

DOI: 10.21055/0370-1069-2021-2-108-113

УДК 616.98:578.2

В.В. Золин, О.П. Оськина, В.В. Солодкий, М.Н. Еремина, Г.Ф. Давыдов, Т.А. Гостева

ОЦЕНКА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ КОРОНАВИРУСА SARS-CoV-2 НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ТЕСТ-ПОВЕРХНОСТЕЙ, А ТАКЖЕ В ПИТЬЕВОЙ И МОРСКОЙ ВОДЕ

ФБУН «Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор», р.п. Кольцово, Российская Федерация

Цель исследования – определение динамики остаточной инфекционной активности вируса SARS-CoV-2 на различных типах поверхностей, в том числе на бумажных банкнотах и металлических монетах, в образцах питьевой дехлорированной воды и образцах, имитирующих морскую воду, с концентрацией солей по хлориду натрия 0,9 и 3,5 % при температуре 24–28 °С. **Материалы и методы.** Исследования проводили с использованием коронавируса SARS-CoV-2 штамм nCoV/Victoria/1/2020 из Коллекции штаммов микроорганизмов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, исходный титр – $(6,0 \pm 0,2)$ lg ТЦД₅₀/мл. В работе использована культура клеток Vero E6 из Коллекции клеточных культур ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора в виде 2-суточного моно-слоя с конfluентностью 95–100 %, выращенная в 96-луночных культуральных планшетах. **Результаты и выводы.** Коронавирус SARS-CoV-2 жизнеспособен как в пресной, так и морской воде, независимо от ее солености, на протяжении как минимум 48 часов, причем степень сохранности остаточной инфекционной активности вируса зависит от температуры воды: чем она ниже, тем лучше сохраняется вирус. Установлено, что коронавирус SARS-CoV-2 при температуре 24–28 °С способен сохранять инфекционную активность на всех исследованных типах тест-поверхностей в течение как минимум 48 часов, при этом степень сохранности остаточной инфекционной активности вируса зависит от типа поверхности, лучше всего вирус сохраняется на нержавеющей стали, пластике и стекле. Показано, что на поверхностях бумажных банкнот и металлических монет инфекционная активность вируса SARS-CoV-2 сохраняется более 24 часов. Проведенные исследования подтвердили способность коронавируса SARS-CoV-2 сохранять свою инфекционную активность в окружающей среде при благоприятных для него условиях и, соответственно, представлять эпидемиологическую опасность для населения.

Ключевые слова: жизнеспособность коронавируса SARS-CoV-2, инфекционная активность, типы поверхностей, пресная и морская вода.

Корреспондирующий автор: Золин Владимир Викторович, e-mail: zolin@vector.nsc.ru.

Для цитирования: Золин В.В., Оськина О.П., Солодкий В.В., Еремина М.Н., Давыдов Г.Ф., Гостева Т.А. Оценка жизнеспособности коронавируса SARS-CoV-2 на различных типах тест-поверхностей, а также в питьевой и морской воде. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2021; 2:108–113. DOI: 10.21055/0370-1069-2021-2-108-113

Поступила 11.01.2021. Принята к публ. 18.02.2021.

V.V. Zolin, O.P. Os'kina, V.V. Solodky, M.N. Eremina, G.F. Davydov, T.A. Gosteva

Assessment of the Viability of SARS-CoV-2 Coronavirus on Various Types of Test Surfaces, as Well as in Drinking and Sea Water

State Scientific Center of Virology and Biotechnology "Vector", Kol'tsovo, Russian Federation

