко применяемым антибиотикам. По нашим данным, устойчивость клинически важных штаммов рода *Candida*, выделенных из почвенных и растительных субстратов в Московской агломерации, выросла за последние 5 лет на 14% (Глушакова и соавт., 2017).

Города Сочи и Симферополь относятся к крупным городам с численностью населения 350–400 тыс. человек, которая в летний период, с учетом туристической нагрузки, достигает 3–5 млн. Высокая численность населения в городах сопровождается возрастанием количества бытовых отходов, а также зон их размещения. Именно эти зоны являются главными локусами развития потенциально патогенных и аллергенных видов дрожжей в городе (Тепеева и соавт., 2018a).

Изучение разнообразия дрожжевых комплексов городских почв представляет значительный интерес не только с точки зрения фундаментальной науки, но и в практическом отношении, вследствие важной роли микроорганизмов в создании и поддержании устойчивости городских экосистем, а также с точки зрения изучения микроорганизмов, которые могут прямо или косвенно оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье городского населения. Известна биоиндикационная роль дрожжей в различных компонентах окружающей среды, в том числе и почвы. Клинически важные виды родов *Candida* и *Meyerozyma* считают индикатором состояния окружающей среды и антропогенной нагрузки (Hagler, 2006). В городских экосистемах, где создается специфический микроклимат, характеризующийся более высокой температурой, наличием значительного количества точечных источников загрязнения с богатым и более разнообразным комплексом питательных веществ по сравнению с зональными почвенно-растительными субстратами, может происходить стимуляция развития синантропных клинически важных видов дрожжей, что характерно и для многих городов Европы, США и Африки (Newbound et al., 2010; Mortenson et al., 2013; Wójcik et al., 2013; Kangogo et al., 2014). Следовательно, необходимо еще раз подчеркнуть, что дрожжевые грибы являются важным объектом индикации качества почвы при мониторинге экологических показателей. Однако для обеспечения полноты биологической оценки качества почв с использованием зимологических критериев требуются дальнейшие исследования характеров и темпов изменения дрожжевой микобиоты в различных географических регионах и локациях.

**Таблица 1.** Среднее относительное обилие (%) видов дрожжевых грибов, выделенных из урбаноземов и контрольных почв Сочи, Симферополя, Майкопа и Краснодара

