

УДК 578.835.11:616.9

<https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-1-43-53>

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНТЕРОВИРУСНОЙ (НЕПОЛИО) ИНФЕКЦИИ

НОВОСЁЛОВА М.В.^{1*}, ПОЦЕЛУЕВ Н.Ю.², БРУСИНА Е.Б.¹¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Кемерово, Россия²ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Барнаул, Россия

Резюме

Цель. Изучить возможные модели прогнозирования заболеваемости энтеровирусными (неполио) инфекциями (ЭВНИ) в Кемеровской области – Кузбассе.

Материалы и методы. Выполнено ретроспективное описательное эпидемиологическое исследование заболеваемости ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе в 2006–2021 гг. ($n = 2158$).

Изучение динамики и тенденций развития эпидемического процесса проводилось с помощью автокорреляционного анализа, спектрального анализа Фурье с последующим использованием технологии искусственного интеллекта – нейронных сетей для отображения неизвестных взаимосвязей и составления прогноза. Использован инструмент STATISTICA Automated Neural Networks (SANN), а также программа StatTech v. 3.0.5.

Результаты. В динамике заболеваемости ЭВНИ наблюдались 3 выраженных подъёма: в 2009 ($9,39\%_{0000}$), 2015 ($15,78\%_{0000}$) и в 2019 ($8,41\%_{0000}$) годах, когда показатели заболеваемости превышали среднемианное значение (2006–2021 гг.) в 2,4, 4,1 и 2,2 раза соответственно. Характер динамической кривой заболеваемости ЭВНИ определяли энтеровирусные менингиты. В структуре заболеваемости подавляющее число случаев заболеваний (89,94%) зарегистрировано у детей. Анализ тренда забо-

леваемости с помощью стандартных математических моделей выявил неудовлетворительную аппроксимацию, что не позволяло достоверно описать тренд заболеваемости. Методом отношения фактических данных к 12-месячным цепным средним установлена летне-осенняя сезонность (август–октябрь), которая подтверждена и автокорреляционным анализом. Моделирование проявлений эпидемического процесса ЭВНИ с помощью нейронных сетей позволило составить прогноз заболеваемости с высокой вероятностью до 52 месяцев.

Заключение. Эпидемический процесс ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе характеризуется низкой интенсивностью проявлений, выраженной летне-осенней сезонностью. Технологии математического моделирования эпидемического процесса ЭВНИ позволяют с высокой вероятностью составить прогноз заболеваемости.

Ключевые слова: энтеровирусная (неполио) инфекция, заболеваемость, цикличность, сезонность, математическое моделирование, прогнозирование.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования

Собственные средства.

Для цитирования:

Новосёлова М.В., Поцелуев Н.Ю., Брусиная Е.Б. Современные подходы к созданию прогностических моделей энтеровирусной (неполио) инфекции. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2023;8(1): 43-53 <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-1-43-53>

*Корреспонденцию адресовать:

Новосёлова Маргарита Владимировна, 650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22а, E-mail: nov-rita@mail.ru
© Новосёлова М.В. и др.

ORIGINAL RESEARCH

CURRENT APPROACHES TO MODELING OF EPIDEMIC
PROCESS OF NON-POLIO ENTEROVIRUS INFECTIONSMARGARITA V. NOVOSELOVA^{1*}, NIKOLAY YU. POTSELUEV², ELENA B. BRUSINA¹,¹Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation²Altai State Medical University, Barnaul, Russian Federation

English ►

Abstract

Aim. To study mathematical models for predicting the incidence of non-polio enterovirus infections (NPEVI) in the Kemerovo Region.

Materials and Methods. Here we conducted a retrospective epidemiological study of NPEVI incidence in the Kemerovo region from 2006 to 2021 (n = 2152 cases). Epidemic process was studied using autocorrelation analysis, Fourier analysis, and neural networks using STATISTICA Automated Neural Networks (SANN) tool and StatTech v. 3.0.5.

