

## ЭПИДЕМИОЛОГИЯ EPIDEMIOLOGY

### ПОПУЛЯЦИОННЫЙ ИММУНИТЕТ К ВИРУСУ SARS-COV-2 У ЖИТЕЛЕЙ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В ДИНАМИКЕ РАЗВИТИЯ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Балахонов С.В.<sup>1</sup>,  
Дубровина В.И.<sup>1</sup>,  
Чеснокова М.В.<sup>1</sup>,  
Брюхова Д.Д.<sup>1</sup>,  
Киселева Н.О.<sup>1</sup>,  
Пятидесятникова А.Б.<sup>1</sup>,  
Корытов К.М.<sup>1</sup>,  
Войткова В.В.<sup>1</sup>,  
Пережогин А.Н.<sup>1</sup>,  
Гаврилова Т.А.<sup>2</sup>,  
Селедцов А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (664047, г. Иркутск, ул. Трилиссера, 78, Россия)

<sup>2</sup> Управление Роспотребнадзора по Иркутской области (664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 8, Россия)

<sup>3</sup> Управление развития системы здравоохранения Министерства здравоохранения Иркутской области (664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 29, Россия)

Автор, ответственный за переписку:  
Дубровина Валентина Ивановна,  
e-mail: dubrovina-valya@mail.ru

#### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** В настоящее время пандемия COVID-19 в мире и России остаётся главным событием. В связи с этим изучение проявлений эпидемического процесса новой коронавирусной инфекции COVID-19 и закономерностей её развития, является актуальным направлением исследований. В борьбе с этим вирусным заболеванием важная роль отводится изучению развития популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2, которое позволит провести оценку динамики серопревалентности и процесса формирования постинфекционного гуморального иммунитета, прогноза развития эпидемиологической ситуации, выявления особенностей эпидемического процесса, а также будет способствовать планированию мероприятий по специфической и неспецифической профилактике заболевания.

**Цель исследования:** определение динамики популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Иркутской области в период пандемии COVID-19.

**Материалы и методы.** В рамках проекта Роспотребнадзора по оценке популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 у населения Российской Федерации проведены исследования среди населения Иркутской области в периоды с 23.06.2020 по 19.07.2020 (1-й этап), с 16.09.2020 по 25.09.2020 (2-й этап), с 07.12.2020 по 18.12.2020 (3-й этап) и с 08.03.2021 по 14.03.2021 (4-й этап) с учётом протокола, рекомендованного ВОЗ. Содержание антител к SARS-CoV-2 определяли методом иммуноферментного анализа с использованием набора реагентов для анализа сыворотки или плазмы крови человека на наличие специфических иммуноглобулинов класса G к белкам вируса SARS-CoV-2.

**Результаты.** Показано, что в период эпидемического подъёма заболеваемости COVID-19 сформировался невысокий уровень серопревалентности (1-й этап –  $5,8 \pm 0,5\%$ , 2-й этап –  $12,1 \pm 0,7\%$ ), в условиях длительного максимального роста заболеваемости –  $25,9 \pm 1,0\%$  (3-й этап) и на начало периода вакцинации –  $46,2 \pm 1,2\%$  (4-й этап). Значительная доля бессимптомных форм инфекции на первых двух этапах исследования (1-й этап –  $82,2 \pm 3,2\%$ , 2-й этап –  $86,1 \pm 2,3\%$ ) характеризует высокую интенсивность скрыто развивающегося эпидемического процесса. Высокий уровень IgG у перенёсших COVID-19 сохранялся в среднем от 3 до 5 месяцев.

**Заключение.** Результаты оценки популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у населения Иркутской области свидетельствуют о том, что уровень серопревалентности на 4-м этапе исследования составил  $46,2\%$ . После перенесённого заболевания в среднем у  $49,5\%$  лиц антитела не выявлены. Полученные результаты следует учитывать при организации профилактических мероприятий, включая вакцинацию и прогнозирование заболеваемости.

**Ключевые слова:** гуморальный иммунитет, специфические антитела, COVID-19, SARS-CoV-2

**Для цитирования:** Балахонов С.В., Дубровина В.И., Чеснокова М.В., Брюхова Д.Д., Киселева Н.О., Пятидесятникова А.Б., Корытов К.М., Войткова В.В., Пережогин А.Н., Гаврилова Т.А., Селедцов А.А. Популяционный иммунитет к вирусу SARS-CoV-2 у жителей Иркутской области в динамике развития эпидемического процесса. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(4): 273-283. doi: 10.29413/ABS.2021-6.4.25

Статья поступила: 05.04.2021

Статья принята: 09.08.2021

Статья опубликована: 12.10.2021

## POPULATION IMMUNITY TO SARS-COV-2 VIRUS IN RESIDENTS OF THE IRKUTSK REGION IN THE DYNAMICS OF THE EPIDEMIC

Balakhonov S.V.<sup>1</sup>,  
 Dubrovina V.I.<sup>1</sup>,  
 Chesnokova M.V.<sup>1</sup>,  
 Bryukhova D.D.<sup>1</sup>,  
 Pyatidesyatnikova A.B.<sup>1</sup>,  
 Kiseleva N.O.<sup>1</sup>,  
 Korytov K.M.<sup>1</sup>,  
 Voitkova V.V.<sup>1</sup>,  
 Perezhogin A.N.<sup>1</sup>,  
 Gavrilova T.A.<sup>2</sup>,  
 Seledtsov A.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rospotrebnadzor (Trilissera str. 78, Irkutsk 664047, Russian Federation)

<sup>2</sup> Rospotrebnadzor Administration for the Irkutsk Region (Karla Marksa str. 8, Irkutsk 664003, Russian Federation)

<sup>3</sup> Department of Health System Development, Ministry of Health of the Irkutsk Region (Karla Marksa str. 29, Irkutsk 664003, Russian Federation)

Corresponding author:  
**Valentina I. Dubrovina**,  
 e-mail: dubrovina-valya@mail.ru

### ABSTRACT

**Background.** Currently, the COVID-19 pandemic in the world and in Russia remains the main event. In this regard, the study of the manifestations of the epidemic process of the new coronavirus infection COVID-19 and the patterns of its development are an urgent area of research. In the fight against this viral disease, an important role is assigned to the study of the development of population immunity to the SARS-CoV-2 virus, which will make it possible to assess the dynamics of seroprevalence and the formation of post-infectious humoral immunity, forecasting the development of the epidemiological situation, elucidating the characteristics of the epidemic process, and will also contribute to planning activities for specific and non-specific prevention of the disease.

**The aim:** to determine the dynamics of population immunity to SARS-CoV-2 among the population of the Irkutsk region during the COVID-19 pandemic.

**Materials and methods.** As a part of the Rospotrebnadzor project of assessing population immunity to SARS-CoV-2 in the population of the Russian Federation, the research has been conducted among the population of the Irkutsk region in the periods from June 23, 2020 to July 19, 2020 (Stage 1), from September 16, 2020 to September 25, 2020 (Stage 2), from December 7, 2020 to December 18, 2020 (Stage 3) and from March 8, 2021 to March 14, 2021 (Stage 4), taking into account the reacted one recommended by the WHO. The content of antibodies to SARS-CoV-2 was determined by ELISA using a set of tests for human serum or plasma for specific immunoglobulins of class G to the proteins of the SARS-CoV-2 coronavirus.