Abstract. The aim of this study was to determine the dynamics of the residual infectious activity of the SARS-CoV-2 virus on various types of surfaces, including banknotes and coins, in samples of drinking dechlorinated water and samples imitating seawater, with a concentration of sodium chloride salts of 0.9 and 3.5 % at a temperature of 24–28 °C. **Materials and methods.** The studies were carried out using the SARS-CoV-2 coronavirus strain nCoV/Victoria/1/2020, from the collection of the SSC VB "Vector", the initial titer being (6.0 ± 0.2) lg TCD₅₀/ml. We used a Vero E6 cell culture from the collection of the SSC VB "Vector" in the form of a 2-day monolayer with a confluence of 95–100 %, grown in 96-well culture plates. **Results and conclusions.** The SARS-CoV-2 coronavirus is viable in both fresh and sea water, regardless of its salinity, for at least 48 hours, and the degree of preservation of the residual infectious activity of the virus depends on the water temperature: the lower it is, the better the virus is preserved. It was found that at a temperature of 24–28 °C, the SARS-CoV-2 coronavirus is able to maintain infectious activity on all types of test surfaces studied for at least 48 hours, while the degree of the residual infectious activity of the virus depends on the type of surface. The virus is best preserved on stainless steel, plastic and glass. It is demonstrated that SARS-CoV-2 virus activity is retained on the surface of paper money and coins for longer than 24 hours. The conducted studies have confirmed the ability of the SARS-CoV-2 coronavirus to maintain its infectious activity in the environment under favorable conditions and, accordingly, to pose an epidemiological threat to the population.

Key words: viability of SARS-CoV-2 coronavirus, infectious activity, surface types, fresh and sea water.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Corresponding author: Vladimir V. Zolin, e-mail: zolin@vector.nsc.ru.

Citation: Zolin V.V., Os'kina O.P., Solodky V.V., Eremina M.N., Davydov G.F., Gosteva T.A. Assessment of the Viability of SARS-CoV-2 Coronavirus on Various Types of Test Surfaces, as Well as in Drinking and Sea Water. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2021; 2:108–113. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2021-2-108-113

Received 11.01.2021. Accepted 18.02.2021.

Zolin V.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4120-1178>

Os'kina O.P., ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9165-1524>

Solodky V.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7270-0028>

В связи с продолжающейся пандемией коронавирусной инфекции по-прежнему актуальным остается вопрос о возможных путях передачи коронавируса SARS-CoV-2 и длительности сохранения его жизнеспособности на различных типах поверхностей, а также в воде, как питьевой, так и из открытых водоемов.

Известно, что коронавирусы, в том числе человека, в частности SARS-CoV, MERS-CoV, могут сохраняться на таких поверхностях, как металл, стекло или пластик, до 9 дней [1–4]. Вирус SARS-CoV-2, находящийся на руках человека, может легко попадать на разные поверхности при соприкосновении. При этом время выживания вируса SARS-CoV-2 на коже человека, по литературным данным, составляет 9 часов [5].

В исследованиях по инаktivации коронавируса на поверхностях цветных металлов было показано, что коронавирус человека HCoV-229E, взятый в качестве модельного объекта, инаktivировался на поверхности латунных изделий в течение 40 минут и в течение 120 минут – на поверхностях из медно-никелевых сплавов, содержащих не менее 70 % меди [6, 7]. В другом исследовании была изучена динамика инаktivации SARS-CoV-2 на контаминированных поверхностях из разных материалов. Вирус продемонстрировал относительно долгую жизнеспособность на поверхностях из нержавеющей стали и полипропилена и более быструю инаktivацию на поверхностях из меди и картона. Период «полураспада» составил около 13 часов на стали и около 16 часов на полипропиле [8–10].

Персистенция вируса как на бумажных, так и с полимерным покрытием банкнотах имеет особое значение, учитывая частоту обращения и потенциальную возможность передачи жизнеспособного вируса как между отдельными людьми, так и между разными регионами стран [11]. Банкноты более низкого номинала содержат на своей поверхности наибольшее количество инфекционных агентов, поскольку они больше находятся в обороте и обмениваются чаще, чем банкноты более высокого номинала. В исследовании на вирусе гриппа банкноты были экспериментально заражены репрезентативными подтипами вируса гриппа в различных концентрациях, выживаемость проверялась через различные периоды времени. Вирусы гриппа А (H3N2), протестированные в клеточной культуре, выживали от 1 до 3 дней [12].

Не менее важным путем передачи коронавируса может являться вода, как питьевая, так и вода открытых и закрытых пресных и соленых водоемов.

Данные литературы свидетельствуют о том, что полная инаktivация коронавируса SARS-CoV-2 в воде происходит только в течение нескольких дней [13]. Другие наблюдения, проведенные в ряде стран за тем, как коронавирус SARS-CoV-2 ведет себя при попадании в воду, показали, что в реках и озерах он может сохранять жизнеспособность до 25 дней. Данные по

странам различаются, но сообщается, что максимальное долго вирус сохранял инфекционную активность в озерах Великобритании, Испании и Марокко [4, 14]. Есть сообщения о том, что коронавирус SARS-CoV-2 может сохранять свою инфекционную активность не только в пресных водоемах, но и в соленой воде морей и океанов. При этом на скорость инаktivации вируса влияют такие факторы, как pH, температура и концентрация соли в воде [14, 15].