Results. The incidence rates of NPEVI were 9,39 per 100,000 population (2009), 15,78 per 100,000 population (2015) and 8,41 per 100,000 population (2019), exceeding the average median value (2006-2021) by a factor of 2.4, 4.1, and 2.2, respectively. NPEVI incidence was largely determined by enteroviral meningitis. The majority of cases (89.94%) were registered in children. Notably, standard mathemati-

cal models failed to provide an objective analysis of the incidence trend. Autocorrelation analysis found the summer-autumn seasonality (August-October) by evaluating the ratio of actual data to 12-month rolling averages. Modeling of the epidemic process of NPEVI using neural networks highly likely predicted its incidence up to 52 months.

Conclusion. The epidemic process of NPEVI in Kemerovo region has been characterized by a low intensity and summer-autumn seasonality. Neural networks are suggested as a promising tool to forecast the incidence of NPEVI.

Keywords: non-polio enterovirus infections, incidence, mathematical modeling, cyclicity, seasonality, forecasting.

Conflict of Interest

None declared.

Financing

There was no funding for this project.

For citation:

Margarita V. Novoselova, Nikolay Yu. Potseluev, Elena B. Brusina. Current approaches to modeling of epidemic process of non-polio Enterovirus infections. *Fundamental and Clinical Medicine*. (In Russ.). 2023;8(1): 43-53. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-1-43-53>

***Corresponding author:**

Dr. Margarita V. Novoselova, 22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056, Russian Federation, E-mail: nov-rita@mail.ru

© Margarita V. Novoselova, et al.

Введение

Неполиомиелитные энтеровирусы (НПЭВ) имеют широкое распространение во всем мире, вызывают заболевания у детей и взрослых [1]

Возбудителями НПЭВ служат многочисленные серотипы энтеровирусов, входящие в состав видов А, В, С, D [2]. НПЭВ входят в семейство *Picornaviridae* и представляют собой мелкие (15–30 нм) безоболочечные вирусы с геномом в виде одно цепочечной +РНК.

Клинические признаки ЭВНИ варьибельны и могут проявляться герпетической ангиной, экзантемой полости рта и конечностей, геморрагическим конъюнктивитом, увеитом, энцефалитом, острыми вялыми параличами [3]. Часто НПЭВ вызывают асептический менингит у детей [4]. Разнообразие клинических

форм энтеровирусной (неполио) инфекции (ЭВНИ) свидетельствует о способности энтеровирусов к репродукции в различных органах и тканях человека на основе специфического взаимодействия вирусов с рецепторами чувствительных клеток [5]. Несмотря на клиническую важность энтеровирусных инфекций, мало что известно о механизмах, лежащих в основе их пространственной и временной динамики.

Энтеровирусы легко передаются от человека к человеку аэрогенным и/или фекально-оральным механизмами. Длительное бессимптомное выделение вируса обеспечивает возможность внезапных эпидемических вспышек энтеровирусных инфекций на разных континентах и усложняет их прогнозирование [2].

Вместе с тем, создание адекватной прогностической модели инфекционной заболеваемости необходимо для понимания закономерностей развития эпидемического процесса, выявления предикторов эпидемического неблагополучия, оценки эффективности проводимых мероприятий, совершенствования эпидемиологического надзора, контроля и снижения риска эпидемических вспышек [6].

Цель исследования

Изучить возможные модели прогнозирования заболеваемости энтеровирусными (неполио) инфекциями в Кемеровской области – Кузбассе.

Материалы и методы

Выполнено ретроспективное описательное эпидемиологическое исследование заболеваемости ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе в 2006–2021 гг. Всего изучено 2158 случаев ЭВНИ.

Данные о случаях заболеваний получены из форм федерального государственного статистического наблюдения №1 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях в Кемеровской области Кузбассе» (месячная), №2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях в Кемеровской области – Кузбассе» (месячная и годовая).