**The results.** The research of the humoral immunity of volunteers shows that during the period of an epidemic rise in the incidence of COVID-19 in the Irkutsk region, a low level of seroprevalence was formed (Stage 1 –  $5.8 \pm 0.5\%$ , Stage 2 –  $12.1 \pm 0.7\%$ ), and in conditions of a long-term maximum increase in the incidence rate –  $25.9 \pm 1.0\%$  (Stage 3) and  $46.2 \pm 1.2\%$  (Stage 4). A significant proportion (Stage 1 –  $82.2 \pm 3.2\%$ , Stage 2 –  $86.1 \pm 2.3\%$ ) of asymptomatic forms of infection characterizes the high intensity of the latently developing epidemic process in the first two stages. High levels of IgG in reconvalescents of COVID-19 persisted for an average of 3 to 5 months.

**Conclusion.** The results of assessing the population immunity to the SARS-CoV-2 virus in the population of the Irkutsk region indicate that the seroprevalence level at Stage 4 of the research was 46.2%. After the disease, on average, 49.5% of persons did not detect antibodies. The results obtained should be taken into account when organizing preventive measures, including vaccination, and predicting morbidity.

**Key words:** humoral immunity, specific antibodies, COVID-19, SARS-CoV-2

**For citation:** Balakhonov S.V., Dubrovina V.I., Chesnokova M.V., Bryukhova D.D., Pyatidesyatnikova A.B., Kiseleva N.O., Korytov K.M., Voitkova V.V., Perezhogin A.N., Gavrilova T.A., Seledtsov A.A. Population immunity to SARS-CoV-2 virus in residents of the Irkutsk Region in the dynamics of the epidemic. *Acta biomedica scientifica*. 2021; 6(4): 273-283. doi: 10.29413/ABS.2021-6.4.25

Received: 05.04.2021

Accepted: 09.08.2021

Published: 12.10.2021

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с непрекращающейся пандемией COVID-19 одним из важных аспектов в борьбе с этой инфекцией является изучение популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 с целью оценки процесса формирования постинфекционного гуморального иммунитета, прогноза развития эпидемиологической ситуации, выявления особенностей эпидемиологического процесса, а также планирования мероприятий по специфической и неспецифической профилактике заболевания.

В настоящее время проводятся исследования, касающиеся различных направлений противодействия инфекции [1–4], таких как разработка методов диагностики, профилактики, лечения, а также изучение закономерностей, присущих эпидемическому процессу данного вирусного заболевания, и разработка системы эпидемиологического надзора за распространением SARS-CoV-2 на основе полученной информации.

На момент подготовки данной работы Россия занимала 55-е место как по уровню заболеваемости на 100 тысяч населения (показатель заболеваемости – 1690), так и по уровню летальности (1,7 %) [5]. В Российской Федерации первые завозные случаи COVID-19 из КНР были зарегистрированы 31 января 2020 г. в г.г. Чите и Тюмени, при этом до 24 марта регистрировалась только единичная заболеваемость в разных регионах страны, и лишь с конца марта рост приобрёл практически экспоненциальный характер [6]. Максимальное число заражённых в Российской Федерации пришлось на 24.12.2020 и составило за сутки 29 935 чел. Наибольшее число инфицированных было выявлено в Москве, Московской области и Санкт-Петербурге – территориях с наибольшей плотностью населения [7]. Иркутская область по числу заражённых на 7 декабря 2020 г. занимала 10-е место среди 85 субъектов Российской Федерации (34 275 чел.).

Общепризнанно, что напряжённость коллективного иммунитета оказывает существенное влияние на уровень инфекционной заболеваемости [8], а инфекционный процесс спонтанно снижается, когда число людей, у которых содержание в крови специфических к возбудителю антител (АТ), достигает 60–70 % от популяции [9]. Наиболее простым путём достижения подобного уровня гуморального иммунитета (серопревалентности) является спонтанная заболеваемость 60–70 % восприимчивых лиц в популяции в отсутствие контроля над инфекцией [10]. Ранее нами установлено, что показатель сероконверсии у переболевших бессимптомной и лёгкой формами COVID-19 составил 94,9 % при среднегеометрическом титре IgG 1 : 835 [11]. Вместе с тем именно вакцинация является наиболее эффективной и безопасной мерой борьбы с инфекцией. Применительно к COVID-19 в этом направлении достигнуты определённые успехи, свидетельствующие о разработке вакцинных препаратов и их использовании для массовой вакцинации в разных странах [12–14]. Важную роль в противодействии COVID-19 играют индивидуальные особенности иммунной системы организма. Известно, что в связи с отсутствием быстрого реагирования врождённого им-

мунитета на коронавирус, появляется возможность его размножения в организме в течение продолжительного времени [15, 16]. Реакция иммунной системы запаздывает, развивающийся инфекционный процесс вовремя не купируется и создаётся возможность для реализации повреждающего воздействия вируса на клетки [15, 17]. Важным этапом в этом направлении может стать мониторинг популяционной серопревалентности [16, 17].

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение динамики популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 среди населения Иркутской области в период пандемии COVID-19.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа проводилась в рамках проекта Роспотребнадзора по оценке популяционного иммунитета к SARS-CoV-2 у населения Российской Федерации с учётом протокола, рекомендованного ВОЗ [18]. Определение серопревалентности к COVID-19 было организовано каждые 3 месяца развития эпидемии с 23.06.2020 по 19.07.2020 (1-й этап; 2674 чел.), с 16.09.2020 по 25.09.2020 (2-й этап; 1911 чел.), с 07.12.2020 по 18.12.2020 (3-й этап; 1943 чел.) и с 08.03.2021 по 14.03.2021 (4-й этап; 1730 чел.). В исследование взяты 15 административных территорий, на которых проживает 86,3 % населения Иркутской области, а удельный вес заболеваний в обследованных районах колебался от 92,0 % (1-й этап) до 84,4 % (4-й этап).

Все волонтеры распределены на 7 возрастных и 6 социально-профессиональных групп населения с потенциальным риском заражения. Доля волонтеров, принявших участие во 2-м этапе, составила 71,5 % от общего числа участников 1-го этапа, в 3-м этапе – 74,8 %, в 4-м – 66,6 %. Группа включала 796 мужчин и 1804 женщины (1-й этап), во 2-м этапе – 537 и 1374, в 3-м этапе – 532 и 1411, а в 4-м этапе – 465 и 1265 соответственно. Соотношение мужчин и женщин в 1-м и 2-м этапах исследования составило от 1 : 2,4 до 1 : 3,2 соответственно.

В работе с добровольцами соблюдались этические принципы, предъявляемые Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Исследование одобрено локальным этическим комитетом института (протокол № 3 от 01.06.2020). Все волонтеры или их юридические представители ознакомились с целью и методикой исследования и подписали информированное согласие на участие в нём. Отбор добровольцев для тестирования проводили методом анкетирования и рандомизации путём случайной выборки. В каждом этапе участвовали одни и те же волонтеры.

Содержание антител к SARS-CoV-2 определяли в сыворотке крови методом ИФА с использованием набора реагентов для анализа сыворотки или плазмы крови человека на наличие специфических иммуноглобулинов класса G к нуклеокапсиду SARS-CoV-2 производства ФБУН ГНЦПМиБ Роспотребнадзора (г. Оболонск),

а также у вакцинированных против COVID-19, с использованием наборов реагентов для анализа сыворотки или плазмы крови человека на наличие специфических иммуноглобулинов класса G к рецептор-связывающему домену поверхностного гликопротеина S (spike) коронавируса SARS-CoV-2 «SARS-CoV-2-RBD-ИФА-Гамалеи» и к белкам коронавируса SARS-CoV-2 «SARS-CoV-2-IgG-Вектор (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»)». Результаты учитывали качественным методом и считали положительными при превышении индекса позитивности (ИП)  $\geq 1$ , расчёт которого осуществлялся по формуле:

$$ИП = (ОП \text{ образца}) / ОП \text{ критическое (cut off)},$$

где ОП образца – измеренная оптическая плотность, а ОП критическое (cut off) рассчитывается в соответствии с инструкцией к тест-системе.

