

УДК 606:504.3.054

Концентрация и состав культивируемых микроорганизмов в аэрозолях атмосферного воздуха г. Новосибирска в зависимости от сезона

И.С. Андреева^{✉1}, О.А. Батурина², А.С. Сафатов¹, Н.А. Соловьянова¹,
Т.Ю. Аликина², Л.И. Пучкова¹, М.Е. Ребус¹, Г.А. Буряк¹,
С.Е. Олькин¹, А.С. Козлов³, М.Р. Кабилов^{2*}

¹Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора
6340559, Новосибирская обл., р.п. Кольцово

²Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8

³Институт химической кинетики и горения им В.В. Воеводского СО РАН
630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3

Поступила в редакцию 14.02.2022 г.;
после доработки 17.03.2022 г.;
принята к печати 18.04.2022 г.

Исследованы микроорганизмы атмосферных аэрозолей, отобранные в период с сентября 2020 г. по декабрь 2021 г. в Новосибирске на четырех стационарных точках, различающихся по уровню антропогенного загрязнения. Для отбора атмосферных аэрозолей использована ежемесячная фильтрация атмосферного воздуха с применением армированных тефлоновых мембран Sartorius в течение 12 ч с периодом в две недели. В условиях отбора в числе культивируемых бактерий в зимний период преобладали спорообразующие бактерии рода *Bacillus* и кокки родов *Staphylococcus* и *Micrococcus*. В весенне-летних и осенних пробах атмосферных аэрозолей наблюдалось резкое увеличение концентрации и разнообразия кокковых форм, спорообразующих и неспороносных бактерий, актиномицетов и грибов. В значительном количестве выявлены гемолитические спорообразующие бактерии и стафилококки, полнрезистентные к антибиотикам, обладающие ферментами, способствующими развитию инфекционного процесса.

Ключевые слова: биоаэрозоли атмосферы, микроорганизмы, Новосибирск, сезонная зависимость, концентрация, состав, ферментативные свойства, патогенные свойства; atmospheric bioaerosols, microorganisms, Novosibirsk, seasonal dependence, concentration, composition, enzymatic properties, pathogenic properties.

Введение

Биологический компонент атмосферы способен влиять на климат, характер атмосферных процессов и здоровье населения [1, 2]. Состав атмосферных аэрозолей зависит от географического положения, особенностей климата, погодных условий, наличия локальных или удаленных источников микро-

частиц природного или антропогенного происхождения [3].

Новосибирск – крупнейший мегаполис страны за Уралом с большим количеством промышленных предприятий, важнейший крупный транспортный узел восточной части России. Новосибирская область входит в десятку самых крупных производителей сельскохозяйственных товаров в стране. Как следствие, экологические условия Новосибирска, включая состояние атмосферы, существенно определяются антропогенным фактором. Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды проводит ежедневные наблюдения за составом атмосферного воздуха во всех 10 административных районах Новосибирска, аналогичные аналитические центры имеются в области. Контролируется содержание в атмосфере 254 загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Уровень загрязнения

* Ирина Сергеевна Андреева (andreeva@vector.nsc.ru); Ольга Анатольевна Батурина (baturina@niboch.nsc.ru); Александр Сергеевич Сафатов (safatov@vector.nsc.ru); Надежда Алексеевна Соловьянова (solovyanova_na@vector.nsc.ru); Татьяна Юрьевна Аликина (alikina@niboch.nsc.ru); Лариса Ивановна Пучкова (puchkova@vector.nsc.ru); Максим Евгеньевич Ребус (rebus_me@vector.nsc.ru); Галина Алексеевна Буряк (buriak@vector.nsc.ru); Сергей Евгеньевич Олькин (olkin@vector.nsc.ru); Александр Сергеевич Козлов (kozlov@kinetics.nsc.ru); Марсель Расимович Кабилов (kabilov@niboch.nsc.ru).