Показатели заболеваемости оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка. В связи с отсутствием нормального распределения данные описывались с помощью медианы (Me), нижнего и верхнего квартилей (Q1 – Q3). Изучение динамики и тенденций развития эпидемического процесса (тренда и цикличности) проводилось с помощью автокорреляционного анализа, спектрального анализа Фурье с последующим использованием технологии искусственного интеллекта (нейронных сетей) для отображения неизвестных взаимосвязей и составления прогноза.

Для анализа заболеваемости нами была использована автокорреляционная функция, ха-

рактеризующая последовательность коэффициентов автокорреляции между уровнями первого и последующих порядков и определяющая тесноту линейной связи между последующими и предыдущими членами временного ряда, что позволило выявить компоненты структуры ряда. Так как вариационный ряд заболеваемости представляется сложно аппроксимируемым, для моделирования процессов и построения модели периодических колебаний вокруг общей тенденции, с учётом полученных коэффициентов автокорреляции, были использованы модели типа ARIMA. Данный тип моделей учитывает авторегрессионные процессы и скользящее среднее. Анализ качества моделей проводился с помощью оценки типа распределения остатков на гистограмме и наличия автокорреляции между остатками. Сезонность оценивали методом отношения фактических данных к 12-месячному цепным средним, которую подтверждали и автокорреляционным анализом.

Использовали инструмент STATISTICA Automated Neural Networks (SANN), позволяющий автоматически генерировать, оценивать и экспортировать нейронные сети с использованием многоуровневой архитектуры персептрона в соответствии с входными переменными. Отбор наиболее эффективных нейронных сетей проводился вручную. При использовании этого подхода машинное обучение и перекрёстная проверка выполнялись на общем наборе данных (70:30 обучение: соотношение выборок для перекрёстной проверки).

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 3.0.5 (ООО «Статтех», Россия).

Результаты исследования

Интенсивность проявлений эпидемического процесса ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе была менее выражена, чем в Сибирском федеральном округе и Российской Федерации (таблица 1).

Таблица 1.
Заболеваемость ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе, Сибирском федеральном округе и Российской Федерации (2006–2021 гг.)

Table 1.
Incidence rates of non-polio enterovirus infections in Kemerovo region, Siberian Federal District, and Russian Federation (2006–2021)

Территория Territory	Заболеваемость ЭВНИ (на 100 тыс. чел) Incidence of non-polio enterovirus infections per 100,000 population				
	Me Median	Q ₁ – Q ₃ Quartiles	n	min	max
Кемеровская область – Кузбасс Kemerovo Region	3,88	3,43 – 5,63	16	0,04	15,80
Сибирский федеральный округ Siberian Federal District	5,93	4,65 – 9,95	16	1,12	15,1
Российская Федерация Russian Federation	5,1	3,99 – 9,82	16	0,81	16,4

В динамике наблюдались 3 выраженных подъёма: в 2009 ($9,39^{0}_{0000}$), в 2015 ($15,78^{0}_{0000}$) и в 2019 ($8,41^{0}_{0000}$) годах, когда показатели заболеваемости превышали среднемианное значение (2006–2021 гг.) в 2,4, 4,1 и 2,2 раза соответственно (рисунк 1).

Минимальные значения заболеваемости регистрировались в 2007 г. ($0,04^{0}_{0000}$), в 2011 г.

($3,62^{0}_{000}$), в 2018 г. ($3,3^{0}_{000}$) и в 2020 г. ($0,34^{0}_{000}$).

Подъёмы заболеваемости ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе не совпадают по времени с подъёмами таковой в Российской Федерации до 2019 года.

Характер динамической кривой заболеваемости ЭВНИ определяют энтеровирусные менингиты (рисунк 2).

Рисунок 1.

Динамика заболеваемости ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.).

Figure 1.

Incidence rates of non-polio enterovirus infections (2006–2021) in Kemerovo Region.

