Российский иммунологический журнал
2025, Т. 28, № 3, стр. 687-694

Краткие сообщения
Short communications

Russian Journal of Immunology / Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal
2025, Vol. 28, № 3, pp. 687-694

# ВЛИЯНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПОЕЗДОК НА СЕРОРАСПРОСТРАНЕННОСТЬ SARS-CoV-2 СРЕДИ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА

**Крицкий И.С.[1], Зурочка А.В.[2], Зурочка В.А.[2], Сарапульцев А.П.[1, 3]**

[1] *ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия*
[2] *ФБУН «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций “Виром”» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург, Россия*
[3] *ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск, Россия*

**Резюме.** Сероpаспространенность SARS-CoV-2 является важным индикатором распространения коронавирусной инфекции, особенно среди групп населения с различным уровнем мобильности. Международные поездки могут способствовать переносу вируса и влиять на уровень коллективного иммунитета, однако степень этого влияния остается изученной недостаточно. В рамках данного исследования, проводившегося в Челябинске с 27.10.2020 по 30.01.2023, был выполнен анализ 660 проб на антитела IgM и 843 проб на антитела IgG с целью оценки серопозитивности жителей города в зависимости от наличия недавнего опыта международных поездок. Антитела к коронавирусной инфекции определялись методом иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием оборудования Multiskan FC и реагентов АО «Вектор-Бест», а анкетирование участников исследования помогло установить факт поездок и страны посещения. Результаты исследования показали тенденцию к более высокой серопозитивности IgG среди лиц, совершивших международные поездки ($p = 0,07$), хотя статистическая значимость не была достигнута. Общий уровень серопозитивности был выше для IgG (67,38%) по сравнению с IgM (32,73%), что может указывать на перенесенную инфекцию или вакцинацию в прошлом в выборке. Наибольшая серопозитивность IgG наблюдалась среди вернувшихся из Турции, Казахстана и Египта. Статистически значимых различий в сероpаспространенности между мужчинами и женщинами не обнаружено. Полученные результаты указывают на тенденцию к более высокой серопозитивности среди путешественников, что может свидетельствовать о повышенном риске инфицирования во время поездок. Однако отсутствие статистической значимости требует дальнейших исследований на более крупных выборках, а также с учетом вакцинационного статуса, динамики сероконверсии, временного профиля заболевания и повторных тестирований. Несмотря на указанные ограничения, данные исследования могут быть использованы для совершенствования мер эпидемиологического контроля и планирования мероприятий по профилактике COVID-19 и других респираторных инфекциях, в том числе и в условиях международного туризма.

*Ключевые слова: антитела, иммунитет, иммуноферментный анализ, серопозитивность, SARS-CoV-2, COVID-19*

**Адрес для переписки:**
*Крицкий Игорь Сергеевич*
*ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук*
*620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 106.*
*Тел.: 8 (950) 658-74-62.*
*E-mail: igor81218@gmail.com*

**Address for correspondence:**
*Igor S. Kritsky*
*Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences*
*106 Pervomayskaya St*
*Ekaterinburg*
*620049 Russian Federation*
*Phone: +7 (950) 658-74-62.*
*E-mail: igor81218@gmail.com*

**Образец цитирования:**
*И.С. Крицкий, А.В. Зурочка, В.А. Зурочка, А.П. Сарапульцев «Влияние международных поездок на сероpаспространенность SARS-CoV-2 среди жителей города Челябинска» // Российский иммунологический журнал, 2025. Т. 28, № 3. С. 687-694. doi: 10.46235/1028-7221-17216-IOI*

*© Крицкий И.С. и соавт., 2025*
*Эта статья распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 4.0*

**For citation:**
*I.S. Kritsky, A.V. Zurochka, V.A. Zurochka, A.P. Sarapultsev “Impact of international travels on seroprevalence of SARS-CoV-2 among residents of Chelyabinsk city”, Russian Journal of Immunology/Rossiyskiy Immunologicheskiy Zhurnal, 2025, Vol. 28, no. 3, pp. 687-694. doi: 10.46235/1028-7221-17216-IOI*

*© Kritsky I.S. et al., 2025*
*The article can be used under the Creative Commons Attribution 4.0 License*

**DOI:** 10.46235/1028-7221-17216-IOI

# IMPACT OF INTERNATIONAL TRAVELS ON SEROPREVALENCE OF SARS-CoV-2 AMONG RESIDENTS OF CHELYABINSK CITY

**Kritsky I.S.[a], Zurochka A.V.[b], Zurochka V.A.[b], Sarapultsev A.P.[b, c]**

[a] *Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*
[b] *Federal Research Institute of Viral Infections "Virom", Ekaterinburg, Russian Federation*
[c] *South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