атмосферы Новосибирска оценен как «повышенный», отмечена тенденция дальнейшего увеличения уровня загрязнения атмосферы рядом компонентов, в том числе взвешенными веществами (пылью) [4]. Следует отметить, что в государственных отчетах всех лет отсутствуют данные о биогенном составе атмосферных аэрозолей Новосибирска и области, несмотря на то, что в состав взвешенных пылевых частиц аэрозолей могут входить почвенные частицы, контаминированные бактериями и грибами, аллергены, токсины, патогенные микроорганизмы, пыльца и частицы растений, способные вызвать заболевания у людей, животных [5, 6]. В настоящее время отмечено распространение патогенных микроорганизмов, мультирезистентных к антибиотикам, характерных для лечебных учреждений и мест скопления людей. Потоками воздуха эти опасные патогены могут разноситься далеко за пределы помещений, контаминировать атмосферные аэрозоли [7]. Содержание в воздухе клеток *Staphylococcus aureus* — один из индикаторов уровня его микробной контаминации [8]. Комплексные многолетние исследования биогенной компоненты аэрозолей Сибири [9] не включают в себя атмосферные аэрозоли городской среды Новосибирска, микробный состав которых практически не охарактеризован.

Цель настоящей работы — исследование разнообразия и концентрации культивируемых микроорганизмов в атмосферных аэрозолях Новосибирска в зависимости от сезона года, а также определение наличия признаков патогенности у выявляемых бактерий.

Материалы и методы

Отбор проб атмосферного аэрозоля выполнен на четырех стационарных пунктах наблюдения в черте Новосибирска (далее обозначены как точки А — Советский район; С — Калининский район, N и V — зеленая зона пригорода), отличающихся уровнем антропогенного загрязнения, с использованием компрессоров Hailea, позволяющих за 12 ч отобрать 61,2 м³ воздуха. В качестве базового метода отбора проб атмосферных частиц использована фильтрация с применением армированных тефлоновых мембран, которые фиксировались фильтродержателями фирмы Sartorius ($d = 46$ мм; эффективный диаметр пор — 1,2 мкм). Пробы отбирались ежемесячно с периодом в две недели с 9:00 до 21:00 («дневные пробы») и с 21:00 до 9:00 следующего дня («ночные пробы»).

Для выделения микроорганизмов фильтры с сорбированными на них частицами атмосферных аэрозолей помещали в пробирки с 5 мл физраствора, выдерживали в течение 30 мин при комнатной температуре на качалке (165 об./мин), затем 2 мин встряхивали на вортексе. Полученные суспензии («рабочие суспензии») использовали для посева в жидкие и на агаризованные питательные среды для выделения микроорганизмов разных физиологических групп: агаризованную и жидкую среду LB

«Difco» (США), полную среду ГРМ, крахмало-аммиачный агар, почвенный агар, тиогликолевую среду и среду Сабуро производства ФБУН «ГНЦ ПМБ» Роспотребнадзора (Россия). Инкубировали емкости с посевами при температуре 28–30 °С в течение 2–14 сут. Полученные изолированные колонии микроорганизмов использовали для изучения концентрации и биоразнообразия микробиоты исследуемых образцов аэрозолей. Сравнительная количественная оценка концентрации микроорганизмов в пробе дается как КОЕ/мл суспензии аэрозоля.

Морфологию клеток микроорганизмов изучали методом фазово-контрастной микроскопии микроскопом Axioskop 40 (CarlZeiss, Германия). Таксономическую принадлежность выделенных из аэрозолей микроорганизмов определяли по суммарным данным, полученным при исследовании фенотипических признаков изолятов стандартными методами, в соответствии с рекомендациями [10, 11] и данными геномного анализа.

ДНК из бактериальных изолятов выделяли с помощью набора GeneJET Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher). Далее, используя праймеры 27F (AGAGTTTGATCMTGGCTCAG) и 1492R (GGTACCTTGTTACGACTT), получали ампликон, соответствующий гену 16S рРНК. В ПЦР использовали Phusion Hot Start II Polymerase (NEB) с программой: 98 °С — 1', (98 °С — 10", 62 °С — 15", 72 °С — 45") · 33 цикла, 72 °С — 7'. Нуклеотидные последовательности определялись на автоматическом секвенаторе ABI Prism 3130XL (Applied Biosystems, США) с использованием набора реагентов BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США) и праймеров 27F и 1492R. Прямое и обратное прочтение сшивали, получая контиг в CLC Main Workbench (Qiagen). Анализ контигов с целью определения таксономии ближайших гомологов выполняли с помощью программы nucleotide blast (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) по базе Nucleotide collection.

