

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА ОБЩЕСТВЕННОГО АВТОТРАНСПОРТА

Д. Б. Гелашвили¹, И. В. Соловьева², И. В. Белова², А. Г. Точилина²,
В. Н. Якимов¹, Н. И. Зазнобина¹, Е. Д. Молькова¹, Н. А. Филашихин¹

¹ *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского*

Россия, 603950, Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23

² *Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени академика И. Н. Блохиной Роспотребнадзора*

Россия, 603950, Нижний Новгород, Малая Ямская, 71

E-mail: ecology@bio.unn.ru

Поступила в редакцию 1.11.2018 г., после доработки 26.01.2018 г., принята 14.02.2019 г.

Гелашвили Д. Б., Соловьева И. В., Белова И. В., Точилина А. Г., Якимов В. Н., Зазнобина Н. И., Молькова Е. Д., Филашихин Н. А. Экологическая структура микробного ценоза общественного автотранспорта // Поволжский экологический журнал. 2019. № 2. С. 174 – 188. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-174-188>

Впервые охарактеризован микробиологический «пейзаж» обсемененности салонов пассажирского автотранспорта на примере 41 автобуса 16 маршрутов, из которых в соответствии с орографическими особенностями г. Нижнего Новгорода были сформированы три модельные группы автобусных маршрутов: «Нагорная», «Заречная» и «Межрайонная». С помощью времяпролетного MALDI масс-спектрометра Autoflex (Bruker Daltonics, Германия) и программного обеспечения BioTuret идентифицированы численность и видовой состав микроорганизмов. В отобранных пробах обнаружены и идентифицированы 85 видов микроорганизмов, которые по степени патогенности были отнесены к одной из трех групп: 1) условно-патогенных микроорганизмов, часто вызывающих инфекционные заболевания; 2) условно-патогенных микроорганизмов, редко вызывающих инфекционные заболевания; 3) непатогенных микроорганизмов. Для характеристики экологической структуры микробного ценоза городского общественного автотранспорта рассчитаны индексы видового сходства: бинарный (индекс Серенсена) и многомерный (индекс биотической дисперсии Коха) сравниваемых объектов, в качестве которых выступали видовые списки микроорганизмов. Видовые списки анализировали на различных иерархических уровнях групп маршрутов: внутригрупповом и межгрупповом. На внутригрупповом уровне обнаружено небольшое число общих видов (1 – 3 вида) в каждой из сравниваемых групп, представленных *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus haemolyticus* и *Acinetobacter lwoffii*, что соответствует низкому значению индекса Коха, равному 0.10. При переходе на межгрупповой иерархический уровень маршрутов было выявлено уже 15 общих видов микроорганизмов, что соответствует значению индекса Коха, рассчитанному для трех групп маршрутов, равному 0.26. Другими словами, в трех анализируемых группах маршрутов обнаружено уже 26% общих видов микроорганизмов. При этом наиболее полно представлены все три группы микроорганизмов в «Межрайонной» группе маршрутов: 1-я группа – 45.0%; 2-я группа – 53.8% и 3-я группа – 58.1%. Синэкологический анализ, проведенный с применением экологических индексов – видового разнообразия Шеннона, доминирования Симпсона, видового богатства Маргалефа и выравнинности Пиелу – показал, что увеличение видового разнообразия сооб-

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА

шеств микроорганизмов сопровождается закономерным снижением доминирования и возрастанием выравненности. Анализ группы доминантных видов, идентифицированных в автобусах трех маршрутных групп, выявил, что видовое сходство по доминантным видам, оцениваемое по значению индекса Коха, составляет всего 0.14, что объясняется наличием только одного общего вида – *Acinetobacter lwoffii*. Изучение микробиоценозов городского автотранспорта представляет перспективу для решения санитарно-гигиенического и экологического аспектов комплексной проблемы обеспечения экологической безопасности городской среды.

Ключевые слова: микробный ценоз, общественный автотранспорт, экологическая структура.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-174-188>

ВВЕДЕНИЕ

В контактах человека с объектами окружающей среды особая роль принадлежит коже кистей рук – важнейшей части верхних конечностей, выполняющей двигательную, сенсорную и, частично, функцию общения. Рассмотрим только два аспекта таких контактов: обращение денег и общественный транспорт. Грязные, в прямом смысле слова, деньги являются одним из важнейших источников контаминации рук. Классические микробиологические методы, оценивающие распространенность только культивируемых бактерий, уже давно показали, что на монетах численность микроорганизмов меньше, чем на бумажных банкнотах (Abrams, Waterman, 1972), а пластиковые банкноты менее обсеменены, чем традиционные бумажные (Vriesekoop et al., 2010). При этом метагеномный анализ, не зависящий от культивирования, показывает значительно большее разнообразие бактерий на банкнотах. Так, например, на бразильских банкнотах номиналом в 1 риал обнаружены представители 3310 родов бактерий (Pereira da Fonseca et al., 2015), а на однодолларовых купюрах в Нью-Йорке найдены представители 397 видов бактерий (Maritz et al., 2017).

Городской пассажирский транспорт играет существенную роль в экономике любого города, поскольку маршрутный транспорт является основным способом перемещения пассажиров там, где наблюдается высокий спрос пассажиропотока. Именно общественный транспорт одновременно является приемником и источником бактериальной контаминации. Через грязные руки происходит обсеменение поверхности поручней, сидений и других контактных поверхностей пассажирских салонов транспортных средств микроорганизмами кожи. В результате крупномасштабного метагеномного исследования, проведенного E. Afshinneko с соавт. (2015), в котором приняли участие 46 исследователей из 19 научных учреждений США и Ирландии, в Нью-Йоркском метрополитене было идентифицировано 1688 бактериальных, вирусных, архейных и эукариотических таксонов, но при этом почти половина ДНК (48%) не соответствовала ни одному из известных организмов. Если принять во внимание, что метрополитен перевозит в год до 1.7 млрд человек, то подобные исследования могут оказаться полезными в экологическом мониторинге, предотвращении угроз биотерроризма и управлении здравоохранением в условиях мегаполиса.

