

## ГРИБЫ В ИСТОЧНИКАХ ГРУНТОВЫХ ВОД И КОЛОДЦАХ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

© 2024 г. А. В. Кураков\*,<sup>®</sup>, А. А. Шумакова\*, М. Д. Федорова\*

\*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, биологический факультет,  
ул. Колмогорова, 1 строение 12, Москва, 119234 Россия

<sup>®</sup>E-mail: kurakov57@mail.ru

Поступила в редакцию 13.02.2023 г.

После доработки 03.04.2023 г.

Принята к публикации 03.04.2023 г.

Культуральным методом определена численность, видовой состав и таксономическая структура грибной биоты в грунтовых водах нескольких природных источников и колодцев в Московском регионе. Число колониеобразующих единиц (КОЕ) грибов в 1 л воды – невысокое, в среднем от 10 до 300. Из воды одного источника или колодца изолировали 6–16 видов, а всего из 6 таких объектов – 46 видов. Это были представители отдела Mucoromycota класса Mucoromycetes (*Abisidia cylindrospora* var. *nigra*, *Mucor circinelloides*, *M. hiemalis*, *Rhizopus stolonifer*), Ascomycota классов Eurotiomycetes (15 видов родов *Aspergillus* и *Penicillium*), Sordariomycetes (13 видов родов *Acremonium*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Myrothecium*, *Plectosphaerella*, *Trichoderma*), Dothideomycetes (*Alternaria alternata*, *A. nobilis*, *Amorcoelophoma cassia*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. sphaerospermum*) и Saccharomycetes (*Candida solani*, *C. zeylanoides*, *Galactomyces pseudocandidus*) и отдела Basidiomycota классов Tremellomycetes (*Mrkakia gelida*, *Vishniacozyma victoriae*) и Agaricomycetes (*Phlebia acerina*, *Psathyrella candolleana*, *Thanatephorus cucumeris*). Таксономическая структура микобиоты в водах природных источников и колодцев Московского мегаполиса была в целом сходна с таковой в грунтовых водах других регионов, в том числе с выявленной в подземных водах на глубинах в несколько сотен метров. Обсуждены механизмы адаптации грибов к существованию в грунтовой воде, пути контаминации и необходимость микологических критериев для оценки качества.

**Ключевые слова:** грибы, видовое разнообразие, таксономическая структура, грунтовая вода, пресноводные источники, колодцы, микологический критерий

**DOI:** 10.31857/S1026347024010053, **EDN:** LTFZSE

Видовой состав и численность грибов в подземных водах, в их природных источниках (ключая родники, колодцах) изучены намного хуже, чем в поверхностных водоемах (озерах, реках, морях) (Воронин, 2013; Пивкин и др., 2006; Jones *et al.*, 2014; Babič *et al.*, 2016, 2017). В то же время знания о разнообразии и плотности популяций грибных организмов необходимы как с научной, так и с практической точки зрения, как правило, в связи с их использованием без какой-либо предварительной подготовки для питья и приготовления пищи (Arvanitidou *et al.*, 1999; Göttlich *et al.*, 2002; Hageskal *et al.*, 2007; Babič *et al.*, 2016, 2017).

Согласно прогностическим расчетам разнообразие грибов в пресных поверхностных водоемах и подземных водах не менее 20 000 видов, а известно только около 5% от их действительного разнообразия (Gessner, van Ruyckegem, 2003; Jones *et al.*, 2014).

Недооценено видовое богатство микобиоты грунтовых вод в первую очередь в связи со слабой

изученностью, одной из причин этого является отсутствие в санитарно-эпидемиологических нормативах для оценки качества питьевой воды каких-либо грибных показателей (количественных и/или качественных). Это относится к водозаборным водоемам, подземным грунтовым водам, колодцам, природным источникам, системам городского и больничного водоснабжения (Göttlich *et al.*, 2002; Hageskal *et al.*, 2007; Yamaguchi *et al.*, 2007). Такая ситуация сложилась в подавляющем большинстве стран, включая Россию. Поэтому, видимо, столь мало работ по оценке состава и численности грибной биоты в сравнении с исследованиями питьевой воды по физико-химическим и микробиологическим параметрам. Данные по грибной биоте отсутствуют даже для природных источников грунтовых вод в регионах крупных мегаполисов. Для оценки качества питьевой воды давно используют разнообразные физико-химические показатели (мутность, цвет, запах, привкус,

рН, содержание нефтепродуктов, ПАВ, неорганических и органических соединений, нитратов, нитритов, тяжелых металлов), до 36 параметров (СанПиН 2.1.3684-21; СанПиН 1.2.3685-21). Принят ряд микробиологических критериев: общее микробное число не допускается более 50 колониеобразующих единиц (КОЕ) в 100 см<sup>3</sup> и не должно быть колиформных бактерий и термотолерантных колиформных бактерий в 100 см<sup>3</sup> воды (СанПиН 2.1.3684-21; СанПиН 1.2.3685-21).

Вместе с тем известно, что существуют грибы, которые способны придать воде неприятный привкус и запах и продуцировать аллергены и микотоксины (Sammon, Nargrower, 2008). Все большее признание получают факты, что споры, переносимые водой, могут быть причиной инвазивных оппортунистических грибных инфекций у пациентов с ослабленным иммунитетом (Anaissie *et al.*, 2003; Sammon, Nargrower, 2008; Sammon *et al.*, 2011). Один из путей привлечь внимание к этой проблеме — активное исследование состава и плотности популяций грибов в питьевой воде в разных регионах и странах, что позволит разработать критерии микологического контроля воды. Планировавшееся включение микроспоридий в показатели качества воды в США не было реализовано (Babič *et al.*, 2017). В Чехии и Венгрии рекомендуют проводить микроскопию водных проб после их концентрирования фильтрованием для выявления общего числа клеток эукариот и цианобактерий (Babič *et al.*, 2017). Пока количественные микологические показатели качества воды по оценке КОЕ грибов имеются только в Швеции (Hageskal *et al.*, 2007; Babič *et al.*, 2017).

Целью работы было изучение видового разнообразия и численности грибов в источниках грунтовых вод и колодцев, используемых для питья, которые расположены на территории Москвы и Московской области.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы пресной грунтовой воды были отобраны из колодцев и природных источников (выходов грунтовой воды на поверхность): общественного колодца в деревне Аладьино Серпуховского района Московской области (МО), частного колодца (закрытого от внешней среды и редко используемого) в садовом товариществе (СНТ) “Тарасково” Наро-Фоминского района Московской области, в источнике в городе Мытищи Московской области, источнике “Кадочка” в парке “Коломенское” в Голосовом овраге (г. Москва), источнике в усадьбе “Знаменское-Садки”, где расположен ФГБУ “ВНИИ Экология” (г. Москва), и источнике в Битцевском парке в Москве. Отбор воды проводили в стерильные стеклянные емкости объемом 0,5–2 л (в 3 повторностях). Отбирали также грунт со дна источников в местах выхода грунтовой воды

на поверхность почвы. Температура воды в источниках и колодцах в период отбора проб (июнь — июль 2021 г.) была +5...+8°C, воздуха +22...+31°C днём и +16...+19°C ночью.