Статистическую обработку данных проводили с использованием методов вариационной статистики в программах Excel и WinPeri (версия 11.65) с помощью дисперсионного анализа. Для оценки статистической значимости различий сравниваемых показателей использовали уровень вероятности  $p < 0,05$ , корреляционные взаимосвязи оценивали с использованием критерия Пирсона и выражали в виде коэффициента корреляции (R). Данные выражали в виде среднего значения со стандартным отклонением среднего ( $M \pm SD$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

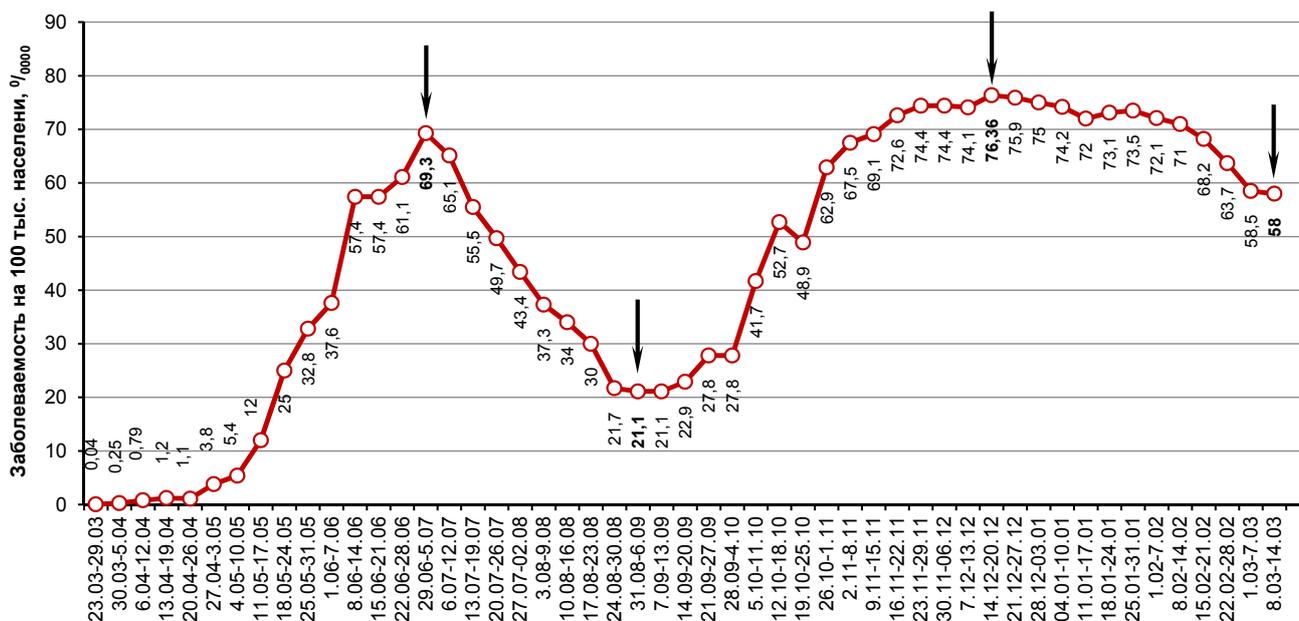
Эпидемиологическая ситуация по новой коронавирусной инфекции в Иркутской области характеризовалась различной динамикой заболеваемости. Первый слу-

чай заболевания лабораторно подтверждён в г. Иркутске 27 марта 2020 г. у женщины, прибывшей из Объединённых Арабских Эмиратов. После закрытия 30.03.2020 государственных границ пусковым механизмом распространения COVID-19 в области до 04.05.2020 стали единичные случаи завоза из неблагоприятных регионов центральной части Российской Федерации, преимущественно из Москвы и Санкт-Петербурга [19].

С 27.04.2020 установлен первоначальный весенне-летний период роста числа инфицированных вирусом SARS-CoV-2 в среднем по  $66,5 \pm 20,1$  нового случая в день. Максимального значения заболеваемость достигла на 27-й календарной неделе (к. н.) (29.06.2020 – 05.07.2020), когда было зарегистрировано 1657 случаев при показателе заболеваемости 69,3 на 100 тыс. населения ( $^0/_{0000}$ ) (1-й этап исследования – 3 мес. развития эпидемии).

Затем, с 06.07.2020 по 20.09.2020 (28–38-е к. н.), регистрация новых заболеваний постепенно снижалась и достигла минимального значения – 504 случая за неделю. Именно в этот период проводился 2-й этап исследования (6 мес. развития эпидемии), показатель заболеваемости был минимальный ( $22,0 ^0/_{0000}$ ). Далее, с 21.09.2020, выявлен экспоненциальный рост заболеваемости с увеличением случаев в 2–3 раза, достигнув показателя заболеваемости  $69,1 ^0/_{0000}$  на 46-й к. н. (09.11.2020 – 15.11.2020).

В последующем, с 16.11.2020 по 14.02.2021, отмечен период интенсивного осенне-зимнего распространения COVID-19 (в среднем –  $252,1 \pm 1,5$  нового случая в день). Заболеваемость достигла максимальных значений от 72,1 до  $76,4 ^0/_{0000}$ . На 50-й к. н. (07.12.2020 –



**РИС. 1.**  
Еженедельная динамика заболеваемости COVID-19 с 23 марта 2020 г. по 14 марта 2021 г. в Иркутской области (стрелками указаны этапы проведения исследований)

**FIG. 1.**  
Weekly dynamics of the incidence of COVID-19 from March 23, 2020 to March 14, 2021 in the Irkutsk Region (arrows indicate the stages of research)

13.12.2020) при стабилизации уровня заболеваемости проводился 3-й этап исследований (9 мес. от начала эпидемии). Начиная с 15.02.2021 (7-я к. н.) и по настоящее время (на 14.03.2021 – 10-я к. н.) наметилась тенденция к снижению заболеваемости с еженедельным темпом от -1,1 % до -3,6 % и заболеваемостью 58,0<sup>0</sup>/<sub>0000</sub> (4-й этап – 12 мес. развития эпидемии). Стартовала массовая вакцинация населения. На 14.03.2021 имеют законченную вакцинацию 30 252 чел. – 2,5 % от численности групп риска, подлежащих иммунизации (рис. 1).

В течение развития эпидемического процесса новой коронавирусной инфекции доля переболевших с установленным диагнозом COVID-19 на 1-м этапе исследования составила 1,8 % (49 чел.), на 2-м этапе – 2,3 %

(43 чел.), на 3-м этапе – 14,9 % (291 чел.), на 4-м этапе – 5,3 % (91 чел.). Среди них на долю внебольничной пневмонии приходилось соответственно 24,5 % (12 чел.), 25,2 % (11 чел.), 27,2 % (79 чел.) и 20,9 % (19 чел.).

Исследования показали, что коллективный иммунитет среди населения Иркутской области характеризовался тенденцией к росту, составляя на 1-м этапе – 5,8 ± 0,5 % (154/2674 чел.), на 2-м этапе – 12,1 ± 0,7 % (231/1911 чел.), на 3-м этапе – 25,9 ± 1,0 % (504/1943 чел.) и 4-м этапе – 46,2 ± 1,0 % (799/1730 чел.) (рис. 2) [20].

Его максимальный уровень на 1–2-м этапах исследований (табл. 1) превалировал среди детей до 17 лет (8,0 ± 1,4 и 20,1 ± 2,5 % соответственно), на 3-м и 4-м этапах – среди лиц 60–69 лет (31,4 ± 2,5 и 53,8 ± 2,9 % соответственно).