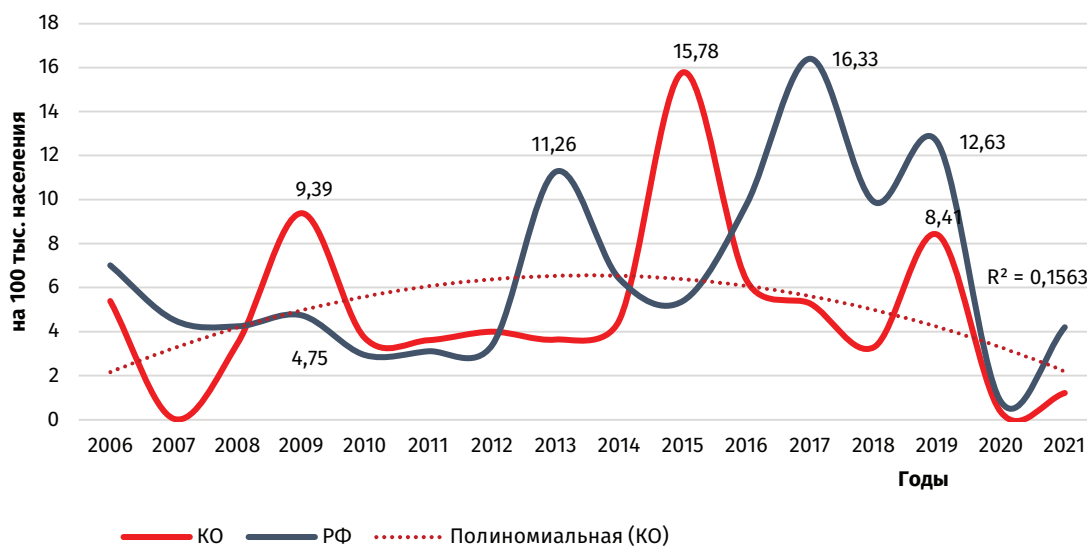
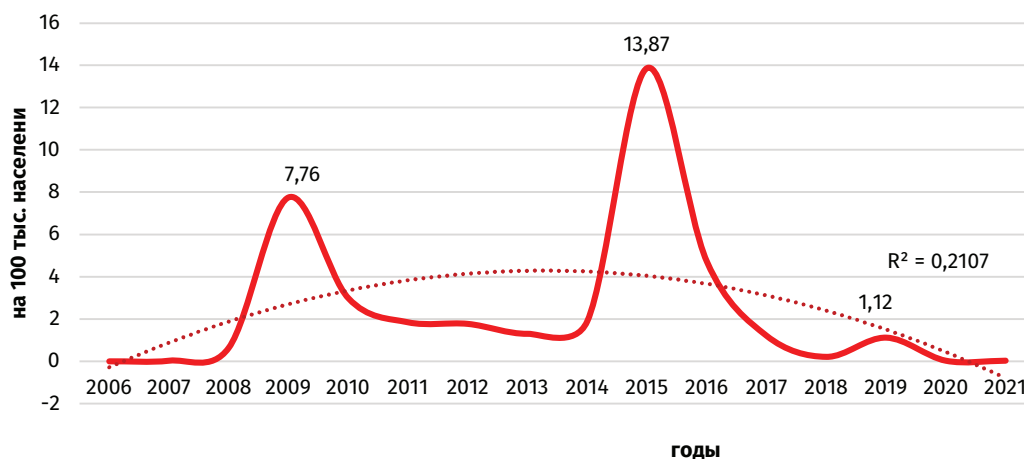


Рисунок 2.

Динамика заболеваемости энтеровирусными менингитами в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.).

Figure 2.

Incidence rates of enteroviral meningitis (2006–2021) in Kemerovo Region.