Таким образом, микробиота кожи рук в условиях городской среды является своеобразным «меседжем», который каждый житель оставляет в окружающей

среде при разнообразных контактах: рукопожатиях, на поручнях общественного транспорта, на всевозможных контактных поверхностях в местах общего пользования от офисов и магазинов до туалетов. Репрезентативное изучение индивидуальной микробиоты рук в условиях мегаполиса – задача привлекательная, но весьма проблематичная ввиду масштаба, организационных трудностей и высокой стоимости такого исследования. Более реалистичными представляются обследование бактериальной обсемененности контактных поверхностей в местах общего пользования, которые могут дать усредненную, но достаточно валидную качественную и количественную информацию о составе микробиоты населения города, а в случае обследования городского транспорта – еще и о миграции бактерий в городской среде. В этом случае получение исходного материала сводится к рутинной процедуре с помощью методов смыва или отпечатков. Однако последующая идентификация бактерий является отнюдь не тривиальной задачей и требует привлечения современных высокотехнологичных методов, поскольку подавляющее большинство бактерий относится к некультивируемым.

Исходя из вышеизложенного, в настоящей работе мы впервые выявили микробиологический «пейзаж» обсемененности автобусов 16 маршрутов общественного пассажирского автотранспорта г. Н. Новгорода, идентифицировали видовой состав и численность бактерий с помощью времяпролетного MALDI масс-спектрометра Autoflex (Bruker Daltonics, Германия) и программного обеспечения BioTuner и дали описание экологической структуры микробного ценоза общественного транспорта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Нижний Новгород – административный центр Приволжского федерального округа и Нижегородской области. Численность населения – свыше 1.27 млн человек. Площадь около 460 км². Муниципальное предприятие «Нижегородпассажиравтотранс» перевозит в год более 80 млн пассажиров. В орографическом отношении Н. Новгород расположен в центральной части Восточно-Европейской (Русской равнины). Реки Ока, а ниже ее устья Волга делят территорию города на две части, резко различающиеся по характеру рельефа: возвышенную нагорную и низменную заречную. В Нижнем Новгороде исключительно ярко проявляется организующая роль рельефа. В вознесенной над Окой и Волгой нагорной части размещается историческая часть города, инновационные и наукоемкие производства, высшие учебные заведения, учреждения культуры. Заречная часть Н. Новгорода занимает обширную низменную территорию, где размещены крупнейшие предприятия. Эти обстоятельства определили специфику пассажирских транспортных потоков, которые должны обеспечить ежедневные миграции трудового населения как внутри орографических районов, так и между ними. Работа пассажирского автотранспорта в Н. Новгороде затруднена распределенностью заселения территории города, большим плечом суточных миграций, очень высокой концентрацией пассажиропотоков на мостах через р. Оку и отсутствием всеохватывающей системы скоростного транспорта. В соответствии с орографическими особенностями города были сформированы три группы модельных автобусных маршрутов, удов-

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА

летворяющим особенностям рельефа города: «Нагорная», «Заречная» и «Межрайонная» (табл. 1). Пробы отбирали в июне и июле 2017 г. Всего был обследован 41 автобус, выполняющие рейсы по 16 маршрутам в нагорной, заречной части (районах) города и межрайонные перевозки.

Таблица 1

Группы муниципальных маршрутов регулярных автобусных перевозок
г. Н. Новгорода, обследованных на наличие микрофлоры в 2017 г.

Название группы маршрутов	Номер маршрута (число обследованных автобусов)	Конечные пункты
Нагорная	1(3)	Площадь Минина и Пожарского – Автовокзал «Щербинки» Микрорайон Верхние Печеры – Автовокзал «Щербинки» Микрорайон Верхние Печеры – Автовокзал «Щербинки»
	2(1)	
	72(3)	
Заречная	22 (3)	Улица Долгополова – Поселок Березовая пойма Улица Космическая – ЗКПД-4 Микрорайон Седьмое небо – Микрорайон Юг Тоннель (Московский вокзал) – поселок Сортировочный
	65(3)	
	69(3)	
	148(1)	
Межрайонная	12(3)	ЗКПД-4 – Автовокзал «Щербинки» Микрорайон Кузнечиха-2 – Улица Долгополова Микрорайон Верхние Печеры – Микрорайон Юг Улица Долгополова – Автовокзал «Щербинки» ЗКПД-4 – Микрорайон Верхние Печеры Улица Дубравная – Микрорайон Седьмое небо Автовокзал «Щербинки» – Микрорайон Седьмое небо Улица Космическая – Автовокзал «Щербинки» ЗКПД-4 – Микрорайон Верхние Печеры
	26(4)	
	40(3)	
	43(3)	
	45(1)	
	57(1)	
	66(3)	
	77(3)	
	90(3)	

Изучение микрофлоры салонов автобусов пассажирского автотранспорта проводилось в соответствии с оптимизированным авторами классическим бактериологическим методом, позволяющим выделить широкий спектр видов микроорганизмов. Отбор локальных проб осуществляли с рабочих поверхностей, включая поверхности вертикальных и горизонтальных металлических поручней, пластиковые поручни, сидения и тканевую обивку сидений согласно МУ 2657-82 (1982). Для более полного изучения видового разнообразия микрофлоры, стандартную методику, описанную в МУК 4.2.2942-11 (2011), дополнили расширенным набором питательных сред: агар Эндо-ГРМ, среда Кесслера-ГРМ, селенитовый бульон, висмут-сульфит-ГРМ агар, среда для контроля микробной загрязненности (питательная среда № 8 ГРМ) и др. Идентификацию всех выросших видов микроорганизмов проводили с использованием времяпролетного масс-спектрометра MALDI-TOF Autoflex и программно-аппаратного комплекса BioTyper (Bruker Daltonics, Германия). Основная база данных масс-спектрометра насчитывает на настоящий момент 5989 масс-спектров референсных штаммов различных видов. Метод идентификации с помощью масс-спектрометрии основан на принципе, сходном с методом установления личности по отпечаткам пальца, – методом фингерпринта. После ионизации образца под воздействием лазера и детекции всех образовавшихся ионов получали уникальный масс-спектр рибосомальных белков, который сравнивали с имеющимися в базе данных референсными масс-спектрами. По максималь-

но совпадающим масс-спектрам проводили определение вида исследуемого микроорганизма. О достоверности идентификации судили по значению коэффициента совпадения (Score values) (Белова и др., 2015). Результаты качественного и количественного анализа микрофлоры локальных проб, отобранных в каждом автобусе, вначале сводили в объединенную пробу (далее – пробу) для данного автобуса, затем для нескольких автобусов модельного маршрута, наконец, для автобусов группы модельных маршрутов и использовали для расчета экологических параметров микробиоценозов общественного транспорта. Численность микроорганизмов выражали в КОЕ/см².

