

УДК 606:579.852.11+66.911.38(571.1)

Разнообразие и биотехнологический потенциал спорообразующих бактерий атмосферных аэрозолей юга Западной Сибири

И.С. Андреева, А.С. Сафатов, Л.И. Пучкова, Е.К. Емельянова,
Г.А. Буряк, В.А. Терновой*

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора
630559, Новосибирская обл., р.п. Кольцово

Поступила в редакцию 2.02.2021 г.

Исследовано разнообразие спорообразующих бактерий, выделенных из высотных и приземных проб аэрозолей в ходе мониторинга биогенной компоненты атмосферного воздуха юга Западной Сибири. В период с октября по декабрь 2016 г. зафиксировано значительное преобладание спорообразующих бактерий над представителями других групп микроорганизмов. Из образцов аэрозолей в указанное время наблюдения изолировано 62 жизнеспособных культуры бактерий, образующих эндоспоры, изучены их морфологические, физиологические и биохимические признаки, проведена геномная идентификация, определена ферментативная активность. Выделены и охарактеризованы бактериальные культуры, идентифицированные как относящиеся к родам *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, *Lysinibacillus* и др., обладающие биотехнологически значимой протеолитической, амилолитической, фосфатазной, липолитической, нуклеазной активностью.

Ключевые слова: атмосфера, биоаэрозоли, аэрозоли атмосферного воздуха, жизнеспособные спорообразующие микроорганизмы, ферментативная активность, *Bacillus*; atmosphere, bioaerosols, atmospheric aerosols, viable spore-forming microorganisms, enzymatic activity, *Bacillus*.

Введение

Микроорганизмы как биологическая составляющая атмосферных аэрозолей влияют на климат и атмосферные процессы [1, 2], являются причиной многих заболеваний растений, животных и человека. Они способны переноситься на большие расстояния [3, 4]. Значительное влияние на концентрацию биоаэрозолей в воздухе оказывают природные факторы, в том числе пыльные бури, содержащие твердые частицы и ассоциированные с ними микроорганизмы, способные к трансконтинентальному переносу. Бактерии, образующие эндоспоры, часто обнаруживаются в атмосфере на разных высотах, попадая в аэрозоли из различных источников [5–7]. Ключевыми факторами, влияющими на структуру сообщества бактерий, входящих в состав биоаэрозолей, являются погодные условия, географическое положение, время суток, сезон года, состав атмосферы, наличие точечных источников микроорганизмов [8, 9].

В настоящее время в связи с глобальными климатическими процессами актуальность исследований атмосферных аэрозолей существенно выросла.

Обширная территория Сибири, представленная большим разнообразием природных условий, относится к недостаточно изученным регионам. Проводимый в рамках комплексных исследований аэрозолей Сибири [10] мониторинг биогенной компоненты атмосферного воздуха Западной Сибири, выполняемый с активным участием ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, позволяет восполнить этот пробел. Микробное сообщество атмосферных аэрозолей интересно также с точки зрения возможного биотехнологического применения разнообразных ферментных систем, активных при экстремальных значениях pH, и температур, позволяющих микроорганизмам аэрозолей атмосферы противостоять агрессивным факторам среды.

Цель настоящей работы – изучение численности, разнообразия и биотехнологического потенциала спорообразующих бактерий, выделенных из атмосферных аэрозолей Западной Сибири.

Материалы и методы

При отборе высотных проб атмосферного воздуха использовали импинджеры с расходом 50 л/мин, содержащие 50 мл среды Хенкса. Отбирали высотные пробы с помощью лаборатории «Оптик-Э», смонтированной на самолете Ту-154, во время последовательных пролетов на высотах 7,0; 5,5; 4,0; 3,0; 2,0; 1,5; 1,0 и 0,5 км над терри-

* Ирина Сергеевна Андреева (andreeva@vector.nsc.ru); Александр Сергеевич Сафатов (safatov@vector.nsc.ru); Лариса Ивановна Пучкова (puchkova@vector.nsc.ru); Елена Константиновна Емельянова (Emelen1@yandex.ru); Галина Алексеевна Буряк (buryak@vector.nsc.ru); Владимир Александрович Терновой (tern@vector.nsc.ru).