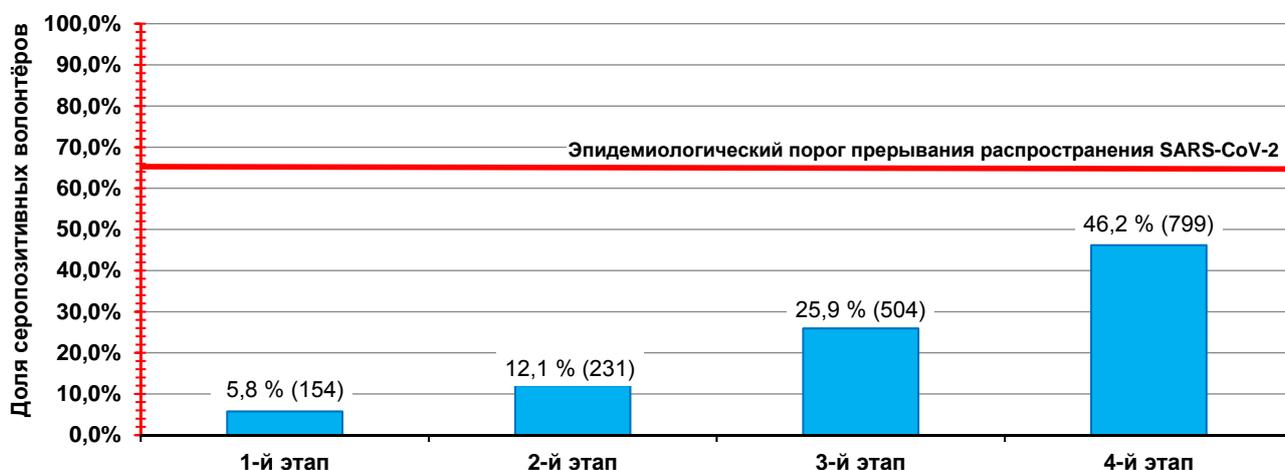


РИС. 2. Уровни серопревалентности на каждом этапе

FIG. 2. Seroprevalence levels at each stage

ТАБЛИЦА 1  
УРОВЕНЬ СЕРОПРЕВАЛЕНТНОСТИ К SARS-COV-2 В РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУППАХ ОБСЛЕДОВАННЫХ ВОЛОНТЁРОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

TABLE 1  
LEVEL OF SEROPREVALENCE TO THE SARS-COV-2 VIRUS IN THE SURVEYED AGE GROUPS OF THE POPULATION OF THE IRKUTSK REGION

Возрастная группа	Число обследованных				Серопревалентность, % (M ± SD)			
	1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап	1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
1–17	387	264	251	212	8,0 ± 1,4*	20,1 ± 2,5	18,7 ± 2,5	33,5 ± 3,2
18–29	385	202	212	182	6,8 ± 1,3	15,8 ± 2,6	24,1 ± 2,9	42,3 ± 3,7
30–39	373	267	280	251	4,0 ± 1,0	8,6 ± 1,7	24,3 ± 2,6	42,2 ± 3,1
40–49	374	303	321	286	4,3 ± 1,1	11,9 ± 1,8	27,4 ± 2,5	49,0 ± 3,0
50–59	386	291	319	288	4,4 ± 1,0	11,1 ± 1,8	28,2 ± 2,5	50,7 ± 2,9
60–69	390	355	338	305	3,6 ± 0,9	9,6 ± 1,5	31,4 ± 2,5	53,8 ± 2,9
70 и старше	379	229	222	206	9,2 ± 1,5*	9,2 ± 1,9	24,3 ± 2,9	46,1 ± 3,5
Итого	2674	1911	1943	1730	5,8 ± 0,4	12,1 ± 0,7	25,9 ± 1,0	46,2 ± 1,2

Примечание. \* – различия по сравнению со средним значением по всей когорте волонтеров статистически значимы (p < 0,05).

Чаще всего антитела выявлялись у рабочих, служащих ( $12,0 \pm 1,4$  %) и пенсионеров ( $6,5 \pm 1,1$  %) на 1-м этапе; у учащихся ( $20,2 \pm 2,5$  %) и работников образовательных учреждений ( $14,9 \pm 3,7$  %) – на 2-м этапе; у работников образовательных учреждений ( $35,2 \pm 5,0$  %), у медицинских работников ( $27,0 \pm 1,9$  %) и работников транспорта, торговли, сферы услуг ( $26,2 \pm 2,6$  %) – на 3-м этапе; у работников образования ( $57,8 \pm 5,2$  %) и медицинских работников ( $50,1 \pm 2,1$  %) – на 4-м этапе. При этом отмечено значительное увеличение уровня серопозитивности в период интенсивного распространения COVID-19 (3-й и 4-й этап) по сравнению с периодом первоначального роста (1-й этап) среди «безработных» в 26,1 раза ( $44,4 \pm 5,5$  против  $1,7 \pm 1,2$  %), среди работников образовательных учреждений – в 19,2 раза ( $57,8 \pm 5,2$  против  $3,0 \pm 1,5$  %), работников транспорта, торговли и сферы услуг – в 18,0 раз ( $2,7 \pm 0,8$  против  $48,6 \pm 3,2$  %), медицинских работников – в 11,4 раза ( $4,4 \pm 0,8$  против  $50,1 \pm 2,1$  %) (табл. 2).

Серопревалентность не имела гендерных различий и составила: у мужчин –  $6,3 \pm 0,9$  % (1-й этап),  $13,1 \pm 4,0$  % (2-й этап),  $24,8 \pm 1,9$  % (3-й этап) и  $43,4$  % (4-й этап), а у женщин –  $5,5 \pm 0,5$  %,  $11,7 \pm 2,5$  %,  $26,4 \pm 1,2$  % и  $47,2$  % соответственно.

Наличие IgG антител к вирусу SARS-CoV-2 свидетельствует о том, что человек переболел манифестной (клинически выраженной) формой коронавирусной инфекции разной степени интенсивности или перенёс инфекцию в инapparантной (бессимптомной) форме [11]. Показано, что при наличии контактов с больными COVID-19 особенно высокий риск инфицирования выявлен в начальный период развития эпидемии, в по-

следующие 6 мес. он снижался. После перенесённой COVID-19 антитела вырабатываются в  $56,5 \pm 7,7$  % случаев на 1-м этапе, в  $46,5 \pm 7,6$  % – на 2-м этапе, в  $59,8 \pm 3,7$  % случаев – на 3-м и в  $64,8 \pm 5,0$  % случаев – на 4-м этапе. Доля бессимптомных форм среди серопозитивных жителей Иркутской области составила  $82,2 \pm 3,2$  % на 1-м этапе,  $86,1 \pm 2,3$  % – на 2-м этапе,  $39,9 \pm 3,5$  % – на 3-м и  $59,7 \pm 1,7$  % – на 4-м этапе, что свидетельствует об эпидемиологической значимости данной категории источников инфекции и объясняет высокий процент невыявленных контактов в эпидемических очагах [20]. При этом уровень серопревалентности среди лиц, возможно перенёсших бессимптомное течение заболевания, статистически значимо выше и выявлен спустя 3 мес. развития эпидемии среди пенсионеров ( $6,3 \pm 1,1$  %;  $t = 2,1$ ;  $p \leq 0,5$ ), через 6 мес. – среди учащихся ( $20,2 \pm 2,5$  %;  $t = 3,4$ ;  $p \leq 0,5$ ) и медицинских работников ( $21,1 \pm 1,7$ ;  $t = 2,4$ ;  $p \leq 0,5$ ), через 12 мес. (3 этап исследований) – среди работников образования ( $26,4 \pm 4,6$ ;  $t = 2,1$ ;  $p \leq 0,5$ ), на 4-м этапе – среди работников транспорта, торговли и сферы услуг ( $33,5 \pm 3,0$  %;  $t = 2,1$ ;  $p \leq 0,5$ ).