Пробы воды транспортировали в лабораторию в термосумке с охлаждающими элементами и хранили в холодильнике при +5...+8°C. Посевы на питательные среды проводили в те же или на следующие сутки. Оборудование для отбора проб соответствовало рекомендуемому ГОСТу 31942–2012.

Посев проводили на стандартные среды сусло-агар и Чапек-агар. Для подавления роста бактерий в расплавленную остывшую среду добавляли антибиотик цефотаксим в количестве 50 мг на 500 мл среды. Выделение чистых культур из появляющихся колоний начинали после трех-пяти суток инкубации чашек и продолжали в течение 2–3 недель. Посев из грунта проводили путем нанесения его комочков на поверхность среды стерильным ланцетом и сверху дополнительно посыпали порошком цефотаксима.

Проводили глубинный посев воды в аликвотах 0,5, 1, 2 и 3 мл в стерильные чашки Петри, после чего в них заливали питательную среду и обрачивали пленкой для предохранения контаминации среды и высыхания. При таком посеве на большинстве чашек отсутствовали колонии грибов. Только в редких случаях на 1–2 чашках из 10 вырастали одна-две колонии вне зависимости от источника и колодца. Поэтому изучение состава и численности КОЕ грибов в этих объектах было продолжено путем фильтрации воды для концентрации грибных пропагул на фильтрах. Использовали целлюлозные фильтры (синяя лента, диаметр пор 2–3 мкм), а также мембранные фильтры из нитрата целлюлозы (поры 0,45 мкм) в шприце (производство Millipore, Germany). Фильтр (синяя лента) помещали на стеклянную воронку, которая была вставлена в колбу, закрывали сверху стерильной фильтровальной бумагой и профильтровывали нужный объем воды, установленный в предварительных экспериментах (как правило, 100 или 250 мл, реже 0,5 и 0,75 л). При таком посеве число колоний в чашках было оптимальное — в подавляющем большинстве случаев в диапазоне 7–20.

Фильтры разрезали простерилизованными в пламени газовой горелки ножницами на 4 равные части или же использовали целиком, если они были малого размера, и помещали на поверхность питательных сред. Проводили также посевы из профильтрованной воды, чтобы полнее выявить число и состав грибов, и эти данные учитывали при оценке видового богатства грибов в пробах.

Посевы провели из отобранной пробы не менее чем на 10 чашек Петри, и общая повторность составила 30–40 чашек Петри из каждого водного объекта. Подсчёт грибных колоний и выделение

Таблица 1. Количество КОЕ грибов в воде источников и колодцев

Объект	Местоположение	Диапазон варьирования КОЕ грибов в 1 л	Среднее число КОЕ грибов в 1 л
Источник	Парк “Коломенское”, Москва	35–530	310 ± 160
Источник	Битцевский парк, Москва	60–100	80 ± 20
Источник	Парк в усадьбе “Знаменское-Садки” на территории ВНИИ Экология, Москва	10–20	13 ± 7
Источник	Мытищи, МО	40–200	123 ± 60
Колодец	д. Аладыно, Серпуховской р-н, МО	34–236	123 ± 77
Колодец	СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО	30–50	35 ± 15

изолятов проводили через 10–14 суток инкубации посевов при +10...+12°C.

Для видовой идентификации отбирали по несколько колоний разного морфотипа. Если были сомнения, что колонии могут принадлежать не к одному, а к разным видам, то изолировали культуры из обеих колоний. Для каждого варианта (водного объекта) подсчитывали общее количество колоний и количество колоний каждого культурально-морфологического типа. Из проб каждого водного объекта были выделены все морфотипы, что составляло из каждого варианта не менее 40 культур, часть из которых были одного вида.

Идентификация штаммов грибов была проведена с использованием культурально-морфологических и молекулярно-генетических подходов. Описание культур проводили на сусло-агаре и среде Чапека с использованием рекомендуемых для соответствующего таксона определителей (Raper, Fennell, 1965; Raper *et al.*, 1968; Rifai, 1969; Schipper, 1978; Klich, 2002; Crous *et al.*, 2007; Domsch *et al.*, 2007; Samson, Naubraken, 2011; Seifert *et al.*, 2011) и по генетическим признакам с помощью ПЦР и дальнейшее секвенирование ITS-региона рДНК. ДНК выделяли из 3-суточных культур дрожжей и 5–7-суточных мицелиальных грибов, выращенных на сусло-агаре. Использовали набор “Проба-Экспресс” (“Синтол”, кат. номер EX-517) и следующий протокол: 50–100 мг грибной биомассы поместить в пробирку объемом 1,5 мл и гомогенизировать; добавить 300 мкл лизирующего буфера и тщательно перемешать; поместить в термостат на 95°C на 10 минут; добавить 30 мкл осаждающего раствора и тщательно перемешать; центрифугировать 13 000 об/мин в течение 1 минуты; отобрать супернатант в чистую маркированную пробирку. Для постановки ПЦР использовали готовую реакционную смесь производства “Синтол” (кат. номер M-428) и универсальные праймеры ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) и ITS4 (TCCTCCGCTTATGATATGC). Реакцию проводили по следующей циклограмме: 96°C – 5 минут; 30 циклов: 94°C – 20 секунд; 57°C – 30 секунд;

72°C – 1 минута. Качественную и количественную оценку результатов ПЦР выполняли с помощью электрофореза в агарозном геле. Очистку реакционной смеси от остатков праймеров и свободных трифосфатов проводили смесью ферментов ExoI и FastSAP (Fermentas). Секвенирование ITS рДНК по Сенгеру выполняли на генетическом анализаторе ABI 3130xl в компании “Синтол” (Москва) с использованием набора BigDye v3.1 (ThermoFisher) согласно руководству пользователя и инструкции к набору. Видовую принадлежность полученных последовательностей определяли в сервисе BLAST на сайте NCBI (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Современное таксономическое положение видов дано по базе данных: Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>).

Во всех опытах подсчитывали число колониеобразующих единиц (КОЕ) грибов в 1 л воды и относительное обилие видов (доля КОЕ определенного вида от общего числа других видов в данной пробе или водном объекте). Рассчитывали средние значения данных и коэффициент вариации данных (отношение стандартного отклонения к среднему значению) (Excel 2016). Для оценки сходства и различий видового состава грибов в грунтовой воде рассчитывали коэффициент Сьеренсена (Мэгаран, 1992).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Численность грибов в воде источников и колодцев Московского региона варьировала в диапазоне от 10 до 530 КОЕ в 1 л (табл. 1). Согласно санитарно-эпидемиологическим рекомендациям для питьевой воды, принятым в Швеции (не более 1000 КОЕ грибов в 1 л), вода из исследованных водных объектов не превышает допустимую норму (NFA, SLVFS 2001:30).