торией Караканского бора, расположенного в 50 км к югу от Новосибирска. Приземные пробы воздуха отбирали также в импинджеры на площадках, расположенных в пос. Ключи Новосибирской обл. и на территории р.п. Кольцово, на высоте 2 м в течение 30 мин. Полученные образцы атмосферных аэрозолей высевали на жидкую и агаризованную среду LB «Difco» (USA), обедненную агаризованную среду LB, разбавленную дистиллированной водой (1:10), крахмало-аммиачный агар, почвенный агар [11, 12], среду Сабуро [13] и инкубировали при температурах 28–30 и 6–10° С в течение 3–14 сут. Расчет числа культивируемых микроорганизмов в пробах проводился по методу Кербера [14]. Физиологические и биохимические признаки выделенных микроорганизмов исследовали стандартными методами [11, 12]. Резистентность культур к антибиотикам определяли на среде LB с добавлением препаратов (мкг/мл): бициллин – 10, гентамицин – 10, канамицин – 30, левомицетин – 20, тетрациклин – 10, амоксициллин – 15, цефотаксим – 30, бензилпенициллин – 10, цефтриаксон – 10. Морфологию клеток микроорганизмов исследовали методом фазово-контрастной микроскопии с помощью микроскопа Axioskop 40 (Carl Zeiss, Германия). Содержание плазмидной ДНК в штаммах определяли методом скрининга в стандартных условиях [15]. Генетический анализ бактериальных изолятов проводили с помощью ПЦР с рНК [16]. Филогенетический анализ осуществляли с помощью программного обеспечения MEGA7. Выделенные штаммы микроорганизмов хранили при низкотемпературном замораживании в коллекции природных изолятов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

Результаты и обсуждение

С учетом отбираемых для анализа объемов проб атмосферного воздуха минимальный порог обнаружения концентрации жизнеспособных грибов в атмосфере составлял для высотных проб 40 КОЕ/м³, для наземных – 11 КОЕ/м³. Для бактерий этот порог обнаружения составлял 100 КОЕ/м³ в высотных пробах и 28 КОЕ/м³ в наземных. Погрешность определения концентрации микроорганизмов для описанных в статье условий культивирования составляла ± 0,2 lg. Выделенные из атмосферных аэрозолей спорообразующие бактерии, согласно фенотипическим и геномным данным (рис. 1, 2), были отнесены к родам *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, *Lysinibacillus* и ряду других. Бактериальные изоляты, относящиеся к наиболее представленному роду *Bacillus*, были определены как виды *B. thuringiensis*, *B. firmus*, *B. subtilis*, *B. brevis*, *B. beringensis*, *B. boroniphilus*, *B. cereus*, *B. koralensis*, *B. pumilus* и др. Спорообразующие бактерии Сб-989, Сг-42, Сг-45, Сб-940, Сг-39, Сг-46, Сб-946 по геномным характеристикам оказались сходными с бактериями цереусной группы *B. anthracis*, *B. cereus*, *B. Thuringiensis*

(рис. 1), но отличались от возбудителя сибирской язвы – бактерии *B. anthracis* – по фенотипическим признакам: все выделенные штаммы группы *B. cereus* были резистентны к пенициллину, секретировали такие ферменты, как щелочная фосфатаза, гемолизины, проявляли плазмокоагулазную активность и не могли быть отнесены к этому виду. Исследуемые культуры бактерий преимущественно являлись мезофилами с оптимумом роста в диапазоне температур 30–42 °С. Исключением были штаммы *L. fusiformis* Сб-974 и *Bacillus sp.* Сб-949, растущие и секретирующие ферменты при температурах от 5 до 42 °С. Около трети культур имели оптимум роста при рН среды 7,0–7,2; 18 культур – при рН 5,0–9,0; семь штаммов – при рН 5,0–7,0, 17 штаммов – при рН 7,0–9,0 (таблица).