Для количественной оценки видового сходства микробиоценозов модельных автобусных маршрутов применяли бинарные и многомерные индексы. В качестве бинарного использовали индекс Серенсена:

$$I_s = \frac{2C}{A + B},$$

где A и B – количество видов в сравниваемых пробах, C – количество общих для проб A и B видов. Для оценки сходства более чем двух проб использовали многомерный индекс биотической дисперсии Коха:

$$I_k = \frac{(n-1)S}{\tau - S},$$

где n – число списков видов; S – число общих видов микроорганизмов в сравниваемых списках; τ – сумма чисел видов в сравниваемых списках, $\tau = S_1 + S_2 + \dots + S_n$. Для экологического анализа данных были использованы общепринятые экологические индексы: видового разнообразия Шеннона, доминирования Симпсона, видового богатства Маргалефа и выравненности Пиелу (Мэгарран, 1992; Pielou, 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав. В пробах, отобранных в автобусах муниципальных маршрутов регулярных пассажирских перевозок г. Н. Новгорода, было обнаружено 85 видов микроорганизмов. В отечественной литературе принято классифицировать микроорганизмы по степени патогенности для человека на патогенные (ПМ), условно-патогенные (УПМ) и непатогенные (НПМ), или сапрофитные (Руководство..., 2003; Потатуркина-Нестерова и др., 2014). Несмотря на условность такой классификации она, по мнению специалистов (Покровский и др., 2011), остается актуальной. Приведенную классификацию можно сопоставить с классификацией микроорганизмов по степени патогенности (опасности) (СП 1.3.3118-13(2013)), согласно которой к патогенным относятся микроорганизмы I, II, III групп опасности. В этом случае к условно-патогенным относятся микроорганизмы частично III и полностью IV групп опасности. Поскольку в результате нашего исследования были выделены микроорганизмы только IV группы опасности (т.е. УПМ) и непатогенные микроорганизмы, в работе целесообразно было разделить группу УПМ (IV группа опасности) на две группы: первая группа (1) – условно-патогенные микроорганизмы, часто вызывающие инфекционные заболевания у человека и выступающие в качестве единственного этиологического фактора заболевания; вторая группа (2) – условно-патогенные микроорганизмы, редко вызывающие ин-

фекционные заболевания у человека и, как правило, являющиеся этиологическим фактором заболевания в ассоциации с другими условно-патогенными микроорганизмами. Кроме того, была выделена третья группа (3) – непатогенных микроорганизмов. В табл. 2 – 4 приведены видовые списки идентифицированных микроорганизмов групп 1 – 3 с указанием их численности.

В табл. 2 под номерами 1 – 3 – представители рода *Acinetobacter* из группы неферментирующих грамотрицательных микроорганизмов, это условно-патогенные микроорганизмы, обитатели внешней среды, кожи человека. Могут вызывать заболевания у ослабленных больных, часто бывают этиологическим фактором инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (госпитальные инфекции), чаще всего в хирургических и ожоговых стационарах. Номер 4 – *Bacillus cereus* – возбудитель пищевой токсикоинфекции. Под номерами 5 – 8 и 10 – 20 – микроорганизмы, относящиеся к семейству Enterobacteriaceae, способные вызывать заболевания у человека, часто выступают как этиологический фактор инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (госпитальные инфекции). *Escherichia coli* (№ 10) является санитарно-показательным микроорганизмом – индикатором фекального загрязнения. Под номерами 21 – 37 – микроорганизмы рода *Staphylococcus*, семейство Staphylococcaceae – грамположительные кокки, номер 21 – золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) – частый этиологический фактор пищевых токсикоинфекций, септицемий, пневмо-

Таблица 2

Условно-патогенные микроорганизмы, часто вызывающие инфекционные заболевания (группа 1), идентифицированные в автобусах муниципальных маршрутов регулярных пассажирских перевозок г. Н. Новгорода

№ п/п	Виды микроорганизмов	КОЕ/см ²
1	<i>Acinetobacter baumannii</i>	1×10 ³
2	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	40×10 ³
3	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	5300×10 ³
4	<i>Bacillus cereus</i>	0.2×10 ³
5	<i>Citrobacter freundii</i>	0.2×10 ³
6	<i>Enterobacter asburiae</i>	260×10 ³
7	<i>Enterobacter cancerogenus</i>	0.2×10 ³
8	<i>Enterobacter cloacae</i>	9300×10 ³
9	<i>Enterococcus faecalis</i>	2.8×10 ³
10	<i>Escherichia coli</i>	2×10 ³
11	<i>Klebsiella oxytoca</i>	12.1×10 ³
12	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1×10 ³
13	<i>Listeria grayi</i>	7.6×10 ³
14	<i>Pantoea agglomerans</i>	1000×10 ³
15	<i>Pantoea calida</i>	6300×10 ³
16	<i>Pantoea cloacae</i>	96×10 ³
17	<i>Pantoea dispersa</i>	7000×10 ³
18	<i>Pantoea fulva</i>	1.2×10 ³
19	<i>Pantoea septica</i>	1300×10 ³
20	<i>Salmonella spp</i>	2.1×10 ³
21	<i>Staphylococcus aureus</i>	1.6×10 ³
22	<i>Staphylococcus capitis</i>	0.4×10 ³
23	<i>Staphylococcus cohnii</i>	1.9×10 ³
24	<i>Staphylococcus condimenti</i>	1.2×10 ³
25	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	170×10 ³
26	<i>Staphylococcus equorum</i>	0.4×10 ³
27	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	28×10 ³
28	<i>Staphylococcus hominis</i>	64×10 ³
29	<i>Staphylococcus intermedius</i>	0.1×10 ³
30	<i>Staphylococcus lutrae</i>	0.1×10 ³
31	<i>Staphylococcus pasteurii</i>	0.2×10 ³
32	<i>Staphylococcus pseudintermedius</i>	0.1×10 ³
33	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	43×10 ³
34	<i>Staphylococcus simulans</i>	40×10 ³
35	<i>Staphylococcus spp</i>	5.8×10 ³
36	<i>Staphylococcus warneri</i>	8×10 ³
37	<i>Staphylococcus xylosum</i>	2×10 ³

Примечание. Жирным шрифтом выделены общие виды микроорганизмов, идентифицированные в трех группах маршрутов регулярных пассажирских перевозок.

