

DOI: 10.21055/0370-1069-2021-3-98-105

УДК 616.98:578.2(470)

А.Я. Никитин, М.В. Чеснокова, С.В. Балахонов

АЛГОРИТМ И РЕЗУЛЬТАТЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ COVID-19 В СУБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФКУЗ «Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока», Иркутск, Российская Федерация

Во многих субъектах Российской Федерации к концу лета 2020 г. произошло снижение числа случаев проявления коронавирусной инфекции. Тем не менее эта болезнь остается актуальной проблемой для здравоохранения и экономики страны, не исключена возможность возникновения второй волны заболеваемости. Одним из наиболее важных показателей, используемых при обосновании перехода к очередному этапу снятия/введения ограничительных мероприятий по COVID-19, является коэффициент распространения инфекции (R_t). **Цель** исследования – описать алгоритм анализа и краткосрочного прогноза коэффициента распространения коронавирусной инфекции, оценить соответствие теоретически ожидаемых и фактических значений этого показателя. **Материалы и методы.** Описана процедура проведения краткосрочного экстраполяционного прогноза R_t в десяти субъектах РФ в зависимости от наличия или отсутствия трендов изменения показателя с расчетом 95 % доверительного интервала возможных изменений его значения. **Результаты и обсуждение.** Предлагается проводить прогноз R_t на основе усреднения материалов за неделю, сочетая регрессионный анализ и экспертную оценку характера динамики временных рядов для своевременного перехода от прогноза по тренду к экстраполяции стационарных последовательностей наблюдений, и наоборот. Показано, что прогнозируемые значения R_t статистически достоверно не отличаются от фактических. При принятии управленческих решений по профилактике COVID-19 особо следует обращать внимание на случаи, когда фактическое значение R_t превышает верхнюю границу доверительного интервала. В исследуемых субъектах при прогнозировании значения R_t на 33–35-ю календарные недели выявлено шесть (20,0 %) таких случаев. Три из них зарегистрировано в Забайкальском крае, где наблюдался тренд на рост R_t , что требует анализа причин этого явления. Предлагаемый алгоритм анализа и прогноза величины R_t , апробированный на данных по десяти субъектам России, дает корректную информацию для решений по снятию/введению ограничительных мер для профилактики COVID-19.

Ключевые слова: коронавирусная инфекция, коэффициент распространения инфекции, временные ряды, прогноз.

Корреспондирующий автор: Никитин Алексей Яковлевич, e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Для цитирования: Никитин А.Я., Чеснокова М.В., Балахонов С.В. Алгоритм и результаты краткосрочного прогноза изменения коэффициента распространения COVID-19 в субъектах Российской Федерации. *Проблемы особо опасных инфекций.* 2021; 3:98–105. DOI: 10.21055/0370-1069-2021-3-98-105. Поступила 24.09.2020. Отправлена на доработку 13.11.2020. Принята к публ. 24.11.2020.

A.Ya. Nikitin, M.V. Chesnokova, S.V. Balakhonov

Algorithm and Results of Short-Term Forecast of Changes in the COVID-19 Spread Coefficient in the Constituent Entities of the Russian Federation

Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. There was a decrease in the number of COVID-19 cases across many entities of the Russian Federation towards the end of summer season-2020. However, the disease remains a relevant threat to the public health and economy and the possibility of a second epidemic wave is not excluded. Rate of infection transmission (R_t) is one of the most important indicators to justify the transition to next stage of removing/introducing restrictive measures on COVID-19. **Objective** of the work was to describe the algorithm of analysis and short-term forecast of coronavirus spread rate, to assess correspondence between theoretically expected and actual values of this indicator. **Materials and methods.** Procedure for making a short-term extrapolation forecast of R_t in 10 RF constituent entities, depending on the presence or absence of indicator trends with calculation of a 95 % confidence interval of possible changes in its value is provided. **Results and discussion.** It is proposed to carry out R_t forecast based on averaged values over a week, combining regression analysis and expert assessment of time series dynamics nature for prompt transition from trend forecasting to extrapolation of stationary observation sequences and vice versa. It has been demonstrated that predicted R_t values are not statistically different from actual values. When making managerial decisions on COVID-19 prevention, special attention should be paid to cases when actual value of R_t exceeds the upper limit of confidence interval. Six (20.0 %) such cases were detected in surveyed entities on calendar weeks 33–35. Three of them were registered in Trans-Baikal Territory, where upward trend was reported during that period of time. The cause of this phenomenon should be analyzed. The put forward algorithm of analysis and forecasting of the R_t value changes, which was tested in 10 entities of Russia, provides a reliable basis for making management decisions on removing/introducing restrictive measures for COVID-19 prevention.

Key words: coronavirus infection, rate of infection spread, time series, forecast.

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

Corresponding author: Aleksey Ya. Nikitin, e-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Citation: Nikitin A.Ya., Chesnokova M.V., Balakhonov S.V. Algorithm and Results of Short-Term Forecast of Changes in the COVID-19 Spread Coefficient in the Constituent Entities of the Russian Federation. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2021; 3:98–105. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2021-3-98-105.

Received 24.09.2020. Revised 13.11.2020. Accepted 24.11.2020.