Выделенные из атмосферных аэрозолей спорообразующие бактерии протестированы на наличие амилазной, протеазной, фосфатазной, липолитической и другой ферментативной активности. Наиболее выраженная секреция ферментов при способности к росту при разных значениях рН среды выявлена у штаммов, отнесенных к видам *B. cereus*, *B. thuringiensis* и штаммов рода *Lysinibacillus* (таблица).

Липазы широко применяются в медицине и пищевой промышленности. Следует отметить, что способность к синтезу липолитических ферментов широко представлена у спорообразующих микроорганизмов [17, 18], включая бактерии рода *Lysinibacillus* [19, 20]. Наиболее высокую липолитическую активность, проявленную на четырех субстратах (желточный агар, твин-20, твин-80, горчице или льняное масло), в диапазоне рН среды 5,0–9,0 показали штаммы *Lysinibacillus sp.* Сб-957, Сб-961, Сб-968, Сб-978; на двух субстратах (желточный агар, твин-20) – штаммы *L. sphaericus* Сб-974, Сб-977 и штаммы *Bacillus sp.* Сг-3 и Сг-9. Известно, что в деструкции липидов участвуют ферментные системы, сходные с ферментами биодegradации нефти [19, 21]. К деструкции нефтепродуктов проявили способность штаммы *Bacillus sp.* Сг 40-1, Сб-972, штаммы *B. subtilis* Сб-949, Сг-34, Сг-3 и ряд других. Наиболее эффективным, близким по активности к контрольному штамму нефтедеструктору *Yarrowia lipolytica*, был штамм *L. sphaericus* Сб-978: на третьи сутки культивирования при 20–22 °С добавленная к среде нефть была полностью эмульгирована, к седьмым суткам до 60–70% нефти было утилизировано. Штаммы-нефтедеструкторы имеют важное практическое значение для биоремедиации нефтезагрязненных территорий и водоемов.

Щелочная фосфатаза, широко используемая в медицине и молекулярной биологии, обнаружена во всех исследуемых штаммах при разных значениях рН среды: наиболее высокую фосфатазную активность при рН среды 7,0–9,0 проявили штаммы *Bacillus sp.* Сг-38, Сг-40, Сг-41 (45,0; 45,9; 51,66 единиц активности (е.а.), определяемой при D₄₀₅) (таблица), что в неоптимизированных условиях близко к активности контрольного штамма *Serratia marcescens* В-1 (58,9–65,2 е.а.).