Минимальное число КОЕ грибов установлено в воде источника в малопосещаемом парке усадьбы “Знаменское-Садки” на территории ВНИИ Экология (Москва) и в колодце на частном участке

в садовом товариществе “Тарасково” Наро-Фоминского района МО. Грунтовая вода в колодце в деревне Аладыно МО и других источниках (парк в “Коломенском” и Битце) имели более высокую численность грибов. Связано это, видимо, со значительно большей известностью и доступностью данных источников. Они активно используются москвичами, а общественный колодец в Аладыно больше времени находится в открытом состоянии, из него намного чаще набирают воду, чем из частного колодца в СНТ “Тарасково”. Это приводит к увеличению взмученности воды, попаданию грибов из грунта, с которым контактирует грунтовая вода источников и в меньшей мере в колодцах. Из атмосферы попадание грибов в воду, конечно, не исключается. Но следует подчеркнуть, что новая грунтовая вода поступает непрерывно в источники и колодцы, и они расположены в чистых районах (парках), а колодцы содержат в закрытом виде. Роль каждого из этих факторов в определении состава и количества грибов в воде может существенно варьировать и в каждом случае требует дальнейших исследований.

Из воды колодцев, источников и донного грунта изолировано 118 и 45 чистых культур грибов разных морфотипов соответственно. После исключения повторных изолятов одного морфотипа для видовой идентификации взято 65 штаммов. Все они были определены до вида на основе культурально-морфологических признаков, а 48 из них также на основе секвенирования ITS рДНК (табл. 2–5).

В табл. 2 приведены результаты молекулярно-генетической идентификации 34 штаммов и их номера депонирования в Генбанке.

У части изолятов из воды и грунта видовая принадлежность была установлена на основе культурально-морфологических признаков. Это были штаммы *Alternaria nobilis* (Vize) E. G. Simmons (АИ 2.2), *Penicillium citronigrum* Dierckx (АИ 0,25 1.1), *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries (МРИ 1.8), *Aspergillus niger* Tiegh. (МР 0,75 1.1), *Plectosphaerella plurivora* A.J.L. Phillips, A. Carlucci & M. L. Raimondo (МРИ 1.7), *Fusarium moniliforme* J. Sheld. (АИ 0,25 1.3), *Aspergillus niger* (АИ 0,25 2.1), *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. (АИ 0,25 2.5; АИ 0,25 4.2), *Aspergillus fumigatus* Fresen. (АИ 0,25 2.4), *A. flavus* (МРИ 3.1 и 3.2), *Acremonium potronii* Vuill. (МРИ 3.3), *Penicillium chrysogenum* (АИ 0,25 3.3 и МРИ 1.1), *Chaetomium* sp. Kunze (АИ 0,75 4), *Mucor circinelloides* Tiegh. (Тар) и ряд других. В итоге в грунтовой воде источников и колодцев было выявлено 46 видов и 22 вида грибов в грунте со дна 3 источников (табл. 3–6).

Таксономическая структура микобиоты в грунтовых водах колодцев и природных источников Москвы и Московской области представлена видами отдела Mucoromycota класса Mucoromycetes,

отдела Ascomycota классов Eurotiomycetes, Sordariomycetes, Dothideomycetes, Saccharomycetes и отдела Basidiomycota классов Agaricomycetes, Tremellomycetes (табл. 3). Наибольшее число видов (37) в грунтовых водах источников и колодцев принадлежало к отделу Ascomycota. Максимальным разнообразием — 15 видами родов *Aspergillus* P. Micheli ex Haller и *Penicillium* Link — характеризовался класс Eurotiomycetes и 13 видами родов *Acremonium* Link, *Chaetomium*, *Fusarium* Link, *Myrothecium* Tode, *Plectosphaerella* Kleb., *Trichoderma* Pers. класс Sordariomycetes. Затем следовал класс Dothideomycetes с 6 видами и класс Saccharomycetes с 3 видами (*Candida solani*, *C. zeylanoides*, *Galactomyces pseudocandidus*) (табл. 3). Выявленные в этих водных объектах представители отдела Basidiomycota относились к классу Tremellomycetes (*Mrakia gelida*, *Vishniacozyma victoriae*) и классу Agaricomycetes (*Phlebia acerina*, *Psathyrella candolleana* (Fr.) Maire, *Thanatephorus cucumeris*). Грибы отдела Mucoromycota класса Mucoromycetes были представлены 4 видами — *Absidia cylindrospora* var. *nigra*, *Mucor circinelloides*, *M. hiemalis* и *Rhizopus stolonifer* (табл. 3).

Сравнительный анализ состава видов в исследованных источниках и колодцах показал, что характерными для этих экотопов, выявленными в большинстве из них, являются грибы *Mrakia gelida*, родов *Aspergillus* (*A. niger*), *Cladosporium* Link, *Penicillium* (*P. chrysogenum*), *Fusarium* (*F. oxysporum*), *Trichoderma* (*T. harzianum*), *Candida* Berkhout, *Alternaria* Nees и порядка Mucorales (*Mucor hiemalis*, *Rhizopus stolonifer*) (табл. 3). Виды *Penicillium chrysogenum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Rhizopus stolonifer*, *Mucor hiemalis*, *Trichoderma harzianum*, *T. atroviride*, *T. citrinoviride*, *Aspergillus* spp., *Fusarium oxysporum*, *Candida zeylanoides*, *Mrakia gelida* характеризовались наибольшим относительным обилием в пробах воды из источников и колодцев. Число КОЕ этих таксонов грибов варьировало в диапазоне от единиц до двух десятков КОЕ в 1 л в разных водных объектах (табл. 5).

Между данными водными объектами обнаружены заметные отличия. Они выражаются как в составе грибов, так и в их видовом разнообразии в источниках и колодцах. Это подтверждают коэффициенты сходства Сьеренсена между микобиотой изученных экотопов, они не превышают 20–35% в большинстве случаев. Так, в воде колодца д. Аладыно и “Тарасково” отмечено выше, чем в других водных объектах, разнообразие микромицетов рода *Trichoderma*, в колодце д. Аладыно также больше видов родов *Aspergillus*, *Penicillium*, в источниках в г. Мытищи рода *Cladosporium* (табл. 3). Многие виды были обнаружены только в определенном источнике или колодце. По числу КОЕ разных таксонов изученные объекты также различаются, что ясно демонстрируют данные табл. 5.