Nikitin A.Ya., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3918-7832>

Chesnokova M.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5489-9363>

Balakhonov S.V., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4201-5828>

Стремительное распространение новой коронавирусной инфекции COVID-19 вызвало чрезвычайную ситуацию с заболеваемостью населения во всем мире, о чем Всемирной организацией здравоохранения официально объявлено 30 января 2020 г. [1–3]. В Российской Федерации на 20.08.2020 в 85 субъектах страны выявлено 942106 больных COVID-19 [4]. Для изучения и прогноза динамики эпидемического процесса COVID-19 российскими и зарубежными специалистами оперативно созданы математические модели, позволяющие предсказывать периоды наступления экстремумов заболеваемости, смертности и другие показатели, которые необходимы для разработки и развития стратегии мер профилактики коронавирусной инфекции [2, 5–7]. Организованные в субъектах страны мероприятия неспецифической профилактики к концу лета 2020 г. обеспечили на территории большинства из них стабилизацию активности эпидемического процесса COVID-19, сформировали условия для поэтапной отмены ранее введенных ограничений.

Согласно методическим рекомендациям «Определение комплекса мероприятий, а также показателей, являющихся основанием для поэтапного снятия ограничительных мероприятий в условиях эпидемического распространения COVID-19» (МР 3.1.0178-20.3.1) наиболее важным из трех показателей, которые учитываются при обосновании перехода к очередному этапу снятия/введения ограничительных мер в условиях эпидемического распространения COVID-19, является коэффициент распространения инфекции (R_t). Этот индекс отражает среднее число людей, инфицируемых одним больным до его изоляции. В этом же документе приведен алгоритм расчета ежедневного R_t , который основан на делении суммы числа больных, зарегистрированных в течение последних четырех суток, на сумму числа больных за аналогичный предыдущий период времени. Указано, что при $R_t \leq 1$ с учетом значения других показателей в субъектах допустимо начинать переход к I этапу снятия санитарных ограничительных мероприятий. Аналогично при значениях $R_t > 1$, особенно в ситуациях дальнейшего увеличения показателя, необходимо вводить более строгие ограничительные меры. Отметим, что значение $R_t = 1$ будет регистрироваться и в случае 50 ежедневных случаев COVID-19, и при 550. То есть этот показатель не подходит для оценки эпидемиологической обстановки, он указывает на наличие у инфекции потенциала к эпидемическому распространению в популяции [8, 9] и в соответствии с рекомендациями (МР 3.1.0178-20.3.1) используется утилитарно как критерий для выбора оптимальной стратегии мер профилактики. В случае

же эпидемического процесса новой коронавирусной инфекции описание проводится в рамках отдельных стран или регионов по целому комплексу показателей, с учетом половозрастной структуры, социального статуса населения, тяжести проявления болезни, готовности медучреждений и т.д. [9–12].

Цель исследования – описать алгоритм анализа и краткосрочного прогноза коэффициента распространения коронавирусной инфекции, оценить соответствие теоретически ожидаемых и фактических значений этого показателя.

Материалы и методы

Сведения об основных проявлениях новой коронавирусной инфекции получали в ежедневном режиме из управлений Роспотребнадзора и центров гигиены и эпидемиологии десяти субъектов Сибирского и Дальневосточного федеральных округов РФ. Ретроспективный эпидемиологический анализ включал ежедневную оценку числа случаев COVID-19 в субъектах, нахождение ежедневных и средних за неделю значений R_t .

Временные ряды значений R_t представлялись в виде графиков. Длина исходных временных рядов значений R_t варьировала от 23 (Красноярский край) до 18 (Республика Алтай) наблюдений. Длина фрагментов, на основе которых проводили прогноз, составляла от 5 до 23 наблюдений.

Алгоритм анализа и прогноза R_t . Для принятия управленческих решений в субъектах РФ о поэтапном снятии/введении ограничительных мер расчет R_t должен проводиться с упреждением. В качестве периода анализа и упреждения мы предлагаем брать семь дней, рассчитывая среднюю величину R_t по отдельным дням с понедельника до воскресенья включительно. В результате формируется временной ряд, состоящий из усредненных недельных значений R_t по субъекту. Соответственно, и краткосрочный прогноз R_t будет дан на следующую неделю. Усреднение показателя по недельным отрезкам сглаживает ежедневные случайные его колебания, а по величине временного интервала удобно для введения превентивных мер профилактики коронавирусной инфекции.

Алгоритм собственно прогноза включает три этапа. На первом этапе с помощью регрессионного анализа проверяется, содержит или нет анализируемая последовательность линейный тренд. Второй этап представлен собственно прогнозом. Если тренда нет, временной ряд рассматривается как стационарный, а в качестве ожидаемого на будущую неделю показателя R_t принимается среднее для базис-

ного (анализируемого) периода значение с расчетом 95 % доверительного интервала (ДИ) возможных случайных изменений. При обнаружении значимого тренда прогноз R_t осуществляется по линейному уравнению, а вычисление 95 % ДИ проводится с учетом показателя колеблемости временного ряда [13]. Прогноз всегда строится на шаг вперед, а базовый период наблюдений постоянно возрастает на единицу. Третий, дополнительный, этап предполагает проведение экспертной оценки поведения временного ряда с целью его фрагментации на отрезки с одинаковым типом динамики. Анализ графиков изменения значений R_t позволяет визуально (неизбежно с временным запаздыванием) установить, что динамика показателя перешла из стационарной фазы к тренду или наоборот. Предположение о тренде проверяется с помощью статистического анализа (описан выше – первый этап). Для дальнейшего прогнозирования берется укороченный, но соответствующий фактической фазе эпидемического процесса ряд значений показателя R_t . Оптимальность такого подхода к изучению динамики R_t будет показана ниже.

Одной из задач статьи является анализ величины отклонений (ошибки) данных, полученных при прогнозе, от фактических значений R_t . В случае верного прогноза между ожидаемыми и наблюдаемыми значениями показателя статистически значимые различия должны отсутствовать ($P > 0,05$). В данной работе проведено разовое (на определенный момент времени) сопоставление результатов прогноза R_t в десяти субъектах страны с данными фактических значений этого показателя. Сравнение выборок проводили с применением парного двухвыборочного t -теста для средних величин по данным за 33–35-ю календарную неделю (к.н.).