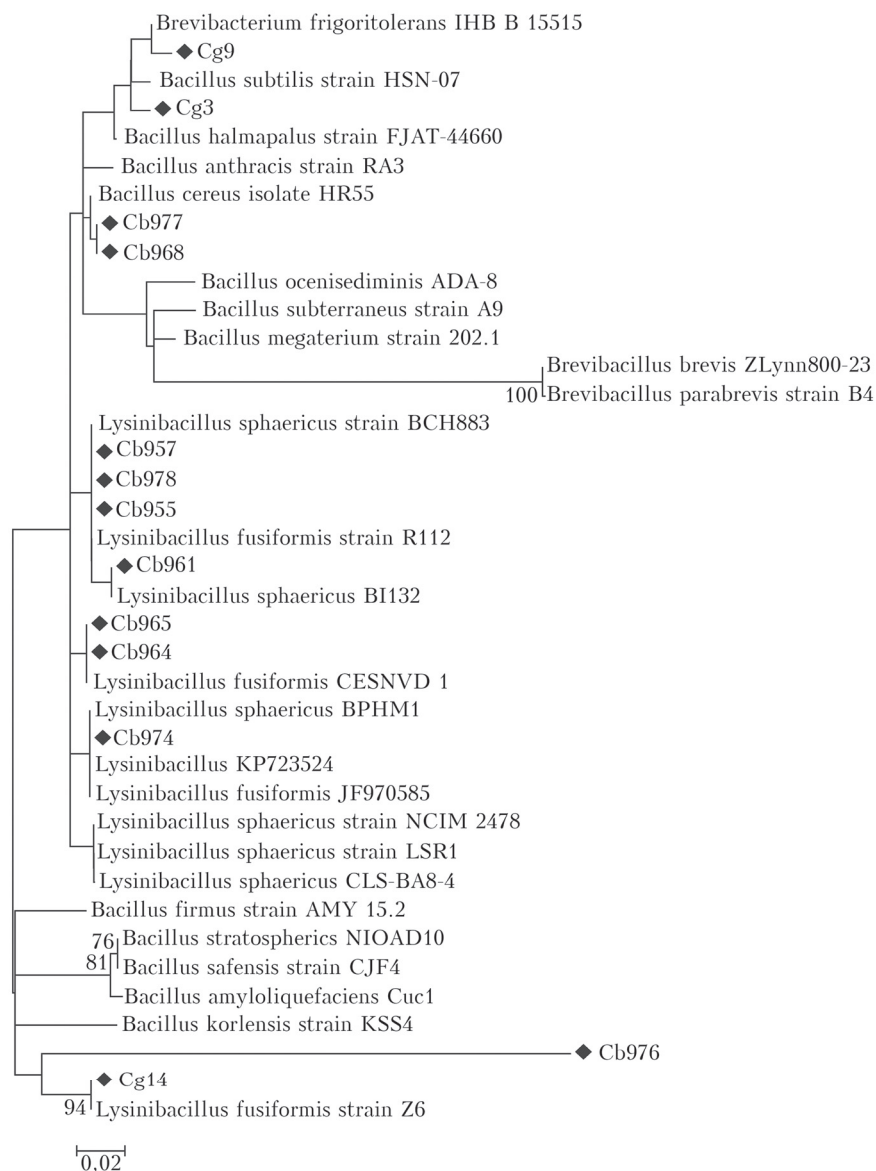


Рис. 1. Филогенетическое дерево, построенное для бактерий рода *Lysinibacillus*, выделенных из аэрозолей атмосферного воздуха, на основе сравнения с известными штаммами. Анализ проведен методом «объединения ближайших соседей» с использованием двухпараметрической модели Кимуры

Среди исследуемых спорообразующих бактерий выявлены культуры *B. thuringiensis* Cg-39 и Cb-527, содержащие в культуральной жидкости комплекс рибонуклеаз до 400 е.а./мл. Установлено, что рибонуклеазы бацилл обладают выраженной активностью в отношении РНК-содержащих вирусов [22, 23], в связи с этим штаммы *B. thuringiensis* Cg-39 и Cb-527 могут быть перспективны для разработки препаратов, направленных на подавление размножения РНК-содержащих вирусов.

Для штаммов, применяемых в биотехнологиях, важны такие характеристики, как наличие признаков патогенности и устойчивость к антибиотикам. Мы выяснили, что большая часть исследуемых культур не продуцировала такие ферменты агрессии, как фосфолипазы и гемолизины, но обладала протеолитической активностью, также относящейся

к патогенным свойствам. Выявлена высокая резистентность штаммов к левомицетину (98% изолятов); к группе пенициллинов: амоксициллину (30%), бензилпенициллину (27%), бициллину (22%); группе цефалоспоринов: цефтриаксону и цефотаксиму (20%); тетрациклину (11%). Обнаружены полирезистентные штаммы *Bacillus sp.* Cg-3, Cg-21, Cg-36, *B. firmus* Cg-16, *B. stratosphericus* Cb-949, устойчивые к шести антибиотикам, и штаммы *B. cereus* Cb-989, Cb-946, Cb-940, Cg-42, Cg-45, Cg-46, резистентные к семи из девяти использованных в опыте антибиотиков. Известно, что детерминанты устойчивости к антибиотикам существовали задолго до открытия и применения антибиотиков человеком; они передаются естественным образом с помощью горизонтального переноса генов [24, 25].