Различия в видовом богатстве грибов в целом соответствовали тем, что были обнаружены в их

Таблица 2. Филогенетическая принадлежность штаммов грибов на основе нуклеотидной последовательности ITS рДНК

№ штамма	Вид	№ в Генбанке	Сходство, %	Объект, расположение
SH2	<i>Thanatephorus cucumeris</i> (A. B. Frank) Donk	OP596489	98.75	Водный источник, Мытищи, МО
SH3	<i>Aspergillus flavus</i> Link	OP596490	98.33	Грунт в водном источнике, Мытищи, МО
SH4	<i>Thanatephorus cucumeris</i>	OP596491	98.82	Грунт в водном источнике, Мытищи, МО
SH5	<i>Mrakia gelida</i> (Fell, Statzell, I. L. Hunter & Phaff) Y. Yamada & Komag.	OP596492	99.68	Водный источник, Мытищи, МО
SH6	<i>Trichoderma atroviride</i> P. Karst.	OP596493	98.34	Водный источник, Мытищи, МО
SH8	<i>Penicillium sacculum</i> E. Dale	OP596494	99.82	Водный источник, Мытищи, МО
SH9	<i>Myrothecium cinctum</i> (Corda) Sacc.	OP596495	98.04	Водный источник, Мытищи, МО
SH10	<i>Vishniacozyma victoriae</i> (M. J. Montes, Belloch, Galiana, M. D. García, C. Andrés, S. Ferrer, Torr.-Rodr. & J. Guinea) Xin Zhan Liu, F. Y. Bai, M. Groenew. & Boekhout	OP596496	98.61	Водный источник, Мытищи, МО
SH11	<i>Trichoderma atroviride</i>	OP596497	99.64	Водный источник, Мытищи, МО
SH12	<i>T. longibrachiatum</i> Rifai	OP596498	99.83	Водный источник, Мытищи, МО
SH13	<i>T. citrinoviride</i> Bissett	OP596499	98.15	Колодец, д. Аладьино, Серпуховской р-н, МО
SH14	<i>Mrakia gelida</i>	OP596500	98.95	Колодец, д. Аладьино, Серпуховской р-н, МО
SH15	<i>Phlebia acerina</i> Peck	OP596501	99.99	Колодец, д. Аладьино, Серпуховской р-н, МО
SH16	<i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab.	OP596502	100	Колодец, д. Аладьино, Серпуховской р-н, МО
SH17	<i>A. oryzae</i> (Ahlb.) Cohn	OP596503	99.65	Колодец, д. Аладьино, Серпуховской р-н, МО
SH18	<i>Penicillium corylophilum</i> Dierckx	OP596504	99.40	Колодец, д. Аладьино, Серпуховской р-н, МО
SH19	<i>Cytospora leucostoma</i> (Pers.) Sacc.	OP596505	99.66	Водный источник, парк "Коломенское", Москва
SH20	<i>Penicillium expansum</i> Link	OP596506	98.64	Водный источник, парк "Коломенское", Москва
SH21	<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	OP596507	99.35	Водный источник, парк "Коломенское", Москва
SH23	<i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	OP596508	99.81	Водный источник, парк "Коломенское", Москва
SH24	<i>Fusarium tricinctum</i> (Corda) Sacc.	OP596509	99.82	Водный источник, парк "Коломенское", Москва
SH27	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> Penz.	OP596510	100.00	Водный источник, Битцевский парк, Москва
SH28	<i>Mrakia gelida</i>	OP596511	100.00	Водный источник, Битцевский парк, Москва
SH30	<i>Fusarium oxysporum</i> Schldtl.	OP596512	99.80	Водный источник, Битцевский парк, Москва

Таблица 2. (Окончание)

№ штамма	Вид	№ в Генбанке	Сходство, %	Объект, расположение
SH32	<i>F. oxysporum</i>	OP596513	100.00	Водный источник, Парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH33	<i>Myrothecium leucotrichum</i> (Peck) M. C. Tulloch	OP596514	99.47	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH34	<i>Candida zeylanoides</i> (Castell.) Langeron & Guerra	OP596515	99.66	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH35	<i>Phoma herbarum</i> Westend.	OP596516	98.28	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH36	<i>Mucor hiemalis</i>	OP596517	98.73	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH39	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai	OP596518	99.12	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH41	<i>Penicillium goetzii</i> J. Rogers, Frisvad, Houbraken & Samson	OP596519	99	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
SH43	<i>Trichoderma citrinoviride</i> Bissett	OP596520	100	Колодец, СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО
SH44	<i>Penicillium chrysogenum</i> Thom	OP596521	100	Колодец, СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО
SH47	<i>Trichoderma harzianum</i>	OP596522	99.83	Колодец, СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО
Sh7	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	—*	97.34	Водный источник, Мытищи, МО
Sh26	<i>Candida solani</i> Lodder & Kreger	—	97.25	Водный источник, Битцевский парк, Москва
Sh29	<i>Galactomyces pseudocandidum</i> de Hoog & M. T. Sm.	—	95.45	Водный источник, Битцевский парк, Москва
SH31	<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>nigra</i> Hesselt. & J. J. Ellis	—	94.45	Водный источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, Москва
Sh42	<i>Penicillium goetzii</i>	—	97.35	Колодец, СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО
Sh46	<i>Trichoderma citrinoviride</i>	—	97.55	Колодец, СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО
Sh48	<i>T. citrinoviride</i>	—	97.33	Колодец, СНТ “Тарасково”, Наро-Фоминский р-н, МО

\* Нуклеотидные последовательности штаммов не депонировали в Генбанк.

общей численности в этих водных объектах. В тех пробах грунтовой воды, где выше общее число КОЕ грибов, как правило, видовое разнообразие было больше.

Максимальное разнообразие грибов выявлено в пробах грунтовой воды из источников в г. Мытищи МО и из колодца в деревне Аладыно Серпуховского района МО — по 16 видов (табл. 3). Наименьшее количество видов было в пробах воды из колодца с частного участка в садовом товариществе “Тарасково” Наро-Фоминского района МО — 6 видов. Из воды источника в парке “Знаменское-Садки” в Москве выделено 10 видов, а из источников в парке “Коломенское”

и Битцевском парке Москвы по 10 и 11 видов соответственно.

Состав грибов в воде в значительной мере сходен с таковым в грунте источника, об этом свидетельствуют данные в табл. 3 и 6, и подтверждают довольно высокие (не менее 60%) коэффициенты сходства Сьеренсена. Это указывает на донный грунт как существенный источник контаминации грибами воды.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В обследованных источниках грунтовых вод и колодцах Москвы и Московской области

Таблица 3. Таксономическая принадлежность грибов в природных источниках грунтовых вод и колодцах

Вид	Класс	Отдел
<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>nigra</i> <i>Mucor circinelloides</i> <i>M. hiemalis</i> <i>Rhizopus stolonifer</i>	Mucoromycetes	Mucoromycota
<i>Alternaria alternata</i> <i>A. nobilis</i> <i>Amarocoelophoma cassia</i> Jayasiri, E.B.G. Jones & K. D. Hyde <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>C. sphaerospermum</i> <i>Phoma herbarum</i>	Dothideomycetes	Ascomycota
<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. fumigatus</i> <i>A. niger</i> <i>A. oryzae</i> <i>A. versicolor</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> Dierckx <i>P. chalabudae</i> Visagie <i>P. chrysogenum</i> <i>P. citreonigrum</i> <i>P. corylophilum</i> <i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling <i>P. goetzii</i> <i>P. expansum</i> <i>P. restrictum</i> <i>P. sacculum</i>	Eurotiomycetes	
<i>Candida solani</i> <i>C. zeylanoides</i> <i>Galactomyces pseudocandidus</i>	Saccharomycetes	
<i>Acremonium potronii</i> <i>Chaetomium</i> sp. <i>Cytospora leucostoma</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>F. oxysporum</i> <i>F. tricinctum</i> <i>Myrothecium cinctum</i> <i>M. leucotrichum</i> <i>Plectosphaerella plurivora</i> <i>Trichoderma atroviride</i> <i>T. citrinoviride</i> <i>T. harzianum</i> <i>T. longibrachiatum</i>	Sordariomycetes	
<i>Mrakia gelida</i> <i>Vishniacozyma victoriae</i>	Tremellomycetes	Basidiomycota
<i>Phlebia acerina</i> <i>Psathyrella candolleana</i> <i>Thanatephorus cucumeris</i>	Agaricomycetes	