Все расчеты (линий регрессии, средних показателей и их ошибок, ДИ, значений критерия Стьюдента) выполнены стандартными методами вариационной статистики [13, 14] с использованием пакета прикладной программы Excel. Значимыми считали различия при уровне вероятности (P) ниже 0,05.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены временные ряды динамики R_t на территории анализируемых субъектов Дальневосточного и Сибирского федеральных округов. Из графиков следует, что динамика R_t характеризуется временными и пространственными особенностями. Кроме того, так как первые случаи коронавирусной инфекции в субъектах стали регистрироваться не одновременно, то длина временных рядов не одинакова. Отметим, что графики не показывают начало регистрации случаев коронавирусной инфекции в субъектах. Они отражают длину временных рядов со времени, когда был рассчитан первый средний за семь дней показатель R_t .

В соответствии с третьим этапом алгоритма

анализа динамики R_t , ряды наблюдений разбивались на отдельные однотипные по характеру изменчивости участки. Так как в основе предлагаемого подхода не лежит определенная статистическая процедура, то этот этап анализа мы называем экспертным. Примененный подход позволяет более оперативно вводить процедуру коррекции прогноза, что крайне важно для своевременного принятия управленческих решений в период эпидемических осложнений. С целью предотвращения ситуации, когда эпидемиологическая опасность будет недооценена, целесообразно в период обострения эпидемического процесса стремиться делать более ранний переход от прогноза по стационарному ряду к расчету ожидаемых значений по линейному тренду. И наоборот, в период стабилизации и снижения эпидемиологической напряженности предпочтительно по возможности быстро переходить от прогноза по тренду к прогнозу по стационарному ряду.

Из приводимых графиков очевидно, что характер процесса и, соответственно, подходы к прогнозу на отрезках 13–20-й к.н. (в некоторых субъектах и дольше) и более поздних достаточно сильно различаются. Рассмотрение всего временного ряда значений R_t лишь увеличит ошибку, что, несмотря на снижение величины критерия Стьюдента (t) с увеличением числа наблюдений, приведет к расширению границ доверительного интервала, смещению точечного прогноза. В итоге это только осложнит оперативное принятие решения о возможности перехода к тому или иному этапу снятия/введения ограничительных мер. Так как задача прогнозирования процесса впервые поставлена на 26-й к.н. (22.06–28.06), то и для расчета ожидаемых значений R_t взяты более короткие временные ряды без учета начального отрезка формирования эпидемического процесса в субъектах. Ниже для каждого из десяти субъектов рассмотрены примененный для них подход к выделению фрагментов и способ прогнозирования усредненных за неделю значений R_t .

Республика Алтай (рис. 1.1). По вышеприведенным соображениям для прогноза на текущий период времени взят фрагмент временного ряда значений R_t с 23-й к.н. (01.06–07.06) по 35-ю к.н. (24.08–30.08). Этот ряд представлен значимым трендом ($P < 0,05$) снижения показателя, поэтому в основу прогноза положено линейное уравнение. Его результаты для 33–35-й к.н. представлены далее в таблице и по тексту.

Республика Бурятия (рис. 1.2). Фрагмент временного ряда наблюдений с 21-й к.н. (18.05–24.05) по 35-ю к.н. (24.08–30.08) является стационарным, что и использовано при экстраполяции значений R_t на 33–34-й к.н. (таблица) и для 35-й к.н. (по тексту).

Республика Тыва (рис. 1.3). Временной ряд разбит на три фрагмента. Первый включает отрезок с 17-й к.н. (20.04–26.04) по 20-ю к.н. (11.05–17.05), который мы исключили из анализа как период начального формирования эпидемического процесса.

