

Потенциальная роль микро- и нанопластика в распространении вирусов

Б. Г. АНДРЮКОВ¹, * Н. Н. БЕСЕДНОВА¹, Т. С. ЗАПОРОЖЕЦ¹, А. А. ЯКОВЛЕВ¹,
Е. В. МАТОСОВА¹, С. П. КРЫЖАНОВСКИЙ², М. Ю. ЩЕЛКАНОВ^{1,3,4}

¹ НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова, Владивосток, Россия

² Медицинское объединение ДВО РАН, Владивосток, Россия

⁴ ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

³ Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

The Potential Role of Micro- and Nanoplastics in the Spread of Viruses

BORIS G. ANDRYUKOV¹, *NATALIA N. BESEDNOVA¹, TATYANA S. ZAPOROZHETS¹,
ANATOLY A. YAKOVLEV¹, EKATERINA V. MATOSOVA¹,
SERGEY P. KRZYZHANOVSKY², MIKHAIL YU. SHCHELKANOV^{1,3,4}

¹ Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov, Vladivostok, Russia

² Medical Association of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

³ Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

⁴ A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Резюме

В настоящем обзоре приведены материалы последних лет о возрастающем влиянии микро- и нанопластика (МП/НП) на распространение патогенных вирусов человека и животных. Освещён вопрос о взаимодействии вирусов с пластисферой, о роли оболочки вирусов в сохранении этих микроорганизмов на микрочастицах в составе биоплёнки. Обсуждаются вопросы синергизма патогенетического действия МП/НП и вирусов, исследованного на различных моделях. Представлены материалы о негативном влиянии МП/НП на проницаемость естественных барьеров организма, что может создавать благоприятные условия для проникновения вирусов и развитие инфекционного процесса. Авторы обращают внимание на необходимость расширения междисциплинарных исследований в данной области, учитывая тот факт, что вирусы, находящиеся на МП/НП, могут повышать свою инфекционность и, возможно, формировать новые геноварианты.

Ключевые слова: микропластик; нанопластик; вирусы; пластисфера; микрочастицы; патогены; микроорганизмы; биоплёнка

Для цитирования: Андрюков Б. Г., Беседнова Н. Н., Запорожец Т. С., Яковлев А. А., Матосова Е. В., Крыжановский С. П., Щелканов М. Ю. Потенциальная роль микро- и нанопластика в распространении вирусов. *Антибиотики и химиотерапия*. 2023; 68: 1–2: 33–44. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2023-68-1-2-33-44>.

Abstract

The review presents recent materials about the growing influence of micro- and nanoplastics (MP/NP) on the spread of pathogenic viruses in humans and animals. The issue of the interaction of viruses with the plastisphere, the role of the virus envelope in the preservation of these microorganisms on microparticles in the composition of the biofilm has been elucidated. The issues of synergism of the pathogenetic action of MP/NP and viruses, studied on various models, are discussed. The article shows the negative effect of MP/NP on the permeability of the body's natural barriers, which can create favorable conditions for the penetration of viruses and the development of an infectious process. The authors draw attention to the need to expand interdisciplinary research in this area, given the fact that viruses residing on MP/NP can increase their infectivity and, possibly, form new genovariants.

Keywords: microplastic; nanoplastic; viruses; plastisphaera; microparticles; pathogens; microorganisms; biofilms

For citation: Andryukov B. G., Besednova N. N., Zaporozhets T. S., Yakovlev A. A., Matosova E. V., Kryzhanovsky S. P., Shchelkanov M. Yu. The potential role of micro- and nanoplastics in the spread of viruses. *Antibiotiki i Khimioter = Antibiotics and Chemotherapy*. 2023; 68: 1–2: 33–44. <https://doi.org/10.37489/0235-2990-2023-68-1-2-33-44>.

© Коллектив авторов, 2023

*Адрес для корреспонденции: ул. Сельская, д. 1,
НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова,
Роспотребнадзор, г. Владивосток, 690087.
E-mail: besednoff_lev@mail.ru

© Team of Authors, 2023

*Correspondence to: 1 Selskaya st., Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing Vladivostok, 690087 Russian Federation. E-mail: besednoff_lev@mail.ru

Введение

Непрерывное и с каждым днём увеличивающееся производство синтетических полимеров или пластика разнообразного химического строения приводит к масштабному загрязнению им и продуктами его разложения окружающей среды, что представляет угрозу для здоровья человека и животных. В 2014 г. в программе Организации Объединённых наций по окружающей среде (UNEP) было зафиксировано, что загрязнение пластиком Мирового океана является одной из 10 основных экологических проблем современности. По мнению L. Sul и M. Labrenz [1], наличие микропластика и его широкое распространение — маркер эпохи антропоцена, новая единица времени, которая может стать частью геологической шкалы времени.

Человечество пока не может справиться с отходами пластика, количество которых растёт с каждым днём. Из-за неправильной утилизации (67,9% пластиковых отходов в настоящее время сжигаются или закапываются) они попадают во внешнюю среду и в дальнейшем продукты их разложения обнаруживаются в больших количествах в реках, озёрах, аллювии, морской воде, донных отложениях морей и океанов, почве, атмосферном воздухе [2–4]. Продукты разложения синтетических полимеров модулируют распределение жирных кислот и формирование распространяющихся в пространстве концентрационных химических волн в результате метаболитов, что влияет на состав и активность микрофлоры и осложняет разложение остальных органических веществ [5–7].

В настоящее время учёные различных специальностей уделяют особое внимание действию микропластика (МП — частицы с размерами 1 мкм–5 мкм) и нанопластика (НП — частицы с размерами 1–1000 нм) на здоровье человека и животных [8, 9]. МП/НП встречается даже в таких районах Земли, как Арктика и Антарктика, где отсутствует их производство. Всемирная Организация Здравоохранения пока не спешит делать какие-либо выводы о точно подтверждённом вреде микропластика, однако признаёт, что его влияние на человека и животных ещё слишком мало изучено.

Микрочастицы первичного МП специально изготавливаются небольших размеров с целью добавления их в скрабы для лица и тела, чистящие средства и т.п. Вторичный МП/НП образуется в результате физического (под действием осадков, низких и высоких температур, УФ-излучения и пр.) и биологического разрушения в окружающей среде с течением времени крупных пластиковых предметов [6, 7, 10, 11].

Микрочастицы с током воздуха поднимаются с суши и водных поверхностей и снова с атмосферными осадками попадают на землю и в во-

доёмы [12]. В реках и морях микрочастицы поглощаются морскими животными, рыбами, крабами и пр., а затем с пищей, содержащей гидробионты или морскую соль, оказываются в кишечнике человека [13]. МП/НП попадают в организм человека с водопроводной и бутилированной водой, морепродуктами, напитками, молоком, фруктами, овощами [14].

МП/НП обнаруживаются в крови, моче и фекалиях людей [15]. Наиболее распространёнными компонентами загрязнения являются полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП) [16]. Воздействие МП/НП вызывает большую тревогу, так как человеческий организм постепенно становится пластифицированным. Впервые о накоплении пластиковых волокон учёные сообщили в 1998 г. В 87% из 114 образцов (контрольные препараты и образцы злокачественных новообразований) авторы обнаружили МП [17]. Микрочастицы находили в печени, селезёнке и лимфатических узлах брюшной полости у пациентов с эндопротезами тазобедренных и коленных суставов [18], в плаценте человека [19], толстом кишечнике [20]. Ежедневно человек потребляет примерно 5 г МП/НП [21]. При этом в организме младенцев микропластика значительно больше, чем у взрослых [22].

В целом, имеются убедительные доказательства того, что накопление и воздействие МП/НП в тканях человека является весьма распространённым явлением. Частицы размером менее 100 мкм могут проникать через клеточные мембраны, а наночастицы размером менее 20 мкм могут перемещаться в различные органы [23].

В дополнение к прямым токсическим эффектам загрязнение МП/НП изменяет свойства микроорганизмов. Несмотря на то, что каждая отдельная частица МП/НП имеет незначительные размеры, площадь её поверхности достаточна для сорбции большого количества бактериальных и вирусных частиц. Учитывая гигантское количество частиц МП/НП, их суммарная поверхностная площадь, которая может быть покрыта сорбированными микроорганизмами, достигает колоссальных значений. При этом бактерии образуют на поверхности частиц микроплёнки, способствующие формированию у микроорганизмов множественной лекарственной устойчивости [24] и более высокой вирулентности [25], а у вирусов — большей устойчивости во внешней среде и повышению инфекционности [26]. Под воздействием течений Мирового океана [27] патогенные микроорганизмы могут оказаться в жизнеспособном состоянии далеко за пределами своих привычных ареалов.

В период пандемии COVID-19, этиологически связанной с коронавирусом тяжёлого острого респираторного синдрома 2-го типа (SARS-CoV-2 —

Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) (Nidovirales: Coronaviridae, *Betacoronavirus*, подрод *Sarbecovirus*) [28, 29], произошёл беспрецедентный рост производства, потребления и утилизации различных средств индивидуальной защиты (СИЗ) на основе пластика [30, 31]. В то же время, пластиковые поверхности могут быть фактором распространения, поскольку возбудитель может оставаться стабильным и жизнеспособным на полипропилене и других пластмассах — до 5–9 сут. Предполагают, что на поверхности частиц МП/НП SARS-CoV-2 может переноситься на значительные расстояния [32].