Таблица 4. Видовой состав грибов в грунтовой воде из источников и колодцев

Вид	Номера источников и колодцев*					
	1	2	3	4	5	6
<i>Absidia cylindrospora var. nigra</i>	—**	—	—	—	+	—
<i>Acremonium potronii</i>	+	—	—	—	—	—
<i>Alternaria alternata</i>	+	—	—	—	—	—
<i>A. nobilis</i>	—	+	—	—	—	—
<i>Amorocoelophoma cassiae</i>	—	—	—	—	+	—
<i>Aspergillus flavus</i>	+	—	+	+	—	—
<i>A. fumigatus</i>	—	+	—	—	—	—
<i>A. niger</i>	+	+	+	+	+	—
<i>A. oryzae</i>	—	+	—	—	—	—
<i>A. versicolor</i>	—	+	—	—	—	—
<i>Candida solani</i>	—	—	—	+	—	—
<i>C. zeylanoides</i>	—	—	—	—	+	—
<i>Chaetomium sp.</i>	—	+	—	—	—	—
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	+	+	+	+	—	—
<i>C. sphaerospermum</i>	—	—	—	+	—	—
<i>Cytospora leucostoma</i>	—	—	+	—	—	—
<i>Fusarium moniliforme</i>	—	+	—	—	—	—
<i>F. oxysporum</i>	—	—	—	+	+	—
<i>F. tricinctum</i>	—	—	—	+	—	—
<i>Galactomyces pseudocandidus</i>	—	—	—	+	—	—
<i>Mrakia gelida</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Mucor circinelloides</i>	—	—	—	—	—	+
<i>M. hiemalis</i>	+	—	+	—	+	—
<i>Myrothecium cinctum</i>	+	—	—	—	—	—
<i>M. leucotrichum</i>	—	—	—	—	+	—
<i>Penicillium brevicompactum</i>	+	—	—	—	—	—
<i>P. chalabudae</i>	+	—	—	—	—	—
<i>P. chrysogenum</i>	—	+	—	+	—	+
<i>P. citreonigrum</i>	—	+	—	—	—	—
<i>P. corylophilum</i>	—	—	+	—	—	—
<i>P. glabrum</i>	—	+	—	—	—	—
<i>P. goetzii</i>	—	—	—	—	—	+
<i>P. expansum</i>	—	—	+	—	—	—
<i>P. restrictum</i>	—	—	+	—	—	—
<i>P. sacculum</i>	+	—	—	—	—	—
<i>Phlebia acerina</i>	—	+	—	—	—	—
<i>Phoma herbarum</i>	—	—	—	—	+	—
<i>Plectosphaerella plurivora</i>	+	—	—	—	—	—
<i>Psathyrella candolleana</i>	+	—	—	—	—	—
<i>Rhizopus stolonifer</i>	—	+	+	+	—	—
<i>Thanatephorus cucumeris</i>	+	—	—	—	—	—
<i>Trichoderma atroviride</i>	+	—	—	—	—	—
<i>T. citrinoviride</i>	—	+	—	—	—	+
<i>T. harzianum</i>	—	—	—	—	+	+
<i>T. longibrachiatum</i>	—	+	—	—	—	—
<i>Vishniacozyma victoriae</i>	+	—	—	—	—	—
Число видов	16	16	10	11	10	6

\* 1 – источник, г. Мытищи, МО, 2 – колодец, д. Аладьино, Серпуховской район, МО, 3 – источник, парк “Коломенское”, г. Москва, 4 – источник, Битцевский парк, г. Москва, 5 – источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, г. Москва, 6 – колодец, СХТ “Тарасково” Наро-Фоминского района МО, \*\* выявлен вид +, не обнаружен –.

Таблица 5. Численность грибов часто встречающихся таксонов в воде источников и колодцев

Таксон	Номера источников и колодцев*					
	1	2	3	4	5	6
	КОЕ/л					
<i>Aspergillus spp.</i>	12	25	1	4	2	
<i>Candida zeylanoides</i>	**			3		
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	1	1	1	1		
<i>Fusarium oxysporum</i>		3			4	4
<i>Mrakia gelida</i>	6	6	1	2	1	4
<i>Mucor spp.</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>	1	4	9	3	2	1
<i>Penicillium spp.</i>	18	21	20	7	6	7
<i>Trichoderma spp.</i>	12	7			4	5

\* 1 – источник, г. Мытищи, МО, 2 – колодец, д. Аладьино, Серпуховской район МО, 3 – источник, парк “Коломенское”, г. Москва, 4 – источник, Битцевский парк, г. Москва, 5 – источник, парк в усадьбе “Знаменское-Садки”, г. Москва, 6 – колодец, СНТ “Тарасково” Наро-Фоминского района МО.

\*\* пустая клетка – вид не обнаружен или его численность ниже 1 КОЕ/л

количество культивируемых грибов варьировало в среднем от 10 до 300 КОЕ в 1 л. Эти значения не превышают, а в несколько раз ниже показателей числа КОЕ грибов в 1 л питьевой воды, принятых в Швеции (Babič *et al.*, 2017). В России, как и большинстве стран, количественные микологические критерии для такой оценки воды отсутствуют.

В составе микобиоты в изученных источниках грунтовых вод и колодцев не обнаружено первично водных зооспоровых грибов отделов Chytridiomycota, Rozellomycota и родственных таксонов. Это, возможно, связано с тем, что в работе не использовали необходимые для их выделения специальные среды и методы приманок и метагеномный подход. Вместе с тем эти грибы к тому же и не могут быть обильно представлены в подземных водах. Многие из них паразиты на других организмах или используют для питания специфические субстраты (Gleason *et al.*, 2010). Это подтверждают и данные по изучению микобиоты в источниках грунтовых вод в Исландии с использованием ДНК-баркодинга (Wurzbacher *et al.*, 2020). Применение метагеномного подхода показало, что число операционных таксономических единиц (ОТЕ) представителей отделов Chytridiomycota и Rozellomycota в них в отличие от поверхностных вод, было крайне мало или их не обнаруживали (Wurzbacher *et al.*, 2020). Сходные результаты о хитридиомицетах получены для грунтовых вод с больших глубин (Sohlberg *et al.*, 2015).