Целью данной работы с учетом вышеизложенного являлось определение динамики остаточной инфекционной активности вируса SARS-CoV-2 на различных типах тест-поверхностей, в том числе на бумажных банкнотах и металлических монетах, в образцах питьевой дехлорированной воды, а также в образцах, имитирующих морскую воду, с концентрацией солей по хлориду натрия 0,9 и 3,5 % при температуре 24–28 °С.

Материалы и методы

Вирус: испытание проводили с использованием коронавируса SARS-CoV-2 из Коллекции штаммов микроорганизмов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, исходный титр – $(6,0 \pm 0,2) \lg \text{ТЦД}_{50}/\text{мл}$.

Культура клеток: в работе использована культура клеток Vero E6 из Коллекции клеточных культур ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора в виде 2-суточного монослоя с конfluентностью 95–100 %, выращенная в 96-луночных культуральных планшетах.

Культуральная среда: ростовая – Игла MEM («Биолот») с добавлением эмбриональной сыворотки КРС (Gibco) до 10 % и антибиотика Anti-anti (Gibco) 100 ЕД/мл; поддерживающая – Игла MEM («Биолот») с добавлением эмбриональной сыворотки КРС (Gibco) до 2 % и антибиотика Anti-anti (Gibco) 100 ЕД/мл.

Краситель: 0,2 % раствор генциана фиолетового (1 г генциана фиолетового, 100 мл 96 % этилового спирта, 100 мл 37 % формалина, 300 мл дистиллированной воды).

При изучении жизнеспособности коронавируса SARS-CoV-2 в воде вирусосодержащую жидкость добавляли в образцы питьевой дехлорированной и морской воды в пропорции 1:9 с концентрацией солей в морской воде по хлориду натрия 0,9 % (препарат «ЛинАква») и 3,5 % (раствор морской соли). Образцы воды с вирусом выдерживали при комнатной температуре 24–28 °С, динамику инаktivации изучали методом отбора проб через 1, 3, 24, 48 и 72 часа и дальнейшего их титрования в культуре клеток Vero E6.

При исследовании инфекционной активности коронавируса SARS-CoV-2 на материалах, на различные типы тест-поверхностей наносили вирусосодержащую суспензию из расчета 0,5 мл на 100 см², равномерно распределяли ее по поверхно-

сти стеклянным шпателем, далее через 1, 3, 24, 48, 72 часа отбирали пробы протиранием увлажненной раствором Хэнкса стерильной марлевой салфеткой (5×5 см), проводили элюцию встряхиванием в течение 10 мин, полученный элюат наносили на культуру клеток Vero E6 и методом титрования осуществляли контроль инфекционной активности коронавируса. Исследование проводили в соответствии с требованиями руководства Р 4.2.2643-10 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности».

Положительный контрольный образец (К+): вирусная суспензия SARS-CoV-2.

Отрицательным контрольным образцом (К-) служили лунки планшета со средой Игла MEM («Биолот») с добавлением эмбриональной сыворотки КРС (Gibco) до 2 % и антибиотиков 100 ЕД/мл (Gibco) без добавления вируса.

Титрование в культуре клеток

1-й этап. Титрование образцов проводили, делая последовательные 10-кратные разведения (с -1 по -5) в поддерживающей среде Игла MEM. Положительный контрольный образец (К+) титровали, готовя последовательные 10-кратные разведения (с -1 по -6) в поддерживающей среде Игла MEM. Для контроля клеточного монослоя в 8 лунок вносили по 0,1 мл поддерживающей среды Игла MEM.

2-й этап (инфицирование культуры клеток). Образцы в объеме 0,1 мл вносили в лунки 96-луночных культуральных планшетов, содержащих монослой культуры клеток, каждый образец титровали в 8–12 лунках, в 5 повторах. Инфицированные культуральные планшеты оставляли для экспозиции при 24 °С на 60 минут, затем в каждую лунку добавляли по 0,1 мл поддерживающей среды Игла MEM. Культуральные планшеты инкубировали при 37 °С в

условиях 5 % CO₂.