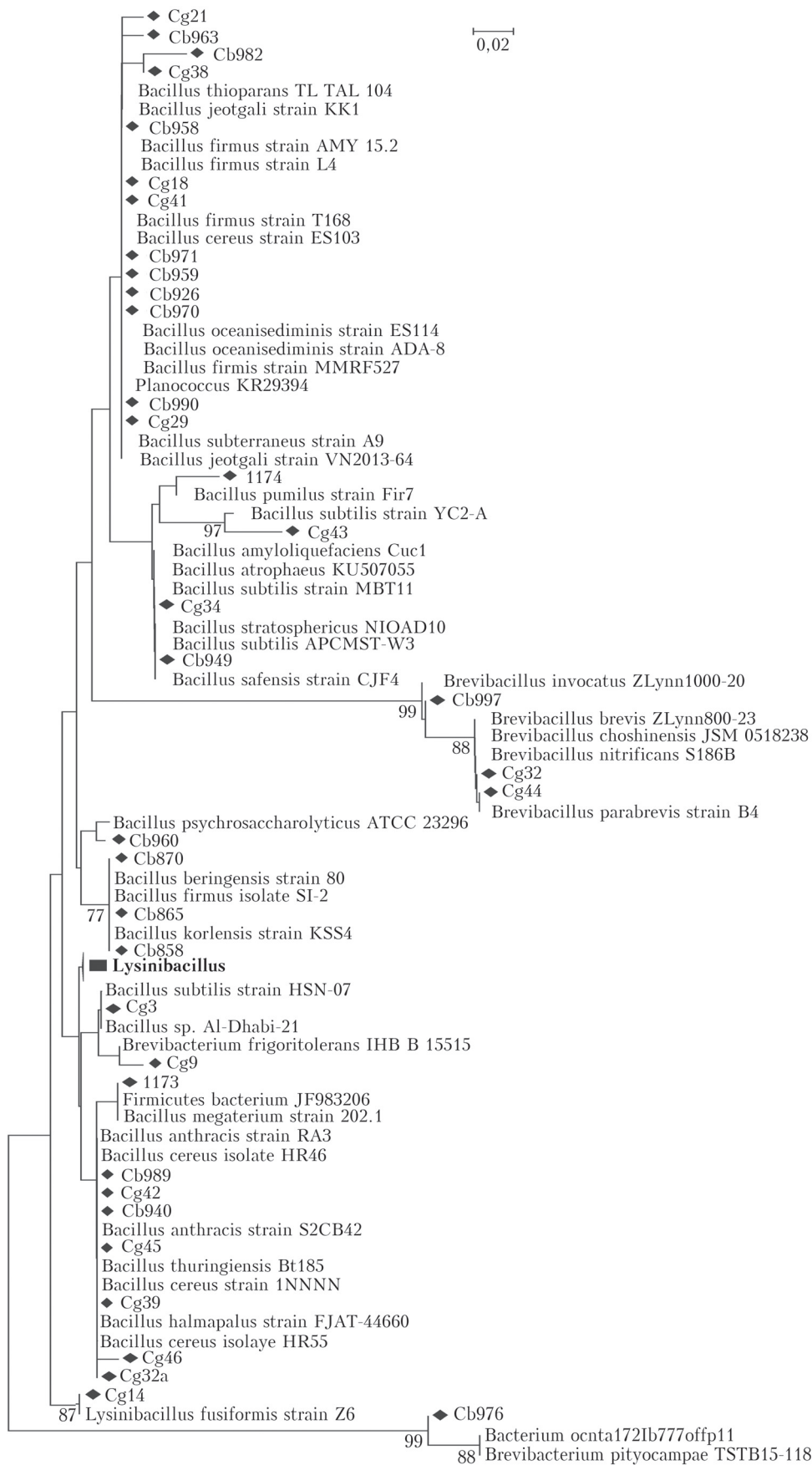


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, для бактерий, выделенных из аэрозолей атмосферного воздуха

Ферментативная активность спорообразующих бактерий, выделенных из аэрозолей атмосферного воздуха