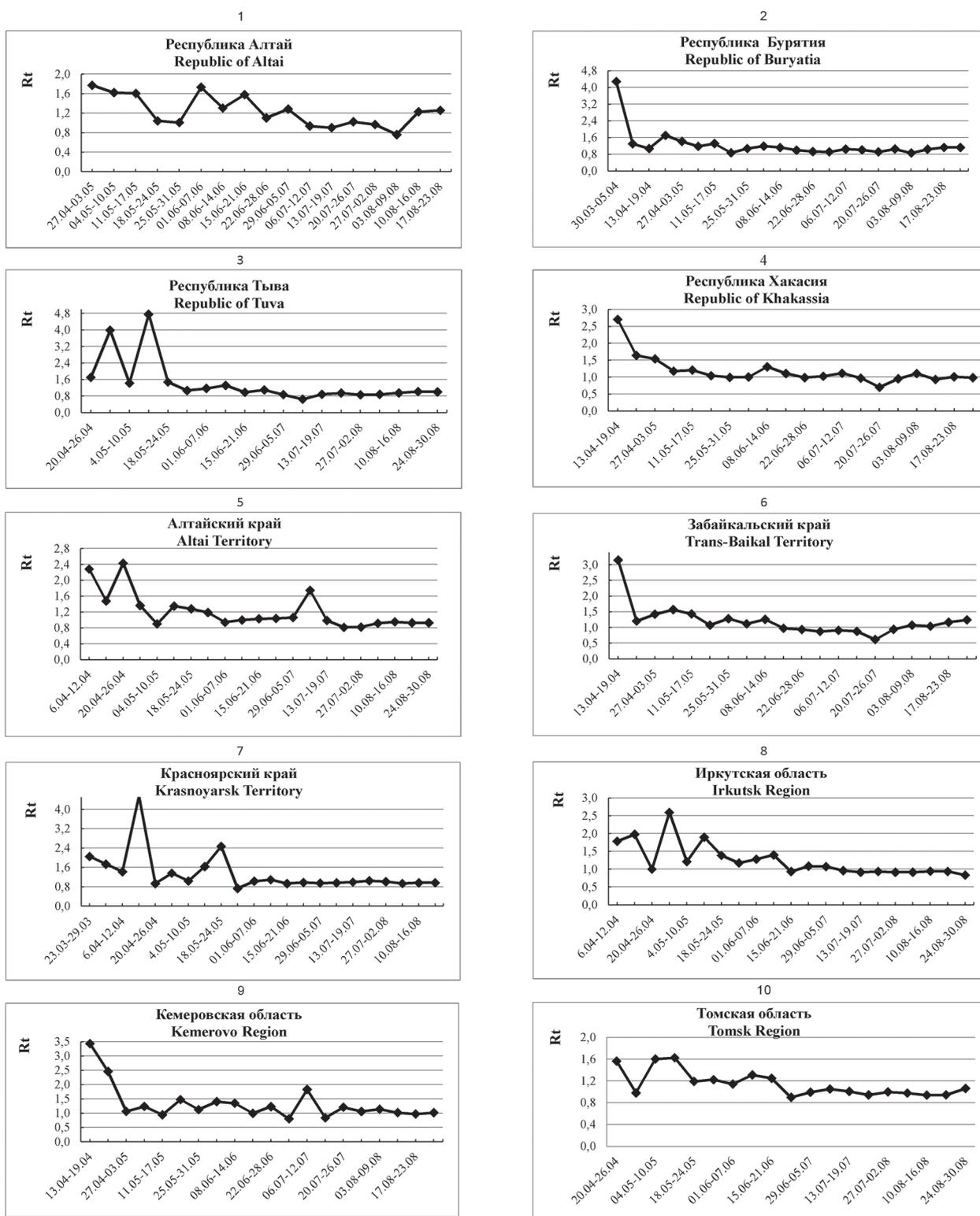


Рис. 1. Динамика коэффициента распространения инфекции (Rt) на территории субъектов Российской Федерации (от начала пандемии до 36-й календарной недели)

Fig. 1. Dynamics of infection spread rate (Rt) in the territory of the constituent entities of the Russian Federation (from the onset of pandemic till the 36th calendar week)

Фрагмент с 21-й (18.05–24.05) до 27-й к.н. (29.06–05.08) содержит значимый тренд на уменьшение значений Rt. Третий фрагмент начиная с 34-й к.н. (17.08–23.08) характеризуется достоверным ($P < 0,05$) ростом значений Rt, что учтено при прогнозе на 33–34-ю к.н. (таблица) и для 35-й к.н. (по тексту).

Республика Хакасия (рис. 1.4). Временной ряд с 16-й к.н. (13.04–19.04) имеет значимый ($P < 0,01$) тренд на снижение. Выделение фрагментов ряда не проводили, хотя, судя по графику (рис. 1.4), при формировании очередных прогнозов отрезков с 30-й к.н. (20.07–26.07) по 35-ю к.н. (24.08–30.08) необ-

Фактические и ожидаемые значения коэффициента распространения инфекции на 33-ю (10.08–16.08) и 34-ю (17.08–23.08) календарные недели в десяти субъектах Российской Федерации
Actual and expected values of infection spread rate for 33rd (10.08–16.08) and 34th (17.08–23.08) calendar weeks in 10 entities of the Russian Federation

Субъект Entity	Rt за 33-ю к.н. Rt for 33rd calendar week		Тип ряда Type of series	Границы 95 % доверительного интервала Limits of 95 % confidence interval		Rt за 34-ю к.н. Rt for 34th calendar week		Тип ряда Type of series	Границы 95 % ДИ Limits of the 95 % confidence interval	
	фактический actual	ожидаемый expected		нижняя lower	верхняя top	фактический actual	ожидаемый expected		нижняя lower	верхняя upper
Республика Алтай Republic of Altai	1,230	0,664	с трендом with trend	0,198	1,368	1,260	0,783	с трендом with trend	0,198	1,368
Республика Бурятия Republic of Buryatia	1,048	1,004	стационарный stationary	0,938	1,070	1,131	1,008	стационарный stationary	0,947	1,068
Республика Тыва Republic of Tuva	0,956	0,716	с трендом with trend	0,303	1,129	1,027	0,758	с трендом with trend	0,345	1,171
Республика Хакасия Republic of Khakassia	0,934	1,086	с трендом with trend	0,982	1,190	1,015	0,875	с трендом with trend	0,514	1,236
Алтайский край Altai Territory	0,958	1,080	стационарный stationary	0,937	1,224	0,929	1,072	стационарный stationary	0,938	1,206
Забайкальский край Trans-Baikal Territory	1,045	0,903	стационарный stationary	0,792	1,015	1,170	0,920	стационарный stationary	0,816	1,021
Красноярский край Krasnoyarsk Territory	0,969	0,974	стационарный stationary	0,912	1,036	0,972	0,974	стационарный stationary	0,918	1,030
Иркутская область Irkutsk Region	0,943	0,970	стационарный stationary	0,911	1,030	0,941	0,967	стационарный stationary	0,916	1,019
Кемеровская область Kemerovo Region	1,021	1,183	стационарный stationary	1,037	1,330	0,974	1,173	стационарный stationary	1,035	1,311
Томская область Tomsk Region	0,942	0,984	стационарный stationary	0,939	1,029	0,947	0,979	стационарный stationary	0,939	1,018
Оценка существенности различий между фактическими и ожидаемыми значениями Rt Assessing the significance of differences between actual and expected Rt values	t=1,31; P>0,05		-	-	-	t=1,61; P>0,05		-	-	-

ходимо будет рассматривать как стационарный временной ряд.