Анализ тренда заболеваемости с помощью стандартных линейной, логарифмической, степенной, экспоненциальной математических моделей выявил, что все они неудовлетворительно аппроксимируют временной ряд и не позволяют достоверно описать тренд заболеваемости: при оценке корреляционной зависимости с помощью автокорреляции временного ряда

установлено, что все коэффициенты автокорреляции являются недостоверными ($p \geq 0,05$) (таблица 2, рисунок 3).

Методом отношения фактических данных к 12-месячным цепным средним выявлено, что индексы сезонных колебаний максимальны с августа по октябрь и составляют 285,05; 315,85; 260,21 (рисунк 4).

Годы Years	Показатель (уровня ряда) Incidence per 100,000 population	Абсолютный прирост (убыль) Increment or decrement of the incidence per 100,000 population	Показатель наглядности, % Transparency, %	Показатель роста (снижения), % Incidence as compared to the previous year, %	Темп роста (снижения), % Increase or reduction of the incidence as compared to the previous year, %	Значение 1% прироста 1% increment	Метод укрупнения интервала Increasing interval	Метод скользящей средней Rolling average
2006	5.39	-	100.0	-	-	-	2.7	3.4
2007	0.04	-5.4	0.7	0.7	-99.3	0.1		3.0
2008	3.47	3.4	64.3	8675.0	8575.0	0.0	6.4	4.3
2009	9.39	5.9	173.9	270.6	170.6	0.0		5.5
2010	3.76	-5.6	69.6	40.0	-60.0	0.1		5.6
2011	3.63	-0.1	67.2	96.5	-3.5	0.0	3.7	3.8
2012	4.00	0.4	74.1	110.2	10.2	0.0		3.8
2013	3.65	-0.4	67.6	91.3	-8.7	0.0	3.8	4.1
2014	4.54	0.9	84.1	124.4	24.4	0.0		8.0
2015	15.78	11.3	292.6	348.0	248.0	0.0	10.2	8.9
2016	6.34	-9.5	117.4	40.1	-59.9	0.2		9.1
2017	5.29	-1.0	98.0	83.4	-16.6	0.1	5.8	5.0
2018	3.32	-2.0	61.5	62.8	-37.2	0.1		5.7
2019	8.51	5.2	157.6	256.3	156.3	0.0	5.9	4.1
2020	0.34	-8.2	6.3	4.0	-96.0	0.1		3.4
2021	1.22	0.9	22.6	358.8	258.8	0.0	0.8	-0.8

Таблица 2.

Показатели динамического ряда ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.)

Table 2.