Патогенные свойства изолятов бактерий определяли косвенным образом при тестировании на наличие фосфолипазной, липолизической, фосфатазной, протеазной, гемолитической, плазмокоагуляционной, нуклеазной и желатиназной активностей в соответствии с методиками, изложенными в [12].

Чувствительность исследуемых культур к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом с применением дисков производства НИЦФ (Россия) с концентрацией (мкг/диск): канамицин (30), амикацин (30), линкомицин (15), неомицин (30), рифампицин (5), ципрофлоксацин (5), тетрациклин (30).

Расчет числа культивируемых микроорганизмов в пробах проведен по методу Кербера [13] при усреднении данных по трем параллелям посеянных проб. Среднегодовые суммарные величины численности культивируемых микроорганизмов рассчитывались как средние по повторностям ± доверительный интервал на уровне значимости 95% (< 0,05) с применением t -распределения Стьюдента.

Результаты и обсуждение

В рамках работы по идентификации биогенно-го материала аэрозолей атмосферы представлены результаты микробиологического анализа 227 проб аэрозолей, отобранных с сентября 2020 по декабрь 2021 г. Из образцов аэрозолей выделено 2013 культивируемых бактериальных изолятов. В условиях длительного отбора образцов фильтрацией без применения защитной среды выделяемые на применяемых питательных средах микроорганизмы были представлены бактериями, образующими эндоспores, кокками, неспороносными палочками и грибами, характеризующимися устойчивостью к высушиванию, повышенной концентрации солей, перепадам температуры и другим неблагоприятным факторам среды (рис. 1).

В зимний период концентрация выделяемых микроорганизмов была наиболее низкой, в среднем колебалась от нулевого значения и до 97 КОЕ/мл рабочей суспензии. Исключение составляли три пробы в точке отбора С (16–17 декабря 2020 г., 13 января 2021 г., 13–14 января 2021 г.), одна проба в точке А (13–14 января 2021 г.) и проба в точке N (10 февраля 2021 г.), где титр выделяемых микроорганизмов достигал 10^2 – 10^3 КОЕ/мл образца. В весенне-летних пробах атмосферных аэрозолей в сравнении с зимними образцами наблюдалась более высокая концентрация неспороносных бактерий, актиномицетов и плесневых грибов. Значительно увеличилось разнообразие выделяемых спорообразующих бактерий и кокковых форм, что может быть связано с ростом концентрации пылевых частиц в атмосфере в этот сезон года. Следует отметить, что заметное повышение концентрации культивируемых микроорганизмов в исследуемых пунктах отбора различалось по срокам: в точке А и точке С концентрация уже в апреле составляла $5,83 \cdot 10^3$ и $1,19 \cdot 10^3$ КОЕ/мл суспензии аэрозоля соответственно. Сходную концентрацию микроорганизмов, выделяемых из аэрозолей, в точках V и N наблюдали позже – в мае и июне. В большей части образцов атмосферных аэрозолей в летние месяцы концентрация культивируемых микроорганизмов составляла 1 – $9 \cdot 10^{-3}$ КОЕ/мл суспензии аэрозоля, 13 проб содержали на 1–2 порядка меньше культивируемых микроорганизмов, закономерности в распределении не наблюдались (рис. 1).

Пробы осеннего периода характеризовались высокой концентрацией микромикетов, повышенной в сравнении с летом численностью актиномицетов (в единичных пробах – до 21,67% от выделяемых культур), неспороносных и спорообразующих бактерий с выраженной амилотической активностью, что может быть связано с активной микробной утилизацией растительного опада в это время и наличием в воздухе взвесей мелких органических частиц, контаминированных микроорганизмами. Высокий титр культивируемых микроорганизмов в пробах осеннего периода в значительной мере обеспечен концентрацией плесневых грибов, в 37 из них составляющей 35–100% от общего числа выделяемых микроорганизмов; бактерии в высевках этих проб были немногочисленны или отсутствовали, что может быть результатом антибиотического действия метаболитов грибов. Среди изолированных из аэрозолей микромикетов идентифицированы представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Mucor*, относящиеся к четвертой группе патогенности, способные проявлять