Регистрация результатов. На 5-е сутки после инфицирования в каждую лунку культурального планшета вносили раствор красителя в объеме 0,1 мл, предварительно удалив поддерживающую среду, через 24 часа планшет промывали и визуально проводили учет цитопатического действия вируса по характерным индуцированным вирусом изменениям клеточной морфологии. Титр вируса определяли в тканевых цитопатических дозах (ТЦД₅₀).

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами с помощью пакета компьютерных программ Statistica 10 (StatSoft Inc., 2011) с оценкой достоверности отличий ($p \leq 0,05$) для 95 % доверительного уровня (I_{95}) [16]. Определение величины ТЦД₅₀ проводили по методу Спирмена – Кербера в модификации Ашмарина – Воробьева [17].

Результаты и обсуждение

Результаты исследований жизнеспособности коронавируса SARS-CoV-2 на различных тест-поверхностях представлены в табл. 1.

Результаты исследований, представленные в табл. 1, подтверждают сведения о том, что коронавирус SARS-CoV-2 из коллекции ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» способен сохранять свою инфекционную активность на различных типах тест-поверхностей при температуре 24–28 °С на протяжении как минимум 48 часов, при этом степень сохранности остаточной инфекционной активности вируса зависит от типа поверхности, лучше всего вирус сохраняется на нержавеющей стали, пластике и стекле.

Также проведены исследования, направленные на изучение сохранения жизнеспособности возбудителя новой коронавирусной инфекции COVID-19 на поверхности денежных банкнот и металлических

Таблица 1 / Table 1

Жизнеспособность вируса SARS-CoV-2 на различных тест-поверхностях при температуре 24–28 °С на 1-, 3-, 24-, 48-й и 72-й час после отбора проб

Viability of the SARS-CoV-2 virus on various test surfaces at a temperature of 24–28 °C 1, 3, 24, 48 and 72 hours after sampling

Наименование поверхности Surface type	Титр остаточной инфекционной активности вируса SARS-CoV-2 (lgTCID ₅₀ /мл), (M±I ₉₅ , n=5)* Titer of residual infectious activity of SARS-CoV-2 virus (lgTCID ₅₀ /ml), (M±I ₉₅ , n=5)*						Контроль клеток (К-) Cell control (C-)
	контроль вируса (К+) virus control (C+)	1 ч 1 h	3 ч 3 h	24 ч 24 h	48 ч 48 h	72 ч 72 h	
Стекло Glass	5,8±0,4	4,6±0,3	3,0±0,2	1,5±0,3	0,8±0,2	0,5	0
Линолеум Linoleum	5,8±0,4	4,0±0,3	3,0±0,2	0,8±0,3	0,8±0,2	0,5	0
Нержавеющая сталь Stainless steel	5,8±0,4	5,0±0,3	4,6±0,2	2,3±0,3	1,5±0,2	0,6±0,1	0
Пластик Pastic	5,8±0,4	4,9±0,3	3,6±0,2	1,5±0,3	0,8±0,2	0,5	0
Керамическая плитка Ceramic tiles	5,8±0,4	4,0±0,3	2,5±0,2	1,0±0,3	0,6±0,2	0,5	0

* n – число экспериментов; M – среднее значение; I₉₅ – 95 % доверительный интервал, $p < 0,05$.

* n – number of experiments; M – mean value; I₉₅ – 95 % confidence interval, $p < 0,05$.

Таблица 2 / Table 2

Жизнеспособность вируса SARS-CoV-2 на поверхности денежных банкнот и монет различного номинала при температуре 24–28 °C на 1-, 3-, 5-й, 24-й час после отбора проб

Viability of the SARS-CoV-2 virus on the surface of banknotes and coins of various denominations at a temperature of 24–28 °C 1, 3, 5, and 24 hours after sampling