ний и пр. Остальные – группа коагулазоотрицательных стафилококков. Они широко распространены в окружающей среде, могут быть этиологическим фактором инфекционных заболеваний у ослабленных больных, являются обитателями носа, кожи, кишечника человека. Номер 9 – *E. faecalis* – относится к грамположительным коккам семейства Enterococcaceae, представителям нормальной микрофлоры

Таблица 3

Условно-патогенные микроорганизмы, редко вызывающие инфекционные заболевания (группа 2), идентифицированные в автобусах муниципальных маршрутов регулярных пассажирских перевозок г. Н. Новгорода

№ п/п	Виды микроорганизмов	КОЕ/см ²
1	<i>Acinetobacter johnsonii</i>	8.9×10 ³
2	<i>Acinetobacter junii</i>	1.3×10 ³
3	<i>Acinetobacter parvus</i>	9×10 ³
4	<i>Acinetobacter pittii</i>	433×10 ³
5	<i>Acinetobacter protophormia</i>	3×10 ³
6	<i>Acinetobacter radioresistens</i>	78.3×10 ³
7	<i>Acinetobacter schindleri</i>	1300×10 ³
8	<i>Acinetobacter ursingii</i>	53×10 ³
9	<i>Comamonas testasteroni</i>	0.9×10 ³
10	<i>Erwinia</i> spp.	160×10 ³
11	<i>Escherichia hermannii</i>	8.1×10 ³
12	<i>Escherichia vulneris</i>	1.8×10 ³
13	<i>Leclercia adecarboxylata</i>	63.6×10 ³
14	<i>Lelliottia amnigena</i>	0.2×10 ³
15	<i>Moraxella osloensis</i>	13.5×10 ³
16	<i>Pseudomonas fulva</i>	0.1×10 ³
17	<i>Pseudomonas luteola</i>	455×10 ³
18	<i>Pseudomonas monteilli</i>	46.1×10 ³
19	<i>Pseudomonas oryzihabitans</i>	5.2×10 ³
20	<i>Pseudomonas putida</i>	51.8×10 ³
21	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	23×10 ³
22	<i>Pseudomonas taetrolens</i>	0.1×10 ³
23	<i>Pseudomonas xanthomarina</i>	7.4×10 ³
24	<i>Serratia rubidaea</i>	5.7×10 ³

Примечание. Жирным шрифтом выделены общие виды микроорганизмов, идентифицированные в трех группах маршрутов регулярных пассажирских перевозок.

анализировалось видовое сходство микроорганизмов, идентифицированных для маршрутов, входящих в данную группу. Поскольку число маршрутов (n), входящих в каждую группу, было $n > 2$, для анализа применяли многомерный индекс биотической дисперсии Коха (I_k), значение которого составило для «Нагорной» группы 0.13, для «Заречной» и «Межрайонной» – 0.10 и 0.12 соответственно, т. е. около 10%. Низкие значения индекса биотической дисперсии Коха объясняются в данном случае небольшим числом общих внутригрупповых видов (1 – 3 вида) в

кишечника, которые могут вызывать заболевания у человека.

В табл. 3 под номерами 1 – 9 и 15 – 23 – представители группы неферментирующих грамотрицательных микроорганизмов. Под номерами 10 – 14 и 24 – микроорганизмы семейства Enterobacteriaceae, редко встречающиеся виды, могут быть возбудителями инфекционных заболеваний у ослабленных больных как в качестве единственного этиологического фактора, так и в ассоциации с другими условно-патогенными микроорганизмами. Наконец, в табл. 4 представлены микроорганизмы – обитатели внешней среды, непатогенные для человека.

Видовое сходство. Анализ видового сходства был проведен с использованием бинарных и многомерных индексов сходства сравниваемых объектов, в качестве которых выступали видовые списки микроорганизмов. Видовые списки анализировали на различных иерархических уровнях групп маршрутов (см. табл. 1): внутригрупповом и межгрупповом. На внутригрупповом уровне

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА

каждой из сравниваемых групп, представленных *S. epidermidis*, *S. haemolyticus* и *Acinetobacter lwoffii*.

При переходе на межгрупповой иерархический уровень маршрутов было выявлено уже 15 общих видов микроорганизмов (выделены жирным шрифтом в табл. 2 – 4), среди которых представители группы патогенных микроорганизмов составляли 60%. С учетом числа идентифицированных видов в сравниваемых видовых списках микроорганизмов для трех групп маршрутов: «Нагорная» – 34 вида, «Заречная» и «Межрайонная» – 30 и 66 видов соответственно, что в сумме (τ) дает 130 видов, а также числа общих видов микроорганизмов в этих списках $S = 15$ (см. табл. 2 – 4), индекс биотической дисперсии Коха, рассчитанный для трех групп маршрутов составил: $I_k = (3-1) \times 15 / (130-15) = 0.26$.

Другими словами, в трех анализируемых группах маршрутов обнаружено уже 26% общих видов микроорганизмов.

Наконец, попарное сравнение видовых списков групп маршрутов регулярных пассажирских перевозок с помощью бинарного индекса сходства Серенсена дало более высокие показатели сходства, достигающие для пар «Нагорная – Заречная», «Нагорная – Межрайонная» и «Заречная – Межрайонная» значений 0.47, 0.49 и 0.37 соответственно.

Кроме того, представляло интерес выяснить распределение микроорганизмов, различающихся по степени патогенности, между группами маршрутов регулярных пассажирских перевозок. Было установлено, что наиболее полно представлены все три группы микроорганизмов (патогенные, условно-патогенные и непатогенные) в «Межрайонной» группе маршрутов – 45.0, 53.8 и 58.1% соответственно.