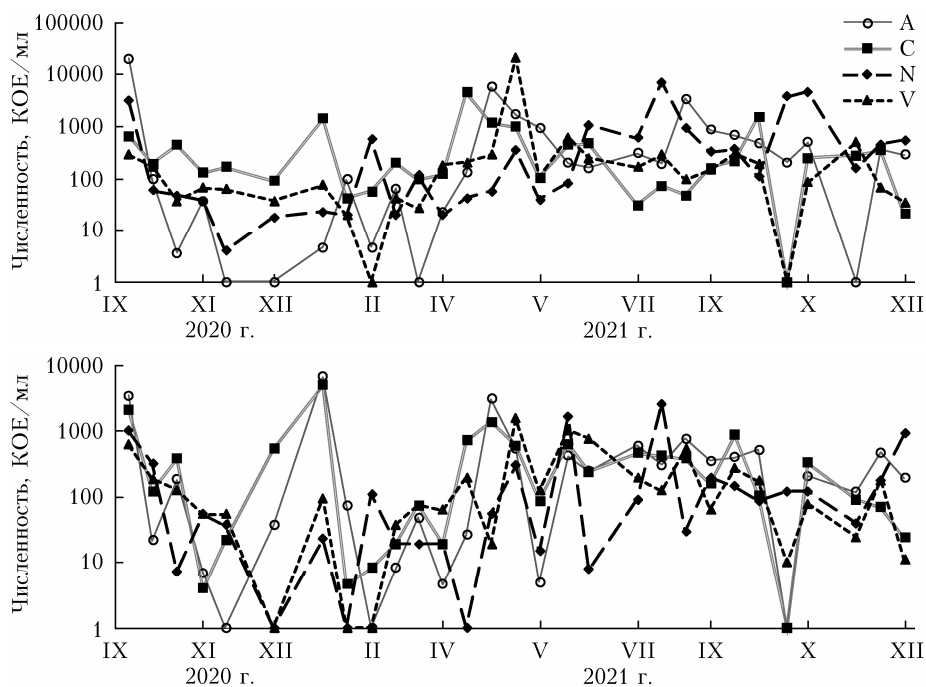


Рис. 1. Динамика численности культивируемых микроорганизмов днем (сверху) и ночью (снизу) в четырех пунктах пробоотбора в Новосибирске в 2020 и 2021 гг.

аллергические и патогенные свойства. В октябре культивируемые микроорганизмы в четырех пробах из восьми не обнаружены. Выявленные нулевые значения и наблюдаемое уменьшение численности микроорганизмов в пробах аэрозолей могут быть объяснены высоким уровнем солнечной радиации, промыванием атмосферы прошедшими осадками (в частности, пробы от 18–19 мая 2021 г., 7–8 октября 2020 г., 7–8 октября 2021 г.), безветренной погодой (данные www.pogodaklimat.ru), сохраняющей на некоторое время установившиеся условия среды и, следовательно, концентрацию микроорганизмов. Четко выраженных закономерностей в суточном колебании численности микроорганизмов в пробах (в дневное и ночное время) не обнаружено, их концентрация в аэрозолях локально менялась непредсказуемым образом (рис. 1, 2). В целом наблюдается высокая вариабельность концентраций микроорганизмов во всех исследуемых образцах аэрозолей, что коррелирует с ранее полученными сведениями по Западно-Сибирскому региону [14].