Среди грибов, выявленных нами в источниках грунтовых вод и колодцах, подавляющее большинство – наземные виды, но есть ряд таких, которые регулярно встречаются в подземных водах, водоемах и реках. Наиболее часто из грунтовой воды мы

изолировали *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma atroviride*, *T. citrinoviride*, *Cladosporium cladosporioides*, *T. harzianum*, *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Candida zeylanoides*, реже родов *Absidia* Tiegh., *Acremonium*, *Alternaria*, *Galactomyces* Redhead & Malloch, *Phoma* Sacc. и ряд других. Наряду с аскомицетами постоянно выделяли из грунтовых вод виды отдела Mucoromycota – *Mucor hiemalis*, *M. circinelloides*, *Rhizopus stolonifer*, *Absidia cylindrospora* var. *nigra*. Из базидиомицетов были обнаружены тремеломицеты (*Mrakia gelida*, *Vishniacozyma victoriae*), выявление агарикомицетов обусловлено, по всей очевидности, нахождением источников в крупных парковых зонах, где эти грибы обитают и их propagулы попадают в воду.

Грибы данных таксонов выделяли из грунтовых вод в других регионах мира (Babič *et al.*, 2017). В первую очередь, как и в нашем случае, грибы аскомицетного аффинитета родов *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Beauveria* Vuill., *Chrysosporium* Corda, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Geomyces* Traaen, *Geotrichum* Link, *Gliocladium* Corda, *Graphium* Corda, *Paecilomyces* Bainier, *Penicillium*, *Scedosporium* Sacc. ex Castell. & Chalm., *Scopulariopsis* Bainier, *Sepedonium* Link, *Stachybotrys* Corda, *Trichoderma* u *Verticillium* Nees (Wurzbacher *et al.*, 2011; Krauss *et al.*, 2011), отдела Mucoromycota родов *Absidia*, *Mortierella* Coem., *Mucor* Fresen., *Rhizopus* Ehrenb. и *Umbelopsis* Amos & H. L. Barnett (Frankova, Horecka, 1995; Arvanitidou *et al.*, 1999; Göttlich *et al.*, 2002; Goncalves *et al.*, 2006; Hayette *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2013; Babič *et al.*, 2016), а из базидиомицетов – тремеломицетов и дрожжей (Frankova, Horecka, 1995; Arvanitidou *et al.*, 1999; Göttlich *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2010).

Обнаруженные нами таксоны грибов были выявлены в подземных водах и на очень больших глубинах — 296–798 м — в Финляндии (Sohlberg *et al.*, 2015). Большинство нуклеотидных последовательностей грибов в грунтовой воде на этих глубинах принадлежало к отделу Ascomycota, в меньшей мере отделу Basidiomycota и редко — Chytridiomycota. Доминирующими классами аскомицетов в глубоких водоносных горизонтах коренных пород были Sordariomycetes, Eurotiomycetes, Dothideomycetes, а среди базидиомицетов виды классов Microbotryomycetes и Tremellomycetes (Sohlberg *et al.*, 2015). Эти данные почти полностью соответствуют той таксономической структуре грибной биоты, что установлена нами в грунтовых водах природных источников и колодцев Московского региона (табл. 3).

Грунтовые воды имеют определенную специфику в физико-химических условиях, к которым должны приспосабливаться грибы. Они характеризуются олиготрофными, низкотемпературными условиями, ограниченным поступлением кислорода и органических веществ фототрофов (растений, водорослей), но в них может быть больше, чем в поверхностных водоемах, содержание неорганических соединений. Однако небольшие количества в основном моно- или полисахаридами попадают в грунтовые воды из остатков бактериальных биопленок (Sohlberg *et al.*, 2015).

Вышеуказанные виды в большинстве своем обнаруживают не только в грунтовых водах и водоемах, но чаще в почвах разных типов, растениях, субстратах животного происхождения (Domsch *et al.*, 2007). Но многие из них при попадании в воду способны там длительно существовать и функционировать, адаптированы к анаэробным и олиготрофным условиям и гипоксии, повышению содержанию диоксида углерода, способны к спиртовому брожению, могут переходить к дрожжевому росту (Кураков и др., 2007; 2011; Головченко и др., 2013; Domsch *et al.*, 2007). Важный факт — это наличие грибов в грунтовых водах даже на большой глубине (Sohlberg *et al.*, 2015). Исследование физиологических свойств грибов, выделенных традиционными методами культивирования из этих экотопов, указывает на то, что они адаптированы и способны расти в подземной водной среде (Ekendahl *et al.*, 2003). Известно, что виды рода *Fusarium* присутствуют в воде в составе биопленок. Они не только выдерживают недостаток кислорода, но и растут в анаэробных условиях путем адаптации своего метаболизма и формы роста (Кураков и др., 2007; Wurzbacher *et al.*, 2011). Виды из родов *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Nectria* (Fr.) Fr., *Fusarium* и *Penicillium*, растущие как факультативные анаэробы, используют нитрат или нитрит в качестве альтернативных конечных акцепторов электронов в отсутствие кислорода (Кураков и др., 1997; Shoun

*et al.*, 1992). Некоторые виды *Mucor* переходят в дрожжеподобную форму в анаэробных условиях (Кураков и др., 2007; Domsch *et al.*, 2007). *Mrakia gelida*, характерный для грунтовых вод Московского региона, является психрофильным видом, широко распространен в холодных местообитаниях, в арктических, альпийских водных и наземных экосистемах. Обнаружено, что грибы активны и продуцируют рибосомы в подземной олиготрофной водной среде (Miettinen *et al.*, 2015).

Знание специфики микобиоты в этой подземной водной экосистеме и путей грибной контаминации воды актуально как с научной, так и санитарно-эпидемиологической точки зрения, и необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Многие виды грибов могут попасть в воду из грунта, через который проходит водоток, о чем свидетельствуют данные посевов из них (табл. 6). В большей мере это происходит, если источник довольно энергично выбрасывает воду и поднимает со дна различные минеральные и органические частицы с сорбируемыми на них микроорганизмами. В колодцах воды часто чище, так как частицы грунта постепенно осаждаются на дно. Определенный вклад в состав микобиоты вносят и виды из воздуха, но при отборе только что вышедшей на поверхность грунтовой воды или в случае закрытых колодцев он, видимо, небольшой.

Для установления, насколько меняется микобиота в отбираемых пробах питьевой воды в источниках и колодцах от той, что есть исходно в грунтовых водах под землей, и насколько значима контаминация её грибами из грунта, почвы и воздуха в месте выхода на поверхность, нужны дополнительные исследования. Это важно, так как в воде источников и колодцев, как и в нашем случае, регулярно выявляются виды, потенциально опасные для иммунокомпетентных людей.