**Abstract.** SARS-CoV-2 seroprevalence is an important index of coronavirus infection incidence, especially among populations with different mobility levels. International travel may facilitate transmission of the virus and affect the level of herd immunity, but the extent of this influence remains poorly understood. The present study was conducted in Chelyabinsk from 27.10.2020 to 30.01.2023. 660 blood samples were analyzed for IgM antibodies, and 843 samples for IgG antibodies to SARS-CoV-2 antigen in order to assess seropositivity rates of city residents depending on their recent international travel experience. Antibodies to coronavirus infection were determined by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) using Multiskan FC equipment and Vector-Best reagents. A questionnaire filled by the participants helped to establish the fact of travel and the countries visited. The results of this study showed a trend towards higher IgG seropositivity among individuals who had traveled internationally ($p = 0.07$), although statistical significance was not reached. The overall seroprevalence rate was higher for IgG (67.38%) compared to IgM (32.73%), thus, probably, suggesting a history of infection or vaccination in the cohort. The highest IgG seroprevalence was observed among persons who returned from Turkey, Kazakhstan, and Egypt. No statistically significant differences in seroprevalence were found between men and women. The results suggest a trend towards higher seroprevalence among the international travelers, thus being indicative for increased risk of infection during the trips. However, a lack of statistical significance requires further surveys in larger groups, as well as considering their vaccination status, seroconversion dynamics, disease time profile, and repeated testing. Despite these limitations, these results can be used to improve epidemiological surveillance measures and planning epidemiological measures in order to prevent COVID-19 and other respiratory infections, including the factor of international travelling.

*Keywords: antibodies, immunity, immunoenzyme analysis, seropositivity, SARS-CoV-2, COVID-19*

Работа выполнена по теме гос. задания «Иммунофизиологические и патофизиологические механизмы регуляции и коррекции функций организма», № гос. регистрации 122020900136-4, и поддержана грантом РФФИ и NSFC № 20-515-55003.

Работа выполнена по теме гос. заданий НИИВИ «ВИРОМ» «Изучение механизмов формирования хронической вирусной инфекции у пациентов с постковидным синдромом и нарушением функций иммунной системы. Разработка патогенетических подходов к эффективной профилактике и иммунокоррекции выявленных нарушений у пациентов с «постковидным синдромом», № гос. регистрации 124031800093-5.

## Введение

Международные поездки являются значительным фактором риска для распространения инфекционных заболеваний, включая COVID-19. В условиях глобализации и высокой мобильности населения патогены могут быстро перемещаться, что усложняет контроль за эпидемиологической ситуацией. Еще в первый год пандемии COVID-19 было установлено, что регионы с высоким уровнем международного туризма сталкивались с большим числом случаев заболеваний и смертей, связанных с вспышкой SARS-CoV-2 [5]. Для борьбы с распространением инфекции многие страны вводили ограничительные меры для путешественников, такие как частичное закрытие границ, обязательный карантин и скрининг прибывающих в страну [2, 12]. Несмотря на то что ограничения на международные поездки в Китае помогли замедлить распространение вируса в другие регионы [4], полностью остановить эпидемию COVID-19 не удалось [10], в том числе из-за высокой доли бессимптомных случаев заражения [11].

Сероконверсия, или появление специфических антител, является важным индикатором иммунного ответа на инфекцию, включая COVID-19. Серологические методы исследования (определение специфических антител) позволяют выяв-

лять пропущенные случаи COVID-19, особенно у лиц, которые обратились за медицинской помощью поздно, после начала симптомов, что помогает лучше понять масштабы распространения инфекции. Кроме того, серология может быть использована для установления эпидемиологических связей, выявляя скрытые (бессимптомные) случаи и помогая в определении времени заражения, что особенно важно для ретроспективной диагностики [6].

Серологические методы в сочетании с тестированием на нуклеиновые кислоты коронавируса могут быть полезны для усиления скрининга путешественников. Было установлено, что добавление теста на антитела IgM среди прибывающих в места, где новые случаи COVID-19 редки и требуют более тщательного мониторинга, может повысить общую чувствительность выявления острых и недавних случаев COVID-19 [2].

С течением пандемии коронавирусной инфекции многие страны начали ослаблять ограничения на международные поездки, пытаясь стимулировать свою экономику. Однако для сдерживания распространения COVID-19 была выдвинута концепция иммунных паспортов, в соответствии с которой серологическое доказательство выработки антител к SARS-CoV-2 указывает на потенциальный иммунитет к повторной инфекции. Несмотря на то что концепция иммунных паспортов имела свои риски и требовала более детального изучения, в качестве основы для нее предлагалось использовать определение уровня IgG и IgM к коронавирусу [3].