Штамм	Род, вид	Наличие роста/рН среды			Ферментативная активность						
		5,0	7,0	9,0	Нуклеаза	Протеаза	Амилаза	Липаза	Фосфо-липаза	Гемолиз	Фосфатаза (D ₄₀₅)
Cg-3	<i>Bacillus sp.</i>	+	+	-	-	-	-	+	-	-	16,56
Cg-9	<i>Bacillus sp.</i>	+	+	-	-	-	-	+	-	-	4,81
Cg-10	<i>Paenibacillus sp.</i>	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Cg-14	<i>Bacillus firmus</i>	+	+	+	-	-	-	+	-	+	нд
Cg-16	<i>Bacillus firmus</i>	+	+	-	-	-	-	+	-	-	18,18
Cg-34	<i>Bacillus subtilis</i>	+	+	-	-	+	+	-	+	-	30,78
Cg-36	<i>Bacillus sp.</i>	+	+	-	-	-	-	+	-	-	8,51
Cg-38	<i>Bacillus sp.</i>	-	+	+	-	-	-	-	-	-	45
Cg-39	<i>B. thuringiensis</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	10,21
Cg-40	<i>Bacillus sp.</i>	-	+	+	-	-	-	-	-	-	45,9
Cg-41	<i>Bacillus sp.</i>	-	+	+	-	-	-	-	-	-	51,66
Cg-42	<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	18,18
Cg-45	<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	12,15
Cg-46	<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	10,78
Cb-527	<i>B. thuringiensis</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	12,37
Cb-858	<i>Bacillus sp.</i>	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Cb-865	<i>Bacillus korlensis</i>	-	+	-	-	-	+	-	-	-	9,54
Cb-940	<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	16,45
Cb-946	<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	10,46
Cb-949	<i>B. stratosphericus</i>	+	+	-	-	+	-	+	-	-	8,46
Cb-957	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	-	-	+	-	-	нд
Cb-959	<i>Bacillus sp.</i>	-	+	+	-	-	-	-	-	-	18,18
Cb-961	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	+	-	+	-	+	17,82
Cb-964	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	-	-	+	-	-	17,82
Cb-965	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	-	-	+	-	-	9,54
Cb-966	<i>Bacillus sp.</i>	-	+	-	-	+	-	+	-	-	10,33
Cb-968	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	+	-	+	-	-	8,64
Cb-970	<i>Bacillus firmus</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	26,64
Cb-972	<i>Bacillus sp.</i>	+	+	+	+	+	-	-	-	-	23,83
Cb-974	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	-	-	+	-	+	-	-	18,18
Cb-977	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	+	-	+	-	+	15,70
Cb-978	<i>Lysinibacillus sp.</i>	+	+	+	-	+	-	+	-	-	нд
Cb-989	<i>Bacillus sp.</i>	+	+	+	-	+	+	-	+	+	10,33

Примечание. + наличие активности, - отсутствие активности, нд - нет данных.

Заключение

Проведенные исследования выявили большое разнообразие и высокий биотехнологический потенциал спорообразующих бактерий, выделенных из малоизученных атмосферных аэрозолей юга Западной Сибири, полученных при самолётном зондировании атмосферы, и проб, отобранных в приземном слое воздуха. Уровень обнаруживаемой секреции тестируемых ферментов бактерий, возможность избирательно применять их в разных условиях среды, более гарантированное хранение и транспортировка бактериальных препаратов благодаря образованию клетками эндоспор, устойчивых к неблагоприятным условиям позволяют рекомендовать дальнейшее исследование выделенных бактерий с целью возможного применения в биотехнологиях и для фундаментальных исследований. Настоящая работа является важным вкладом в изучение биогенной составляющей атмосферных аэрозолей, проводимых исследователями в планетарном масштабе.

Работа выполнена в рамках государственного задания Роспотребнадзора «Изучение биоразнооб-

разия микроорганизмов в атмосферных аэрозолях» 11/21.