Территориальная распространённость показателей серопревалентности характеризовалась неравномерностью в течение всего срока наблюдения [21]. Наиболее высокий уровень серопревалентности (на 4-м этапе исследования) наблюдался в Тайшетском ( $66,0 \pm 6,7$  %), Усть-Илимском ( $59,7 \pm 6,0$  %), Саянском ( $59,1 \pm 6,1$  %), Шелеховском ( $56,7 \pm 9,0$  %), Боханском ( $50,0 \pm 6,5$  %) и Усть-Кутском ( $49,2 \pm 6,5$  %) муниципальных районах Иркутской области (рис. 3).

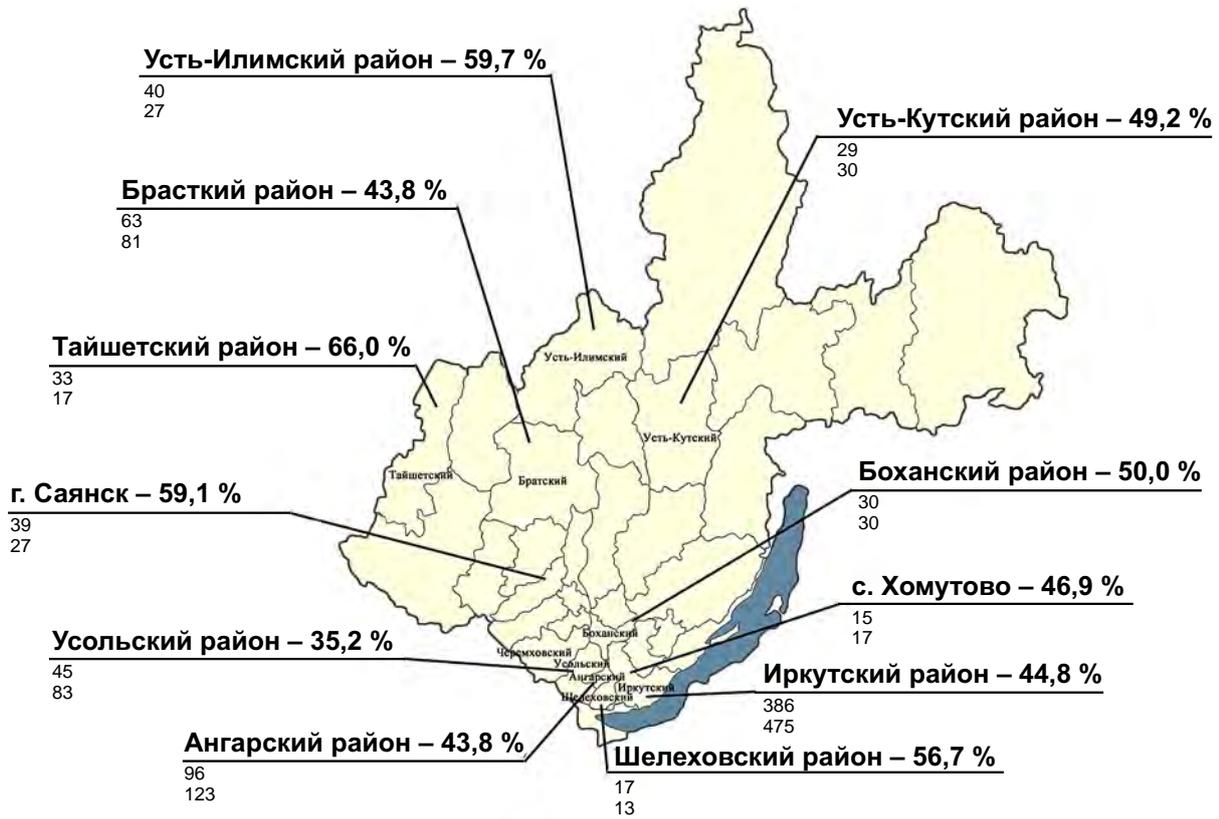
Между заболеваемостью COVID-19 и серопревалентностью очевидная связь не установлена. На 1-м эта-

**ТАБЛИЦА 2**  
**КОЛИЧЕСТВО СЕРОПОЗИТИВНЫХ ВОЛОНТЁРОВ**  
**В КАЖДОЙ ОБСЛЕДОВАННОЙ ГРУППЕ ПОЭТАПНО**

Социально-профессиональные группы риска	Число обследованных				Серопревалентность, % ( $M \pm SD$ )			
	1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап	1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
Медицинские работники	703	619	574	553	$4,4 \pm 0,8$	$9,4 \pm 1,2$	$27,0 \pm 1,9$	$50,1 \pm 2,1$
Работники образовательных учреждений	132	94	91	90	$3,0 \pm 1,5$	$14,9 \pm 3,7$	$35,2 \pm 5,0$	$57,8 \pm 5,2^*$
Учащиеся (студенты и школьники)	365	252	245	207	$4,4 \pm 1,1$	$20,2 \pm 2,5^*$	$19,2 \pm 2,5$	$35,3 \pm 3,3$
Пенсионеры	475	296	288	260	$6,5 \pm 1,1$	$11,8 \pm 1,8$	$23,3 \pm 2,5$	$47,7 \pm 3,1$
«Безработные»	116	47	62	81	$1,7 \pm 1,2$	$10,6 \pm 4,5$	$24,2 \pm 5,4$	$44,4 \pm 5,5$
Работники транспорта, торговли и сферы услуг	375	235	286	245	$2,7 \pm 0,8$	$11,1 \pm 2,1$	$26,2 \pm 2,6$	$48,6 \pm 3,2$
Прочие (рабочие и служащие)	508	368	397	294	$12,0 \pm 1,4^*$	$11,4 \pm 1,6$	$46,6 \pm 2,5^*$	$40,1 \pm 2,9$
Итого	2674	1911	1943	1730	$5,8 \pm 0,4$	$12,1 \pm 0,7$	$29,5 \pm 1,0$	$46,2 \pm 1,2$

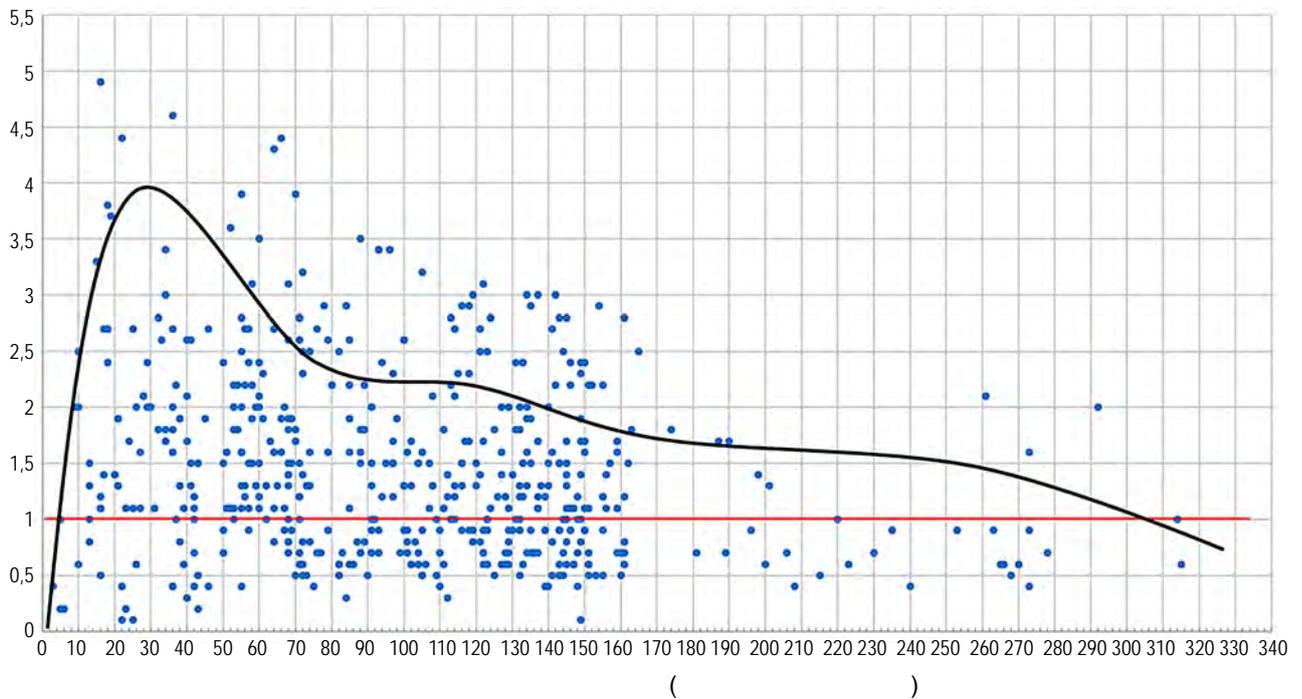
**Примечание.** \* – различия по сравнению со средним значением в остальных профессиональных группах статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