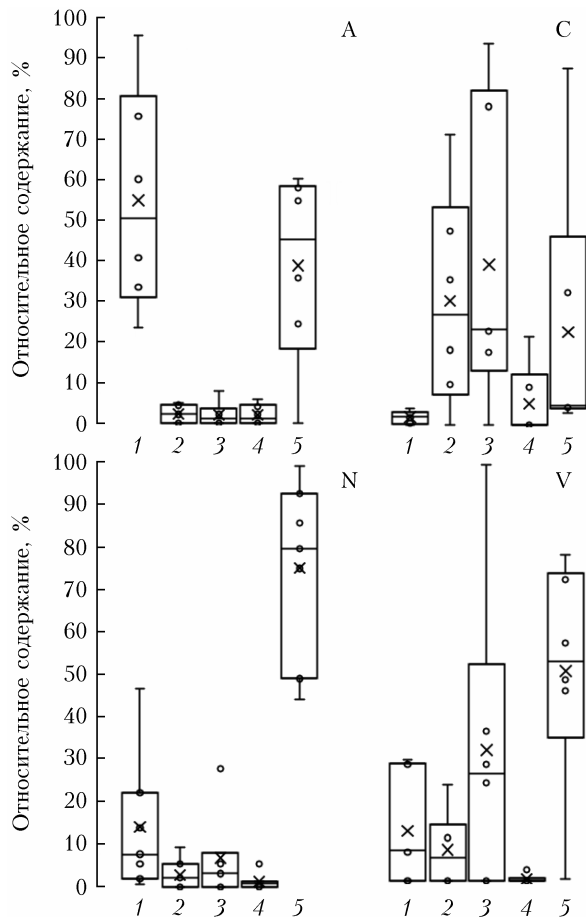


Рис. 2. Изменения относительного содержания спорообразующих (1) и неспорообразующих (2) палочек, кокков (3), актиномицетов (4) и грибов (5) в период сентябрь – декабрь 2021 г. в четырех пунктах Новосибирска

В зимних пробах в числе культивируемых преобладали повсеместно распространенные бактерии рода *Bacillus*, образующие эндоспores, такие как

B. firmis, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. thuringiensis*, *B. cereus* и ряд других, а также кокковые формы родов *Staphylococcus* и *Micrococcus*. В весенне-летних пробах атмосферных аэрозолей наблюдалось значительное увеличение концентрации плесневых грибов, неспороносных и спорообразующих бактерий, актиномицетов и кокковых форм. Среди неспороносных бактерий изолированы относящиеся к родам *Pseudomonas* (штаммы *P. helmanticensis* Km-307, *P. coleopterorum* Kb-54, *P. putida* Km-291, *P. mosselii* Km-242, Km-235 и ряд других), *Microbacterium* (штамм Kb-30), *Curtobacterium* (штамм Kb-98), *Corynebacterium* (штамм Kb-382), *Kocuria* (штамм Km-351) и др.

Кроме стафилококков и микрококков, выделенных в зимних пробах, в пробах летнего и осеннего периода обнаружены кокки, идентифицированные как относящиеся к родам *Macrococcus* (Kb-583), *Sporosarcina* (Kb-549), *Deinococcus* (Kb-540-R), *Paracoccus* (Km-302), изолированы спорообразующие бактерии родов *Paenibacillus*, *Lysinibacillus*, *Brevibacillus*, *Rummeliibacillus*. По-прежнему в пробах аэрозолей преобладали бактерии рода *Bacillus*.

В дополнение к ранее перечисленным широко распространенным видам бацилл изолированы спорообразующие бактерии вида *B. safensis* (Km-254, Kb-376), для представителей которого характерна высокая устойчивость к соли и ультрафиолетовому излучению [15], бактерии ризосферы бобовых вида *B. aryabhattai* (Km-297, Km-303-2) [16]. Обнаружен вид бактерии *B. aereus* (Km-330, Km-249-1), впервые выделенный из криогенных пробирок для отбора проб воздуха с большой высоты [17]; штаммы вида *B. velezensis* (Km-345, Km-348), используемого в качестве продуцента термофильных протеаз и фунгицидов [18]; бактерия вида *B. idriensis* (Km-263-1), изначально выделенного из крови новорожденного ребенка с сепсисом [19]; штаммы *B. indicus* (Km-263, Kb353, Kb-42), относящиеся к виду бактерии, применяемой в качестве пробиотика [20]; бактерия группы цереус *B. wiedmannii* (Km-328) – вида, известного гемолитической и цитотоксической активностью [21]; факультативно анаэробная бактерия вида *B. subterraneanus*, впервые выделенного из подземных термальных источников Австралии, утилизирующего соединения железа [22]; штаммы, идентифицированные как *B. atrophaeus* (Km-341), *B. proteolyticus* (Km-268), *B. zhanezhouensis* (Km-285), *B. simplex* (Kb-545, Kb-277), *B. toyonensis* (Kb-470) и ряд других.

Сходство с данными в GenBank для всех вышеупомянутых бактерий составляло 99–100%. Разнообразие культивируемых сапротрофных и патогенных микроорганизмов, обнаруженных в атмосферных аэрозолях, свидетельствует о многочисленности их источников разной локализации (как местные, так и удаленные). Микроорганизмы могли попасть в атмосферу Новосибирска в результате движения масс атмосферного воздуха при изменении метеоусловий (осадки, сильные ветры, штормовые явления).