Таким образом, серологические методы исследования могут быть применены для оценки эпидемиологических особенностей распространения SARS-CoV-2, обусловленных международными поездками во время пандемии COVID-19, а также для получения дополнительных данных о формировании иммунитета у путешественников.

Особенно актуальной становится задача определения возможной связи между фактом недавней международной поездки и наличием антител к SARS-CoV-2 у жителей конкретного региона. Такие данные позволяют глубже понять локальные эпидемиологические особенности и оценить роль трансграничных перемещений в поддержании циркуляции вируса.

В связи с этим проведено исследование, направленное на изучение уровня серопозитивности среди различных категорий населения, различающихся по эпидемиологически значимому критерию – наличию или отсутствию международных поездок.

**Цель исследования** – оценить серопозитивность COVID-19 на основе антител IgG и IgM к SARS-CoV-2 среди двух групп населения города Челябинска: международных путешественников, вернувшихся из-за границы, и местных жителей, не покидавших регион в последние 14 дней.

## Материалы и методы

Сбор данных для исследования осуществлялся в период с 27.10.2020 по 30.01.2023 среди жителей города Челябинска. Серопозитивность определялась путем тестирования на антитела IgG и/или IgM к SARS-CoV-2 с использованием метода «непрямого» двухэтапного иммуноферментного анализа (ИФА). Оборудование для проведения ИФА было представлено анализатором Multiskan FC с фильтрами 405 нм, 450 нм, 620 нм (Thermo Scientific, США), реагентами D-5501 SARS-CoV-2-IgG-ИФА-BEST, D-5502 SARS-CoV-2-IgM-ИФА-BEST (АО «Вектор-Бест», г. Новосибирск, Россия), планшетами с иммобилизованным рекомбинантным антигеном SARS-CoV-2 (RBD белок S), автоматическими пипетками, набором для забора венозной крови, пробирками, содержащими распыленный силикагель и полимерный гель для разделения сыворотки, центрифугой.

Перед анализом проводилась подготовка образцов: кровь забиралась методом венепункции в пробирки с силикагелем и полимерным гелем, а затем центрифугировалась (1500 g, 20 мин). Далее 10 мкл получившейся сыворотки разводились до 100 мкл, вносились в лунки планшета с иммобилизованным антигеном SARS-CoV-2 и инкубировались 30 минут при 37 °C. Затем добавлялся раствор конъюгата с моноклональными антителами, тетраметилбензидин, и итоговые образцы выдерживались 25 минут при комнатной температуре. Реакция останавливалась стоп-реагентом, после чего оптическая плотность измерялась при 450 нм.

Результат рассчитывался с помощью коэффициента позитивности (КП) по формуле:

$$КП = \frac{\text{Оптическая плотность образца}}{\text{Оптическая плотность критическая}}$$

При КП ≥ 1,1 анализ считался положительным, при КП < 0,8 – отрицательным, а в диапазоне 0,8-1,1 – сомнительным.

До начала проведения ИФА участников исследования попросили заполнить анкету, в которой они должны были сообщить о наличии международных поездок за последние 14 дней и указать страны, которые они посетили.

Сбор, консолидация и хранение результатов исследования осуществлялись в СУБД PostgreSQL 14.17. Дальнейшая обработка и анализ были выполнены с помощью R 3.1.1 12 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

**Этическое одобрение**

Исследование было одобрено:

1. Независимым локальным этическим комитетом при ГАУЗ ОТКЗ «Городская клиническая больница № 1» г. Челябинска (протокол № 8 от 11.04.2022), на базе которой проводились данные исследования;
2. Независимым локальным этическим комитетом при ФНИИВИ «Виром» Роспотребнадзора г. Екатеринбурга, протокол № 1 от 22.03.2024, на базе которого проводились данные исследования.
3. Независимым локальным этическим комитетом при ООО «ДокторЛаб» г. Челябинска (протокол № 3 от 10.11.2020), на базе которого проводились данные исследования.

## Результаты и обсуждение

В ходе исследования за весь период было выполнено 660 иммуноферментных анализов на определение IgM к SARS-CoV-2 и 843 на определение IgG. Из них 386 (58,48%) анализов к IgM и 463 (54,92%) анализа к IgG были выполнены для мужчин. Средний возраст участников исследования, прошедших тестирование на IgM, составил 41,58±12,45 года, а для тестирования на IgG – 41,86±12,23 года. Среди выполненных ИФА на определение IgM в 47 случаях (7,12%) анализы проводились у лиц, совершавших международные поездки в последние 14 дней. Для ИФА на IgG этот показатель составил 83 случая (9,85%). География международных поездок была разнообразной и охватывала 21 страну и разные континенты. В 8 анкетах, приложенных к ИФА на IgM, и 9 анкетах, сопровождающих ИФА на IgG, участники указали факт международной поездки, но не уточнили регион.