Видовая структура. На заключительном этапе работы по изучению экологической структуры микробиоценоза общественного автотранспорта г. Н. Новгорода был проведен синэкологический анализ, предполагающий описание видовой структуры сообщества, характеризующейся не только показателями видовой бо-

Таблица 4
Непатогенные микроорганизмы – обитатели внешней среды (группа 3), идентифицированные в автобусах муниципальных маршрутов регулярных пассажирских перевозок г. Н. Новгорода

№ п/п	Виды микроорганизмов	КОЕ/см ²
1	<i>Aerococcus viridans</i>	6.9×10^3
2	<i>Bacillus arsenicus</i>	0.1×10^3
3	<i>Bacillus clausii</i>	0.1×10^3
4	<i>Bacillus flexus</i>	0.1×10^3
5	<i>Bacillus jeotgali</i>	1×10^3
6	<i>Bacillus licheniformis</i>	0.2×10^3
7	<i>Bacillus marisflavia</i>	48×10^3
8	<i>Bacillus megaterium</i>	0.6×10^3
9	<i>Bacillus pumilus</i>	0.3×10^3
10	<i>Bacillus subtilis</i>	0.4×10^3
11	<i>Bacillus vietnamensis</i>	0.1×10^3
12	<i>Brachybacterium faecium</i>	2.4×10^3
13	<i>Clostridium huthaway</i>	92×10^3
14	<i>Corynebacterium afermentans</i>	1×10^3
15	<i>Corynebacterium callunae</i>	0.2×10^3
16	<i>Exiguobacterium aurantiacum</i>	3430×10^3
17	<i>Exiguobacterium</i> sp.	9×10^3
18	<i>Kocuria palustris</i>	0.1×10^3
19	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	2×10^3
20	<i>Macrococcus caseolyticus</i>	0.4×10^3
21	<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	0.5×10^3
22	<i>Micrococcus luteus</i>	47×10^3
23	<i>Micrococcus lylae</i>	0.8×10^3
24	<i>Paenibacillus illionoisensis</i>	0.1×10^3

Примечание. Жирным шрифтом выделены общие виды микроорганизмов, идентифицированные в трех группах маршрутов регулярных пассажирских перевозок.

гатства, которыми, как правило, ограничиваются при оценках видового сходства, но и видового разнообразия, учитывающего представленность каждого вида. А. П. Левич (1980) подчеркивает, что видовая структура представляет собой экологическую «систему отсчета», поскольку именно изменения в численностях видов дают информацию о структуре и функционировании сообщества. Удобной формой свертывания информации о сообществе представляют собой экологические индексы: видового разнообразия Шеннона, доминирования Симпсона, видового богатства Маргалефа и выравнимости Пиелу, значения которых для микробиоценоза 41 «объединенной» пробы общественного автотранспорта приведены в табл. 5.

Таблица 5

Видовая структура микробиоценозов автобусов муниципальных маршрутов регулярных пассажирских перевозок г. Н. Новгорода

Показатели	Формула (обозначение)	Группы маршрутов		
		Нагорная	Заречная	Межрайонная
Общее микробное число	$N \times 10^6$	1.1×10^6 $n = 7$	13.2×10^6 $n = 10$	19.8×10^6 $n = 24$
Видовое богатство	S	34	30	66
Индекс видового богатства Маргалефа	$d = \frac{S-1}{\ln N}$	2.37	1.77	3.86
Индекс видового разнообразия Шеннона	$H = -\sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i$	1.88	1.34	1.95
Индекс доминирования Симпсона	$C = \sum_{i=1}^S p_i^2$	0.31	0.37	0.21
Индекс выравнимости Пиелу	$e = H/\ln S$	0.53	0.39	0.46

Анализ данных, приведенных в табл. 5, свидетельствует, что суммарная численность микроорганизмов (ОМЧ) имеет максимальное значение в «Межрайонной» группе маршрутов, а минимальное – в «Нагорной». При этом в «Межрайонной» группе идентифицировано и наибольшее количество видов (S). Поскольку сравниваемые группы маршрутов существенно различаются по числу проб (n), и, следовательно, ОМЧ и видовому богатству, для корректного сравнения необходимо использовать показатель с нормировкой на суммарную численность – индекс видового богатства Маргалефа, по которому группы маршрутов в порядке убывания располагаются следующим образом: «Межрайонная» > «Заречная» > «Нагорная».

Заметим, что видовое разнообразие, оцениваемое по индексу Шеннона, имеет относительно невысокое значение во всех трех группах маршрутов. Тем не менее, следует подчеркнуть, что увеличение видового разнообразия сообществ микроорганизмов сопровождается закономерным снижением доминирования (индекс Симпсона) и возрастанием выравнимости (индекс Пиелу) (см. табл. 5), что полностью согласуется с основными положениями теоретической экологии.

В завершение анализа экологической структуры микробиоценоза общественного автотранспорта г. Н. Новгорода приведем данные по доминантам, идентифицированным в автобусах трех маршрутных групп (табл. 6), из которых следу-

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА

ет, что видовое сходство по доминантным видам, оцениваемое по значению индекса биотической дисперсии Коха, составляет всего 14%:

$$I_k = (3-1) \times 1 / (15-1) = 0.14,$$

что объясняется наличием только одного общего вида – *A. lwoffii*.

Таблица 6

Доминантные по численности виды микроорганизмов различной степени патогенности, идентифицированные в трех группах маршрутов регулярных пассажирских перевозок г. Н. Новгорода

Нагорная			Заречная			Межрайонная		
Виды	КОЕ/см ²	ГП	Виды	КОЕ/см ²	ГП	Виды	КОЕ/см ²	ГП
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	620×10 ³	1	<i>Enterobacter cloacae</i>	7400×10 ³	1	<i>Pantoea dispersa</i>	6900×10 ³	1
<i>Pantoea cloacae</i>	96×10 ³	1	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	3200×10 ³	1	<i>Pantoea calida</i>	5400×10 ³	1
<i>Acinetobacter pittii</i>	76×10 ³	2	<i>Pantoea calida</i>	900×10 ³	1	<i>Enterobacter cloacae</i>	1800×10 ³	1
<i>Pantoea dispersa</i>	62×10 ³	1	<i>Pantoea agglomerans</i>	860×10 ³	1	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	1400×10 ³	1
<i>Acinetobacter ursingii</i>	49×10 ³	2	<i>Acinetobacter pittii</i>	280×10 ³	2	<i>Acinetobacter schindleri</i>	1200×10 ³	2

Примечание. ГП – группа патогенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный промышленный город можно рассматривать как гетеротрофную экосистему, получающую энергию и ресурсы с окружающих территорий (Одум, 1986). Специфическими чертами городских экосистем, или урбоэкосистем, отличающих их от природных, являются: потребность в концентрированной (высококачественной) энергии для поддержания повышенного удельного метаболизма; повышенная потребность в поступающих извне материальных ресурсах; формирование мощного и опасного потока плохо утилизируемых и биотрансформируемых отходов. В природных экосистемах устойчивость обеспечивается высокоскоррелированным взаимодействием живых организмов, находящихся на разных трофических уровнях и обеспечивающих направленный поток энергии и круговорот веществ при данных параметрах «среды на входе» и «среды на выходе». В урбоэкосистемах функции управления выполняют социальные институты, бюрократический механизм функционирования которых далек от кибернетических принципов управления сложными системами. Так, например, тенденция сопровождения крупных городов спутниками, или городами-спутниками, часто приводит к серьезным проблемам жизнеобеспечения, особенно в том случае, когда «среда на выходе» одного города становится «средой на входе» для другого. Таким образом, современный город это «гордиев узел» локально сконцентрированных экологических проблем.