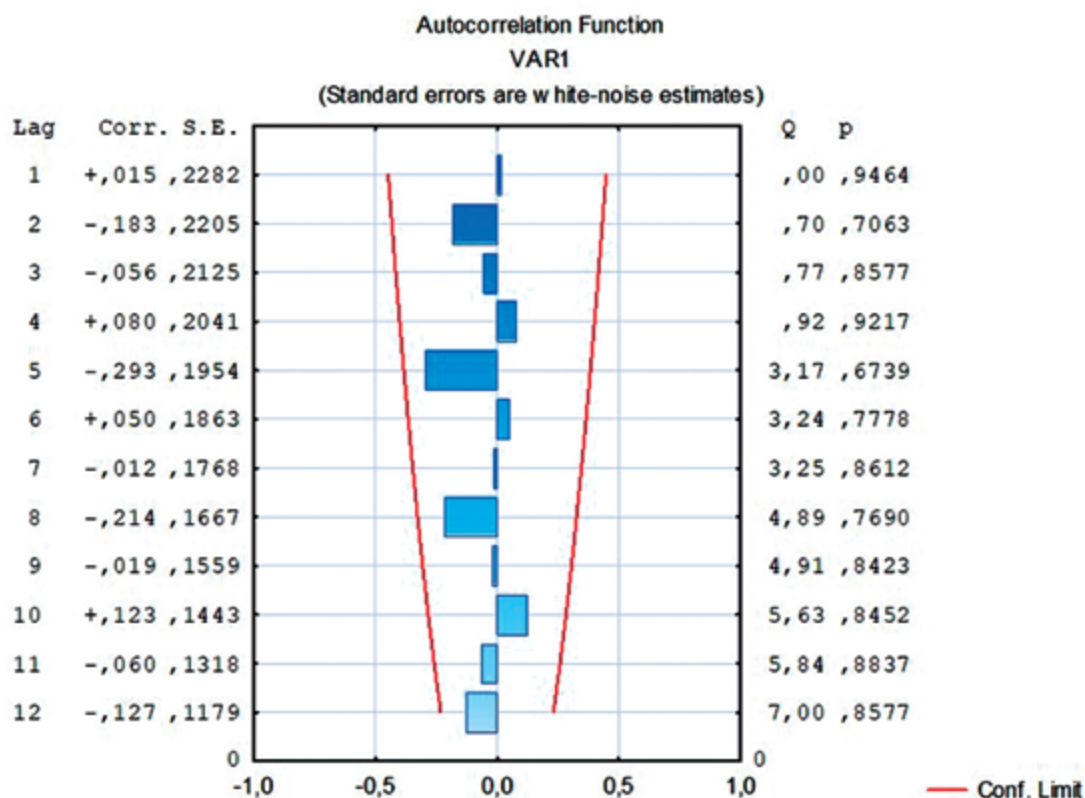
Parameters of incidence of non-polio enterovirus infections in Kemerovo Region (2006–2021)

Рисунок 3.

Автокорреляция временного ряда заболеваемости ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.).

Figure 3.

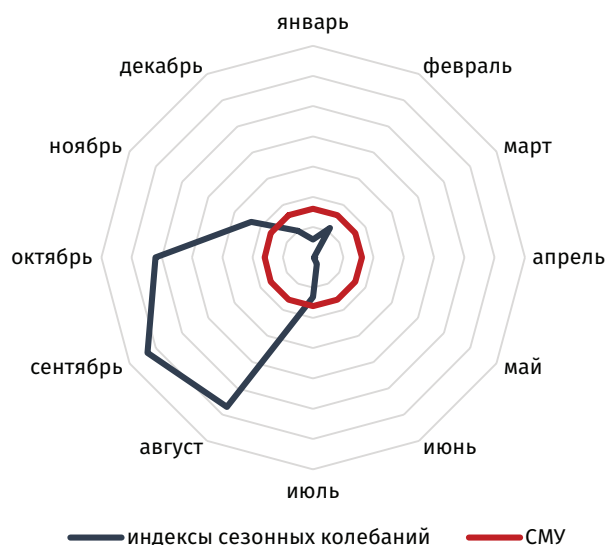
Autocorrelation analysis of the incidence of non-polio enterovirus infections (2006–2021) in Kemerovo Region.

**Рисунок 4.**

Сезонность эпидемического процесса ЭВНИ инфекций в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.).

Figure 4.

Seasonality of non-polio enterovirus infections in Kemerovo Region (2006–2021).



Для оценки сезонной зависимости были использованы модели класса ARIMA. На первом этапе нами был проведён автокорреляционный анализ внутригодовой заболеваемости. Установлено, что для временного лага вплоть до пятнадцати все коэффициенты корреляции значимы (**рисунок 5**). Далее необходимо было установить ARIMA – функция какого вида лучше всего описывает временной ряд.

Уже в модели 1-го порядка выявлена высоко значимая автокорреляция. Однако модель авторегрессии 2-го порядка наиболее адекватно описывает вариационный ряд (**таблица 3, рисунок 6**) и имеет вид

$$Y = 0,396 + 0,967yt - 1,393yt - 2.$$

Сдвиг временного ряда на один, три или более показывал худшие результаты моделирования.