Виды дрожжей	Урбаноземы				Почвы ботанических садов			Почвы пригорода		
	1*	2	3	4	1	2	4	2	3	4
<b>Аскомицеты</b>										
<i>Barnettozyma californica</i> (Lodder) Kurtzman, Robnett & Basehoar-Power	—	—	—	3.78	—	—	8.60	—	—	22.78
<i>Candida fluviatilis</i> L.R. Hedrick	—	—	—	—	—	—	6.23	—	—	—
<i>Candida membranifaciens</i> (Lodder & Kreger-van Rij) Wick. & Burton	1.90	2.06	—	—	—	—	—	1.20	—	—
<b><i>Candida sake</i></b> (Saito & Oda) van Uden & H.R. Buckley	<b>24.47</b>	<b>18.67</b>	—	—	<b>5.42</b>	<b>16.80</b>	—	—	—	—
<i>Candida</i> sp.	—	—	—	9.38	—	—	7.87	—	—	8.05
<i>Cyberlindnera misumaiensis</i> (Y. Sasaki & Tak. Yoshida ex Kurtzman) Minter	4.23	—	7.08	—	—	—	—	—	—	—
<i>Debaryomyces fabryi</i> M. Ota	—	—	—	5.48	—	—	6.87	—	—	2.53
<b><i>Meyerozyma guilliermondii</i></b> (Wick.) Kurtzman & M. Suzuki	<b>15.33</b>	<b>12.74</b>	3.75	—	<b>17.35</b>	<b>5.88</b>	—	<b>2.63</b>	—	—
<i>Schwanniomyces capriottii</i> M. Suzuki & Kurtzman	—	—	—	10.78	—	—	5.20	—	—	—
<i>Schwanniomyces occidentalis</i> Klöcker	19.42	0.40	—	27.90	—	—	13.33	—	—	—
<b>Базидиомицеты</b>										
<i>Apiotrichum porosum</i> Stautz	—	—	—	12.97	—	—	16.13	—	—	32.87
<i>Bullera alba</i> (W.F. Hanna) Derx	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.55
<i>Cystofilobasidium capitatum</i> (Fell, I.L. Hunter & Tallman) Oberw. & Bandoni	—	—	—	—	—	—	5.77	—	—	1.77
<i>Cystofilobasidium infirmominiatum</i> (Fell, I.L. Hunter & Tallman) Hamam., Sugiy. & Komag.	—	—	—	—	—	—	4.53	—	—	—
<i>Rhodotorula graminis</i> Di Menna	—	—	—	3.93	—	—	6.17	—	—	6.90
<i>Rhodospordiobolus colostri</i> (T. Castelli) Q.M. Wang, F.Y. Bai, M. Groenew. & Boekhout	—	—	—	6.58	—	—	9.50	—	—	8.17
<i>Solicoccozyma aerea</i> (Saito) Yurkov	1.43	—	89.17	3.60	13.33	3.20	6.37	5.47	97.57	13.33
<i>Solicoccozyma terrea</i> (Di Menna) Yurkov	33.22	66.13	—	—	63.90	74.12	—	90.70	2.43	—
<i>Sporobolomyces roseus</i> Kluyver & van Niel	—	—	—	—	—	—	1.83	—	—	0.65
<i>Tausonia pullulans</i> (Lindner) X.Z. Liu, F.Y. Bai, M. Groenew. & Boekhout	—	—	—	15.58	—	—	1.60	—	—	2.40