Условно-патогенные грибы быстро используют в своих интересах ослабленную иммунную систему, вызванную такими заболеваниями, как ВИЧ/СПИД, или медикаментозной терапией, связанной, например, с трансплантацией органов и лечением рака (Sammon, Harrover, 2008). Наличие в воде микромицетов родов *Acremonium* и *Penicillium* способно изменить ее вкус и запах. Грибы *Aspergillus*, *Penicillium*, *Candida*, *Fusarium*, мукоровые, встречающиеся часто в водных источниках, могут у иммунокомпетентных людей вызвать заболевания почек, расстройств печени, ухудшение состояния ожогов, усиление отитов и способны вызывать аллергии, астму и другие заболевания человека (Babič *et al.*, 2017). Виды фузариоза вызывают широкий спектр инфекций у людей, включая поверхностные и локально инвазивные заболевания. Основными воротами проникновения для *Fusarium* spp. являются дыхательные пути,

Таблица 6. Видовой состав грибов в грунте со дна источников

Вид	Номера источников*		
	1	3	5
<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>nigra</i>	—**	—	+
<i>Acremonium potronii</i>	+	—	—
<i>Amorocoelephoma cassiae</i>	—	—	+
<i>Aspergillus flavus</i>	+	+	—
<i>Candida zeylanoides</i>	—	—	+
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	+	+	—
<i>Fusarium oxysporum</i>	—	—	+
<i>Mucor hiemalis</i>	—	+	+
<i>Myrothecium cinctum</i>	+	—	—
<i>M. leucotrichum</i>	—	—	+
<i>Penicillium brevicompactum</i>	+	—	—
<i>P. chalabudae</i>	+	—	—
<i>P. chrysogenum</i>	+	—	+
<i>P. expansum</i>	—	+	—
<i>P. restrictum</i>	—	+	—
<i>P. sacculum</i>	+	—	—
<i>Phoma herbarum</i>	—	—	+
<i>Plectosphaerella plurivora</i>	+	—	—
<i>Psathyrella candolleana</i>	+	—	—
<i>Thanatephorus cucumeris</i>	+	—	—
<i>Trichoderma harzianum</i>	—	—	+
<i>Vishniacozyma victoriae</i>	+	—	—

\* 1 – источник, г. Мытищи, МО, 3 – источник в парке “Коломенское”, г. Москва, 5 – источник в парке “Знаменское-Садки”, г. Москва, \*\* – вид не обнаружен, + вид выявлен.

за которыми следует кожа в месте разрушения тканей и, возможно, слизистые оболочки. Установлено, что принятие душа водой, загрязненной грибами родов *Alternaria*, *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Paecilomyces* и *Penicillium*, регулярно вызывало проявление астмы и раздражение кожи у пациентов (Anaissie *et al.*, 2003).

Отсутствие интереса к этим проблемам, возможно, связано и с коварной природой оппортунистических грибных инфекций человека (не столь явной на начальной стадии) по сравнению с передаваемыми через воду эпидемическими заболеваниями, вызываемыми патогенными бактериями, вирусами и протистами. Для скорейшего их признания, а тенденция этого в мире существует, и введения микологических критериев в оценку качества воды необходимы как дальнейшие исследования, так и заинтересованность санитарной службы, организаторов системы здравоохранения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение 075-15-2021-1396).

Бюджетная тема «Экофизиология, цитология и генетика грибов как основа разумной природы менеджмент и биотехнологии» Государственная регистрация № (ЕГИСУ НИОКР) 121032300079-4, грант РФФИ (Проект № 18-29-25073).

#### ЭТИЧЕСКОЕ ОДОБРЕНИЕ

Эта работа не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воронин Л.В. Оппортунистические грибы в пресноводных экосистемах // Ярославский педагогический вестник. 2013. Т. 3 (Естественные науки). № 2. С. 67–74.

- Головченко А.В., Кураков А.В., Семенова Т.А., Звягинцев Д.Г. Обилие, разнообразие, жизнеспособность и факторная экология грибов в торфяниках // Почвоведение. 2013. № 1. С. 80–97.
- ГОСТ 31942–2012. Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с.
- Кураков А.В., Лаврентьев Р.Б., Соина В.С. Культурально-морфологические особенности роста мицелиальных микроскопических грибов в анаэробных условиях // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41, вып. 6. С. 526–535.
- Кураков А.В., Пахненко О.А., Костина Н.В., Умаров М.М. Образование закиси азота микроскопическими грибами на питательных средах и в стерильной почве // Почвоведение. 1997. № 12. С. 1497–1503.
- Кураков А.В., Хидиров К.С., Садыкова В.С., Звягинцев Д.Г. Способность к анаэробному росту и активность спиртового брожения у микроскопических грибов // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47. № 2. С. 169–173.
- Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его изменение. Пер. с англ. М.: Мир, 1992. 184 с.
- Пивкин М.В., Кузнецова Т.А., Сова В.В. Морские грибы и их метаболиты. Владивосток: Дальнаука, 2006. 286 с.
- СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2021. 365 с.
- СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещ. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2021. 75 с.
- Anaissie E.J., Stratton S.L., Dignani M.C., Lee C., Summerbell R.C., Rex J.H. Pathogenic molds (including *Aspergillus* species) in hospital water distribution systems: a 3-year prospective study and clinical implications for patients with hematologic malignancies // Blood. 2003. V. 101. P. 2542–2546.
- Arvanitidou M., Kanellou K., Constantinides T.C., Katsouyannopoulos V. The occurrence of fungi in hospital and community potable waters // Letters in Applied Microbiology. 1999. V. 29. P. 81–84.
- Babič M., Zalar P., Ženko B., Džeroski S., Gunde-Cimerman N. Yeasts and yeast-like fungi in tap water and groundwater, and their transmission to household appliances // Fungal Ecol. 2016. V. 20. P. 30–39.
- Babič M.N., Gunde-Cimerman N., Vargha M., Tischner Z., Magyar D., Veríssimo C., Sabino R., Viegas C., Meyer W., Brandão J. Fungal Contaminants in Drinking Water Regulation? A Tale of Ecology, Exposure, Purification and Clinical Relevance // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2017. V. 14. № 6. P. 636.
- Crous P.W., Braun U., Schubert K., Groenewald J.Z. The genus *Cladosporium* and similar dematiaceous hyphomycetes // Stud. Mycol. 2007. V. 58. P. 1–253.
- Domsch K.H., Gams W., Anderson T.H. Compendium of Soil Fungi, 2nd ed. Eching: IHW-Verlag, 2007. 672 p.
- Ekendahl S., O'Neill A.H., Thomsson E., Pedersen K. Characterisation of Yeasts Isolated from Deep Igneous Rock Aquifers of the Fennoscandian Shield // Microbial Ecology. 2003. V. 46. № 4. P. 416–428.
- Frankova E., Horecka M. Filamentous soil fungi and unidentified bacteria in drinking water from wells and water mains near Bratislava // Microbiol. Res. 1995. V. 150. P. 311–313. 7
- Gessner M., van Ryckegem G. Water Fungi as Decomposers in Freshwater Ecosystems. In Encyclopedia of Environmental Microbiology. Bitton G. (Ed.). New York: Wiley, 2003. P. 1–38.
- Gleason F., Schmidt K., Marano V. Can zoosporic true fungi grow or survive in extreme or stressful environments? // Extremophiles. 2010. V. 14. P. 417–425.
- Gonçalves A.B., Paterson R.R.M., Lima N. Survey and significance of filamentous fungi from tap water // Int. J. Hyg. Environ. Health. 2006. V. 209. P. 257–264.
- Göttlich E., van der Lubbe W., Lange B., Fiedler S., Melchert I., Reifenrath M., Flemming H.-C., de Hoog S. Fungal flora in groundwater-derived public drinking water // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2002. V. 200. P. 269–279. 11
- Hageskal G., Gaustad P., Heier B.T., Skaar I. Occurrence of moulds in drinking water // Journal of Applied Microbiology. 2007. V. 102. P. 774–780.
- Hayette M.-P., Christiaens G., Mutsers J., Barbier C., Huynen P., Meli P., de Mol P. Filamentous fungi recovered from the water distribution system of a Belgian university hospital // Med. Mycol. 2010. V. 48. P. 969–974.
- Jones E.B.G., Hyde K.D., Pang K.L. Freshwater Fungi and Fungal-like Organisms. Berlin; Boston: Walter de Gruyter GmbH, 2014. 496 p.
- Klich M.A. Identification of common *Aspergillus* species. Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures, 2002. 116 p.
- Krauss G.-J., Solé M., Krauss G., Schlosser D., Wesenberg D., Bärlocher F. Fungi in freshwaters: Ecology, physiology and biochemical potential // FEMS Microbiol. Rev. 2011. V. 35. P. 620–651.
- Miettinen H., Kietäväinen R., Sohlberg E., Numminen M., Ahonen L., Itävaara M. Microbiome composition and geochemical characteristics of deep subsurface high-pressure environment, Pyhäsalmi mine Finland // Front. Microbiol. 2015. V. 6. № 1203. P. 1–16.
- NFA. Livsmedelsverkets Föreskrifter om Dricksvatten, SLVFS 2001:30, 1st ed. Uppsala, Sweden: National Food Administration, 2001. P. 33.