Одним из ключевых вопросов безопасного существования городского населения (человеческой популяции городских экосистем) является взаимоотношение с популяциями других живых организмов, обитателями городской экосистемы и составляющими урбаноценоз – обедненный комплекс, состоящий из синантропов, рудеральных, сеgetальных и окультуренных растений, некоторых видов микроорганизмов, хорошо приспособленных к городской среде и друг к другу. Человек также входит в состав урбаноценоза. Синантропные микроорганизмы по характеру взаимодействия с макроорганизмом (человеком) могут рассматриваться как симбионты (в некоторых случаях как мутуалисты). Бактерии-симбионты живут в кишечнике, на слизистых, на коже и составляют микробиоту человека, в формирова-

нии которой принимают участие более 1000 видов бактерий. Микрофлора кожи является интегральным показателем здоровья человека и поэтому по количеству и качественному составу находящихся на коже микроорганизмов можно судить об иммунокомпетентности человека. Различают микробы, которые живут и размножаются в коже и на ее поверхности (резидентная флора), и те, которые только временно контаминируют кожу (транзиторная флора), кроме того, выделяют «инфекционную» микрофлору, т.е. включающую бактерии, вызывающие инфекции кожи, например панариций (Любимова и др., 2014).

Однако соотношение численности или биомассы синантропов и симбионтов, с одной стороны, и человека, как эдификатора городской среды, с другой, существенным образом зависит от особенности биологии того или иного вида. Так, при сравнении численности людей и бактерий, входящих в состав микробиоты человека, с учетом астрономического количества бактерий, приходится оценивать соотношение числа бактерий с числом клеток организма человека. После работы Т. D. Luckey (1972) в литературе утвердилось мнение, что это соотношение для «эталонного человека», т.е. «возрастом 20 – 30 лет, весом 70 кг и ростом 170 см» (Snyder et al., 1975), равно 10:1. Однако недавно эти данные были подвергнуты ревизии в работе R. Sender с соавт. (2016). Они показали, что общее число бактерий в «эталонном человеке» составляет 3.9×10^{13} , тогда как численность «человеческих клеток» равна 3.0×10^{13} , причем среди них доминируют (около 90%) клетки гемопоэтического ряда, в том числе 84% приходится на эритроциты. Таким образом, число бактерий превышает число клеток организма примерно в 1.3 раза, причем каждая дефекация дает временное численное преимущество клеток организма над бактериями.

Кожа практически непроницаема для инфекции за счет своего строения и деятельности потовых и сальных желез, секреты которых образуют на поверхности кожи водно-жировую пленку с pH $4.0 \div 4.5$ (гидролипидная мантия кожи), поддерживаемым расщеплением жирных кислот эпидермальным стафилококком (*S. epidermidis*), что препятствует размножению микробов, попавших на кожу. Наличие кислой оболочки – один из ключевых факторов кожного иммунитета. Напротив, колебания pH нарушают количественно-качественный состав нормофлоры и могут стать предрасполагающим фактором для развития дерматологических патологий.

Таким образом, изучение микробиоценозов городского транспорта может внести существенный вклад в решение комплексной проблемы обеспечения экологической безопасности городской среды как минимум в двух аспектах: санитарно-гигиеническом и экологическом. Следует подчеркнуть, что успех в этом направлении может быть достигнут при самосогласованном подходе, когда результаты изучения экологической структуры микробиоценозов используются для оптимизации тактики и стратегии санитарно-гигиенического и эпидемиологического контроля городского транспорта. Для этого необходимы дальнейшие более масштабные исследования, охватывающие кроме пассажирских автоперевозок и другие виды наземного пассажирского транспорта и метрополитена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белова И. В., Точилина А. Г., Соловьева И. В., Жирнов В. А., Иванова Т. П., Сидорова В. Ф., Балавина Т. К. Взаимодействие Регионального научно-методического центра по мониторингу за актуальными для ПФО инфекционными болезнями и бактериологических лабора-

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКРОБНОГО ЦЕНОЗА

торий. Опыт применения масс-спектрометрии // Справочник заведующего КДЛ. М. : Изд. дом МЦ ФЭР, 2015. № 11. С. 33 – 41.

Любимова А. В., Зуева Л. П., Голубкова А. А., Техова И. Г. Гигиена рук медицинского персонала. Федеральные клинические рекомендации. М. : Ремедиум Поволжье, 2014. 31 с.

Левич А. П. Структура экологических сообществ. М. : Изд-во МГУ, 1980. 181 с.

МУ № 2657-82. Методические указания по санитарно-бактериологическому контролю на предприятиях общественного питания и торговли пищевыми продуктами. М., 1982. 26 с.

МУК № 4.2.2942-11. Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях / Фед. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. М., 2011. 7 с.

Потатуркина-Нестерова Н. И., Фалова О. Е., Немова И. С., Онищенко Н. С. Микробиота кожи в норме и патологии. Ульяновск : Изд-во Ульян. гос. техн. ун-та, 2014. 113 с.

Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 184 с.

Одум Ю. Экология : в 2 т. / пер. с англ. М. : Мир, 1986. Т. 1. 328 с.; Т. 2. 376 с.

Покровский В. И., Акимкин В. Г., Брико Н. И., Брусина Е. Б., Благодирова А. С., Зуева Л. П., Ковалишена О. В., Стасенко В. Л., Тутельян А. В., Фельдблюм И. В., Шкарин В. В. Основы современной классификации инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи // Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. 2011. № 3. С. 4 – 10.

Руководство по инфекционным болезням / под ред. Ю. В. Лобзина. СПб. : Фолиант, 2003. 1040 с.