К ферментам агрессии и защиты относится многочисленная группа секретируемых белков-ферментов: плазмокоагулаза, гиалуронидаза, фибринолизин, лецитиназа, фосфатазы, протеазы, ДНК-азы и др. Они обеспечивают распространение патогенных микроорганизмов по тканям и органам, защищают их от действия антимикробных механизмов макроорганизма. В качестве тест-культур, отражающих загрязнение воздуха патогенными агентами, использовали 138 культур кокков, выделенных из атмосферных аэрозолей Новосибирска в 2021 г. В ряде проб наблюдалась нетипичная высокая концентрация кокков, в частности, 50,28% от общего числа обнаруженных в пробе микроорганизмов в пробе С2 от 7–8 сентября 2021 г.; 78,44% в пробе С1 от 21 сентября 2021 г.; 45,05% в пробе N1 от 14–15 декабря 2021 г.; 98,62% в пробе V1 от 16 ноября 2021 г. и ряде других.

При определении признаков патогенности показано, что гемолитической активностью, разрушающей эритроциты, обладали 28 культур, протеазы выявлены у 32, коагулаза – у 11 культур. Лецитиназная активность показана для 4,35% культур, нуклеазная – для 6,52% бактерий от общего числа тестированных. Наличие фосфатаз разной степени активности характерно для всех 138 изолятов, наиболее она выражена у 15 штаммов (35,46–65,34 е.а., измерение при $D_{405\text{ нм}}$ – фотопоглощение раствора на длине волны 405 нм), включая штаммы Км-377, Км-438, Км-474, Км-530, Км-820 и др. Липазы и желатиназа, облегчающие адгезию и проникновение микроорганизмов в ткани, обнаружены у 33 и 10 штаммов соответственно. Капсула, являющаяся одним из факторов патогенности кокков, обладающая антифагоцитарной активностью, обнаружена у 83 штаммов бактерий из числа тестированных. Полученные характеристики исследуемых культур соответствуют известным признакам патогенных кокков [12]. Отметим, что на способность к гемолиту исследовано дополнительно 60 культур спорообразующих бактерий, также изолированных из аэрозолей. Гемолитической активностью обладали 38 из них.

Сведения о чувствительности микроорганизмов к антибиотикам необходимы для оценки степени их опасности, а также для определения возможности подавления жизнеспособности и проявления патогенных свойств. Выяснено, что из 138 культур кокков больше всего было устойчивых к канамицину и линкомицину – 55,1 и 50,5% от общего числа исследованных соответственно; к ципрофлоксацину и тетрациклину – 39,8 и 40,8%; к амикацину проявили резистентность 21,4% штаммов, к неомипцину – 18,4%. Показана высокая чувствительность штаммов к рифампицину, зона лизиса составляла 20–35 мм, рифампицин-резистентные штаммы составляли всего 9,2%. Выявлено 28 полирезистентных штаммов, устойчивых к 4–5 антибиотикам, 3 штамма – к 6 препаратам (Км-416, Км-647, Км-649), 2 штамма (Км-504 и Км-635) – ко всем 7 применяемым антибиотикам, что подтверждает литературные данные [23, 24] о все большей распространенно-

сти полирезистентных штаммов патогенных микроорганизмов как в клинических, так и в природных условиях. Известны данные о воздушно-капельном переносе, включающем факторы устойчивости к антибиотикам, в биоаэрозолях из различных компонентов окружающей среды [25].

В настоящее время особенно важны и актуальны исследования природы и источников устойчивости к антибиотическим препаратам, путей распространения, влияния экологических и антропогенных факторов передачи резистентности к антибиотикам от источников к рецепторам, а также рисков для здоровья человека [26].