Денежные знаки, номинал Banknotes, denomination	Титр остаточной инфекционной активности вируса SARS-CoV-2 (lgTCID ₅₀ /мл), (M±I ₉₅ , n=5)* Titer of residual infectious activity of SARS-CoV-2 virus (lgTCID ₅₀ /ml), (M±I ₉₅ , n=5)*					Контроль клеток (K-) Cell control (C-)
	контроль вируса (K+) virus control (C+)	1 ч 1 h	3 ч 3 h	5 ч 5 h	24 ч 24 h	
100 рублей 100-ruble banknote	6,2±0,3	6,2±0,1	4,5±0,2	3,8±0,1	1,8±0,2	0
100 рублей 100-ruble banknote	4,0±0,2	3,5±0,2	3,0±0,3	2,5±0,3	1,3±0,3	0
50 рублей 50-ruble banknote	6,2±0,3	6,0±0,3	4,8±0,2	3,5±0,3	2,0±0,3	0
50 рублей 50-ruble banknote	4,0±0,2	2,8±0,1	2,8±0,3	2,5±0,3	1,0±0,2	0
10 рублей (монета) 10-ruble coin	6,2±0,3	5,8±0,3	4,3±0,3	3,3±0,3	1,5±0,3	0
10 рублей (монета) 10-ruble coin	4,0±0,2	2,5±0,2	2,0±0,3	1,5±0,2	0,5±0,3	0
5 рублей (монета) 5-ruble coin	6,2±0,3	5,8±0,2	4,5±0,2	3,5±0,3	1,5±0,3	0
5 рублей (монета) 5-ruble coin	4,0±0,2	2,5±0,2	2,0±0,3	1,3±0,3	0,5±0,3	0

* n – число экспериментов; M – среднее значение; I₉₅ – 95 % доверительный интервал, p<0,05.

* n – number of experiments; M – mean value; I₉₅ – 95 % confidence interval, p<0,05.

монет различного достоинства, находящихся в обращении на территории Российской Федерации. Всего проведено 5 серий исследований, в которых на поверхности банкнот достоинством 100 и 50 рублей, а также 5- и 10-рублевых монет наносили вирус SARS-CoV-2 в разных концентрациях (6,0±0,2 lgTCID₅₀/мл и 4,0±0,2 lgTCID₅₀/мл) и исследовали его инфекционную активность после экспозиции в течение 15, 30, 60 минут. Исследование проводили в соответствии с руководством Р 4.2.2643-10 «Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности». Результаты исследований представлены в табл. 2.

Проведенные исследования показали, что на поверхностях бумажных банкнот и металлических монет инфекционная активность вируса SARS-CoV-2 сохраняется более 24 часов.

Результаты исследований жизнеспособности коронавируса SARS-CoV-2 в образцах питьевой и морской воды представлены в табл. 3.

Как следует из данных, представленных в табл. 3 и 4, коронавирус SARS-CoV-2 из Коллекции штаммов микроорганизмов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора сохраняет жизнеспособность в морской воде в течение как минимум 48 часов, независимо от ее солености. В течение двух суток вирус инактивируется на 2,65–3,25 lg при исходной

Таблица 3 / Table 3

Жизнеспособность вируса SARS-CoV-2 в образцах воды, имитирующих морскую воду и хранившихся при температуре 24–28 °C, на 1-, 3-, 24- и 48-й час после отбора проб

Viability of the SARS-CoV-2 virus in water samples imitating sea water, stored at 24–28 °C, 1, 3, 24, and 48 hours after sampling

Образцы воды Water samples	Титр остаточной инфекционной активности вируса SARS-CoV-2 (lgTCID ₅₀ /мл), (M±I ₉₅ , n=5)* Titer of residual infectious activity of SARS-CoV-2 virus (lgTCID ₅₀ /ml), (M±I ₉₅ , n=5)*					Контроль клеток (K-) Cell control (C-)
	контроль вируса (K+) virus control (C+)	1 ч 1 h	3 ч 3 h	24 ч 24 h	48 ч 48 h	
Вода с содержанием солей 0,9 % Water with salt content of 0.9 %	5,8±0,3	5,4±0,3	5,0±0,3	4,0±0,3	3,1±0,3	0
Вода с содержанием солей 3,5 % Water with salt content of 3.5 %	5,8±0,3	5,3±0,3	4,9±0,3	3,5±0,3	2,5±0,3	0

* n – число экспериментов; M – среднее значение; I₉₅ – 95 % доверительный интервал, p<0,05.

* n – number of experiments; M – mean value; I₉₅ – 95 % confidence interval, p<0,05.