В работе авторы попытались систематизировать немногочисленные разрозненные сведения о патогенных вирусах — «путешественниках» на частицах МП/НП и об их потенциальной эпидемиологической значимости.

Пути проникновения МП/НП в организм

Небольшие размеры частиц пластика позволяют ему попадать в организм различными путями. Основным из них является пероральный (с водой и пищей, загрязнёнными МП/НП). Считают, что до 90% МП/НП удаляются выделительной системой [33]. При этом МП размером более 150 мкм, вероятно, не абсорбируется, в то время как МП размером менее 150 мкм может попадать из кишечника в лимфу и кровь и оказывать системное воздействие. По предположению учёных, только частицы размером <20 мкм (примерно 0,3% от их суммарного количества) может проникать в органы, а самая мелкая фракция (0,1–10 мкм) — проходить через гематоэнцефалический барьер и плаценту. Взаимодействие МП/НП с иммунной системой в ряде случаев может индуцировать иммуносупрессию/иммунную активацию и аномальные воспалительные процессы [34, 35].

Второй по значению путь попадания МП в организм — респираторный — обусловлен высокой концентрацией МП/НП в воздухе, на порядок превышающей его содержание в других средах [36, 37]. В частности, городская пыль, включающая микрочастицы синтетического текстиля и резиновых шин транспортных средств, загрязнённые аэрозоли от океанских и морских волн, а также переносимые по воздуху частицы, образующиеся при обеззараживании сточных вод, является источником огромного массива микрочастиц, постоянно вдыхаемых человеком. Пыль внутри помещений также является существенным источником воздействия МП/НП на человека. В организм детей, например, ежедневно проникает около 17300 нг/кг массы тела полиэтиленовых МЧ [38].

Лёгкое человека имеет довольно большую альвеолярную поверхность (около 150 м²) и очень

тонкий тканевой барьер, через который в кровотоки легко проникают частицы НП [39], образуя зоны «матового стекла». Количество волокон из НП в лёгких возрастает с увеличением возраста [37]. В тканях опухолей лёгких такие микроволокна обнаруживаются чаще, чем в нормальной ткани (в 58 и 46% случаев, соответственно). При этом НП-микроволокна, по всей вероятности, встраиваются в ткань лёгких. Это особенно актуально для респираторных бактерий и вирусов, сорбированных на частицах МП/НП, которые могут стать усугубляющим патогенез фактором и способствовать интенсификации инфекционного процесса.

До настоящего времени нет достоверных данных о проникновении МП/НП через кожные покровы в организм человека [40]. Вместе с тем, результаты исследования Р. К. Cheung, L. Fok [41] показали, что плотность микрошариков в скрабах для лица варьируется от 5219 до 50393 частиц в 1 г, в среднем, 20860 частиц/г. Воздействие этого микропластика на кожу может вызвать микро-травмы и открыть путь для проникновения бактерий, вирусов и самих микрочастиц. Прикрепление полиэтиленовых НП к кератиноцитам способствует образованию белковой короны вокруг частиц, что может запустить процесс пиноцитоза. Р. М. Gorinath и соавт. [42] установили, что как однократное, так и многократное воздействие НЧ приводило к опосредованному окислительным стрессом подавлению роста кератиноцитов и ингибированию их пролиферации.

Методы идентификации микро- и нанопластика

Для определения химической характеристики микропластика в настоящее время используют инфракрасную спектроскопию с преобразованием Фурье (FT-IR) и рамановскую спектроскопию [43, 44]. Гидродинамический диаметр, дисперсность частиц, дзета-потенциал и электрофоретическую подвижность наночастиц можно оценить с помощью динамического рассеяния света. О структуре частиц пластика можно получить информацию при помощи пиролизной газовой хроматографии. Идентификацию проводят путём сравнения со стандартными спектрами или пирограммами пластика [45]. Комбинация просвечивающей электронной микроскопии, сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией может быть использована для анализа дисперсности, морфологии и состава наночастиц [43, 44]. Вместе с тем, необходимо дальнейшее совершенствование методов для определения характеристик наночастиц из реальной, а не моделированной окружающей среды.

Микропластик — переносчик патогенов. МП/НП рассматривают в настоящее время как но-

вый переносчик патогенов на большие расстояния в водной и воздушной системах. Микропластик обладает более высокой плавучестью и транспортабельностью, чем другие микрочастицы (например, древесина, песок и пр.). В связи с этим МП/НП представляет больше возможностей для распространения патогенов на значительные расстояния и возникновения вспышек инфекционных заболеваний. Большой эпидемический риск МП/НП по сравнению с частицами иной природы обусловлен следующими факторами:

— МП не поддаётся деградации и долго сохраняется во внешней среде;

— благодаря гидрофобной природе МП может легко адсорбировать органические и неорганические соединения, обеспечивая питание для носителей вирусов;

— низкая плотность МП делает микрочастицы более подвижными в воде, что хорошо обеспечивает биоплёнку питательными веществами.

Взаимодействие микроорганизмов с этим плавучим и стойким субстратом может способствовать их выживаемости и сохранению инфекционности в окружающей среде [46]. Например, в пресной воде ротавирус SA11 может выживать на МП до 2 дней [47]. Ротавирусы (RV — Rotaviruses) (Reovirales: Reoviridae, *Rotavirus*), вирус гепатита А (HVA — Hepatovirus A) (Picornavirales: Picornaviridae, *Hepatovirus*) и норовирусы (NoV — Noroviruses) (Picornavirales: Caliciviridae, *Norovirus*) в больших количествах выделяются с фекалиями инфицированных людей и обычно обнаруживаются в неочищенных сточных водах, иле или поверхностных водах, куда поступают очищенные стоки [48–50]. Многие респираторные вирусы — ортомиксовирусы (Articulavirales: Orthomyxoviridae), парамиксовирусы (Mononegavirales: Paramyxoviridae), коронавирусы (Nidovirales: Coronaviridae) — тоже обнаруживаются в стоках [51, 52]. Основными механизмами адгезии вирусов к абиотическим поверхностям являются электростатические взаимодействия и гидрофобные свойства [53]. Как показали V. Moresco с соавт. [26], вирусы могут взаимодействовать с микрочастицами в сточных или поверхностных водах либо непосредственно с поверхностью пластика, либо путём взаимодействия с внеклеточной полимерной матрицей в биоплёнке, что может способствовать включению вирусных капсидных белков или оболочки вируса в состав так называемой пластисферы (ПСФ) [36].

В очищенных сточных водах концентрация патогенов для человека бактерий ниже по сравнению с входящими сточными водами [54]. Вирусы человека, особенно безоболочечные энтеровирусы, менее восприимчивы к процессам инактивации (УФ-облучение, хлор, озон) [55]. Такая высокая устойчивость вирусов на очистных

сооружениях может способствовать их контакту с компонентами биоплёнки на пластиковых поверхностях [56], которая является, вероятно, главным фактором связывания вирусов с пластиком [26].

Образование биоплёнки (ПСФ) на МП/НП

Большинство исследований, касающихся пластисферы на МП/НП, посвящено бактериям и грибам. Однако не менее важная проблема — роль микропластика и ПСФ в распространении патогенных вирусов.

По сравнению со взвешенными вирусными частицами, прикрепившиеся к микропластику микроорганизмы выживают дольше на частицах, которые защищают их от воздействия хлора, озона и ультрафиолетового излучения [59].

Численность, таксономический состав и геномные особенности вирусов были определены для водных источников различных регионов: от пресноводных рек до морских глубин, от Антарктики до Северного Ледовитого океана [60]. Однако такая специфическая ниша, как пластисфера, населённая, как уже показано, не только бактериями, но и вирусами, до настоящего времени практически не изучена. Исследование её вирусной контаминации только начинается.

R. Li и соавт. [61] с помощью метагеномного секвенирования и биоинформационного анализа исследовали состав вирусных сообществ на МП и оценили экологический риск пяти наиболее часто используемых пластмасс. Для этого в разных местах реки были размещены специальные устройства, содержавшие микрочастицы из различных видов пластика: полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП), полистирола (ПС), полиэтиленоволокна (PF) и полиэтиленовые волокна (PFP). В устройствах в составе пластисферы были обнаружены разнообразные вирусные сообщества. Доминирующими таксонами на уровне семейства были представители отряда Caudovirales — *Mycoviridae*, *Siphoviridae* и *Podoviridae* — на долю которых приходилось 32,8, 26 и 8,32%, соответственно, от общего числа всех вирусов. На основании проведённых исследований авторы показали, что МП является важным вектором прикрепления и распространения вирусов. Самым высоким вирусным разнообразием и высоким риском для окружающей среды из пяти исследованных МП характеризовался полипропиленовый. Состав вирусных ДНК в ПП сопоставим с таковым в морских и пресноводных экосистемах. Роль ПП в распространении вирусов значительна, поскольку это один из преобладающих материалов, из которого делают медицинские маски и который весьма широко распространён повсеместно. При попадании в воду и образовании микрочастиц он

создаёт потенциальную возможность заражения вирусами, в том числе, SARS-CoV-2, сохраняющиеся на пластике маски. ПП считается важным объектом заселения вирусами в водных экосистемах [61, 62].