Заключение

Представлены данные по составу и разнообразию культивируемых сапротрофных и патогенных микроорганизмов в атмосферных аэрозолях Новосибирска, отобранных фильтрацией в период с сентября 2020 по декабрь 2021 г. с применением армированных тефлоновых мембран Sartorius и компрессоров Hailea, позволяющих за 12 ч отобрать $61,2\text{ м}^3$ воздуха. Отбор проб проводили ежемесячно с периодом в две недели в четырех стационарных точках, различающихся по уровню антропогенного загрязнения. На примере выделенных культивируемых микроорганизмов впервые получены данные, отражающие годовую динамику биогенных компонент в составе атмосферного аэрозоля Новосибирска, проведена оценка опасности микроорганизмов атмосферы городской среды для населения.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-50032).

Список литературы

1. Mohler O., DeMott P.J., Vali G., Levin Z. Microbiology and atmospheric processes: The role of biological particles in cloud physics // *Biogeosci.* 2007. V. 4, N 4. P. 1059–1071.
2. Gandolfi I., Bertolini V., Ambrosini R., Bestetti G., Franzetti A. Unravelling the bacterial diversity in the atmosphere // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2013. V. 97, N 11. P. 4727–4736.
3. Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // *Рос. хим. журн.* 2008. Т. 52, № 5. С. 112–119.
4. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2020 году. Новосибирск, 2021. 176 с.
5. Головки В.В., Куценогий К.П., Истомин В.Л. Счетные и массовые концентрации пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля в окрестностях г. Новосибирска в период цветения древесных растений // *Оптика атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 6. С. 529–533.
6. Голиков Р.А., Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (Обзор литературы) // *Научное обозрение. Медицинские науки.* 2017. № 5. С. 20–31.
7. Чезганова Е.А., Ефимова О.С., Сахарова В.М., Ефимова А.Р., Созинов С.А., Исмаилов З.Р., Брусина Е.Б. Оценка роли пыли в формировании резервуара мультирезистентных госпитальных штаммов