- Oliveira B.R., Crespo M.T., San Romão M.V., Benoliel M.J., Samson R.A., Pereira V.J.* New insights concerning the occurrence of fungi in water sources and their potential pathogenicity // *Water Res.* 2013. V. 47. P. 6338–6347.
- Pereira V.J., Fernandes D., Carvalho G., Benoliel M.J., San Romão M.V., Barreto Crespo M.T.* Assessment of the presence and dynamics of fungi in drinking water sources using cultural and molecular methods // *Water Res.* 2010. V. 44. P. 4850–4859.
- Raper K.B., Fennell D.I.* The Genus *Aspergillus*. Baltimore: The Williams and Wilkins Company, 1965. 686 p.
- Raper K.B., Thom C., Fennell D.I.* A Manual of the *Penicillia*. New York–London: Hafner Publishing Company, 1968. 875 p.
- Rifai M.A.* A revision on the genus *Trichoderma* // *Mycol. Pap.* 1969. V. 116. P. 1–56.
- Sammon N.B., Harrower K.M.* Microfungal Contamination of Municipal Water Supplies – A Review // *Water.* 2008. V. 35. P. 98–102.
- Sammon N.B., Harrower K.M., Fabbro L.D., Rob H.* Reed Three Potential Sources of Microfungi in a Treated Municipal Water Supply System in Sub-Tropical Australia // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2011. V. 8. P. 713–732.
- Samson R.A., Houbraiken J.* Phylogenetic and taxonomic studies on the genera *Penicillium* and *Talaromyces* // *Stud. Mycol.* 2011. V. 70. P. 1–183.
- Schipper M.A.* On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species: 2. On the genera *Rhizomucor* and *Parasitella* // *Stud. Mycol.* 1978. V. 17. P. 1–71.
- Seifert K., Morgan-Jones G., Gams W., Kendrick B.* The genera of hyphomycetes. CBS Biodiversity Series 9. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2011. 997p.
- Shoun H., Kim D.H., Uchiyama H., Sugiyama J.* Denitrification by fungi. *FEMS Microbiol. Lett.* 1992. Vol. 92. P. 277–282.
- Sohlberg E., Bomberg M., Miettinen H., Nyysönen M., Salavirta H., Vikman M., Itävaara M.* Revealing the unexplored fungal communities in deep groundwater of crystalline bedrock fracture zones in Olkiluoto, Finland // *Front. Microbiol.* 2015. V. 6. № 573. P. 1–11.
- Wurzbacher C., Kerr J., Grossart H.-P.* Aquatic fungi. In *The Dynamical Processes of Biodiversity: Case Studies of Evolution and Spatial Distribution*, 1st ed. Grillo O., Venora G. (Eds). Rijeka: InTech, 2011. V. 1. P. 227–258.
- Wurzbacher C., Kreiling A.-K., Svantesson S., den Wyngaert S., Larsson E., Heeger F., Nilsson H., Pálsson S.* Fungal communities in groundwater springs along the volcanic zone of Iceland // *Inland Waters.* 2020. V. 10. № 3. P. 418–427.
- Yamaguchi M.U., Rampazzo R.C.P., Yamada-Ogatta S.F., Nakamura C.V., Ueda-Nakamura T., Filho B.P.D.* Yeasts and filamentous fungi in bottled mineral water and tap water from municipal supplies // *Brazilian Archives of Biology and Technology.* 2007. V. 50. P. 1–9.

## Fungi in Groundwater Springs and Wells in the Moscow Region

Kurakov A. V.<sup>1, #</sup>, Shumakova A. A.<sup>1</sup>, Fedorova M. D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, st. Kolmogorova, 1 building 12, Moscow, 119234 Russia*

#e-mail: kurakov57@mail.ru

The number, species composition and taxonomic structure of fungal biota in the groundwater of natural springs and wells in the Moscow region were determined by cultural method. The number of fungi was low, on average from 10 to 300 colony-forming units (CFU) in 1 liter of water. 6–16 species were isolated from the water of one source or well, and totally 46 species were isolated from 6 studied objects. These were representatives of phylum Mucoromycota class Mucoromycetes (*Absidia cylindrospora* var. *nigra*, *Mucor circinelloides*, *M. hiemalis*, *Rhizopus stolonifer*), phylum Ascomycota class Eurotiomycetes (15 species of the genera *Aspergillus* and *Penicillium*), Sordariomycetes (13 species of the genera *Acremonium*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Myrothecium*, *Plectosphaerella*, *Trichoderma*), Dothideomycetes (*Alternaria alternata*, *A. nobilis*, *Amorocoelephoma cassia*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. sphaerospermum*) and – Saccharomycetes (*Candida solani*, *C. zeylanoides*, *Galactomyces pseudocandidus*) and phylum Basidiomycota class Tremellomycetes (*Mrakia gelida*, *Vishniacozyma victoriae*) and Agaricomycetes (*Phlebia acerina*, *Psathyrella candolleana*, *Thanatephorus cucumeris*). The established taxonomic structure of fungal biota in the waters of natural springs and wells of the Moscow metropolis is similar to that found in the groundwater of other regions, including of groundwater at the depths of several hundred meters. The possibilities of adaptation of micromycetes to existence in ground water, the sources of its contamination and the need for mycological criteria for assessing water quality are discussed.

**Keywords:** fungi, species diversity, taxonomic structure, ground water, freshwater springs, wells, mycological criterion