Бактерии и вирусы часто занимают одни и те же ниши [63]. Та же картина наблюдается и на микрочастицах пластика, где происходит взаимодействие между этими микроорганизмами. Существует два типа взаимодействия, наблюдающиеся при бактериально-вирусных заболеваниях. Прямые взаимодействия способствуют развитию вируса, при этом вирус использует бактериальный компонент для облегчения проникновения в клетку. Непрямое (косвенное) взаимодействие приводит к усилению бактериального патогенеза вследствие развития вирусной инфекции. Энтеровирусы, например, используют прямой путь, а респираторные — косвенный.

М.-J. Gagne и соавт. [64] исследовали связь между кишечными вирусами (вирусом гепатита А и ротавирусами) и бактериальными биооплёнками, сформированными на разных поверхностях, в том числе полистироловой, контактирующими с пищевыми продуктами. Эти вирусы являются основной причиной вспышек болезней пищевого происхождения. Вирусы не размножаются в пищевых продуктах, поэтому в процессе обработки и хранения уровень загрязнения вирусами не увеличивается. Однако для возникновения болезни требуется небольшая доза вирусных частиц, а кишечные вирусы достаточно устойчивы к дезинфицирующим средствам, а также определённое время сохраняются на поверхностях и могут передаваться по пищевой цепи. Бактериальные биооплёнки могут длительное время сохраняться на различных поверхностях, в том числе на пластике [65] и в ряде случаев могут содержать патогенные бактерии: *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Bacillus* spp., патогенные штаммы *E.coli* и др. *In vivo* кишечные вирусы всегда сосуществуют с бактериями. Ряд работ свидетельствует о том, что присутствие определённых бактерий в кишечном тракте хозяина способствует развитию полиовирусной, норовирусной, ротавирусной инфекций [66–68]. Норовирус и ротавирус обладают способностью связываться с определёнными штаммами бактерий — *E.cloacae*, *E.coli* Nissle и некоторыми молочнокислыми бактериями — *L.rhamnosus*, *B.bifidum* и др., которые кроме присутствия в желудочно-кишечном тракте, могут обнаруживаться на пластиковых поверхностях в виде биооплёнок на пищевых предприятиях [69, 70].

М.-J. Gagne и соавт. [64] показали, что наличие биооплёнки на полистироловых поверхностях способствует адгезии кишечных вирусов. В присутствии бактерий *Pseudomonas fluorescens*, напри-

мер, в 7000 раз увеличивалась скорость прикрепления ротавируса к пластиковой поверхности после 24-часовой инкубации. Увеличение числа частиц НВА наблюдалось в биооплёнках, образованных молочнокислыми бактериями. Менее всего было влияние биооплёнок на прикрепление норовируса. В этих экспериментах был использован не микропластик, а полистироловые пластинки 18×18 мм. Однако биооплёнки образуются и на микрочастицах. Важно то, что авторы показали взаимодействие кишечных вирусов с бактериальными биооплёнками на пластиковой поверхности и увеличение числа вирусных частиц при контакте с бактериями.

Роль оболочки вирусов в их взаимодействии с пластисферой

Стабильность вирусов зависит от размера и структуры вирусной частицы, в том числе, от наличия или отсутствия оболочки. V. Moresco и соавт. [47] установили, что как оболочечные, так и безоболочечные модельные вирусы (бактериофаг и ротавирус) могут прикрепляться к ПСФ. Безоболочечные вирусы связываются с биооплёнкой и в течение определённого времени успешно выживают. Инактивация оболочечных вирусов (бактериофага) происходит быстрее, чем, например ротавируса, не имеющего оболочки. Со временем стабильность прикрепившихся вирусов снижается, при этом более значительное снижение наблюдается у вирусов, полученных из водной фазы по сравнению с биооплёночными. Вирусы, прикрепившиеся к биооплёнке на МП, вступают во взаимодействие с бактериями, образующими ПСФ. Взаимодействие безоболочечных вирусов с компонентами клеточной стенки бактерий (пептидогликанами, ЛПС) сопровождается повышением инфекционности и термостабильности вирионов, как это имеет место в случае нескольких геногрупп норовируса и вируса Коксаки [63].

В работе V. Moresco и соавт. [47] исследован процесс связывания и восстановления вируса из микропластика, колонизированного биооплёнкой, с целью определения роли этого взаимодействия в обеспечении стабильности вируса и его распространения во внешней среде. Авторы использовали в экспериментах безоболочечный RV (≈80 нм в диаметре) и оболочечный бактериофаг (≈85 нм в диаметре) Phi6 (*Pseudomonas phage Phi6*) (Mindivirales: Cystoviridae, *Cystovirus*). Для оценки адгезии вирусов и извлечения их из плёнки колонизированные МП исследовали через 7 дней после начала эксперимента. Из гранул микропластика извлекались как оболочечный, так и безоболочечный вирусы. При этом инактивация оболочечного вируса была относительно выше, чем

безоболочечного. Обнаружение генома ротавируса как в воде, так и в биоплёнке оставалось стабильным весь период наблюдения. Выделение инфекционных вирусов из колонизированных гранул свидетельствует об опасности, угрожающей человеку, при попадании инфицированного пластика в дыхательные пути или желудочно-кишечный тракт. Подобно бактериям, вирусы иногда могут образовывать плёнки, отличающиеся большей устойчивостью, чем свободные вирусные частицы. Так, энтеровирусы связываются с МП/НП, образуя плёнку, которая увеличивает продолжительность жизни этих патогенов [47].

Синергизм патогенетического действия МП/НП и вирусов

В литературе последних лет представлено достаточно много результатов экспериментальных работ, касающихся действия МП/НП на органы и системы различных животных. Однако они зачастую неопровержимы и носят противоречивый характер, что объясняется разными условиями опытов, разными моделями, различными по химическому составу МП/НП, их размерами и дозировками. В ряде работ сделаны попытки определить значение микропластика в развитии различных патологических процессов у людей. Материалов, касающихся влияния на организм микропластика, инфицированного вирусами, немного.

Q. Wang и соавт. [71] и С. Gonzalez-Fernandez и А. Cuesta [72] исследовали, влияют ли МП/НП на характер и течение вирусной инфекции у оранжево-пятнистого морского окуня (*Epinephelus coioides*), который широко культивируется в Китае и странах Юго-Восточной Азии. Большой ущерб аквакультуре этих рыб наносят иридовирус сингапурского морского окуня (SGIV — Singapore grouper iridovirus) (Pimascovirales: Iridoviridae, *Ranavirus*) и вирус некроза нервной ткани красного морского окуня (RGNNV — Red grouper nervous necrosis virus) (Mononegavirales: Rhabdoviridae, *Novirhabdovirus*). Органом-мишенью SGIV является селезёнка, в ткани которой вирус вызывает кровоизлияния. RGNNV вызывает ретинопатию и энцефалопатию, разрушая, в основном ткани головного мозга и обуславливая тяжёлые системные нарушения. Оба вируса обуславливают высокую смертность — примерно 90% рыб гибнет от этих болезней. Учёные, разрабатывающие эту проблему, считают, что определённый вклад в усиление патологического процесса вносит МП/НП, который в настоящее время обнаруживают в организме этих рыб.

Так, С. Gonzalez-Fernandez и А. Cuesta [72] в течение 24 ч подвергали воздействию функционализированных ПС-частиц (ПС-NH₂; ПС-COOH)

НП (1 мкг/мл) линию клеток головного мозга рыб (SAB-1), после чего инфицировали клетки вирусом. В клетках, обработанных НП, титр вируса был примерно в 10 раз выше, чем в контрольных культурах. Транскрипция воспалительных и противовирусных маркеров в клетках, подвергшихся действию микрочастиц, была снижена по сравнению с контролем (клетки, заражённые вирусом и не обработанные НП). В экспериментах *in vivo* при внутрибрюшинном введении НП и заражении вирусом происходило увеличение репликации вируса в организме, и наблюдалась гибель рыб. Воспалительная и противовирусная реакции также, как и *in vitro*, были снижены.

Клетки линии селезёнки молоди оранжевого морского окуня GS-1 поглощали ПС-НП при концентрациях 5, 50 и 500 мкг/мл [71]. В дозах 50 и 500 мкг/мл НП оказывали на клетки токсическое действие. Через 12 ч после начала воздействия частиц в дозе 50 мкг/мл репликация RGNNV и SGIV в клетках GS-1 увеличивалась. Воздействие наночастиц ускоряло репликацию SGIV в селезёнке и RGNNV в головном мозге молоди рыб. Кроме того, действие на рыб НП снижало экспрессию генов TLR и генов, связанных с выработкой интерферона до- и после вирусной инвазии *in vivo* и *in vitro*, а также снижало устойчивость клеток и тканей рыб к репликации вируса, т. е. наночастицы полистирола снижали устойчивость гидробионтов к патогенным вирусам.