\* 1 – Сочи; 2 – Симферополь; 3 – Майкоп; 4 – Краснодар.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-05252 мк.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит результатов каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Широких И.Г., Широких А.А., Фокина А.И., Скугорева С.Г., Горностаева Е.А., Соловьёва Е.С., Товстик Е.В., Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязнённых почв / Под общ. ред. Ашихминой Т.Я. и Домрачевой Л.И. Киров: Науч. изд-во ВятГУ, 2018. 254 с.
- Глушакова А.М., Качалкин А.В., Ахапкина И.Г. Мониторинг чувствительности к антимикотикам природных штаммов и клинических изолятов дрожжевых грибов // Клиническая лабораторная диагностика. 2017. Т. 62. № 5. С. 296–300.
- Глушакова А.М., Качалкин А.В. Эндофитные дрожжи в сочных плодах *Malus domestica* и *Pyrus communis* в условиях антропогенезации // Микробиология. 2017. Т. 86. С. 114–122.
- Glushakova A.M., Kachalkin A.V. Endophytic yeasts in *Malus domestica* and *Pyrus communis* fruits under anthropogenic impact // Microbiology (Moscow). 2017. V. 86. P. 128–135.
- Глушакова А.М., Лысак Л.В., Умарова А.Б., Прокофьева Т.В., Подушин Ю.В., Быкова Г.С., Малокова Л.П. Бактериальные комплексы урбанизированных почв южных городов России // Почвоведение. 2021. (в печати).
- Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. Т. 48. С. 1087–1096.
- Dobrovol'skaya T.G., Zvyagintsev D.G., Chernov I.Yu, Golovchenko A.V., Zenova G.M., Lysak L.V., Manucharova N.A., Marfenina O.E., Polyanskaya L.M., Stepanov A.L., Umarov M.M. The role of microorganisms in the ecological functions of soils // Euras. Soil Sci. 2015. V. 48. P. 959–967.
- Добровольский Г.В., Строганова М.Н., Прокофьева Т.В., Стриганова Б.Р., Яковлев А.С. Почва, город, экология. М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. 320 с.
- Добровольский Г.В., Чернов И.Ю., Бобров А.А., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Онищенко В.Г., Гонгалевский К.Б., Зайцев А.С., Терехова В.А., Соколова Т.А., Терехин В.Г., Шмарикова Е.В., Чернова О.В. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.
- Ларионов Г.А., Бушуева О.Г., Горобец А.В., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Максимова И.А., Судницын И.И. Экспериментальное исследование факторов, влияющих на эродруемость почв // Почвоведение. 2018. Т. 51. С. 347–356.
- Larionov G.A., Bushueva O.G., Gorobets A.V., Dobrovol'skaya N.G., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Litvin L.F., Maksimova I.A., Sudnitsyn I.I. Experimental study of factors affecting soil erodibility // Euras. Soil Sci. 2018. V. 51. P. 336–344.
- Лысак Л.В., Лапыгина Е.В. Разнообразие бактериальных сообществ городских почв // Почвоведение. 2018. Т. 51. С. 1108–1114.
- Lysak L.V., Lapygina E.V. The diversity of bacterial communities in urban soils // Eurasian Soil Sci. 2018. V. 51. P. 1050–1056.
- Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
- Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. Т. 47. С. 1155–1164.
- Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system // Euras. Soil Sci. 2014. V. 47. P. 959–967.
- Тепеева А.Н., Глушакова А.М., Качалкин А.В. Особенности дрожжевых сообществ почв города Москвы // Микробиология. 2018а. Т. 87. С. 303–313.
- Tepeeva A.N., Glushakova A.M., Kachalkin A.V. Yeast communities of the Moscow city soils // Microbiology (Moscow). 2018a. V. 87. P. 407–415.
- Тепеева А.Н., Глушакова А.М., Качалкин А.В. Влияние городских теплотрасс на дрожжевые сообщества урбанизированных почв // Почвоведение. 2018б. Т. 51. С. 486–492.
- Tepeeva A.N., Glushakova A.M., Kachalkin A.V. The influence of heating mains on yeast communities in urban soils // Euras. Soil Sci. 2018b. V. 51. P. 460–466.
- Чернов И.Ю. Дрожжи в природе. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 336 с.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
- Våth E. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review) // Water Air Soil Pollut. 1989. V. 47. P. 335–379.
- Botha A. The importance and ecology of yeasts in soil // Soil Biol. Biochem. 2011. V. 43. P. 1–8.
- Bronick C.J., Lal R. Soil structure and management // Geoderma. 2004. V. 124. P. 3–22.
- Hagler A.N. Yeasts as indicators of environmental quality // Biodiversity and ecophysiology of yeasts. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2006. P. 515–532.
- Hoegl L., Schöniat G., Ollert M., Korting H.C. *Candida sakei*: a relevant species in the context of HIV-associated oropharyngeal candidiasis // Mycoses. 2011. V. 54. P. 1–8.