Алтайский край (рис. 1.5). Временной ряд значений R_t включает два фрагмента. Отрезок с 15-й к.н. (06.04–12.04) по 18-ю к.н. (27.04–03.05) исключили из анализа. Фрагмент с 19-й (04.05–10.05) по 35-ю к.н. (24.08–30.08) рассматривали как стационарный, на основе которого проведен расчет значений показателя для 33–34-й к.н. (таблица) и 35-й к.н. (по тексту).

Забайкальский край (рис. 1.6). Временной ряд экспертно разбит на несколько фрагментов. Причем проведено сравнение результатов прогноза

значений R_t с учетом меняющегося типа временного ряда, соответственно, его длины при проведении расчетов (рис. 2, А). При прогнозе с 19-й к.н. (04.05–10.05) использована линейная аппроксимация убывающих по величине значений R_t (под № 3), которые проявили наименьшее соответствие фактических и ожидаемых значений. Причем хуже для принятия управленческих решений, что в этом случае ожидаемые показатели значений R_t имеют меньшую величину, чем фактические, то есть происходит недооценка эпидемиологических рисков. Если учесть, что с 25-й к.н. (15.06–21.06) временной ряд значений R_t можно рассматривать как ста-

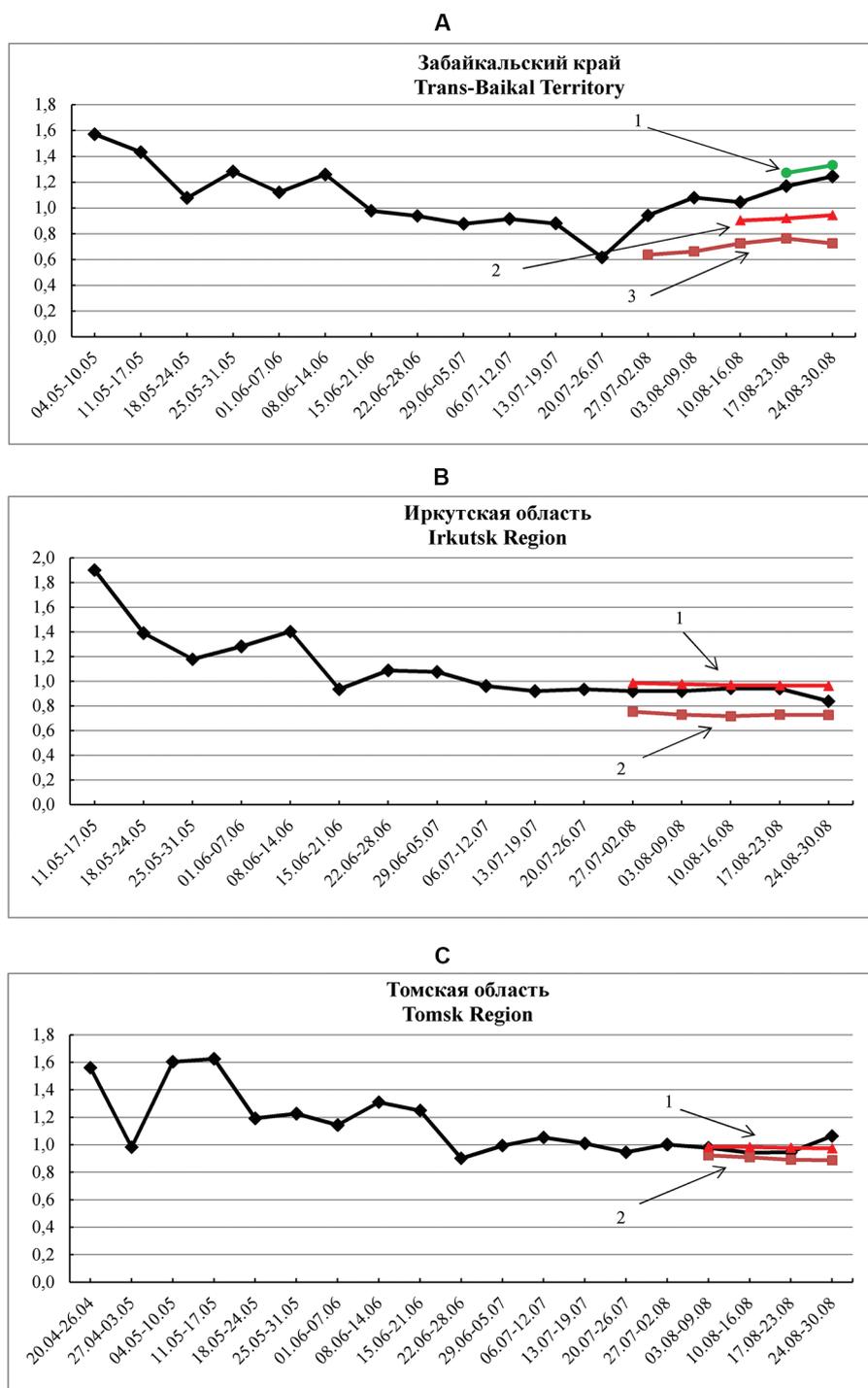


Рис. 2. Результаты прогноза коэффициента распространения инфекции (R_t) при использовании разных статистических моделей:

А. Забайкальский край: 1 – ожидаемые значения R_t при прогнозе с 30-й календарной недели (20.07–26.07) путем линейной экстраполяции статистически значимого тренда на повышение; 2 – ожидаемые значения R_t при прогнозе с 25-й календарной недели (15.06–21.06) по стационарному временному ряду; 3 – ожидаемые значения R_t при прогнозе с 19-й календарной недели (04.05–10.05) путем линейной экстраполяции статистически значимого тренда на понижение.