Среди выполненных ИФА на IgM положительный результат был получен в 216 случаях (32,73%), сомнительный – в 32 (4,85%), а отрицательный – в 412 (62,42%). Для ИФА на IgG положительный результат наблюдался в 568 случаях (67,38%), сомнительный – в 6 (0,71%), а отрицательный – в 269 (31,91%).

Распределение результатов ИФА на IgM по полу показало, что среди анализов, проведенных для женщин, 170 (62,04%) были отрицательными, 14 (5,11%) – сомнительными и 90 (32,85%) – положительными. Среди анализов на IgM, проведенных для мужчин, 242 (62,69%) были отрицательными, 18 (4,66%) – сомнительными и 126 (32,64%) – положительными.

Среди ИФА на IgG, проведенных для женщин, 128 (33,68%) были отрицательными, 5 (1,32%) – сомнительными и 247 (65,00%) – положительными. Среди анализов на IgG, проведенных для мужчин, 141 (30,45%) был отрицательным, 1 (0,22%) – сомнительным и 321 (69,33%) – положительным.

Для оценки статистической значимости различий между полами был проведен тест Хи-квадрат Пирсона. Результаты показали, что для IgM различия между полами не являются статистически значимыми ($\chi^2$ = 0,08, p-value = 0,96). Для IgG наблюдается тенденция к различиям, однако результаты также не достигли статистической значимости на уровне p = 0,05 ($\chi^2$ = 4,81, p-value = 0,09).

Средний возраст участников с положительными результатами на IgM к SARS-CoV-2 составил 41,87±11,91 года, с сомнительными – 42,16±12,90 года, а с отрицательными – 41,38±12,71 года. Для IgG средний возраст составил 41,60±12,08 года у серопозитивных участников, 36,67±15,24 года у сомнительных и 42,54±12,48 года у серонегативных.

Для оценки статистической значимости различий в возрасте между серопозитивными и серонегативными участниками был проведен критерий Вилкоксона, так как тест Шапиро–Уилка показал отсутствие нормальности распределения (p-value < 0,05). Для IgM не было выявлено статистически значимых различий в возрасте между положительными и отрицательными анализами (W = 46536, p-value = 0,34). Аналогично, сравнение возрастных характеристик среди участников с положительными и отрицательными результатами на IgG не выявило значимых различий (W = 75988, p-value = 0,9).

Среди ИФА на IgM у лиц, не совершавших международные поездки перед сдачей анализа, 204 из 613 (33,28%) были положительными, 31 (5,06%) – сомнительным, а 378 (61,66%) – отрицательными. У лиц, вернувшихся из международных поездок, положительный результат был получен в 12 из 47 (25,53%) случаев, сомнительный – в 1 (2,13%), а отрицательный – в 34 (72,34%). Статистический анализ с использованием критерия Хи-квадрат Пирсона показал отсутствие значимой разницы между группами ($\chi^2$ = 2,37, p = 0,31).

Для IgG среди лиц, не совершавших международные поездки перед сдачей анализа, положительный результат выявлен в 503 из 760 (66,18%) случаев, сомнительный – в 6 (0,79%), а отрицательный – в 251 (33,03%). У путешественников положительные результаты встречались в 65 из 83 (78,31%) случаев, в то время как отрицательные – в 18 (21,69%). Различие между группами по частоте выявления антител IgG оказалось на грани статистической значимости ($\chi^2$ = 5,30, p = 0,07).

Среди лиц, совершавших международные поездки и прошедших тестирование на IgG, наибольшее количество положительных результатов

было зарегистрировано у вернувшихся из Турции (87,10%), Казахстана (87,50%) и Египта (66,67%). Также 100% положительных случаев выявлено среди тех, кто посетил ОАЭ, Кипр, Узбекистан, Италию и Доминиканскую Республику, однако количество анализов в этих группах было небольшим. В случае с IgM также наибольшее число положительных результатов отмечалось среди путешественников, прибывших из Турции (33,33%), Казахстана (33,33%) и Мальдив (33,33%), хотя в целом доля положительных тестов на IgM среди путешественников была ниже, чем на IgG. Наибольшее число отрицательных результатов зарегистрировано у вернувшихся из Армении, Германии и США. Подробное распределение полученных результатов ИФА на антитела к SARS-CoV-2 по странам представлено на рисунках 1 и 2.