Y. Deng и соавт. [73] исследовали возможное влияние МП на медоносных пчёл. В организме насекомых при помощи рамановской спектроскопии было обнаружено четыре типа МП, включая полистирол. При этом большое количество МП обнаруживалось в средней кишке. Присутствие пластика повышало восприимчивость насекомых к вирусным инфекциям, в частности, к израильскому вирусу острого паралича (IAPV — Israeli acute paralysis virus) (Picornaviridae: Dicistroviridae, *Aparavirus*), инфицирование которым приводит к значительному сокращению пчелиного роя [48]. Гистологический анализ показал, что полистироловые частицы, особенно имеющие размер 0,5 мкм, повреждали ткани средней кишки пчёл, затем поступали в гемолимфу, трахею и мальпигиевы каналы. Результаты этого исследования свидетельствуют о том, что негативное антропогенное влияние в этой области может представлять опасность для пчеловодства и для производства мёда, поскольку это ведёт к сокращению пчелосемей. И, разумеется, присутствие МП/НП в составе мёда напрямую снижает его потребительские свойства.

На мышинной модели инфекции, вызванной артритогенным вирусом Чикунгунья (CHIKV — Chikungunya virus) (Martellivirales: Togaviridae, *Alphavirus*), было исследовано влияние МП на тече-

ние артрита [74]. Заболевание сопровождается сильной преходящей вирусемией, инфекционным артритом и саморассасывающимся отёком стопы, с обширным, преимущественно моноклеарным воспалительным инфильтратом [75, 76]. Артрит обусловлен, в основном, Т-лимфоцитами T1 CD4 и, в меньшей степени — NK-клетками [77, 78]. Употребление МП с питьевой водой в течение 8 нед. вызывало длительное течение артрита у мышей с СНИКВ-инфекцией. В качестве МП использовали гранулы сефадекса размером 1 мкм, нагруженные флуоресцентным красителем. Пероральная доза микрочастиц для мыши, использованная авторами, была сравнима с нижним пределом предполагаемого потребления МП человеком. Усиление воспаления суставов, по мнению D. J. Rawle и соавт. [74], связано с воспалительными изменениями в кишечнике, вызванными МП. Картина напоминала энтеропатический артрит [79, 80].

L. Lu и соавт. [81], используя в качестве носителя полистироловый МП, а в качестве вирусной модели — бактериофаг *E.coli* T4 (Caudovirales: Myoviridae, *Tequatrovirus*), показали, что на МП адсорбируются до 98,6±0,2% добавленных вирусов, при этом степень адсорбции зависит от размера частиц и функциональных свойств поверхности микропластика. Этот факт был подтверждён инфракрасной спектроскопией с преобразованием Фурье и конфокальной микроскопией с флуоресцентной меткой. Полистирол был выбран авторами в связи с тем, что он имеет плотность 1,04–1,11 г/см³ и находится в воде во взвешенном состоянии. Адсорбционную способность пластика повышала обработка его ультрафиолетом (модель старения пластика). Обработанные УФ и не подвергшиеся воздействию УФ МП значительно продлевали инфекционность адсорбированных вирусов даже при повышении температуры. Основным механизмом адсорбции вируса было электростатическое взаимодействие.

Микропластик стабилизирует структуру SARS-CoV-2 и может быть его носителем в воде и воздухе, способствуя проникновению в пищеварительный тракт и органы дыхания человека. Выживаемость коронавируса во внешней среде считается относительно высокой [29, 30, 32]. О возможности проникновения вируса SARS-CoV-2 в организм человека с участием МП свидетельствуют исследования L. F. Amato-Lourenco и соавт. [37]. Поскольку основным способом передачи SARS-CoV-2 является аэрозольный, авторы определяли количество РНК вируса и МП, присутствующих в воздухе, в общем количестве взвешенных частиц. Образцы воздуха были собраны в районе, расположенном рядом с одним из крупных медицинских центров Латинской Америки во время пандемии COVID-19. МП измеряли количественно и под флуоресцентным микроско-

пом. Полимерный состав определяли с помощью инфракрасной микроспектроскопии с преобразованием Фурье. Вирусную нагрузку измеряли при помощи ПЦР в реальном времени. Результаты оказались весьма интересными и информативными. Пробы воздуха дали положительный результат на SARS-CoV-2 в 22 из 38 образцов, взятых с 3 участков местности. 80% микрочастиц принадлежали к полиэстеру. Общее количество МП показало положительную корреляцию с количеством генов оболочки вируса и отрицательную — с температурой и влажностью воздуха.

В других исследованиях было определено содержание SARS-CoV-2 в воздухе в больничных условиях [82]. Образцы воздуха собирали в отделениях интенсивной терапии и в общих палатах. Результаты исследования показали, что 35 и 12,5%, соответственно, образцов воздуха были загрязнены вирусом, и что возбудитель может перемещаться по воздуху с максимальной передачей на расстояние примерно 4 метра от источника. SARS-CoV-2 в виде аэрозоля может связываться с МП (его достаточно много в воздухе) и проникать в органы дыхания человека. Полагают, что вирусы размещаются в ПСФ на поверхности частиц [26] и могут переноситься с ними на большие расстояния. Отношение площади поверхности к объёму частиц очень велико, что делает их хорошими сорбентами загрязняющих веществ и вирусов [32].

Методы *in silico* являются новым эффективным подходом к выяснению механизмов взаимодействия вирусов с МП/НП [83, 84]. Этот метод оказался удобным инструментом для изучения взаимодействия между МП/НП и SARS-CoV-2. В связи с этим значительный интерес представляет работа E. Zhang и соавт. [85]. Авторы использовали молекулярно-динамическое моделирование для исследования молекулярных взаимодействий между 5 различными МП и фрагментами РНК SARS-CoV, SARS-CoV-2 и вируса гепатита В (HBV — Hepatitis B virus) (Blubervirales: Hepadnaviridae, *Orthohepadnavirus*) в воздушной среде, вакууме и в водной фазе. Было установлено, что аффинность взаимодействия микрочастиц с фрагментом РНК SARS-CoV-2 была более сильной, чем взаимодействие с двумя другими вирусами независимо от окружающей среды, температуры и типа пластика. Механизмы взаимодействия между микрочастицами и фрагментом РНК SARS-CoV-2 включали электростатические и гидрофобные процессы, а аффинность взаимодействия была связана со структурными параметрами мономеров МП.

Повышение инфекционности псевдовируса SARS-CoV-2, адсорбированного на микропластике, сопровождалось увеличением экспрессии генов воспалительных маркеров: каспазы-3, IL-8 и TNF α [85]. Фрагмент РНК SARS-CoV-2, иммобили-

лизованный на МП/НП, становится причиной продления присутствия вирусной РНК в окружающей среде. Известно, что человек подвергается воздействию микропластика через воздух, и сильное взаимодействие МП с геномным материалом SARS-CoV-2, по-видимому, играет роль в развитии и характере течения COVID-19. Попадание коронавируса в пластисферу микрочастиц пластика можно считать чрезвычайно важным процессом, в значительной степени обуславливающим глобальную экологическую ситуацию, связанную с обсеменением МП/НП.

Частицы МП/НП могут перемещаться по воздуху, а также по водным магистралям на большие расстояния и заражать людей на новых территориях. Глубокое изучение этих путей передачи может дать ответ на вопрос, почему появляется заболеваемость в регионах и населённых пунктах, где не было источника заражения — больного человека.

Влияние микро- и нанопластика на распространение арбовирусов

Нельзя не упомянуть ещё один важный аспект влияния МП/НП на заболеваемость вирусными инфекциями. Накопление и загрязнение МП/НП может напрямую влиять на арбовирусы, передаваемые кровососущими комарами (Diptera: Culicidae), создавая благоприятные условия жизни на нём. Например, *Aedes aegypti*, переносящие широкий спектр арбовирусов, например, ЧИКВ, денге (DENV — Dengue virus) (Amarillovirales: Flaviviridae, *Flavivirus*), жёлтой лихорадки (YFV — Yellow fever virus) (Amarillovirales: Flaviviridae, *Flavivirus*), Западного Нила (WNV — West Nile virus) (Amarillovirales: Flaviviridae, *Flavivirus*), Зика (ZIKV — Zika virus) (Amarillovirales: Flaviviridae, *Flavivirus*), являются антропофильными и развиваются в скоплениях мусора (пластиковых контейнерах, шинах, пластиковых бутылках, чашках и других ёмкостях) и встречаются рядом с домохозяйствами [48, 86]. По данным О. J. Brady и S. I. Hay [87], в настоящее время более половины населения мира подвержены риску заражения переносимыми комарами *Aedes* вирусами, поскольку пластиковый мусор может влиять на передачу инфекции. Пластиковые отходы делают местом обитания своих неполовозрелых стадий переносчики вирусов японского энцефалита (JEV — Japanese encephalitis virus) (Amarillovirales: Flaviviridae, *Flavivirus*), Синдбис (SINV — Sindbis virus) (Martellivirales: Togaviridae, *Alphavirus*), Гета (GTV — Getah virus) (Martellivirales: Togaviridae, *Alphavirus*) и серогруппы калифорний-

ского энцефалита (CEV — California encephalitis virus) (Bunyavirales: Peribunyaviridae, *Orthobunyavirus*): Инко (INKV — Inkoo virus), Тягиня (TAHV — Tahina virus), зайца-беляка (SHV — Snowshoe hare virus), Хатанга (KHATV — Khatanga virus) [48, 88]. Пластиковые отходы и микропластик почти не поддаются биологическому разложению и могут оставаться во внешней среде длительное время, способствуя размножению переносчиков вирусных болезней и переносу их в другие регионы с водой и потоками воздуха.