В. Иркутская область: 1 – ожидаемые значения R_t при анализе с 25-й календарной недели (15.06–21.06) по стационарному временному ряду; 2 – ожидаемые значения R_t при прогнозе с 20-й календарной недели (11.05–17.05) путем линейной экстраполяции статистически значимого тренда на понижение.

С. Томская область: 1 – ожидаемые значения R_t при прогнозе с 20-й календарной недели (11.05–17.05) путем линейной экстраполяции статистически значимого тренда на понижение; 2 – ожидаемые значения R_t при анализе с 26-й календарной недели (22.06–28.06) по стационарному временному ряду.

Fig. 2. The results of predicting infection spread rate (R_t) using various statistical models:

А. Trans-Baikal Territory: 1 – expected R_t values for the forecast covering the 30th calendar week (20.07–26.07) and further on by linear extrapolation of a statistically significant upward trend; 2 – expected R_t values for the forecast starting from the 25th calendar week (15.06–21.06) by a stationary time series; 3 – expected R_t values for the forecast starting from the 19th calendar week (04.05–10.05) by linear extrapolation of a statistically significant downward trend.

В. Irkutsk Region: 1 – expected R_t values when analyzing a stationary time series from the 25th calendar week (15.06–21.06); 2 – expected R_t values for the forecast from the 20th calendar week on (11.05–17.05) by linear extrapolation of a statistically significant downward trend.

С. Tomsk Region: 1 – expected R_t values when forecasting starting from the 20th calendar week (11.05–17.05) by linear extrapolation of a statistically significant downward trend; 2 – expected R_t values when analyzing a stationary time series from the 26th calendar week (22.06–28.06).

ционарный, соответствие теоретических и фактических данных становится гораздо лучше, несмотря на уменьшение числа наблюдений (под № 2). В настоящее время ретроспективно мы видим, что с 26-й к.н. (22.06–28.06) начал формироваться тренд на повышение значений R_t . Статистическую достоверность этой тенденции удалось доказать после получения материалов за 34-ю к.н. (17.08–23.08), то есть когда длина временного ряда составила всего пять значений. Соответственно, прогноз в ближайшей перспективе необходимо проводить по линейной аппроксимации данных за 20–34-ю и последующие недели (под № 1). В частности, для 35-й к.н. ожидаемое значение R_t по уравнению роста дало значение показателя, равное 1,33. Эта величина гораздо ближе к фактическому значению R_t (1,25), чем в случае продолжения расчетов по стационарному ряду (0,94).

Красноярский край (рис. 1.7). На отрезке с 13-й (23.03–29.03) по 21-ю к.н. (18.05–24.05) в ходе формирования эпидемического процесса его интенсивность резко менялась. Анализ графиков показывает, что характер процесса и соответственно подход к прогнозу значений R_t на отрезках 13–20-й и 21–35-й к.н. должен быть разным. Для прогноза взят фрагмент ряда с 21-й к.н. (18.05–24.05) до 35-й к.н. (24.08–30.08), который рассматривался как стационарный. Результаты прогноза для 33–34-й к.н. отражены в таблице, для 35-й к.н. – далее по тексту.

Иркутская область (рис. 1.8). Фрагмент ряда с 15-й к.н. (06.04–12.04) до 19-й к.н. (04.05–19.05) исключен из значений, учитываемых при прогнозе, так как в этот период эпидемический процесс еще формировался, в связи с чем наблюдались резкие перепады величины R_t . Временной ряд с 20-й к.н. (11.05–17.05) по 35-ю к.н. (24.08–30.08) содержит статистически достоверный ($P < 0,01$) нисходящий тренд. Обусловлен он преимущественно значительным подъемом показателя заболеваемости коронавирусной инфекцией в первой декаде мая. С 25-й к.н. (15.06–21.06) во временном ряду экспертно выделен отрезок, отвечающий условиям стационарности. На рис. 2, В хорошо видно, что прогноз по тренду на 31–35-ю к.н. (под № 2) сильнее отличается от фактических данных, чем прогноз по более короткому стационарному ряду (под № 1). Последний подход использован нами в дальнейшем при расчете теоретически ожидаемых значений R_t на 33–34-ю к.н. (таблица) и для 35-й к.н. (по тексту).

Кемеровская область (рис. 1.9). Как и в большинстве рассмотренных выше субъектов, отрезок временного ряда, соответствующий началу формирования эпидемического процесса (16-я, 17-я к.н.), исключен из дальнейшего анализа. Временной ряд с 18-й к.н. (27.04–03.05) по 35-ю к.н. (24.08–30.08) рассматривается как стационарный с периодическими примерно одинаковыми по амплитуде колебаниями значений R_t . На его основе выполнен прогноз ожидаемых значений R_t на 33–34-ю к.н. (таблица) и для 35-й к.н. (далее по тексту).

Томская область (рис. 1.10). На отрезке с 17-й к.н. (20.04–26.04) по 20-ю к.н. (11.05–17.05) в ходе формирования эпидемического процесса его интенсивность резко менялась. Этот фрагмент не рассматривался при проведении прогноза. За период с 21-й к.н. (18.05–24.05) до 35-й к.н. (24.08–30.08) временной ряд значений R_t имеет достоверную тенденцию к снижению ($P < 0,01$). Прогноз по тренду приведен на рис. 2, С (под № 2). Тем не менее начиная с 26-й к.н. (22.06–28.06) можно выделить фрагмент, соответствующий стационарному временному ряду. Несмотря на то, что временной ряд с 26-й к.н. короче, чем с 21-й к.н., прогноз по стационарному ряду на 32–35-ю к.н. (под № 1) дает лучшее приближение ожидаемых значений R_t к фактически наблюдаемым. Поэтому для расчетов теоретически ожидаемых значений R_t на 33–34-ю к.н. (таблица) и для 35-й к.н. (по тексту) использован стационарный временной ряд.