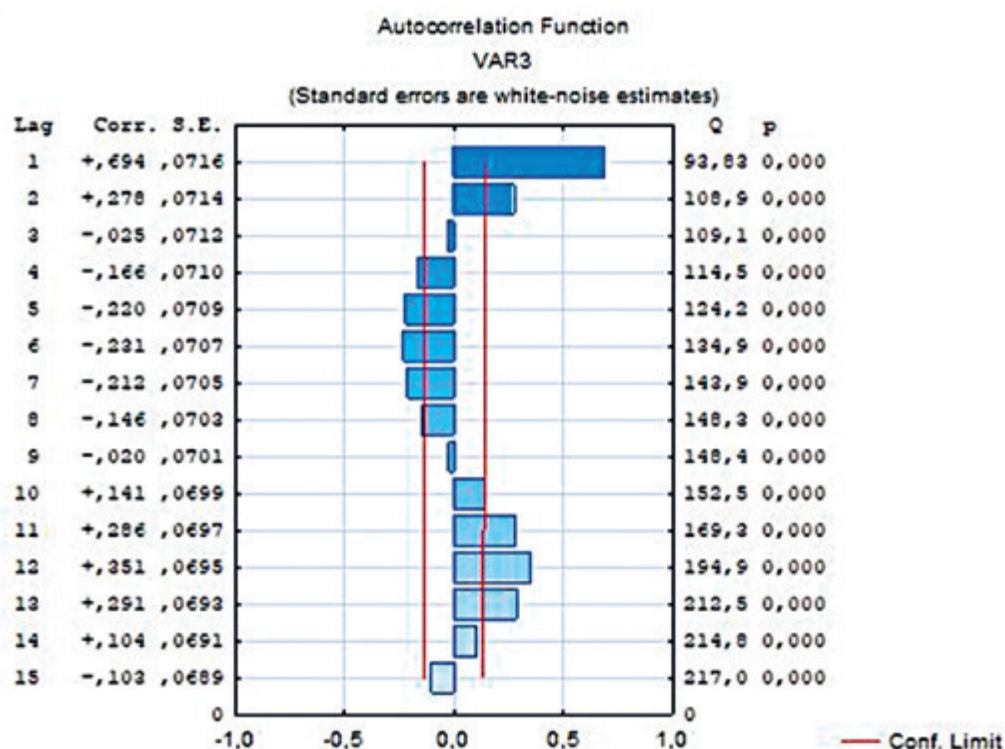


Рисунок 5.
Автокорреляционный анализ сезонности эпидемического процесса ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.).

Figure 5.
Autocorrelation analysis of seasonality of non-polio enterovirus infections in Kemerovo Region (2006–2021).

Input: VREMR (Spreadsheet9 in Workbook111.stw)						
Transformations: none						
Model:(2,0,0) MS Residual= ,27599						
Paramet.	Param.	Asympt. Std.Err.	Asympt. t(189)	p	Lower 95% Conf	Upper 95% Conf
Constant	0,396000	0,088535	4,47280	0,000013	0,221356	0,570643
p(1)	0,967440	0,067112	14,41525	0,000000	0,835055	1,099826
p(2)	-0,393286	0,067099	-5,86128	0,000000	-0,525645	-0,260927

Таблица 3.
Параметры авторегрессии 2-го порядка

Table 3.
Second-order autoregressive model

Спектральный анализ Фурье помесечной заболеваемости ЭВНИ выявил выраженную 12-месячную периодичность (**рисунок 7**).

Моделирование нейронных сетей позволяет прогнозировать эпидемический процесс с высокой вероятностью до 52 месяцев (**рисунок 8**).

В структуре заболеваемости подавляющее число случаев заболеваний (89,94%) зарегистрировано у детей (**рисунок 9**).