Влияние МП/НП на проницаемость естественных барьеров — входных ворот для патогенных вирусов

Снижение проницаемости естественных барьеров организма и воспалительный процесс, которые способны спровоцировать МП/НП, могут создавать благоприятные условия для проникновения вирусов. В литературе достаточно много работ, касающихся этого вопроса. Так, показано, что попадая в ротовую полость с пищевыми продуктами, водой и вдыхаемым воздухом, микропластик может наносить повреждения клеткам ротовой полости. S. Caruti и соавт. [89] продемонстрировали токсическое действие МП/НП различного размера на культуру фибробластов — основных клеточных элементов эпителия дёсен человека [90]. Воздействие частиц приводило к снижению выживаемости клеток и увеличению уровня провоспалительных маркеров, что авторы связывают с развитием в фибробластах окислительного стресса [89].

Уникальная защитная способность гелеобразной слизи, выстилающей желудочно-кишечный тракт на всём протяжении, обусловлена, в частности, высоким содержанием гликопротеинов, которые непрерывно синтезируются одноклеточными железами — бокаловидными клетками (мукоцитами) слизистой оболочки кишечника [91]. Однако функция этих клеток может быть нарушена микрочастицами МП/НП [92]. Показано, что при воздействии введённых мышам перорально полистироловых МП двух разных размеров (0,5 и 50 мкм в диаметре, 100 и 1000 мкг в течение 5 нед.) снижалась секреция слизи и уровень транскрипта основного гена, связанного с экспрессией муцина MUC1 в толстом кишечнике при действии обоих образцов микрочастиц, что свидетельствовало о нарушении барьерной функции слизистой оболочки. Об уменьшении слоя муцина под действием МП сообщают также Y. Jin и соавт. [93], H. Sun и соавт. [94]. Дефекты слизистой барьера могут при-

водить к повышению проницаемости и воспалительному процессу в кишечнике [95]. Однако даже если слизистый слой нарушен, это не всегда означает, что кишечник проницаем для патогенов. Эпителиальные клетки сами образуют физический барьер, работающий в обе стороны. Он защищает от патогенов и в то же время не даёт просачиваться важным компонентам организма в просвет кишки. Барьерная функция поддерживается за счёт крепкой связи клеток, что обеспечивается плотными соединениями — белками ZO-1 и окклюдина [96]. Но и здесь вмешиваются микропластики. НП может значительно подавлять экспрессию и ZO-1 и окклюдина, что подтверждается исследованиями действия НП размером 100 нм в дозе 20 мкг L. Lu и соавт. [92].

Основными местами захвата и перемещения частиц являются пейеровы бляшки — лимфоидная ткань тонкого кишечника — вторичный орган иммунной системы, представляющий одну из первых линий защиты организма от проникновения патогенов [97]. Эпителий в области бляшек содержит 5–10% М-клеток. МП используют трансцитозную способность этих клеточных элементов для пересечения эпителиального барьера и дальнейшего проникновения. Захваченные из просвета кишечника микропластики, попав в базолатеральный «карман» М-клетки, контактируют с находящимся под эпителиальным куполом пейеровой бляшки дендритными клетками, макрофагами и моноцитами. Скопления микропластика в этой области, если он задерживается, а не разносится по организму, значительно снижает уровень иммунного надзора местного иммунитета [35] и создаёт возможность проникновения в организм вирусов.

S. Yang и соавт. [98] продемонстрировали патологические изменения в эпителиальных клетках лёгких человека под действием полистироловых НП. Авторы использовали в экспериментах два типа эпителиальных клеток дыхательных путей:

бронхиальный эпителий и лёгочные альвеолярные эпителиальные клетки человека. Нанопластик значительно снижал жизнеспособность клеток, при этом эффект зависел от дозы. Метод микроципирования позволил установить, что 770 генов (при дозе воздействия 7,5 мкг/см²) и 1951 ген (при дозе воздействия 30 мкг/см²) были изменены по сравнению с контрольной группой. Главную роль в повреждении клеток дыхательных путей человека играет окислительный стресс, который провоцируют микропластики. Таким образом, полистироловые (и, по всей вероятности, микропластики пластика иной химической природы) нарушают окислительно-восстановительный баланс в клетках дыхательных путей, запускают пути апоптоза, вызывают воспалительный процесс, обуславливая тем самым патологические изменения в клетках и в зависимости от тяжести процесса — их гибель. Такие «подготовленные» дыхательные пути становятся беззащитными перед респираторными вирусами.

Заключение

МП/НП являются хорошими сорбентами различных оболочечных и безоболочечных вирусов, новым вектором их распространения на большие расстояния. Существование в составе пластиферы и репликация в биоплёнке, по-видимому, ускоряет обмен генами между разными видами вирусов. В связи с этим во внешней среде могут бесконтрольно формироваться новые геноварианты с повышенной инфекционностью и более высокой устойчивостью к существующим лекарственным препаратам. Пока ещё мало материалов, касающихся «путешествующих» на МП и НП вирусов. Однако то, что уже представлено в литературе, требует пристального внимания учёных различных специальностей к междисциплинарной разработке этой проблемы в связи с её важнейшим значением для человечества.

Литература/References

1. Sul I., Labrenz M. Microplastics into the anthropocene. In: Roca-Santos, T., Costa M., Mouneyrac C. (eds). Handbook of microplastics in the environment. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-10618-8_25-2.
2. Padervand M., Lichtfouse E., Didier R., Wang C. Removal of microplastics from the environment. A review. Environmental Chemistry Letters. 2020; 18: 807–828. doi: <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00983-1>.
3. Fang C., Zheng R., Honga F et al. Microplastics in three typical benthic species from the Arctic: occurrence, characteristics, sources and environmental implications. Environmental Research. 2021; 182: 110326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110326>.
4. Dusacre E., Bourciquot-Gonzales J. Are bacteria and viruses associated with microplastics? A one health challenge. One Health Newsletter; 2022; 14 (1).
5. Вавилин В.А., Шchelkanov М.Ю., Локишина Л.Я. Влияние диффузии жирных кислот в водной среде на распространение концентрационных волн при разложении твёрдых бытовых отходов. Водные ресурсы. 2001; 28 (6): 756–762. [Vavilin V.A., Shchelkanov M.Jyu., Lokshina L.Ya. Vliyaniye diffuzii zhirnykh kislot v vodnoy srede na rasprostraneniye kontsentratsionnykh voln pri razlozhenii tverdykh bytovykh otkhodov. Vodnye Resursy. 2001; 28 (6): 756–762. (in Russian)]
6. Vavilin V.A., Shchelkanov M.Yu., Rytov S.V. Effect of mass transfer on concentration wave propagation during anaerobic digestion of solid waste. Water Res. 2002; 36 (9): 2405–2409. doi: 10.1016/s0043-1354(01)00454-7.
7. Vavilin V.A., Shchelkanov M.Yu., Lokshina L.Y. et al. A comparative analysis of a balance between the rates of polymer hydrolysis and acetoclastic methanogenesis during anaerobic digestion of solid waste. Water Science and Technology. 2002; 45 (10): 249–254.
8. Costa J.P., Santos P.S.M., Costa A.D., Rocha-Santos T. Nanoplastics in the environment-sources, fates and effects. Sci Total Environ. 2016; 566–567: 15–26. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.041.
9. Boucher J., Friot D. Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources. Gland, Switzerland:IUCN. 43 pp. doi: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01en>.
10. Ефимова И.В., Чубаренко И.П. Фрагментация пластикового мусора в прибойной зоне моря: лабораторный эксперимент на примере пенополистирола. Изв. Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Науки о земле. 2018; 18 (1):10–13. [Efimova I.V., Chubarenko I.P. Fragmentatsiya plastikovogo musora v pribojnoy zone morya: laboratornyy eksperiment na primere penopolistirola. Izv. Saratovskogo Universiteta. Nov. Ser. Ser. Nauki o Zemle. 2018; 18 (1):10–13. (in Russian)]