В таблице приведены результаты сравнения расчетных – ожидаемых значений R_t и фактических. Для 33-й (10.08–16.08) и 34-й к.н. (17.08–23.08) прогнозируемые значения существенно не отличаются от фактических данных по выборкам наблюдений, включающим десять субъектов РФ. К настоящему времени аналогичный анализ проведен для 35-й к.н. (24.08–30.08). И в этом случае ожидаемые значения соответствуют фактическим (значимо не отличаются): $t=0,66$; $P > 0,05$. Тем самым доказаны низкие значения ошибок, полученные в ходе прогноза значений R_t .

Если ошибку прогноза рассчитать путем отнесения среднего значения разности фактических и ожидаемых значений R_t в субъектах к среднему уровню R_t , то ее величина колеблется от 3,2 до 4,8 %. Особое внимание при принятии управленческих решений по снятию/введению очередных этапов ограничительных мер следует обращать на случаи, когда фактическое значение R_t превышает верхнюю границу ДИ. Таких наблюдений при рассмотрении материалов из десяти субъектов за 33–35-ю к.н. (10.08–30.08) мы выявили шесть (20,0 %). Три из них приходятся на Забайкальский край, два – на Республику Бурятию, один – на Томскую область. Следовательно, наибольшее влияние на формирование смещенных прогнозов оказал Забайкальский край, в котором, как отмечено выше, за несколько последних недель рассматриваемого периода сформировался значимый тренд на рост показателя R_t (рис. 1.6 и рис. 2, А), что требует анализа причин этого явления. Кроме Забайкальского края фрагмент временного ряда с увеличивающимися значениями R_t выявлен в Республике Тыва (рис. 1.4).

Таким образом, прогноз, основанный на ретроспективном анализе временных рядов изменения R_t в десяти субъектах РФ, содержит малую величину отклонений фактических и ожидаемых значений, которые обычно лежат в границах 95 % ДИ. Большинство выявленных отклонений за границы ДИ связано с началом изменения интенсивности эпидемического

процесса (Забайкальский край), и сам факт их выявления является важным результатом проводимого анализа, позволяющим более рационально и оперативно планировать комплекс профилактических мероприятий COVID-19.

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

Список литературы

1. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19, 11 March 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> (дата обращения 18.11.2020).
2. Кутырев В.В., Попова А.Ю., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Сафронов В.А., Карнаухов И.Г., Иванова А.В., Щербакова С.А. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Сообщение 1: Модели реализации профилактических и противоэпидемических мероприятий. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 1:6–13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-6-13.
3. Adhikari S., Meng S., Wu Y., Mao Y., Ye R., Wang Q., Sun C., Sylvia S., Rozelle S., Raat H., Zhou H. Epidemiology, causes, clinical manifestation and diagnosis, prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) during the early outbreak period: a scoping review. *Infect. Dis. Poverty*. 2020; 9(1):29. DOI: 10.1186/s40249-020-00646-x.
4. Updated information. [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80acesfpebagmfblc0a.xn--p1ai/> (дата обращения 16.08.2020).
5. Букин Ю.С., Джиоев Ю.П., Бондарюк А.Н., Ткачев С.Е., Злобин В.И. Применение универсальной математической модели эпидемического процесса «SRID» для прогноза развития эпидемии COVID-19 в городе Москва. *PREPRINTS.RU*. 2020. [Электронный ресурс]. DOI: 10.24108/preprints-3112045 (дата обращения 16.08.2020).
6. Zhao S., Chen H. Modeling the epidemic dynamics and control of COVID-19 outbreak in China. *Quant. Biol.* 2020; 1–9. DOI: 10.1007/s40484-020-0199-0.
7. Rong X., Yang L., Chu H., Fan M. Effect of delay in diagnosis on transmission of COVID-19. *Math. Biosci. Eng.* 2020; 17(3): 2725–40. DOI: 10.3934/mbe.2020149.
8. Wallinga J., Lipsitch M. How generation intervals shape the relationship between growth rates and reproductive numbers. *Proc. Biol. Sci.* 2007; 274(1609):599–604. DOI: 10.1098/rspb.2006.3754.
9. Блох А.И., Пеньевская Н.А., Рудаков Н.В., Лазарев И.И., Михайлова О.А., Федоров А.С., Пневский Ю.А. Эпидемический потенциал COVID-19 в Омской области на фоне противоэпидемических мероприятий. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 3:36–42. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-36-42.
10. Акимкин В.Г., Кузин С.Н., Семенов Т.А., Плоскирева А.А., Дубодолов Д.В., Тиванова Е.В., Пшеничная Н.Ю., Каленская А.В., Яцышина С.Б., Шипулина О.Ю., Родионова Е.Н., Петрова Н.С., Соловьева И.В., Квасова О.А., Вершинина М.А., Мамосина М.В., Клущкина В.В., Чурилова Н.С., Панасюк Я.В., Власенко Н.В., Остроушко А.А., Балмасов Е.С., Мосунов А.В. Гендерно-возрастная характеристика пациентов с COVID-19 на разных этапах эпидемии в Москве. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 3:27–35. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-27-35.
11. Кутырев В.В., Попова А.Ю., Смоленский В.Ю., Ежлова Е.Б., Демина Ю.В., Сафронов В.А., Карнаухов И.Г., Иванова А.В., Щербакова С.А. Эпидемиологические особенности новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Сообщение 2: особенности течения эпидемического процесса COVID-19 во взаимосвязи с проводимыми противоэпидемическими мероприятиями в мире и Российской Федерации. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 2:6–12. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-6-12.
12. Попова А.Ю., Ежлова Е.Б., Мельникова А.А., Балахонов С.В., Чеснокова М.В., Дубровина В.И., Лялина Л.В., Смирнов В.С., Трухина А.Г., Пережогин А.Н., Пятидесятникова А.Б., Брюхова Д.Д., Киселева Н.О., Гэфан Н.Г., Гаврилова О.В., Гаврилова Т.А., Ломоносова В.И., Тотолан А.А. Опыт исследования серопреvalентности к вирусу SARS-CoV-2 населения Иркутской области в период вспышки COVID-19. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; 3:106–13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-106-113.
13. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: учебник. М.: Финансы и статистика; 2000. 480 с.
14. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: ПетрГУ; 2013. 110 с.