Полученные результаты демонстрируют особенности серопревалентности SARS-CoV-2 среди населения Челябинска в контексте международных поездок.

Анализ влияния факта международных поездок на серопревалентность SARS-CoV-2 выявил тенденцию к более высокой серопревалентности IgG среди лиц, совершивших международные поездки. Это может свидетельствовать о большей вероятности контакта с вирусом во время зарубежных поездок. Анализ данных по странам назначения выявил особенно высокие показатели серопревалентности IgG среди вернувшихся из Турции, Казахстана и Египта. Такое распределение сероположительных результатов можно объяснить большой популярностью этих стран для туристов из Челябинска. Однако следует учитывать возможное влияние эффекта малых чисел для некоторых направлений.

Также среди людей, совершавших международные поездки, отмечалась более высокая доля серопозитивных анализов по IgG к коронавирусной инфекции (67,38%) по сравнению с серопозитивностью по IgM (32,73%), что указывает на преобладание среди обследованных лиц тех, кто перенес COVID-19 относительно давно или был вакцинирован от SARS-CoV-2 [7]. В данном ключе необходимо подчеркнуть, что на 2021 год сераспространенность по IgG в Уральском федеральном округе составляла лишь 18,5% [8].

Несмотря на тенденцию к более высокой серопозитивности среди путешественников, статистическая значимость для IgG не была достигнута (p = 0,07), а для IgM различия между группами отсутствуют (p = 0,31). Это указывает на необходимость осторожной интерпретации полученных

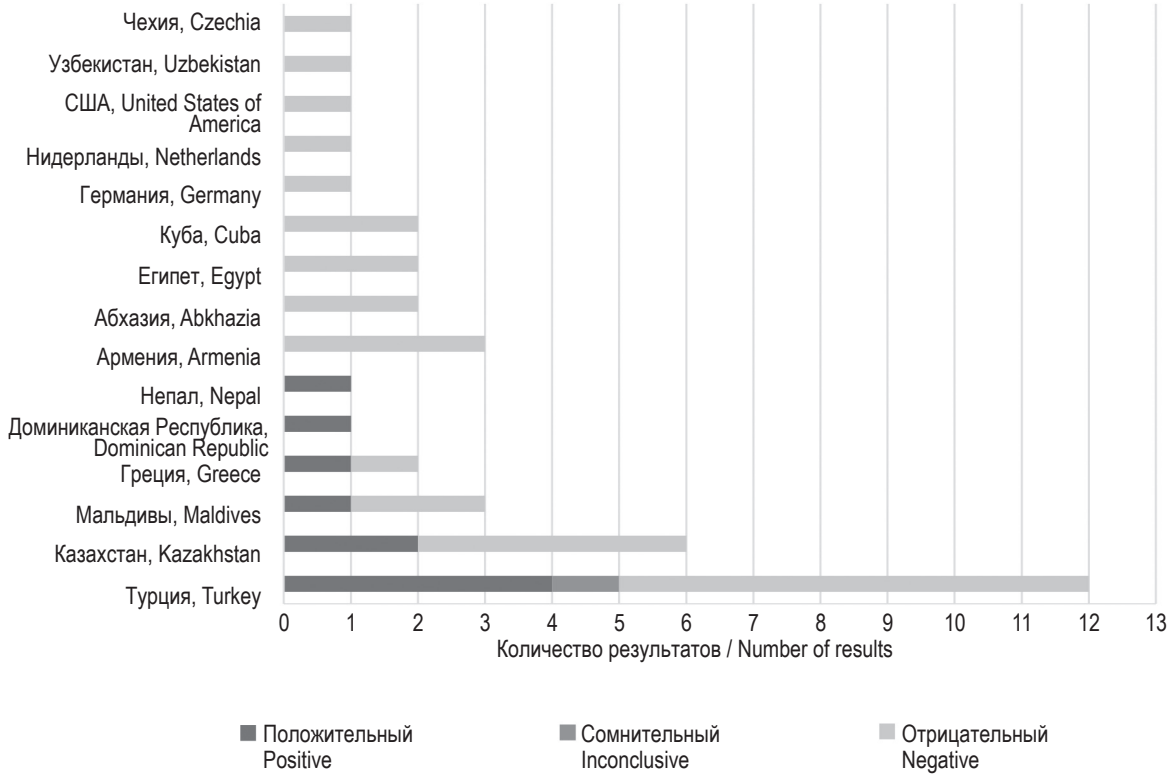


**Рисунок 1. Распределение результатов ELISA IgM к SARS-CoV-2 по странам международных поездок**

Figure 1. Distribution of ELISA IgM results to SARS-CoV-2 by countries of international travel