11. *Thompson R.C., Napper I.* Microplastics in the environment. From the Book: Microplastics in the environment. 2019. doi: 10.1039/9781788013314-00060.
12. *Cai L., Wang J., Peng J. et al.* Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. *Environ Sci Pollut* 2017; Res. 24: 24928–24935. doi: 10.1007/s11356-017-0116-x.
13. *Wibowo A.T., Nugraha-praja H., Wahyuono R.A. et al.* Microplastic contamination in the human gastrointestinal tract and daily consumables associated with an Indonesian farming community. *Sustainability*. 2021; 13: 12840. doi: 10.3390/su132212840.
14. *Kumar R., Manna C., Padha S. et al.* Micro(nano) plastics pollution and human health: how plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere*. 2022; 298: 134267. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134267.
15. *Campanale C., Massarelli C., Savino L. et al.* A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17 (4): 1212. doi: 10.3390/ijerph17041212.
16. *Karaagac E., Koch T., Archodoulaki V.M.* The effect of contamination in recycled high-density polyethylene (rPE-HD) from post-consumer bottle waste and their compatibilization with olefin block copolymer (OBC). *Waste Management*. 2021; 119: 285–294. doi: 10.1016/j.wasman.2020.10.011.
17. *Pauly J.L., Stegmeier S.J., Allaart H.A. et al.* Inhaled cellulose and plastic fibers found in human lung tissue. *Cancer Epidemiol. Prev Biomarkers*. 1998; 5: 419–428.
18. *Urban R.M., Jakobs J.J., Tomlinson M.J. et al.* Dissemination of wear particles to the liver, spleen, and abdominal lymph nodes of patients with hip or knee replacement. *JBJS*. 2000; 82 (4): 45. doi: 10.2106/00004623-200004000-00002.
19. *Ragusa A., Svelato A., Santacroce C. et al.* Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*. 2021; 146: 106274. doi: 10.1016/j.envint.2020.106274.
20. *Ibrahim J.S., Anuar S.T., Azmi A.A. et al.* Detection of microplastics in human colectomy specimens. *JGH Open. J. of gastroenterology and hepatology*. 2021; 5 (1): 116–121. doi: 10.1002/jgh3.12457.
21. *Senathirajah K., Attwood S., Bhagwat G et al.* Estimation of the mass of microplastics ingested — a pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater*. 2021; 404 (B): 124004. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124004.
22. *Liu S., Lin G., Liu X. et al.* Detection of various microplastics in placentas, meconium, infant feces, breastmilk and infant formula: a pilot prospective study. *Sci Total Environ*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158699.
23. *Kannan K., Vimalkumar K.* A review of human exposure to microplastics and insight into microplastics as obesogens. *Front Endocrinol*. 2021; 724989. doi: 10.3389/fendo.2021.724989.
24. *Loiseau C., Sorci G.* Can microplastics facilitate the emergence of infectious diseases? *Sci Total Environ*. 2022; 823: 153694. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153694.
25. *Hansen P., Bergen K., Junger-Leif A. Haas A.* Laboratore plasticware induces expression of a bacterial virulence factor. *Research Article*. 2022; 7 (5): e00311–22. doi: 10.1128/msphere.00311-22.
26. *Moresco V., Oliver D.M., Weidmann M. et al.* Survival of human enteric and respiratory viruses on soil, freshwater, and marine environments. *Environ Res*. 2021; 199: 111367. doi: 10.1016/j.envres.2021.111367.
27. *Roemmich D.* Physical oceanography: Super spin in the southern seas. *Nature*. 2007; 449 (7158): 34–35. doi: 10.1038/449034a.
28. *Щелканов М.Ю., Попова А.Ю., Дедков В.Г. и др.* История изучения и современная классификация коронавирусов (Nidivirales: Coronaviridae). *Инфекция и иммунитет*. 2020; 10 (2): 221–246. doi: 10.15789/2220-7619-HOI-1412. [Shchelkanov M.Jyu., Popova A.Jyu., Dedkov V.G. i dr. Istoriya izucheniya i sovremennaya klassifikatsiya koronavirusov (Nidivirales: Coronaviridae). *Infektsiya i Immunitet*. 2020; 10 (2): 221–246. doi: 10.15789/2220-7619-HOI-1412. (in Russian)]
29. *Щелканов М.Ю., Колобухина Л.В., Бургасова О.А. и др.* COVID-19: этиология, клиника, лечение. *Инфекция и иммунитет*. 2020; 10(3):421–445. doi: 10.15789/2220-7619-SEC-1473. [Shchelkanov M.Jyu., Kolobukhina L.V., Burgasova O.A. i dr. COVID-19: etiologiya, klinika, lechenie. *Infektsiya i Immunitet*. 2020; 10(3):421–445. doi: 10.15789/2220-7619-SEC-1473. (in Russian)]
30. *Никифоров В.В., Суранова Т.Г., Чернобровкина Т.Я. и др.* Новая коронавирусная инфекция (COVID-19): клинико-эпидемиологические аспекты. *Архивъ внутренней медицины*. 2020; 10 (2): 87–93. doi: 10.20514/2226-6704-2020-10-2-87-93. [Nikiforov V.V., Suranova T.G., Chernobrovkina T.Ya. i dr. Novaya koronavirusnaya infektsiya (COVID-19): kliniko-epidemiologicheskie aspekty. *Arkhivъ Vnutrennej Meditsiny*. 2020; 10 (2): 87–93. doi: 10.20514/2226-6704-2020-10-2-87-93. (in Russian)]
31. *Hansen-Barkun C., Kherad O., Donovan A.A. et al.* Personal protective equipment portraits in the era of COVID-19. *Eur J Intern Med*. 2022; 102: 125–127. doi: 10.1016/j.ejim.2022.05.026.
32. *Enyoh C.E., Verla A.V., Verla E.N.* Novel coronavirus (SARS-CoV-2) and airborne microplastics. *J. of Materials and Environmental Science*. 2020; 11 (9): 1454–1461. <https://www.jmaterenvironsci.com>
33. *Smith M., Love D.C., Rochman C.M. et al.* Microplastics in seafood and the implications for human health. *Curr. Envir. Health. Rpt*. 2018; 5: 375–386. doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.
34. *Lusher A.L., Welden N.A., Sobral P., Cole M.* Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Anal Methods*. 2017; 9: 1346. doi: 10.1039/c6ay02415g.
35. *Wright S.L., Kelly F.J.* Plastic and human health: a micro issue? *Environ Sci. Technol*. 2017; 51 (12): 6634–6647. doi: 10.1021/acs.est7b00423.
36. *Prata J.C.* Airborne microplastics: consequences to human health? *Environ Pollut*. 2018; 234: 115–126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043.
37. *Amato-Lourenco L.F., Oliveira R.C., Junior G.R. et al.* Microplastics inhalation: evidence in human lung tissue. *European Respiratory J*. 2021; 58: PA1792. doi: 10.1183/13993003.congress-2021.PA1792.
38. *Liu C., Li J., Zhang Y. et al.* Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. *Environment International*. 2019; 128: 116–124. doi: 10.1016/j.envint.2019.04.024.
39. *Jud C., Clift M.D., Petri-Fink A., Rothen-Rutishauser B.* Nanomaterials and the human lung: what is known and what still Swiss Med. *Wkly[in-ternet]*. 2013; 143 (0910): w13758. <https://smw.ch/index/>
40. *Revel M., Chatel A., Mouneyrac C.* Micro(nano)plastics: a treat to human health? *Current Opinion in Environmental Science and Health*. 2018; 1: 17–23. doi: 10.1016/j.coesh.2017.10.003.
41. *Cheung P.K., Fok L.* Characterization of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China. *Water Res*. 2017; 122: 53–61. doi: 10.1016/j.watres.2017.05.053.
42. *Gopinath P.M., Twayana K.S., Ravanan P. et al.* Prospects on the nano-plastic particles internalization and induction of cellular response in human keratinocytes. *Part Fibre Toxicol*. 2021; 18: 35. doi: 10.1186/s12989-021-00428-9.
43. *Зобков М.Б., Евсюкова Е.Е.* Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов. *Океанология*. 2018; 58 (1): 149–157. doi: 10.7868/S0030157418010148. [Zobkov M.B., Evsjukova E.E. Mikroplastik v morskoy srede: obzor metodov otbora, podgotovki i analiza prob vody, donnykh otlozhenij i beregovykh nanosov. *Okeanologiya*. 2018; 58 (1): 149–157. doi: 10.7868/S0030157418010148. (in Russian)]
44. *Ly N.H., Kim M-K., Lee H. et al.* Advanced microplastics monitoring using raman spectroscopy with a combination of nanostructure-based substrates. *J Nanostructure Chem*. 2022; 18: 1–24. doi: 10.1007/s40097-022-00506-0.
45. *Karmakar S.* Particle size distribution and zeta-potential based on dynamic light scattering: techniques to characterize stability and surface distribution of charged colloids. *Recent Trends in Materials: Physics and Chemistry*. 2019; <https://www.researchgate.net/publication/328577330>
46. *Eckert E.M., Cesare A.D., Kettner M.T. et al.* Microplastics increase impact of treated wastewater on freshwater microbial community. *Environ Pollut*. 2018; 234: 495–502. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.070.
47. *Moresco V., Charatzidou A., Oliver D.M. et al.* Binding, recovery, and infectiousness of enveloped and non-enveloped viruses associated with plastic pollution in surface water. *Environ Pollut*. 2022; 308: 119594. doi: 10.1016/j.envpol.2022.119594.
48. *Львов Д.К.* Руководство по вирусологии. Вирусы и вирусные болезни человека и животных. М. «МИА». 2013; 1200. [L'vov D.K. Rukovodstvo po virusologii. Virusy i virusnye bolezni cheloveka i zhivotnykh. Moscow. «МИА». 2013; 1200. (in Russian)]
49. *Щелканов М.Ю., Суняйкин А.Б.б Коваленко Т.С., Львов Д.К.* Современная таксономия пикорнавирусов (Picovirales, Picomaviridae). *Журнал для непрерывного медицинского образования*. 2015; 3: 56–68. [Shchelkanov M.Jyu., Sunyaykin A.B.b Kovalenko T.S., L'vov D.K. Sovremennaya taksonomiya pikornavirusov (Picovirales, Picomaviridae). *Zhurnal dlya Nepreryvnogo Meditsinskogo Obrazovaniya*. 2015; 3: 56–68. (in Russian)]
50. *Farkas K., Cooper D.M., McDonald J.E. et al.* Seasonal and spatial dynamics of enteric viruses in wastewater and in riverine and estuarine receiving waters. *Sci Total Environ*. 2018; 634: 1174–1183. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.038.
51. *Щелканов М.Ю., Колобухина Л.В., Львов Д.К.* Коронавирусы человека (Nidovirales, Coronaviridae): возросший уровень эпидемиологической опасности. *Лечащий врач*. 2013; 10: 49–54. [Shchelkanov M.Jyu., Kolobukhina L.V., L'vov D.K. Koronavirussy cheloveka (Nidovirales, Coronaviridae): vozroschij uroven' epidemiologicheskoy opasnosti. *Lechashchij Vrach*. 2013; 10: 49–54. (in Russian)]
52. *Ye Y., Ellenberg R.M., Graham K.E., Wigginton K.R.* Survivability, partitioning, and recovery of enveloped viruses in untreated municipal wastewater. *Environ Sci Technol*. 2016; 50: 5077–5085. doi: 10.1021/acs.est.6b00876.