- микроорганизмов в отделениях хирургического профиля // *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2020. Т. 5, № 1. С. 15–25.
8. Masclaux F.G., Sakwinska O., Charriure N., Semaani E., Oppliger A. Concentration of airborne *Staphylococcus aureus* (MRSA and MSSA), total bacteria, and endotoxins in pig farms // *Ann. Occup. Hyg.* 2013. V. 57, N 5. P. 550–557.
 9. Safatov A., Andreeva I., Buryak G., Ohlopkova O., Olkin S., Puchkova L., Reznikova I., Solovyanova N., Belan B., Panchenko M., Simonenkov D. How has the hazard to humans of microorganisms found in atmospheric aerosol in the south of Western Siberia changed over 10 years? // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. V. 17, N 5. DOI: 10.3390/ijerph17051651.
 10. *Методы общей бактериологии*. Т. 3 / под ред. Ф. Герхарда, Р. Мюррэй, Р. Костилоу, Ю. Нестера, В. Вуда, Н. Крига, Г. Филиппа. М.: Мир, 1984. 264 с.
 11. *Определитель бактерий Берджи* / под ред. Дж. Хоулта. М.: Мир, 1997. Т. 2. 368 с.
 12. *Руководство по медицинской микробиологии. Общая и санитарная микробиология. Книга I* / под ред. А.С. Лабинской, Е.Г. Волиной. М.: БИНОМ, 2008. 1080 с.
 13. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: МЕДГИЗ, 1962. 180 с.
 14. Safatov A.S., Buryak G.A., Andreeva I.S., Olkin S.E., Reznikova I.K., Sergeev A.N., Belan B.D., Panchenko M.V. Atmospheric bioaerosols // *Aerosols – Science and Technology*. Wienheim, Germany: Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. P. 407–454.
 15. Kothari V.V., Kothari R.K., Kothari C.R., Bhatt V.D., Nathani N.M., Koringa P.G., Joshi C.G., Vyas B.R.M. Genome sequence of salt-tolerant *Bacillus safensis* strain VK, isolated from saline desert area of Gujarat, India // *Genome Announc.* 2013. V. 1, N 5. DOI: 10.1128/genomeA.00671-13.
 16. Park Y.-G., Mun B.-G., Kang S.-M., Hussain A., Shahzad R., Seo C.-W., Kim A.-Y., Lee S.-U., Oh K.Y., Lee D.Y., Lee I.-J., Yun B.-W. *Bacillus aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones // *PLOS one*. 2017. V. 12, N 3. DOI: 10.1371/journal.pone.0173203.
 17. Shivaji S., Chaturvedi P., Suresh K., Reddy G.S.N., Dutt C.B.S., Wainwright M., Narlikar J.V., Bhargava P.M. *Bacillus aerius* sp. nov., *Bacillus aerophilus* sp. nov., *Bacillus stratosphericus* sp. nov. and *Bacillus altitudinis* sp. nov., isolated from cryogenic tubes used for collecting air samples from high altitudes // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2006. V. 56, N 7. P. 1465–1473.
 18. Mai L.T. Isolation and identification of factors affecting antimicrobial compound production of *Bacillus velezensis* // *Молодой ученый*. 2019. № 24. С. 21–27.
 19. Ko K.S., Oh W.S., Lee M.Y., Lee J.H., Lee H., Peck K.R., Lee N.Y., Song J.-H. *Bacillus infantis* sp. nov. and *Bacillus idriensis* sp. nov., isolated from a patient with neonatal sepsis // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2006. V. 56, N 11. P. 2541–2544.
 20. Hong H.A., Huang J.-M., Khaneja R., Hiep L.V., Urdaci M.C., Cutting S.M. The safety of *Bacillus subtilis* and *Bacillus indicus* as food probiotics // *J. Appl. Microbiol.* 2008. V. 105, N 11. P. 510–520.
 21. Miller R.A., Beno S.M., Kent D.J., Carroll L.M., Martin N.H., Boor K.J., Kovac J. *Bacillus wiedmannii* sp. nov., a psychrotolerant and cytotoxic *Bacillus cereus* group species isolated from dairy foods and dairy environments // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2016. V. 66, N 11. P. 4744–4753.
 22. Kanso S., Greene A.C., Patel B.K.C. *Bacillus subterraneus* sp. nov., an iron- and manganese-reducing bacterium from a deep subsurface Australian thermal aquifer // *Int. J. Sys. Evol. Microbiol.* 2002. V. 52, N 4. P. 869–874.
 23. Sarkhoo E., Udo E.E., Boswih S.S., Monecke S., Mueller E., Ehrlich R. The dissemination and molecular characterization of clonal complex 361 (CC361) methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in Kuwait hospitals // *Front. Microbiol.* 2021. V. 12. DOI: 10.3389/fmicb.2021.658772.
 24. Coombs G.W., Monecke S., Pearson J.C., Tan H.L., Chew Y.K., Wilson L., Ehrlich R., O'Brien F.G., Christiansen K.J. Evolution and diversity of community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in a geographical region // *BMC Microbiol.* 2011. V. 11. DOI: 10.1186/1471-2180-11-215.
 25. Zhuang M., Achmon Y., Cao Y., Liang X., Chen L., Wang H., Siame B.A., Leung K.Y. Distribution of antibiotic resistance genes in the environment // *Environ. Pollut.* 2021. V. 285. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117402.
 26. Gwenzi W., Shamsizadeh Z., Gholipour S., Nikaeen M. The air-borne antibiotic resistance: Occurrence, health risks, and future directions // *Sci. Total Environ.* 2022. V. 804. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150154.

I.S. Andreeva, O.A. Baturina, A.S. Safatov, N.A. Solovyanova, T.Y. Alikina, L.I. Puchkova, M.E. Rebus, G.A. Buryak, S.E. Olkin, A.S. Kozlov, M.R. Kabilov. **Concentration and composition of cultured microorganisms in atmospheric air aerosols in Novosibirsk depending on the season.**

Microorganisms of atmospheric aerosols sampled at four stationary points with different anthropogenic load in Novosibirsk in the period from September 2020 to December 2021 are studied. Atmospheric aerosols were monthly sampled by atmospheric air filtration at reinforced Teflon membranes Sartorius for 12 h, with a two week lags. Under those sampling conditions, spore-forming bacteria of the genus *Bacillus* and cocci of the genera *Staphylococcus* and *Micrococcus* predominated among the cultured bacteria in winter. In the spring-summer and autumn samples of atmospheric aerosols, the concentrations and diversity of coccal forms, spore-forming and non-spore-forming bacteria, actinomycetes, and fungi sharply increased. We have identified a significant number of hemolytic spore-forming bacteria and staphylococci, which are multi-resistant to antibiotics and have enzymes contributing to infectious process development.