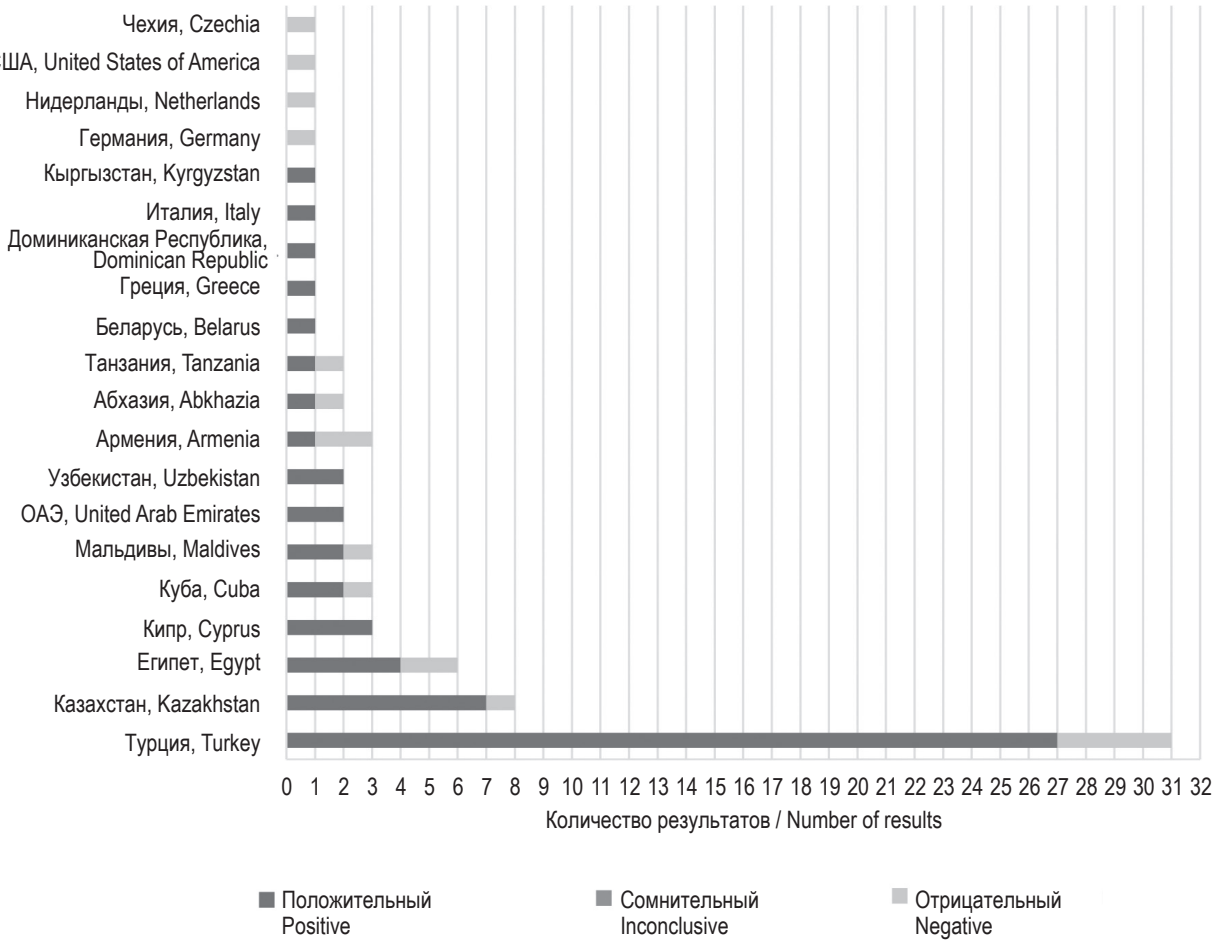


**Рисунок 2. Распределение результатов ELISA IgG к SARS-CoV-2 по странам международных поездок**

Figure 2. Distribution of ELISA IgG results to SARS-CoV-2 by countries of international travel

данных и проведения более масштабных исследований для подтверждения выявленных трендов.

Кроме того, в работе не обсуждается возможное влияние вакцинационного статуса участников, хотя известно, что вакцинация существенно влияет на уровень IgG. Отсутствие этой информации в анкетах может быть существенным ограничением при интерпретации результатов.

Также следует учесть временные рамки исследования (с 2020 по 2023 год), в течение которых происходили существенные изменения в эпидемиологической обстановке, охвате вакцинацией и циркулирующих вариантах SARS-CoV-2. Это может объяснить разную серологическую картину в начале и конце периода, однако анализ по временным кластерам в статье не проведен.