1. Mohler O., DeMott P.J., Vali G., Levin Z. Microbiology and atmospheric processes: The role of biological particles in cloud physics // *Biogeosciences*. 2007. V. 4, N 4. P. 1059–1071.
2. Phillips V.T.J., Andronache C., Christner B., Morris C.E., Sands D.C., Bansemer A., Lauer A., McNaughton C., Seman C. Potential impacts from biological aerosols on ensembles of continental clouds simulated numerically // *Biogeosciences*. 2009. V. 6. P. 987–1014.
3. Brown J.K.M., Hovmoller M.S. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease // *Science*. 2002. V. 297, N 5581. P. 537–541.
4. Kellog C.A., Griffin D.W. Aerobiology and global transport of desert dust // *Trends Ecol. Evol.* 2006. V. 21, N 11. P. 638–644.
5. Burrows S.M., Elbert W., Lawrence M.G., Puschl U. Bacteria in the global atmosphere – Part 1: Review and synthesis of literature data for different ecosystems // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9. P. 9263–9280.
6. Tanaka D., Terada Y., Nakashima T., Sakatoku A., Nakamura S. Seasonal variations in airborne bacterial community structures at a suburban site of central Japan

- over a 1-year time period using PCR-DGGE method // *Aerobiologia*. 2014. V. 31, N 2. P. 143–157.
7. Zhai Y., Li X., Wang T., Wang B., Li C., Zeng G. A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors // *Environ. Int.* 2018. V. 113. P. 74–90.
 8. Smets W., Moretti S., Denys S., Lebeer S. Airborne bacteria in the atmosphere: Presence, purpose, and potential // *Atmos. Environ.* 2016. V. 139. P. 214–221.
 9. Maki T., Kakikawa M., Kobayashi F., Yamada M., Matsuki A., Hasegawa H., Iwasaka Y. Assessment of composition and origin of airborne bacteria in the free troposphere over Japan // *Atmos. Environ.* 2013. V. 74. P. 73–82.
 10. Matvienko G.G., Belan B.D., Panchenko M.V., Sakherin S.M., Kabanov D.M., Turchinovich S.A., Turchinovich Yu.S., Eremina T.A., Kozlov V.S., Terpugova S.A., Pol'kin V.V., Yausheva E.P., Chernov D.G., Odintsov S.L., Burlakov V.D., Arshinov M.Yu., Iolev G.A., Savkin D.E., Fofonov A.V., Gladkikh V.A., Kamardin A.P., Belan D.B., Grishaev M.V., Belov V.V., Afonin S.V., Balin Yu.S., Kokhanenko G.P., Penner I.E., Samoilova S.V., Antokhin P.N., Arshinova V.G., Davydov D.K., Kozlov A.V., Pestunov D.A., Rasskazchikova T.M., Simonenkov D.V., Sklyadnaya T.K., Tolmachev G.N., Belan S.B., Shmargunov V.P., Voronin B.A., Serdyukov V.I., Polovtseva E.R., Vasil'chenko S.S., Tikhomirova O.V., Ponomarev Yu.N., Romanovskii O.A., Sinita L.N., Marichev V.N., Makarova M.V., Safatov A.S., Kozlov A.S., Malyshkin S.B., Maksimova T.A. Instrumentation complex for comprehensive study of atmospheric parameters // *Int. J. Remote Sens.* 2014. V. 35, N 15. P. 5651–5676.
 11. *Методы общей бактериологии: в 3 тт.* / под ред. Ф. Герхарда, Р. Мюррей, Р. Костилоу, Ю. Нестера, В. Вуда, Н. Крига, Г. Филиппа. М.: Мир, 1984. Т. 3. 264 с.
 12. *Определитель бактерий Берджи: в 2 тт.* / под ред. Дж. Хоулта. М.: Мир, 1997. Т. 2. 368 с.
 13. *Руководство по медицинской микробиологии. Общая и санитарная микробиология. Книга I* / под ред. А.С. Лабинской, Е.Г. Волиной. М.: БИНОМ, 2008. 1080 с.
 14. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л.: Медгиз, 1962. 180 с.
 15. Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. Методы генетической инженерии. Молекулярное клонирование. М.: Мир, 1984. 480 с.
 16. Wang Y., Qian P.-Y. Conservative fragments in bacterial 16S rRNA genes and primer design for 16S ribosomal DNA amplicons in metagenomic studies // *PLoS One*. 2009. V. 4, N 10. DOI: 10.1371/journal.pone.0007401.