**TABLE 2**  
**THE NUMBER OF SEROPOSITIVE VOLUNTEERS**  
**IN EACH SURVEYED GROUP IN STAGES**



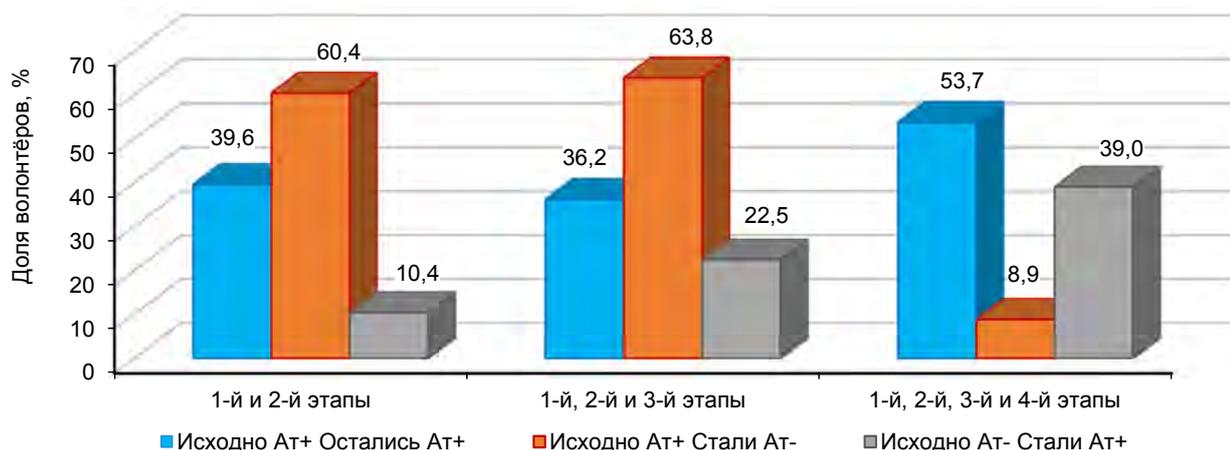
**РИС. 3.**  
Карта территориальной распространённости показателей серопревалентности в Иркутской области

**FIG. 3.**  
Map of the territorial prevalence of seroprevalence of indicators in the Irkutsk Region



**РИС. 4.**  
Динамика антител класса IgG у больных COVID-19 на разных сроках от начала заболевания по Иркутской области (тест-система ФБУН «ГНЦ ПМБ», Оболенск)

**FIG. 4.**  
The dynamics of IgG antibodies of volunteers with COVID-19 at different periods from the onset of the disease in the Irkutsk Region (test system of the SRCAMB, Obolensk)

**РИС. 5.**

Удельный вес антител к SARS-CoV-2 в динамике эпидемического процесса зависимости от исходного статуса по Иркутской области

**FIG. 5.**

The proportion of antibodies to SARS-CoV-2 in the dynamics of the epidemic process depending on the initial status in the Irkutsk Region

пе исследования коэффициент корреляции Пирсона ( $R = 0,39$ ) ниже критического показателя ( $-0,51; p > 0,05$ ). На 2-м этапе между величиной заболеваемости населения и серопревалентностью наблюдается корреляционная связь средней степени силы ( $R = 0,61; p < 0,05$ ), на 3-м этапе корреляция отсутствовала ( $R = 0,29; p > 0,05$ ), причём на 4-м этапе она приобрела отрицательное значение ( $R = -0,19; p > 0,05$ ).

На рисунке 4 показано, что у волонтеров с установленным COVID-19 в течение первых 5 дней, IgG к SARS-CoV-2 не обнаруживались. На 6–10-й день с момента подтверждения диагноза специфические IgG определялись в диагностических титрах 1 : 400, при этом индекс позитивности (ИП) варьировал от 1,0 до 2,5. С 15-х до 25-х суток ИП был в диапазоне от 1,1 до 4,9, а в более поздние сроки наблюдения (30–315-е сутки) IgG по-прежнему обнаруживались, но при этом уровень специфических IgG к SARS-CoV-2 оставался в пределах ИП 1,0–4,6. Максимальный уровень IgG был отмечен на 16–25-е сутки от даты установления диагноза (ИП 2,7–4,9).

Необходимо отметить, что доля серонегативных волонтеров с установленным диагнозом COVID-19 (сроки наблюдения – до 2,5 мес.) составила в среднем  $8,1 \pm 1,2\%$  и возросла до  $20,3 \pm 1,8\%$  через 3,5–10 месяцев после заболевания.

Анализ динамики сохранения или отсутствия антител IgG к SARS-CoV-2 показал, что среди 91 серопозитивного волонтера 1-го этапа исследования лишь у 36 ( $39,6 \pm 5,1\%$ ) человек IgG по-прежнему выявлялись во 2-м этапе (спустя 6 мес. от начала развития эпидемии), а у 55 ( $60,4 \pm 5,1\%$ ) – стали ниже диагностического титра или не определялись. При этом 167 ( $10,4 \pm 0,8\%$ ) серонегативных волонтеров 1-го этапа стали серопозитивными во 2-м этапе (рис. 5). На 3-м этапе из 232 серопозитивных волонтеров 1-го и 2-го этапов исследований антитела по-прежнему выявлялись только у 84 ( $36,2 \pm 3,2\%$ ) человек, а на 4-м этапе (12 мес. развития

эпидемии) из 512 серопозитивных волонтеров 1-го, 2-го и 3-го этапов – у 275 человек ( $53,7 \pm 2,2\%$ ).

Установлено, что 148 чел. ( $63,8 \pm 3,2\%$ ) серопозитивных волонтеров 1-го и 2-го этапа стали серонегативными через 9 мес. развития эпидемии (3-й этап исследования). Отсутствие антител у исходно серопозитивных волонтеров 1-го, 2-го и 3-го этапов установлено через 12 мес. на 4-м этапе в  $8,9 \pm 1,3\%$  случаев (45 чел.). Доля вновь выявленных серопозитивных волонтеров (серонегативные на предыдущих этапах стали серопозитивными на последнем этапе) составила  $22,5 \pm 1,0\%$  для 3-го этапа (413 чел.) и  $39,0 \pm 1,4\%$  – для 4-го этапа (475 чел.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты оценки популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у населения Иркутской области свидетельствуют о том, что в течение 3–6 мес. развития эпидемии на фоне первоначального подъёма и последующего снижения заболеваемости COVID-19 сформировался невысокий уровень серопревалентности (1-й этап –  $5,8\%$ , 2-й этап –  $12,1\%$ ). Через 9 мес. распространения COVID-19, а именно в период повторного роста заболеваемости и стабилизации её на максимальном уровне, серопревалентность достигла  $25,9\%$  (3-й этап), что в 4,5 раза больше по сравнению с 1-м этапом исследования. Спустя 12 мес., когда наметилась тенденция к снижению заболеваемости с еженедельным темпом от  $-1,1\%$  до  $-3,6\%$  и началом периода массовой вакцинации, серопревалентность достигла  $46,2 \pm 1,2\%$  (4-й этап), что свидетельствует о нарастающем уровне серопревалентности в динамике развития эпидемического процесса COVID-19 с июня 2020 г. по март 2021 г. с  $5,8$  до  $46\%$ .