Сомнительные результаты (в диапазоне КП 0,8-1,1), хотя и представлены количественно, не подвергались отдельному анализу. Между тем такие значения могут указывать как на ранние стадии сероконверсии, так и на кросс-реакции или пограничные уровни антител после вакцинации, что требует дополнительного внимания.

Статистически значимые различия в серопревалентности между мужчинами и женщинами не были найдены. При этом литературные данные по данному вопросу достаточно противоречивы [8, 9], хотя большинство все же отмечает более высокие показатели серопозитивности у женщин в связи с более выраженным иммунный ответом на инфекцию и/или вакцинацию [1]. Ограничения данного исследования включают потенциальную недооценку серопревалентности из-за временного характера антительного ответа на SARS-CoV-2 и возможного влияния вакцинации на результаты тестирования.

Таким образом, хотя заявленная цель исследования была формально достигнута, интерпретация полученных результатов требует осторожности. Для более точной оценки влияния международных поездок на серопревалентность необходимы более крупные выборки, учет вакцинационного статуса, временного профиля за-

болевания и повторных тестирований. В целом же полученные данные могут быть использованы для совершенствования мер эпидемиологического контроля и планирования мероприятий по профилактике COVID-19 и других респираторных инфекциях, в том числе и в условиях международного туризма.

## Выводы

1. Лица, вернувшиеся из зарубежных стран, показали более высокую серопозитивность по IgG к SARS-CoV-2 на уровне статистической тенденции (p-value < 0,1), что может свидетельствовать о большем контакте с вирусом во время поездок.

2. Более высокие показатели серопозитивности по IgG (67,38%) к коронавирусу по сравнению с IgM (32,73%) в выборке могут указывать на то, что большинство обследованных либо перенесли COVID-19 ранее, либо были вакцинированы.

3. Высокие уровни серопозитивности IgG к коронавирусной инфекции были зафиксированы среди возвращавшихся из Турции, Казахстана и Египта. Однако в ряде направлений (например, ОАЭ, Узбекистан, Кипр) положительные результаты выявлены при очень малом числе наблюдений, что требует осторожности при обобщении.

4. Результаты исследования подчеркивают возможность использования серологических методов для ретроспективной оценки эпидемиологической ситуации и подтверждают значимость учета международных поездок при интерпретации серопревалентности SARS-CoV-2. В будущем подобные данные могут быть использованы для совершенствования алгоритмов скрининга и предикции эпидемиологических рисков, особенно в условиях высокой мобильности населения.

## Список литературы / References

1. Крицкий И.С., Зурочка В.А., Hu D., Сарапульцев А.П. Оценка динамики изменения серопревалентности COVID-19 в различных социальных группах в период пандемии SARS-CoV-2 // Вестник Уральской медицинской академической науки, 2022. Т. 19, № 3. С. 304-314. [Kritsky I.S., Zurochka V.A., Hu D., Sarapultsev A.P. Evaluation of the dynamics of changes in COVID-19 seroprevalence in various social groups during the SARS-CoV-2 pandemic. *Vestnik Uralskoy meditsinskoy akademicheskoy nauki = Journal of Ural Medical Academic Science, 2022. Vol. 19, no. 3, pp. 304-314.* (In Russ.)]

2. Bou-Karroum L., Khabsa J., Jabbour M., Hilal N., Haidar Z., Abi Khalil P., Abdul Khalek R., Assaf J., Honein-AbouHaidar G., Abou Samra C., Hneiny L., Al-Awlaqi S., Hanefeld J., El-Jardali F., Akl E.A., El Bcheraoui C. Public health effects of travel-related policies on the COVID-19 pandemic: A mixed-methods systematic review. *J. Infect., 2021, Vol. 83, no. 4, pp. 413-423.*

3. Chen L.H., Freedman D.O., Visser L.G. COVID-19 immunity passport to ease travel restrictions? *J. Travel Med., 2020, Vol. 27, no. 5, taaa085.* doi: 10.1093/jtm/taaa085.

4. Chinazzi M., Davis J.T., Ajelli M., Gioannini C., Litvinova M., Merler S., Pastore Y Piontti A., Mu K., Rossi L., Sun K., Viboud C., Xiong X., Yu H., Halloran M.E., Longini Jr. I.M., Vespignani A. The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak. *Science, 2020, Vol. 368, no. 6489, pp. 395-400.*

5. Farzanegan M.R., Gholipour H.F., Feizi M., Nunkoo R., Andargoli A.E. International tourism and outbreak of coronavirus (COVID-19): a cross-country analysis. *J. Travel Res., 2021, Vol. 60, no. 3, pp. 687-692.*

6. Hasan T., Lim H.L., Case J., Hueston L., Bag S., Dwyer D.E., O'Sullivan M.V. The utility of SARS-CoV-2-specific serology in COVID-19 diagnosis. *Aust. N. Z. J. Public Health, 2021, Vol. 45, no. 6, pp. 616-621.*

7. Hou H., Wang T., Zhang B., Luo Y., Mao L., Wang F., Wu S., Sun Z. Detection of IgM and IgG antibodies in patients with coronavirus disease 2019. *Clin. Transl. Immunol., 2020, Vol. 9, no. 5, e1136.* doi: 10.1002/cti2.1136.