References

1. WHO. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19, 11 March 2020. (Cited 18 Nov 2020). [Internet]. Available from: <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.
2. Kutyrev V.V., Popova A.Yu., Smolensky V.Yu., Ezhlova E.B., Demina Y.V., Safronov V.A., Karnaukhov I.G., Ivanova A.V., Shcherbakova S.A. [Epidemiological features of new coronavirus infection (COVID-19). Communication 1: Modes of implementation of preventive and anti-epidemic measures]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; (1):6–13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-6-13.
3. Adhikari S., Meng S., Wu Y., Mao Y., Ye R., Wang Q., Sun C., Sylvia S., Rozelle S., Raat H., Zhou H. Epidemiology, causes, clinical manifestation and diagnosis, prevention and control of coronavirus disease (COVID-19) during the early outbreak period: a scoping review. *Infect. Dis. Poverty*. 2020; 9(1):29. DOI: 10.1186/s40249-020-00646-x.
4. Updated information. (Cited 16 Aug 2020). [Internet]. Available from: <https://xn--80acesfpebagmfblc0a.xn--p1ai/>
5. Bukin Yu.S., Dzhioev Yu.P., Bondaryuk A.N., Tkachev S.E., Zlobin V.I. [Application of the universal mathematical model of the epidemic process "SRID" for forecasting the development of the COVID-19 epidemic in Moscow]. *PREPRINTS.RU*. 2020. (Cited 16 Aug 2020). [Internet]. Available from: <https://doi.org/10.24108/preprints-3112045>.
6. Zhao S., Chen H. Modeling the epidemic dynamics and control of COVID-19 outbreak in China. *Quant. Biol.* 2020; 1–9. DOI: 10.1007/s40484-020-0199-0.
7. Rong X., Yang L., Chu H., Fan M. Effect of delay in diagnosis on transmission of COVID-19. *Math. Biosci. Eng.* 2020; 17(3): 2725–40. DOI: 10.3934/mbe.2020149.
8. Wallinga J., Lipsitch M. How generation intervals shape the relationship between growth rates and reproductive numbers. *Proc. Biol. Sci.* 2007; 274(1609):599–604. DOI: 10.1098/rspb.2006.3754.
9. Blokh A.I., Pen'evskaya N.A., Rudakov N.V., Lazarev I.I., Mikhailova O.A., Fedorov A.S., Pnevsky Y.A. [Epidemic potential of COVID-19 in Omsk Region during anti-epidemic measures]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; (3):36–42. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-36-42.
10. Akimkin V.G., Kuzin S.N., Semenenko T.A., Ploskireva A.A., Dubodolov D.V., Tivanova E.V., Pshenichnaya N.Yu., Kalenskaya A.V., Yatsyshina S.B., Shpulina O.Yu., Rodionova E.N., Petrova N.S., Solov'eva I.V., Kvasova O.A., Verшинina M.A., Mamoshina M.V., Klushkina V.V., Churilova N.S., Panasyuk Ya.V., Vlasenko N.V., Ostroushko A.A., Balmasov E.S., Mosunov A.V. [Gender-age distribution of patients with COVID-19 at different stages of epidemic in Moscow]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; (3):27–35. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-27-35.
11. Kutyrev V.V., Popova A.Yu., Smolensky V.Yu., Ezhlova E.B., Demina Yu.V., Safronov V.A., Karnaukhov I.G., Ivanova A.V., Shcherbakova S.A. [Epidemiological peculiarities of new coronavirus infection (COVID-19). Communication 2: Peculiarities of epidemic process development in conjunction with performed anti-epidemic measures around the world and in the Russian Federation]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; (2):6–12. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-2-6-12.
12. Popova A. Yu., Ezhlova E.B., Mel'nikova A.A., Balakhonov S.V., Chesnokova M.V., Dubrovina V.I., Lyalina L.V., Smirnov V.S., Trukhina A.G., Perezhogin A.N., Pyatidesyatnikova A.B., Bryukhova D.D., Kiseleva N.O., Gefan N.G., Gavrilo O.V., Gavrilo T.A., Lomonosova V.I., Totolyan A.A. [Experience in studying seroprevalence to SARS-CoV-2 virus in the population of the Irkutsk Region during COVID-19 outbreak]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; (3):106–13. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-3-106-113.
13. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. [General Theory of Statistics: Textbook]. Moscow: Finance and Statistics; 2000. 480 p.
14. Ivanter E.V., Korosov A.V. [Elementary Biometry]. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2013. 110 p.

Authors:

Nikitin A.Ya., Chesnokova M.V., Balakhonov S.V. Irkutsk Research Anti-Plague Institute of Siberia and Far East. 78, Trilissera St., Irkutsk, 664047, Russian Federation. E-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.

Об авторах:

Никитин А.Я., Чеснокова М.В., Балахонов С.В. Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока. Российская Федерация, 664047, Иркутск, ул. Трилиссера, 78. E-mail: adm@chumin.irkutsk.ru.