Несмотря на вовлечённость всех профессиональных и социальных групп населения в формирование популя-

ционного иммунитета, статистически значимые различия по уровню серопревалентности установлены среди работников образовательных организаций, студентов и школьников, а также рабочих и служащих, что определяет эпидемиологическое значение данных «групп риска».

После перенесённой инфекции COVID-19, антитела выявлялись в 56,9 ± 0,2 % случаев и сохранялись до 3,5–10 мес. Доля бессимптомных форм инфекции среди серопозитивных жителей Иркутской области составила 67,0 ± 0,5 %, что обуславливает высокую интенсивность скрыто протекающего эпидемического процесса. В динамике развития эпидемического процесса COVID-19 антитела IgG к SARS-CoV-2 сохранялись у 53,7 ± 2,2 % и формировались у 39,0 ± 1,4 % населения.

Полученные результаты следует учитывать при принятии управленческих решений по организации профилактических мероприятий, включая вакцинацию и прогнозирование развития эпидемиологической ситуации.

#### Конфликт интересов

Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wu P, Hao X, Lau EHY, Wong JY, Leung KSM, et al. Real-time tentative assessment of the epidemiological characteristics of novel coronavirus infections in Wuhan, China, as at 22 January 2020. *Euro Surveill.* 2020; 25(3): 2000044. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000044
2. World Health Organization Statement Regarding Cluster of Pneumonia Cases in Wuhan, China. Beijing: WHO. 2020. URL: <https://www.who.int/china/news/detail/09-01-2020-who-statement-regarding-cluster-of-pneumonia-cases-in-wuhan-china>. [Дата доступа: 02.04.2021].
3. Cui J, Li F, Shi ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat Rev Microbiol.* 2019; 17(3): 181-192. doi: 10.1038/s41579-018-0118-9
4. Новиков Д.В., Мохонов В.В., Мохонова Е.В., Лапин В.А., Мелентьев Д.А., Новиков В.В. Разработка вакцины против коронавирусной инфекции на базе норовирусной молекулярной платформы. *Материалы Международной научно-практической конференции по вопросам противодействия новой коронавирусной инфекции и другим инфекционным заболеваниям.* Саратов: ООО «Амирит»; 2020: 154-156.
5. Карта коронавируса Covid-19 онлайн. URL: <https://www.coronavirus-monitor.info> [Дата доступа: 02.04.2021].
6. Доклад главного государственного санитарного врача Российской Федерации А.Ю. Попова на Международной научно-практической конференции по вопросам противодействия новой коронавирусной инфекции и другим инфекционным заболеваниям, г. Санкт-Петербург, 9 декабря 2020 г. URL: <https://www.pasteurorg.ru> [Дата доступа: 29.03.2021].
7. Оперативные данные. URL: <https://xn--80aesfpebagmfb1c0a.xn--p1ai/> [Дата доступа: 25.03.2021].
8. Lourenço J, Paton R, Ghafari M, Kraemer M, Thompson C, et al. Fundamental principles of epidemic spread highlight the immediate need for large-scale serological surveys to assess the stage of the SARS-CoV-2 epidemic. *MedRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.03.24.20042291
9. Corey L, Mascola JR, Fauci AS, Collins FS. A strategic approach to COVID-19 vaccine R&D. *Science.* 2020; 368(6494): 948-950. doi: 10.1126/science.abc5312
10. Randolph HE, Barreiro LB. Herd immunity: Understanding COVID-19. *Immunity.* 2020; 52(5): 737-741. doi: 10.1016/j.immuni.2020.04.012
11. Балахонов С.В., Дубровина В.И., Чеснокова М.В., Войткова В.В., Пятидесятникова А.Б., Брюхова Д.Д., и др. Изучение гуморального иммунного ответа при лёгкой и бессимптомной формах проявления COVID-19. *Acta biomedica scientifica.* 2020; 5(5): 26-30. doi: 10.29413/ABS.2020-5.5.3
12. Смирнов В.С., Тотолян А.А. Некоторые возможности иммунотерапии при коронавирусной инфекции. *Инфекция и иммунитет.* 2020; 10(3): 446-458. doi: 10.15789/2220-7619-SPO-1470
13. Wu SC. Progress and concept for COVID-19 vaccine development. *Biotechnol J.* 2020; 15(6): e2000147. doi: 10.1002/biot.202000147
14. Robison D, Lhermie G. Living with COVID-19: A systemic and multi-criteria approach to enact evidence-based health policy. *Front Public Health.* 2020; 8: 294. doi: 10.3389/fpubh.2020.00294
15. Костинов М.П. Иммунопатогенные свойства SARS-CoV-2 как основа для выбора патогенетической терапии. *Иммунология.* 2020; 41(1): 83-91.
16. Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA.* 2020; 323(11): 1061-1069. doi: 10.1001/jama.2020.1585
17. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: A descriptive study. *Lancet.* 2020; 395(10223): 507-513. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30211-7
18. Population-based age-stratified seroepidemiological investigation protocol for COVID-19 infection. WHO/2019-nCoV/Seroepidemiology/2020.2. URL: <https://www.who.int/publications/item/WHO-2019-nCoV/Seroepidemiology-2020.2> [Дата доступа: 28.12.2020].
19. Балахонов С.В., Чеснокова М.В., Пережогин А.Н., Никитин А.Я., Каверзина С.В., Бренева Н.В., и др. Эпидемиологическая ситуация по COVID-19 в Иркутской области и прогноз её распространения. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2020; (4): 34-40. doi: 10.21055/0370-1069-2020-4-34-40
20. Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Мельникова А.А., Балахонов С.В., Чеснокова М.В., Дубровина В.И., и др. Опыт исследования серопревалентности к вирусу SARS-CoV-2 населения Иркутской области в период вспышки COVID-19. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2020; (3): 106-113. doi: 10.21055/0370-1069-2020-3-106-113
21. Балахонов С.В., Дубровина В.И., Пятидесятникова А.Б., Брюхова Д.Д., Киселева Н.О., Корытов К.М., и др. Динамика изменений популяционного иммунитета к вирусу SARS-CoV-2 у жителей Иркутской области в условиях пандемии COVID-19. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика.* 2021; 20(2): 12-17. doi: 10.31631/2073-3046-2021-20-2-12-17