8. Popova A.Y., Smirnov V.S., Andreeva E.E., Babura E.A., Balakhonov S.V., Bashketova N.S., Bugorkova S.A., Bulanov M.V., Valeullina N.N., Vetrov V.V., Goryaev D.V., Detkovskaya T.N., Ezhlova E.B., Zaitseva N.N., Istorik O.A., Kovalchuk I.V., Kozlovskikh D.N., Kombarova S.Y., Kurganova O.P., Lomovtsev A.E., Lukicheva L.A., Lyalina L.V., Melnikova A.A., Mikailova O.M., Noskov A.K., Noskova L.N., Oglezneva E.E., Osmolovskaya T.P., Patyashina M.A., Penkovskaya N.A., Samoilova L.V., Stepanova T.F., Trotsenko O.E., Totolian A.A. SARS-CoV-2 seroprevalence structure of the russian population during the COVID-19 pandemic. *Viruses, 2021, Vol. 13, no. 8, 1648.* doi: 10.3390/v13081648.

9. Sarapultseva M., Hu D., Sarapultsev A. SARS-CoV-2 Seropositivity among dental staff and the role of aspirating systems. *JDR Clin. Transl. Res., 2021, Vol. 6, no. 2, pp. 132-138.*

10. Wells C.R., Sah P., Moghadas S.M., Pandey A., Shoukat A., Wang Y., Wang Z., Meyers L.A., Singer B.H., Galvani A.P. Impact of international travel and border control measures on the global spread of the novel 2019 coronavirus outbreak. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2020, Vol. 117, no. 13, pp. 7504-7509.*

11. Wong J., Abdul Aziz A.B.Z., Chaw L., Mahamud A., Griffith M.M., Lo Y.R., Naing L. High proportion of asymptomatic and presymptomatic COVID-19 infections in air passengers to Brunei. *J. Travel Med., 2020, Vol. 27, no. 5 taaa066.* doi: 10.1093/jtm/taaa066.

12. Zurochka A., Dobrinina M., Zurochka V., Hu D., Solovyev A., Ryabova L., Kritsky I., Ibragimov R., Sarapultsev A. Seroprevalence of SARS-CoV-2 antibodies in symptomatic individuals is higher than in persons who are at increased risk exposure: the results of the single-center, prospective, cross-sectional study. *Vaccines, 2021, Vol. 9, no. 6, 627.* doi: 10.3390/vaccines9060627.

**Авторы:**

***Крицкий И.С.*** *— аспирант ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия*

***Зурочка А.В.*** *— д.м.н., заслуженный деятель науки РФ, ведущий научный сотрудник лаборатории трансмиссивных вирусных инфекций ФБУН «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций “Виром”» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург, Россия*

***Зурочка В.А.*** *— д.м.н., старший научный сотрудник лаборатории трансмиссивных вирусных инфекций ФБУН «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций “Виром”» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург, Россия*

***Сарапульцев А.П.*** *— д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории иммунопатофизиологии ФГБУН «Институт иммунологии и физиологии» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург; директор Научно-образовательного Российско-китайский центр системной патологии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск, Россия*

**Authors:**

***Kritsky I.S.,*** *Postraduate Student, Institute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

***Zurochka A.V.,*** *PhD, MD (Medicine), Honored Scientist of the Russian Federation, Leading Researcher, Laboratory of Transmissive Viral Infections, Federal Research Institute of Viral Infections “Virom”, Ekaterinburg, Russian Federation*

***Zurochka V.A.,*** *PhD, MD (Medicine), Senior Researcher, Laboratory of Transmissive Viral Infections, Federal Research Institute of Viral Infections “Virom”, Ekaterinburg, Russian Federation*

***Sarapultsev A.P.,*** *PhD, MD (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Immunopathophysiology, nstitute of Immunology and Physiology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg; Director, Russian-Chinese Center of Susthemic Pathology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

*Поступила 01.04.2025*
*Отправлена на доработку 15.04.2025*
*Принята к печати 25.05.2025*

*Received 01.04.2025*
*Revision received 15.04.2025*
*Accepted 25.05.2025*