 17. Dominguez-Monino I., Jurado V., Gonzalez-Pimentel J.L., Miller A.Z., Hermosin B., Saiz-Jimenez C. *Bacillus onubensis sp. nov.*, isolated from the air of two Andalusian caves // *Syst. Appl. Microbiol.* 2018. V. 41, N 3. P. 167–172.
 18. Javed S., Azeem F., Hussain S., Rasul I., Siddique M.H., Riaz M., Afzal M., Kouser A., Nadeem H. Bacterial lipases: A review on purification and characterization // *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 2018. V. 132. P. 23–34.
 19. Aderiyi B., Sulaimon A. Optimization and lipase Production of *Lysinibacillus sphaericus* in domestic oil rich waste water // *Biotechnol. J. Int.* 2017. V. 19, N 4. P. 1–12.
 20. Divakar K., Surya Prabha M., Gautam P. Purification, immobilization and kinetic characterization of G-x-S-x-G esterase with short chain fatty acid specificity from *Lysinibacillus fusiformis* AU01 // *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2017. V. 12. P. 131–141.
 21. Kareem S.O., Adegoke O.O., Balogun S.A., Afolabi A.T., Akinde S.B. Biodegradation of premium motor spirit (PMS) by lipase from *Bacillus thuringiensis* and *Lysinibacillus sphaericus* // *Nig. J. Biotech.* 2017. V. 33. P. 34–40.
 22. Ильинская О.Н., Шах Махмуд Р. Рибонуклеазы как противовирусные агенты // *Молекулярная биология*. 2014. Т. 48, № 5. С. 707–717.
 23. Андреева И.С., Сафатов А.С., Мокрушина О.С., Буряк Г.А., Пучкова Л.И., Мазуркова Н.А., Бурыца Л.И., Калмыкова Г.В. Инсектицидная, антимикробная и противовирусная активность штаммов *Bacillus thuringiensis ssp. kurstaki*, выделенных из атмосферных аэрозолей юга Западной Сибири // *Оптика атмосф. и океана*. 2014. Т. 27, № 6. С. 483–490; Andreeva I.S., Safatov A.S., Mokrushina O.S., Buryak G.A., Puchkova L.I., Mazurkova N.A., Burtseva L.I., Kalmykova G.V. Insecticidal, antimicrobial, and antiviral activity of *Bacillus thuringiensis ssp. kurstaki* strains isolated from atmospheric aerosols in the South of Western Siberia // *Atmos. Ocean. Opt.* 2014. V. 27, N 4. P. 479–486.
 24. Allen H.K., Donato J., Wang H.H., Cloud-Hansen K.A., Davies J., Handelsman J. Call of the wild: Antibiotic resistance genes in natural environments // *Nat. Rev. Microbiol.* 2010. V. 8, N 4. P. 251–259.
 25. Tan L., Li L., Ashbolt N., Wang X., Cui Y., Zhu X., Xu Y., Yang Y., Mao D., Luo Y. Arctic antibiotic resistance gene contamination, a result of anthropogenic activities and natural origin // *Sci. Total Environ.* 2018. V. 621. P. 1176–1184.

I.S. Andreeva, A.S. Safatov, L.I. Puchkova, E.K. Emelyanova, G.A. Buryak, V.A. Ternovoy. Biodiversity and biotechnological potential of spore-forming bacteria isolated from atmospheric aerosols of Western Siberia.

The diversity of spore-forming bacteria isolated from high-altitude and near-surface aerosol samples while monitoring the biogenic component of atmospheric air in southwestern Siberia were investigated. A significant predominance of spore-forming bacteria over representatives of other microorganism groups was recorded from October to December 2016. Sixty-two cultivated cultures of endospore-forming bacteria were isolated from the aerosol samples collected in that period. Their morphological, physiological, and biochemical characteristics were studied, their genomic identification was performed, and their enzymatic activity was determined. The isolated and characterized bacterial cultures were identified as belonging to the genera *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, *Lysinibacillus*, etc. and possessing biotechnologically significant proteolytic, amyolytic, phosphatase, lipolytic, and nuclease activities.