## REFERENCES

1. Wu P, Hao X, Lau EHY, Wong JY, Leung KSM, et al. Real-time tentative assessment of the epidemiological characteristics of novel coronavirus infections in Wuhan, China, as at 22 January 2020. *Euro Surveill.* 2020; 25(3): 2000044. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000044
2. *World Health Organization Statement Regarding Cluster of Pneumonia Cases in Wuhan, China.* Beijing: WHO. 2020. URL: <https://www.who.int/china/news/detail/09-01-2020-who-statement-regarding-cluster-of-pneumonia-cases-in-wuhan-china>. [Date of access: 02.04.2021].
3. Cui J, Li F, Shi ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat Rev Microbiol.* 2019; 17(3): 181-192. doi: 10.1038/s41579-018-0118-9
4. Novikov DV, Mokhonov VV, Mokhonova EV, Lapin VA, Melentyev DA, Novikov VV. Development of a vaccine against coronavirus infection based on a norovirus molecular platform. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Counteracting the New Coronavirus Infection and Other Infectious Diseases.* Saratov: Amirit; 2020: 154-156. (In Russ.).
5. *Map of the coronavirus Covid-19 online.* URL: <https://coronavirus-monitor.info> [Date of access: 02.04.2021].
6. *Report of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation A.Yu. Popova at the International Scientific and Practical Conference on Counteracting Novel Coronavirus Infection and Other Infectious Diseases, St. Petersburg; December 9, 2020.* URL: <https://www.pasteurorg.ru> [Date of access: 29.03.2021]. (In Russ.).
7. *Operational data.* URL: <https://xn--80aefpebagmfbcl0a.xn--p1ai/> [Date of access: 25.03.2021]
8. Lourenço J, Paton R, Ghafari M, Kraemer M, Thompson C, et al. Fundamental principles of epidemic spread highlight the immediate need for large-scale serological surveys to assess the stage of the SARS-CoV-2 epidemic. *MedRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.03.24.20042291
9. Corey L, Mascola JR, Fauci AS, Collins FS. A strategic approach to COVID-19 vaccine R&D. *Science.* 2020; 368(6494): 948-950. doi: 10.1126/science.abc5312
10. Randolph HE, Barreiro LB. Herd immunity: Understanding COVID-19. *Immunity.* 2020; 52(5): 737-741. doi: 10.1016/j.immuni.2020.04.012
11. Balakhonov SV, Dubrovina VI, Chesnokova MV, Voitkova VV, Pyatidesyatnikova AB, Bryukhova DD, et al. Studying humoral immune response at mild and asymptomatic COVID-19 forms. *Acta biomedica scientifica.* 2020; 5(5): 26-30. (In Russ.). doi: 10.29413/ABS.2020-5.5.3
12. Smirnov VS, Totolian AA. Some opportunities for immunotherapy in coronavirus infection. *Russian Journal of Infection and Immunity.* 2020; 10(3): 446-458. (In Russ.). doi: 10.15789/2220-7619-SPO-1470
13. Wu SC. Progress and concept for COVID-19 vaccine development. *Biotechnol J.* 2020; 15(6): e2000147. doi: 10.1002/biot.202000147
14. Robison D, Lhermie G. Living with COVID-19: A systemic and multi-criteria approach to enact evidence-based health policy. *Front Public Health.* 2020; 8: 294. doi: 10.3389/fpubh.2020.00294
15. Kostinov MP. Immunopathogenic properties of SARS-CoV-2 as a basis for the choice of pathogenetic therapy. *Immunology.* 2020; 41(1): 83-91. (In Russ.).
16. Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA.* 2020; 323(11): 1061-1069. doi: 10.1001/jama.2020.1585
17. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: A descriptive study. *Lancet.* 2020; 395(10223): 507-513. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30211-7
18. *Population-based age-stratified seroepidemiological investigation protocol for COVID-19 infection. WHO/2019-nCoV/Seroepidemiology/2020.2.* URL: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV/Seroepidemiology-2020.2> [Date of access: 28.12.2020].
19. Balakhonov SV, Chesnokova M, Perezhogin AN, Nikitin AY, Kaverzina SV, Breneva NV, et al. Epidemiological situation on COVID-19 in Irkutsk Region and forecast for its spread. *Problems of Particularly Dangerous Infections.* 2020; (4): 34-40. (In Russ.). doi: 10.21055/0370-1069-2020-4-34-40
20. Popova AY, Ezhlova EB, Melnikova AA, Balakhonov SV, Chesnokova MV, Dubrovina VI, et al. Experience in studying seroprevalence to SARS-CoV-2 virus in the population of the Irkutsk Region during COVID-19 outbreak. *Problems of Particularly Dangerous Infections.* 2020; (3): 106-113. (In Russ.). doi: 10.21055/0370-1069-2020-3-106-113
21. Balakhonov SV, Dubrovina VI, Pyatidesyatnikova AB, Briukhova DD, Kiseleva NO, Korytov KM, et al. Dynamics of changes in population immunity to the SARS-CoV-2 virus in residents of the Irkutsk region in the context of the COVID-19 pandemic. *Epidemiology and Vaccinal Prevention.* 2021; 20(2): 12-17. (In Russ.). doi: 10.31631/2073-3046-2021-20-2-12-17

## Сведения об авторах

**Балахонov Сергей Владимирович** – доктор медицинских наук, профессор, директор, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: [balakhonov.irk@mail.ru](mailto:balakhonov.irk@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-4201-5828>

**Дубровина Валентина Ивановна** – доктор биологических наук, заведующая лабораторией патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: [dubrovina-valya@mail.ru](mailto:dubrovina-valya@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-8561-6207>

**Чеснокова Маргарита Валентиновна** – доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделом научного и учебно-методического обеспечения, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: [mar\\_chumin@mail.ru](mailto:mar_chumin@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-5489-9363>

**Брюхова Дарья Дмитриевна** – младший научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: [darbrukhov@mail.ru](mailto:darbrukhov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5589-9522>

**Киселева Наталья Олеговна** – младший научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: nata13026@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6678-2998>

**Пятидесятникова Анна Борисовна** – младший научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: smy\_irkutsk@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6381-4517>

**Корытов Константин Михайлович** – научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: konstmikhkor@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1137-6049>

**Войткова Валентина Владимировна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории патофизиологии, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: vvoitkova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0685-7625>

**Пережогов Алексей Николаевич** – заведующий отделом санитарной охраны и мониторинга чрезвычайных ситуаций, ФКУЗ Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5678-468X>

**Гаврилова Татьяна Анатольевна** – заместитель начальника отдела эпидемиологического надзора, Управление Роспотребнадзора по Иркутской области, e-mail: epid@38.rospotrebnadzor.ru

**Седецов Александр Анатольевич** – начальник, Управление развития системы здравоохранения Министерства здравоохранения Иркутской области, e-mail: guzio@guzio.ru

#### Information about the authors

**Sergey V. Balakhonov** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Director, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4201-5828>

**Valentina I. Dubrovina** – Dr. Sc. (Biol.), Head of the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: dubrovinavalya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8561-6207>

**Margarita V. Chesnokova** – Dr. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Scientific and Educational-Methodological Support, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: mar\_chumin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5489-9363>

**Daria D. Bryukhova** – Junior Research Officer at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: darabrukhov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5589-9522>

**Natalya O. Kiseleva** – Junior Research Officer at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: nata13026@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6678-2998>

**Anna B. Pyatidesyatnikova** – Junior Research Officer at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: smy\_irkutsk@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6381-4517>

**Konstantin M. Korytov** – Research Officer, Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Antiplague Research Institute of Rosпотребнадзор, e-mail: konstmikhkor@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1137-6049>

**Valentina V. Voitkova** – Cand. Sc. (Biol.), Senior Research Officer at the Pathophysiological Laboratory, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: vvoitkova@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0685-7625>

**Alexey N. Perezhogin** – Head of the Department of Sanitary Protection and Monitoring of Emergency Situations, Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East of Rosпотребнадзор, e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5678-468X>

**Tatyana A. Gavrilova** – Deputy Head of the Epidemiological Surveillance Department, Rosпотребнадзор Administration for the Irkutsk Region, e-mail: epid@38.rospotrebnadzor.ru

**Alexander A. Seledtsov** – Head, Department of Health System Development, Ministry of Health of the Irkutsk Region, e-mail: guzio@guzio.ru