53. Dika C., Duval J.F.L. Franciujs G. et al. Isoelectric point is an inadequate descriptor of MS2, PhiX174 and PRD1 phages adhesion on abiotic surfaces. *J Colloid Interface Sci.* 2015; 446: 327–334. doi: 10.1016/j.jcis.2014.08.055. Epub 2014 Sep 6.
54. Kelly J.J., London M.G., McCormick A.R. et al. Wastewater treatment alters microbial colonization of microplastics. *PLoS One.* 2021; 16: 1–19. doi: 10.1371/journal.pone.0244443
55. Wigginton K.R., Kohn T. Virus disinfection mechanisms: the role of virus composition, structure, and function. *Curr Opin Virol.* 2012; 2 (1): 84–89. doi: 10.1016/j.coviro.2011.11.003.
56. Prado T., de Castro Bruni A., Barbosa M.R.F. et al. Performance of wastewater reclamation systems in enteric virus removal. *Sci Total Environ.* 2019; 678: 33–42. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.435.
57. Kim S.W., Rillig M.C. Research trends of microplastics in the soil environment: Comprehensive screening of effects. *Soil Ecol Lett.* 2022; 4: 109–118. doi: 10.1007/s42832-021-0077-3.
58. Visnapuu A., Gucht M.V., Wagemans J., Lavigne R. Deconstructing the phage-bacterial biofilm interaction as a basis to establish new antibiofilm strategies. *Viruses.* 2022; 14 (5): 1057. doi: 10.3390/v14051057.
59. Suran M. Microplastics are found outside in nature and inside of health risks is inconclusive. *JAMA.* 2022; 328 (10): 911–913. doi: 10.1001/jama.2022.11254.
60. Liang X., Wagner R.E., Zhuang J. et al. Viral abundance and diversity vary with depth in a southeastern. United States agricultural ultisol. Version of record. <https://soo3807171930210x>
61. Li R., Zhu L., Cui L., Zhu Y-G. et al. Viral diversity and potential environmental risk in microplastic at watershed scale: evidence from metagenomics analysis of platisphere. *Environ Internat.* 2022; 161: 107146. doi: 10.1016/j.envint.2022.107146.
62. Atanasova N.S., Roine E., Oren A. et al. Global network of specific virus-host interactions in hyphersaline environments. *Environ Microbiol.* 2012; 14 (2): 426–440. doi: 10.1111/j.1462-2920.2011.02603.x.
63. Almand E.A., Moore M.D., Jaykus L-A. Virus-bacteria interactions: an emerging topic in human infection. *Viruses.* 2017; 9 (3): 58. doi: 10.3390/v9030058.
64. Gagne M-J., Savard. T., Brassard J. Interactions between infectious food-borne viruses and bacterial biofilms formed on different food contact surfaces. *Food Environ Virol.* 2022; 14 (3): 267–279. doi: 10.1007/s12560-022-09534-z.
65. Bridier A., Sanchez-Vizuete P., Guilbaud M. et al. Biofilm-associated persistence of food-borne pathogens. *Food Microbiology.* 2015; 45 (Pt B): 167–178. doi: 10.1016/j.fm.2014.04.015.
66. Jones M.K., Watanabe M., Zhu S. et al. Enteric bacteria promote human and mouse norovirus infection of B cells. *Science.* 2014; 346 (6210): 755–759. doi: 10.1126/science.1257147.
67. Moore M.D., Jaykus L.A. Virus-bacteria interactions: implications and potential for the applied and agricultural sciences. *Viruses.* 2018; 10 (2): 61. doi: 10.3390/v10020061.
68. Sullender M.E., Baldrige M.T. Norovirus interactions with the commensal microbiota. *PLoS Pathogens.* 2018; 14 (9): e1007183. doi: 10.1371/journal.ppat.1007183
69. Cai L., Wang H., Liang L. et al. Response of formed-biofilm of *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella oxytoca*, and *Citrobacter freundii* to chlorite-based disinfectants. *J Food Science.* 2018; 83 (5): 1326–1332. doi: 10.1111/1750-3841.14149.
70. Chen Q., Zhu Z., Wang J. et al. Probiotic *E.coli* Nissle 1917 biofilms on silicone substrates for bacterial interference against pathogen colonization. *Acta Biomater.* 2017; 50: 353–360. doi: 10.1016/j.actbio.2017.01.011.
71. Wang Q., Duan X., Huang F. et al. Nanoplastics increase fish susceptibility. *J Hazardous Materials.* 2021; 125918. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125918.
72. Gonzalez-Fernandez C., Cuesta A. Nanoplastics increase fish susceptibility to Nodovirus infection and reduce antiviral immune responses. *Int J Mol Sci.* 2022; 23 (3): 1483. doi: 10.3390/ijms23031483.
73. Deng Y., Jiang X., Zhao H. et al. Microplastic polystyrene ingestion promotes the susceptibility of honeybee to viral infection. *Environ. Sci Technol.* 2021. 55 (17): 11680–11692. doi: 10.1021/acs.est.1c01619.
74. Rawle D.J., Dumenil T., Tang B. et al. Microplastic consumption induces inflammatory signatures in the colon and prolongs a viral arthritis. *Sci Total Environ.* 2022; 809: 152212. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152212.
75. Gardner J., Anraku I., Le T.T., Larcher T., Major L. et al. Chikungunya virus arthritis in adult wild-type mice. *J Virol.* 2010; 84: 8021–8032. doi: 10.1128/JVI.02603-09.
76. Prow N.A., Hirata T.D.C., Tang B. et al. Exacerbation of Chikungunya virus rheumatic immunopathology by a high fiber diet and butyrate. *Front Immunol.* 2019; 10: 2736. doi: 10.3389/fimmu.2019.02736. eCollection 2019.
77. Nakaya H.I., Gardner J., Poo Y.S. et al. Gene profiling of Chikungunya virus arthritis in a mouse model reveals significant overlap with rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum.* 2012; 64: 3553–3563. doi: 10.1002/art.34631.
78. Suhrbier A., Jaffar-Bandjee M-C., Gasque P. Arthritogenic alphaviruses—an overview. *Nat Rev Rheumatol.* 2012; 8 (7): 420–429. doi: 10.1038/nrrheum.2012.64.
79. Farisogullari B., Yardimci G. K., San A. et al. Is the impact of biologic agents in enteropathic spondylitis different from other spondylitis? Real life data from the HUR-BIO Registry. *Clin Exp Rheumatol.* 2022 40 (1): 112–119. doi: 10.55563/clinexprheumatol/uxcofr. Epub 2021 Feb 25.
80. Gutiérrez-Gonzalez L.A., Macias E., Herrera-Vivas F. Biomarkers in enteropathic arthritis. *Ann Clin Gastroenterol Hepatol.* 2020; 4: 039–044. doi: 10.29328/journal.acgh.1001021.
81. Lu L., Wan Z., Luo T. et al. Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice. *Sci Total Environ.* 2018; 631–632: 449–458. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.051.
82. Zhen-Dong, G., Wang Z.Y., Wang S.F. et al. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China. *Emerg Infect Dis.* 2020; 26 (7): 1583–1591. doi: 10.3201/eid2607.200885.
83. Chen X., Li X, Li Y. Toxicity inhibition strategy of microplastics to aquatic organisms through molecular docking, molecular dynamics simulation and molecular modification. *Exotoxicol Environ Saf.* 2021; 266: 112870. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112870.
84. Feng H., Liu Y., Xu Y. et al. Benzo[a]pyrene and heavy metal ion adsorption on nanoplastic regulated by humic acid: cooperation/competition mechanisms revealed by molecular dynamics simulations. *J Hazard Mater.* 2022; 424 (Pt B): 127431. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127431.
85. Zhang F., Wang Z., Vijver M.G., Peijnenburg W. J.G.M. Theoretical investigation on the interaction of microplastics with a SARS-CoV-2 RNA fragment and their potential impacts on viral transport and exposure. *Sci Total Environ.* 2022; 842: 156812. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156812.
86. Maquart P-O., Froehlich Y., Boyer S. Plastic pollution and infectious diseases. *Lancet Planet Health.* 2022; 6 (10): 842–e845. doi: 10.1016/S2542-5196(22)00198-X.
87. Brady O.J., Hay S.I. The global expansion of dengue: how *Aedes aegypti* mosquitoes enabled the first pandemic arbovirus. *Annu Rev Entomol.* 2020; 65: 191–208. doi: 10.1146/annurev-ento-011019-024918.
88. Luov D.K., Shchelkanov M.Yu., Alkhovsky S.V., Deryabin P.G. Zoonotic viruses of Northern Eurasia. Taxonomy and Ecology. Amsterdam: Academic Press, 2015; 452. doi: 10.1016/C2014-0-01020-9.
89. Caputi S., Diomedea F., Lanuti P. et al. Microplastics affect the inflammation pathway in human gingival fibroblasts: a study in the Adriatic sea. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19 (13): 7782. doi: 10.3390/ijerph19137782.
90. Луговец Д.В., Фадеев Ф.А., Саркисян Н.Г., Меликян С.Г. Оценка возможности применения дермальных фибробластов для лечения дефектов полости рта. *Пародонтология.* 2019; 24 (1–24): 22–28. [Lugovets D.V., Fadeev F.A., Sarkisyan N.G., Melikyan S.G. Otsenka vozmozhnosti primeneniya dermal'nykh fibroblastov dlya lecheniya defektov polosti rta. *Parodontologiya.* 2019; 24 (1–24): 22–28. (in Russian)]
91. Шаранов И.Ю., Кварцхелия А.Г., Болгучева М.Б., Коротких К.Н. Функциональная морфология бокаловидных клеток тонкой кишки при действии различных факторов. *Журнал анатомии и гистопатологии.* 2021; 10 (2): 73–79. doi: 10.18499/2225-7357-2021-10-2-73-79. [Sharapov I.Jyu., Kvartskheliya A.G., Bolgucheva M.B., Korotkikh K.N. Funktsional'naya morfologiya bokalovidnykh kletok tonkoj kishki pri dejstvii razlichnykh faktorov. *Zhurnal Anatomii i Gistopatologii.* 2021; 10 (2): 73–79. doi: 10.18499/2225-7357-2021-10-2-73-79. (in Russian)]
92. Lu L., Wan Z., Luo T. et al. Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice. *Sci Total Environ.* 2018; 631–632: 449–458. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.051.
93. Jin Y., Lu L., Tu W. et al. Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Sci Total Environ.* 2019; 649: 308–317. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.353.
94. Sun H., Chen O., Chen N. et al. Effect induced by polyethylene microplastics oral exposure on colon mucin release, inflammation, gut microflora composition and metabolism in mice. *Exsotoxicol Environ Saf.* 2021; 220: 112340. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112340.
95. Michielan A., D'Inca R. Intestinal permeability in inflammatory bowel disease: pathogenesis, clinical evaluation, and therapy of leaky gut. *Mediators Inflamm.* 2015; 2015: 628157. doi: 10.1155/2015/628157.
96. Nagpal R., Yadav H. Bacterial translocation from the gut to the distant organs: an overview. *Ann Nutr Metab.* 2017; 71 (1): 11–16. doi: 10.1159/000479918.
97. Нишанов Ю.Н., Палванова М.С., Юлдашева М.Т., Шерматов Р.М. Особенности кровоснабжения стенки тонкой кишки и его Пейеровых бляшек. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2020; 175 (3): 66–70. doi: 10.31146/1682-8658.ecg-175-3-66-70. [Nishanov Jyu.N., Palvanova M.S., Jyuldasheva M.T., Shermatov R.M.