- ryngeal candidosis? // *J. Mol. Med. (Berl)*. 1998. V. 76. P. 70–73.
- Kangogo M., Boga H., Wanyoike W., Bii C. Isolation and characterisation of *Cryptococcus neoformans* and *Cryptococcus gattii* from environmental sources in Nairobi, Kenya // *East Afr. Med. J.* 2014. V. 91. P. 281–285.
- Kurtzman C.P., Fell J.W., Boekout T. Eds. *The Yeasts: A Taxonomic Study*. Amsterdam: Elsevier Science, 2011. 2080 p.
- Mortenson J.A., Bartlett K.H., Wilson R.W., Lockhart S.R. Detection of *Cryptococcus gattii* in selected urban parks of the Willamette Valley, Oregon // *Mycopathologia*. 2013. V. 175. P. 351–355.
- Newbound M., Mccarthyab M.A., Lebelc T. Fungi and the urban environment: A review // *Landsc Urban Plan*. 2010. V. 96. Is. 3. P. 138–145.
- Pârvu M., Moț C.A., Pârvu A.E., Mircea C., Stoeber L., Roșca-Casian O., Țigu A.B. *Allium sativum* extract chemical composition, antioxidant activity and antifungal effect against *Meyerozyma guilliermondii* and *Rhodotorula mucilaginosa* causing onychomycosis // *Molecules*. 2019. V. 24. pii: E3958. <https://doi.org/10.3390/molecules24213958>
- Šmejkalová M., Mikanová O., Borůvka L. Effects of heavy metal concentrations on biological activity of soil microorganisms // *Plant Soil Environ*. 2003. V. 49. P. 321–326.
- Streletskii R.A., Kachalkin A.V., Glushakova A.M., Yurkov A.M., Demin V.V. Yeasts producing zeatin // *PeerJ*. 2019. V. 7. e6474.
- Vishniac H.S. Simulated in situ competitive ability and survival of a representative soil yeasts, *Cryptococcus albidus* // *Microb. Ecol*. 1995. V. 30. P. 309–320.
- Wójcik A., Kurnatowski P., Błaszczowska J. Potentially pathogenic yeasts from soil of children's recreational areas in the city of Łódź (Poland) // *Int. J. Occup. Environ. Health*. 2013. V. 26. P. 477–487.
- Yurkov A. Yeasts in forest soils. Yeasts in Natural Ecosystems: Diversity / Eds. Buzzini P., Lachance M.-A., Yurkov A. Springer, 2017. P. 88–116.

## Yeast Complexes in Urban Soils of Some Southern Cities of Russia (Krasnodar, Maykop, Simferopol, and Sochi)

A. M. Glushakova<sup>1,2</sup>, A. V. Kachalkin<sup>1,3,\*</sup>, A. B. Umarova<sup>1</sup>, M. A. Butylkina<sup>1</sup>, A. A. Kokoreva<sup>1</sup>, A. E. Ivanova<sup>1,4</sup>, A. G. Bolotov<sup>5</sup>, E. A. Dunaeva<sup>6</sup>, and I. A. Maksimova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

<sup>2</sup>Mechnikov Research Institute of Vaccines and Sera, Moscow, 105064 Russia

<sup>3</sup>Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia

<sup>4</sup>Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia

<sup>5</sup>Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, 127550 Russia

<sup>6</sup>Research Institute of Crimean Agriculture, Simferopol, 295493 Russia

\*e-mail: kachalkin\_a@mail.ru

Received May 13, 2020; revised May 24, 2020; accepted May 29, 2020

Yeast abundance and species diversity in urban soils characterized by various intensities of anthropogenic impact in the southern cities of Russia (Krasnodar, Maykop, Simferopol, and Sochi) was investigated. The soils of botanical gardens and the reference soils in the vicinities of cities were used for comparison to reveal the degree of anthropogenic impact. The maximum yeast abundance was found in a layer of 0–20 cm in the urban soils of Sochi and Simferopol, where it was  $5.7 \pm 0.2$  and  $5.4 \pm 0.01$  log (CFU/g), respectively. The minimum abundance of yeasts,  $2.0 \pm 0.1$  log (CFU/g), was characteristic of a 60–80-cm layer in the soils in the vicinities of all cities. The abundance of yeasts was shown to depend primarily on the depth and type of soil and to a lesser extent on location. A total of 20 yeast species were isolated from the studied soils: 10 ascomycetes and 10 basidiomycetes. All basidiomycete yeasts isolated from urban soils and control soils were typical representatives of pedobiont and epiphytic yeast complexes. In the soils of the major tourist cities of Sochi and Simferopol, a high relative abundance of ascomycete species *Candida sake* and *Meyerozyma guilliermondii* was found, which fundamentally distinguished the studied soils from the ones of Krasnodar and Maykop. The cities of Sochi and Simferopol are characterized by a higher anthropogenic load compared to Krasnodar and Maykop, which is associated not only with their high population, but also with a significant tourist load. Detection in urban soils of *C. sake* and *M. guilliermondii* which, according to some data, are clinically significant, was therefore consequential.

**Keywords:** urban soils, yeasts, biodiagnostics, *Candida sake*, *Meyerozyma guilliermondii*