Таблица 4 / Table 4

Результаты сравнительной оценки длительности сохранения инфекционной активности коронавируса SARS-CoV-2 в дехлорированной питьевой воде при температурах 24–28 °C и +4 °C течение 1, 3, 24, 48, 72 часов

Results of a comparative assessment of preservation longevity of infectious activity in the SARS-CoV-2 coronavirus in dechlorinated drinking water at 24–28 °C and +4 °C for 1, 3, 24, 48, 72 hours

Температура хранения образца Sample storage temperature	Титр остаточной инфекционной активности вируса SARS-CoV-2 в дехлорированной питьевой воде (lgTCID ₅₀ /мл), (M±I ₉₅ , n=5)* Titer of residual infectious activity of SARS-CoV-2 virus in dechlorinated drinking water (lgTCID ₅₀ /ml), (M±I ₉₅ , n=5)*					Контроль клеток (К-) Cell control (C-)
	1 ч 1 h	3 ч 3 h	24 ч 24 h	48 ч 48 h	72 ч 72 h	
24–28 °C	6,0±0,2	5,7±0,2	5,1±0,2	3,8±0,2	2,4±0,2	0
4 °C	6,0±0,2	6,0±0,2	5,7±0,2	5,2±0,2	4,9±0,2	0

* n – число экспериментов; M – среднее значение; I₉₅ – 95 % доверительный интервал, p<0,05.

* n – number of experiments; M – mean value; I₉₅ – 95 % confidence interval, p<0,05.

концентрации (6,0±0,2) lgTCID₅₀/мл и температуре 24–28 °C.

Как свидетельствуют результаты исследований, представленные в табл. 4, коронавирус SARS-CoV-2 сохраняет остаточную инфекционную активность в дехлорированной питьевой воде в течение как минимум 72 часов, при этом степень сохранности зависит от температуры хранения образца [18].

Таким образом, проведенные исследования подтверждают сведения о том, что коронавирус нового типа SARS-CoV-2 способен сохранять свою инфекционную активность в окружающей среде при благоприятных для него условиях и, соответственно, представлять эпидемиологическую опасность для населения. Коронавирус SARS-CoV-2 жизнеспособен как в пресной, так и морской воде, независимо от ее солености, на протяжении как минимум 48 часов, причем степень сохранности остаточной инфекционной активности вируса зависит от температуры воды: чем она ниже, тем лучше сохраняется вирус. Кроме того, экспериментальным путем установлено, что коронавирус SARS-CoV-2 при температуре 24–28 °C способен сохранять инфекционную активность на всех исследованных типах тест-поверхностей в течение как минимум 48 часов, а на денежных знаках – не менее 24 часов. При этом степень сохранности остаточной инфекционной активности вируса зависит от типа поверхности, лучше всего вирус сохраняется на нержавеющей стали, пластике и стекле. Учитывая необходимость выявления и оценки всех возможных путей передачи коронавируса SARS-CoV-2, а также точного времени сохранения его инфекционной активности в окружающей среде, исследования в этом направлении будут продолжены.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

Список литературы

- Duan S.M., Zhao X.S., Wen R.F., Huang J.J., Pi G.H., Zhang S.X., Han J., Bi S.L., Ruan L., Dong X.P. Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation. *Biomed Environ Sci.* 2003; 16(3):246–55.
- Chan K.H., Peiris J.S., Lam S.Y., Poon L.L., Yuen K.Y., Seto

W.H. The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Adv. Virol.* 2011; 2011:734690. DOI: 10.1155/2011/734690.

3. Kampf G., Todt D., Pfaender S., Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *J. Hosp. Infect.* 2020; 104(3):246–51. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.01.022.

4. Warnes S.L., Little Z.R., Keevil C.W. Human coronavirus 229E remains infectious on common touch surface materials. *mBio.* 2015; 6(6):e01697-15. DOI: 10.1128/mBio.01697-15.

5. Hirose R., Ikegaya H., Naito Y., Watanabe N., Yoshida T., Bandou R., Daidoji T., Itoh Y., Nakaya T. Survival of SARS-CoV-2 and influenza virus on the human skin: Importance of hand hygiene in COVID-19. *Clin. Infect. Dis.* 2020; cial1517. DOI: 10.1093/cid/cial1517.