Osobennosti krovosnabzheniya stenki tonkoj kishki i ego Pejerovykh blyashkek. *Ekspperimental'naya i Klinicheskaya Gastroenterologiya*. 2020; 175 (3): 66–70. doi: 10.31146/1682-8658.ecg-175-3-66-70. (in Russian)]

98. Yang S., Cheng Y., Chen Z. et al. *In vitro* evaluation of nanoplastics using human lung epithelial cells, microarray analysis and co-culture model. *Exotoxicol Environ Saf*. 2021; 226: 112837. doi: 10.1016/j.jecoenv.2021.112837.

Информация об авторах

Андрюков Борис Георгиевич — д. м. н., ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова» Роспотребнадзора Владивосток, Россия. ORCID: 0000-0003-4456-808X. Researcher ID: J-3752-2018. eLIBRARY SPIN-код: 7757-3838. Scopus Author ID: 57191370698

Беседнова Наталия Николаевна — д. м. н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории иммунологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова» Роспотребнадзора, Владивосток, Россия. ORCID: 0000-0002-2760-9778. eLIBRARY SPIN-код: 8931-9002

Запорожец Татьяна Станиславовна — д. м. н., главный научный сотрудник лаборатории респираторных инфекций ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова» Роспотребнадзора, Владивосток, Россия. ORCID: 0000-0002-8879-8496. Researcher ID: Y-9425-2018. eLIBRARY SPIN-код: 8931-9002. Scopus Author ID: 7006805123

Яковлев Анатолий Александрович — д. м. н., ведущий научный сотрудник лаборатории кишечных инфекций ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова» Роспотребнадзора, Владивосток, Россия. eLIBRARY SPIN-код: 8049-7571. Scopus Author ID: 57197683046

Матосова Екатерина Владимировна — научный сотрудник лаборатории кишечных инфекций ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова» Роспотребнадзора, Владивосток, Россия. Researcher ID: J-4316-2018. eLIBRARY SPIN-код: 9527-6527. Scopus Author ID: 57194106798

Крыжановский Сергей Петрович — д. м. н., научный руководитель Медицинского объединения ДВО РАН, Владивосток, Россия. Scopus Author ID: 56105918900

Щелканов Михаил Юрьевич — д. б. н., директор «ФГБНУ «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова» Роспотребнадзора; заведующий лабораторией вирусологии ФГБНУ «Федеральный научный Центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН; ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Национальный научный Центр морской биологии» ДВО РАН, Владивосток, Россия. ORCID: 0000-0001-8610-7623. Researcher ID: L-6164-2016. eLIBRARY SPIN-код: 5736-7230. Scopus Author ID: 7004251692.

About the authors

Boris G. Andryukov — D. Sc. in Medicine, Leading Researcher at Laboratory of Molecular Microbiology, Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov, Vladivostok, Russia. ORCID: 0000-0003-4456-808X. Researcher ID: J-3752-2018. eLIBRARY SPIN: 7757-3838. Scopus Author ID: 57191370698

Natalia N. Besednova — D. Sc. in Medicine, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher at the Laboratory of Immunology, Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov, Vladivostok, Russia. ORCID: 0000-0002-2760-9778. eLIBRARY SPIN: 8931-9002

Tatyana S. Zaporozhets — D. Sc. in Medicine, Chief Researcher of the Laboratory of Respiratory Infections, Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov, Vladivostok, Russia. ORCID: 0000-0002-8879-8496. Researcher ID: Y-9425-2018. eLIBRARY SPIN: 8931-9002. Scopus Author ID: 7006805123

Anatoly A. Yakovlev — D. Sc. in Medicine, Leading Researcher at the Laboratory of Intestinal Infections, Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov, Vladivostok, Russia. eLIBRARY SPIN: 8049-7571. Scopus Author ID: 57197683046

Ekaterina V. Matosova — Researcher at the Laboratory of Intestinal Infections, Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov, Vladivostok, Russia. Researcher ID: J-4316-2018. eLIBRARY SPIN: 9527-6527. Scopus Author ID: 57194106798

Sergey P. Kryzhanovskiy — D. Sc. in Medicine, Scientific Supervisor of the Medical Association of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. Scopus Author ID: 56105918900

Mikhail Yu. Shchelkanov — D. Sc. in Biology, Director of the Scientific Research Institute of Epidemiology and Microbiology named G. P. Somov; Head of the Laboratory of Virology of the Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Leading Researcher at the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. ORCID: 0000-0001-8610-7623. Researcher ID: L-6164-2016. eLIBRARY SPIN: 5736-7230. Scopus Author ID: 7004251692.