СП 1.3.3118-13. Санитарно-эпидемиологические правила. Безопасность работы с микроорганизмами I – II групп патогенности (опасности). Приложение 3. Классификация биологических агентов, вызывающих болезни человека, по группам патогенности. М., 2013. С. 70 – 84.

Abrams B. L., Waterman N. G. Dirty money // J. of the American Medical Association. 1972. Vol. 219, iss. 9. P. 1202 – 1203.

Afshinnekoo E., Meydan C., Chowdhury S., Jaroudi D., Boyer C., Bernstein N., Maritz J. M., Reeves D., Gandara J., Chhangawala S., Ahsanuddin S., Simmons A., Nessel T., Sundaresh B., Pereira E., Jorgensen E., Kolokotronis S. O., Kirchberger N., Garcia I., Gandara D., Dhanraj S., Nawrin T., Saletore Y., Alexander N., Vijay P., Hénaff E. M., Zumbo P., Walsh M., O'Mullan G. D., Tighe S., Dudley J. T., Dunaif A., Ennis S., O'Halloran E., Magalhaes T. R., Boone B., Jones A. L., Muth T. R., Paolantonio K. S., Alter E., Schadt E. E., Garbarino J., Prill R. J., Carlton J. M., Levy S., Mason C. E. Geospatial Resolution of Human and Bacterial Diversity with City-Scale Metagenomics // Cell Systems. 2015. Vol. 1, № 1. P. 1 – 15.

Luckey T. D. Introduction to intestinal microecology // American J. of Clinical Nutrition. 1972. Vol. 25, iss. 12. P. 1292 – 1294.

Maritz J. M., Sullivan S. A., Prill R. J., Aksoy E., Scheid P., Carlton J. M. Filthy lucre: A metagenomic pilot study of microbes found on circulating currency in New York City // PLoS ONE. 2017. Vol. 12, iss. 4. P. e0175527.

Pereira da Fonseca T. A., Pessôa R., Sanabani S. Molecular analysis of bacterial microbiota on brazilian currency note sur faces // International J. of Environmental Research and Public Health. 2015. Vol. 12, № 10. P. 13276 – 13288.

Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections // J. of Theoretical Biology. 1966. Vol. 13. P. 131 – 144.

Sender R., Fuchs S., Milo R. Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body // PLoS Biology. 2016. Vol. 11, iss. 8. P. e1002533.

Snyder W. S., Cook M. J., Nasset E. S., Karhausen L. R., Parry Howells G., Tipton I. H. Report of the Task Group on Reference Man. Oxford : Pergamon Press, 1975. 480 p.

Vriesekoop F., Russell C., Alvarez-Mayorga B., Aidoo K., Yuan Q., Scannell A., Beumer R. R., Jiang X., Barro N., Otokunfor K., Smith-Arnold C. D. Dirty money : an investigation into the hygiene status of some of the world's currencies as obtained from food outlets // Foodborne Pathogens and Disease. 2010. Vol. 7, iss. 12. P. 1497 – 1502.

Д. Б. Гелашвили, И. В. Соловьёва, И. В. Белова и др.

Ecological Structure of Public Transport Microbiocoenosis

David B. Gelashvili¹, ecology@bio.unn.ru

Irina V. Solovyova², lab-lb@yandex.ru

Irina V. Belova², lab-lb@yandex.ru

Anna G. Tochilina², <https://orcid.org/0000-0001-7753-5730>; lab-lb@yandex.ru

Basil N. Yakimov¹, <https://orcid.org/0000-0001-7150-7851>; damsselfly@yandex.ru

Nataly I. Zaznobina¹, <https://orcid.org/0000-0001-8176-0981>; dis212.166.12@gmail.com

Ekaterina D. Molkova¹, ecology@bio.unn.ru

Nikita A. Filashikhin¹, ecology@bio.unn.ru

¹ Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

23 Gagarin Avenue, Nizhni Novgorod 603950, Russia

² Blokhina Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology of Nizhny Novgorod

71 Malaya Yamskaya St., Nizhniy Novgorod 603950, Russia

Received 1 November 2018, revised 26 January 2019, accepted 14 February 2019

Gelashvili D. B., Solovyova I. V., Belova I. V., Tochilina A. G., Yakimov B. N., Zaznobina N. I., Molkova E. D., Filashikhin N. A. Ecological Structure of Public Transport Microbiocoenosis. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 2, pp. 174–188 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-174-188>

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 License.

The microbiological pattern of the salons of urban public transport is described for the first time with 41 buses of 16 routes as examples. According to orographic features of the Nizhny Novgorod city, all the bus routes were split into three model groups, namely: the high-bank one, the low-bank one, and the inter-district one. The abundance and species composition of microorganisms were estimated using a MALDI mass spectrometer Autoflex (Bruker Daltonics, Germany) and the BioTyper software. 85 microorganism species were detected, identified and assigned to one of the following three groups according to their degree of pathogenicity, namely: 1) conditionally pathogenic microorganisms, often causing infectious diseases; 2) conditionally pathogenic microorganisms causing infectious diseases rarely, and 3) non-pathogenic microorganisms. To characterize the ecological structure of the microbial community of urban public transport, two similarity indices were calculated, namely, Sorensen's index and Koch's biotic dispersion index. The species composition was analyzed at two hierarchical levels of the bus route groups (the intragroup and intergroup ones). At the intragroup level, a small number (1–3) of common species were found in each route group represented by *S. epidermidis*, *S. haemolyticus* and *Acinetobacter lwoffii*, which corresponds to a low Koch index value (0.1). At the intergroup level, just 15 common species of microorganisms were found, which corresponds to the value of Koch's index calculated for the three route groups (0.26). In other words, 26% of species were common for the three route groups analyzed. All the three groups of microorganisms were represented most fully in the inter-district route group, namely: Group 1 – 45%, Group 2 – 53.8%, and Group 3 – 58.1%. Community structure analysis carried out with few ecological

indices (Shannon's species diversity index, Simpson's index of dominance, Margalef's species richness index, and Pielou's species evenness index) showed that an increase in the specific diversity of microbial communities is accompanied by a regular decrease in dominance and an increase in evenness. Analysis of the group of dominant species identified in the buses of the three route groups revealed that the species similarity of the dominant species, estimated by the value of Koch's index, was only 0.14, which could be explained by the presence of only one common species (*Acinetobacter lwof-fii*). Studies of the microbial community of urban transport present a perspective for solving the sanitary, hygienic and environmental aspects of the integrated problem of ensuring the ecological safety of the urban environment.