6. van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H., Holbrook M.G., Gamble A., Williamson B.N., Tamin A., Harcourt J.L., Thornburg N.J., Gerber S.I., Lloyd-Smith J.O., de Wit E., Munster V.J. Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1. *medRxiv.* 2020; 2020.03.09.20033217. DOI: 10.1101/2020.03.09.20033217.

7. Warnes S.L., Little Z.R., Keevil C.W. Human coronavirus 229E remains infectious on common touch surface materials. *mBio.* 2015; 6(6):e01697-15. DOI: 10.1128/mBio.01697-15.

8. Riddell S., Goldie S., Hill A., Eagles D., Drew T.W. The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces. *Virol. J.* 2020; 17(1):145. DOI: 10.1186/S12985-020-01418-7.

9. Casanova L.M., Jeon S., Rutala W.A., Weber D.J., Sobsey M.D. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. *Appl. Environ. Microbiol.* 2010; 76(9):2712–7. DOI: 10.1128/AEM.02291-09.

10. Rabenau H.F., Cinatl J., Morgenstern B., Bauer G., Preiser W., Doerr H.W. Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Med. Microbiol. Immunol.* 2005; 194(1–2):1–6. DOI: 10.1007/s00430-004-0219-0.

11. Vriesekoop F., Russell C., Alvarez-Mayorga B., Aidoo K., Yuan Q., Scannell A., Beumer R.R., Jiang X., Barro N., Otokunefor K., Smith-Arnold C., Heap A., Chen J., Iturriaga M.H., Hazeleger W., DeSlandes J., Kinley B., Wilson K., Menz G. Dirty money: an investigation into the hygiene status of some of the world's currencies as obtained from food outlets. *Foodborne Pathog. Dis.* 2010; 7(12):1497–502. DOI: 10.1089/fpd.2010.0606.

12. Thomas Y., Vogel G., Wunderli W., Suter P., Witschi M., Koch D., Tapparel C., Kaiser L. Survival of influenza virus on banknotes. *Appl. Environ. Microbiol.* 2008; 74(10):3002–7. DOI: 10.1128/AEM.00076-08.

13. van Doremalen N., Bushmaker T., Munster V.J. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Euro Surveill.* 2013; 18(38):20590. DOI: 10.2807/1560-7917.es2013.18.38.20590.

14. Shutler J., Zaraska K., Holding T.M., Machnik M., Uppuluri K., Ashton I., Migdal L., Dahiya R.S. Risk of SARS-CoV-2 infection from contaminated water systems. *medRxiv.* 2020.06.17.20133504. DOI: 10.1101/2020.06.17.20133504.

15. Serdec.ru: Живет ли коронавирус в воде. [Электронный ресурс]. URL: <https://icvtormet.ru/prochee/zhivet-koronavirus-vode> (дата обращения 01.08.2020).

16. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика; 1976. 598 с.

17. Ашмарин И.П., Воробьев А.А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Ленинград: Медгиз; 1962. 180 с.

18. Золин В.В., Оськина О.П., Солодкий В.В., Гаврилова

E.B., Агафонов А.П., Максюттов Р.А. 2020. Изучение жизнеспособности вируса SARS-CoV-2 в питьевой и морской воде. COVID19-PREPRINTS.MICROBE.RU. DOI: 10.21055/preprints-3111723.