Keywords: microbiocoenosis, public transport, ecological structure.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-174-188>

REFERENCES

- Belova I. V., Tochilina A. G., Solovyova I. V., Zhirnov V.A., Ivanova, T. P., Sidorova V. F., Balavina T. K. Interaction of the Regional Scientific and Methodological Center for the Monitoring of Infectious Diseases relevant to the Volga Federal District and bacteriological laboratories. Experience of application of mass spectrometry. In: *Spravochnik zaveduiushchego KDL* [Reference of the head KDL]. Moscow, Izdatel'skii dom MTs FER, 2015, no. 11, pp. 33–41 (in Russian).
- Lyubimova A. V., Zueva L. P., Golubkova A. A., Tekhova I. G. *Gigiena ruk meditsinskogo personala. Federal'nye klinicheskie rekomendatsii* [Hygiene of the hands of medical personnel. Federal clinical guidelines]. Moscow, Remedium Povolzh'e Publ., 2014. 31 p. (in Russian).
- Levich A. P. *Struktura ekologicheskikh soobshchestv* [The structure of ecological communities]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1980. 181 p. (in Russian).
- MU № 2657-82. Metodicheskie ukazaniia po sanitarno-bakteriologicheskomu kontroliu na predpriiatiakh obshchestvennogo pitaniia i torgovli pishchevymi produktami* [MU No. 2657-82. Methodical instructions on sanitary and bacteriological control at catering and food products trade]. Moscow, 1982. 26 p. (in Russian).
- MUK № 4.2.2942-11. Metody sanitarno-bakteriologicheskikh issledovaniy ob"ektov okruzhaiushchei sredy, vozdukha i kontrolya steril'nosti v lechebnykh organizatsiiakh* [MUK No. 4.2.2942-11. Methods of sanitary-bacteriological studies of environmental objects, air and sterility control in medical organizations]. Moscow, 2011. 7 p. (in Russian).
- Potaturkina-Nesterova N. I., Falova O. E., Nemova I. S., Onishchenko N. S. *Mikrobiota kozhi v norme i patologii* [Skin microbiota is normal and pathological]. Ulyanovsk, Izdatel'stvo Ul'ianovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2014. 113 p. (in Russian).
- Magarran E. *Ecological Diversity and its Measurement*. Moscow, Mir Publ., 1992. 184 p. (in Russian).
- Odum U. *Ecology* / trans. from English. Moscow, Mir Publ., 1986, vol. 1. 328 p.; vol. 2. 376 p. (in Russian).
- Pokrovsky V. I., Akimkin V. G., Briko N. I., Brusina E. B., Blagonravova A. S., Zueva L. P., Kovalishena O. V., Stasenko V. L., Tutelyan A. V., Feldblyum I. V., Shkarin V. V. Basics of modern classification of infections associated with the provision of medical care. *Epidemiology and Infectious Diseases. Current issues*, 2011, no. 3, pp. 4–10 (in Russian).
- Rukovodstvo po infektsionnym bolezniyam* / pod red. Iu. V. Lobzina [Yu. V. Lobzin, ed. Guide to infectious diseases]. St. Petersburg, Foliant Publ., 2003. 1040 p. (in Russian).
- SP 1.3.3118-13. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila. Bezopasnost' raboty s mikroorganizmami I-II grupp patogennosti (opasnosti). Prilozhenie 3. Klassifikatsiia biologicheskikh*

agentov, vyzyvaiushchikh bolezni cheloveka, po gruppam patogennosti [SR 1.3.3118-13. Sanitary and epidemiological rules. Safety of work with microorganisms of the I–II pathogenicity (hazard) groups. Application 3. Classification of biological agents that cause human diseases, by groups of pathogenicity]. Moscow, 2013, pp. 70–84 (in Russian).

Abrams B. L., Waterman N. G. Dirty money. *J. of the American Medical Association*, 1972, vol. 219, iss. 9, pp. 1202–1203.

Afshinnekoo E., Meydan C., Chowdhury S., Jaroudi D., Boyer C., Bernstein N., Maritz J. M., Reeves D., Gandara J., Chhangawala S., Ahsanuddin S., Simmons A., Nessel T., Sundaresh B., Pereira E., Jorgensen E., Kolokotronis S. O., Kirchberger N., Garcia I., Gandara D., Dhanraj S., Nawrin T., Saletore Y., Alexander N., Vijay P., Hénaff E. M., Zumbo P., Walsh M., O'Mullan G. D., Tighe S., Dudley J. T., Dunaif A., Ennis S., O'Halloran E., Magalhaes T. R., Boone B., Jones A. L., Muth T. R., Paolantonio K. S., Alter E., Schadt E. E., Garbarino J., Prill R. J., Carlton J. M., Levy S., Mason C. E. Geospatial Resolution of Human and Bacterial Diversity with City-Scale Metagenomics. *Cell Systems*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 1–15.

Luckey T. D. Introduction to intestinal microecology. *American J. of Clinical Nutrition*, 1972, vol. 25, iss. 12, pp. 1292–1294.

Maritz J. M., Sullivan S. A., Prill R. J., Aksoy E., Scheid P., Carlton J. M. Filthy lucre: A metagenomic pilot study of microbes found on circulating currency in New York City. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, iss. 4, pp. e0175527.

Pereira da Fonseca T. A., Pessôa R., Sanabani S. Molecular analysis of bacterial microbiota on brazilian currency note sur faces. *International J. of Environmental Research and Public Health*, 2015, vol. 12, no. 10, pp. 13276–13288.

Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. of Theoretical Biology*, 1966, vol. 13, pp. 131–144.

Sender R., Fuchs S., Milo R. Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. *PLoS Biology*, 2016, vol. 11, iss. 8, pp. e1002533.

Snyder W. S., Cook M. J., Nasset E. S., Karhausen L. R., Parry Howells G., Tipton I. H. *Report of the Task Group on Reference Man*. Oxford, Pergamon Press, 1975. 480 p.

Vriesekoop F., Russell C., Alvarez-Mayorga B., Aidoo K., Yuan Q., Scannell A., Beumer R. R., Jiang X., Barro N., Otokunfor K., Smith-Arnold C. D. Dirty money: an investigation into the hygiene status of some of the world's currencies as obtained from food outlets. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2010, vol. 7, iss. 12, pp. 1497–1502.