References

- Duan S.M., Zhao X.S., Wen R.F., Huang J.J., Pi G.H., Zhang S.X., Han J., Bi S.L., Ruan L., Dong X.P. Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation. *Biomed Environ Sci.* 2003; 16(3):246–55.
- Chan K.H., Peiris J.S., Lam S.Y., Poon L.L., Yuen K.Y., Seto W.H. The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Adv. Virol.* 2011; 2011:734690. DOI: 10.1155/2011/734690.
- Kampf G., Todt D., Pfaender S., Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *J. Hosp. Infect.* 2020; 104(3):246–51. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.01.022.
- Warnes S.L., Little Z.R., Keevil C.W. Human coronavirus 229E remains infectious on common touch surface materials. *mBio.* 2015; 6(6):e01697-15. DOI: 10.1128/mBio.01697-15.
- Hirose R., Ikegaya H., Naito Y., Watanabe N., Yoshida T., Bandou R., Daidoji T., Itoh Y., Nakaya T. Survival of SARS-CoV-2 and influenza virus on the human skin: Importance of hand hygiene in COVID-19. *Clin. Infect. Dis.* 2020; cial1517. DOI: 10.1093/cid/cial1517.
- van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H., Holbrook M.G., Gamble A., Williamson B.N., Tamin A., Harcourt J.L., Thornburg N.J., Gerber S.I., Lloyd-Smith J.O., de Wit E., Munster V.J. Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1. *medRxiv.* 2020; 2020.03.09.20033217. DOI: 10.1101/2020.03.09.20033217.
- Warnes S.L., Little Z.R., Keevil C.W. Human coronavirus 229E remains infectious on common touch surface materials. *mBio.* 2015; 6(6):e01697-15. DOI: 10.1128/mBio.01697-15.
- Riddell S., Goldie S., Hill A., Eagles D., Drew T.W. The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces. *Virol. J.* 2020; 17(1):145. DOI: 10.1186/S12985-020-01418-7.
- Casanova L.M., Jeon S., Rutala W.A., Weber D.J., Sobsey M.D. Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces. *Appl. Environ. Microbiol.* 2010; 76(9):2712–7. DOI: 10.1128/AEM.02291-09.
- Rabenau H.F., Cinatl J., Morgenstern B., Bauer G., Preiser W., Doerr H.W. Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Med. Microbiol. Immunol.* 2005; 194(1–2):1–6. DOI: 10.1007/s00430-004-0219-0.
- Vriesekoop F., Russell C., Alvarez-Mayorga B., Aidoo K., Yuan Q., Scannell A., Beumer R.R., Jiang X., Barro N., Otokunefor K., Smith-Arnold C., Heap A., Chen J., Iturriaga M.H., Hazeleger W., DeSlandes J., Kinley B., Wilson K., Menz G. Dirty money: an investigation into the hygiene status of some of the world's currencies as obtained from food outlets. *Foodborne Pathog. Dis.* 2010; 7(12):1497–502. DOI: 10.1089/fpd.2010.0606.
- Thomas Y., Vogel G., Wunderli W., Suter P., Witschi M., Koch D., Tapparel C., Kaiser L. Survival of influenza virus on banknotes. *Appl. Environ. Microbiol.* 2008; 74(10):3002–7. DOI: 10.1128/AEM.00076-08.
- van Doremalen N., Bushmaker T., Munster V.J. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. *Euro Surveill.* 2013; 18(38):20590. DOI: 10.2807/1560-7917.es2013.18.38.20590.
- Shutler J., Zaraska K., Holding T.M., Machnik M., Uppuluri K., Ashton I., Migdal L., Dahiya R.S. Risk of SARS-CoV-2 infection from contaminated water systems. *medRxiv.* 2020.06.17.20133504. DOI: 10.1101/2020.06.17.20133504.
- Serdec.ru: Does coronavirus live in water? (Cited 01 Aug 2020). [Internet]. Available from: <https://icvtormet.ru/prochee/zhivet-koronavirus-vode>.
- Zaks L. [Statistical Estimation]. Moscow: Statistics; 1976. 598 p.
- Ashmarin I.P., Vorob'ev A.A. [Statistical Methods in Microbiological Research]. Leningrad: "Medgiz"; 1962. 180 p.
- Zolin V.V., Os'kina O.P., Solodky V.V., Gavrilova E.V., Agafonov A.P., Maksyutov R.A. 2020. [Study of the viability of the SARS-CoV-2 virus in drinking and sea water]. COVID19-PREPRINTS.MICROBE.RU. DOI: 10.21055/preprints-3111723.

Authors:

Zolin V.V., Os'kina O.P., Solodky V.V., Eremina M.N., Davydov G.F., Gosteva T.A. State Scientific Centre of Virology and Biotechnology "Vector". Kol'tsovo, Novosibirsk Region, 630559, Russian Federation. E-mail: vector@vector.nsc.ru.

Об авторах:

Золин В.В., Оскина О.П., Солодкий В.В., Еремина М.Н., Давыдов Г.Ф., Гостева Т.А. Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор». Российская Федерация, 630559, Новосибирская обл., р.п. Кольцово. E-mail: vector@vector.nsc.ru.