Обсуждение

Анализ уровней и динамики развития эпидемического процесса лежит в основе прогнозирования. Кемеровская область – Кузбасс относится к территориям с низкой интенсивностью проявлений эпидемического процесса ЭВНИ [7]. Неравномерность уровней заболеваемости ЭВНИ в зависимости от территории отмечена и другими исследователями [8]. Фельдблюм И.В. и соавт. указывают на необходимость дифференцированных технологий эпидемиологиче-

ской диагностики и системы профилактики на территориях с разной интенсивностью эпидемического процесса [9]. Характер динамической кривой ЭВНИ на территории наблюдения сложен и не подчиняется описанию стандартными математическими моделями, что требует применения современных возможностей математического моделирования [10]. Кроме того, в настоящее время преобладает регистрация генерализованных форм и вспышечной заболеваемости, часто в организованных коллективах, другие формы инфекции остаются не диагностированными и не учтёнными. Для уточнения закономерностей эпидемического процесса ЭВНИ необходим мониторинг распространения возбудителя в популяции в различные периоды года среди разных групп населения.

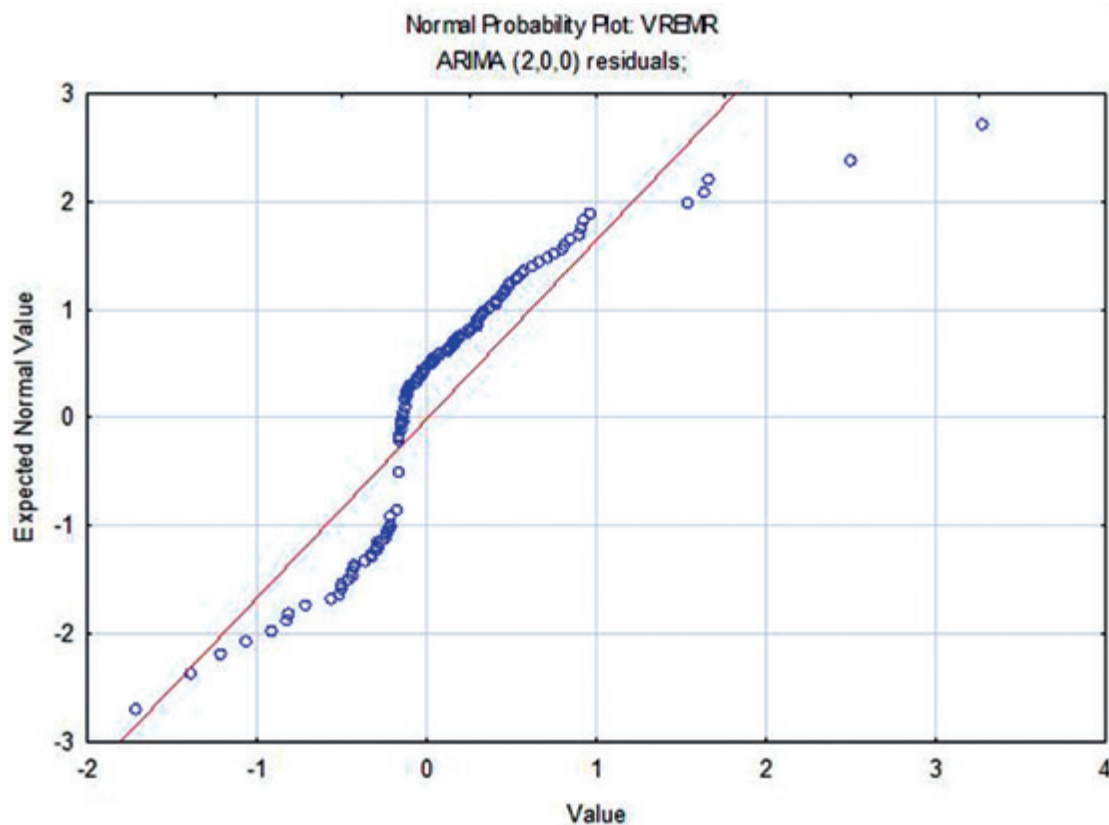
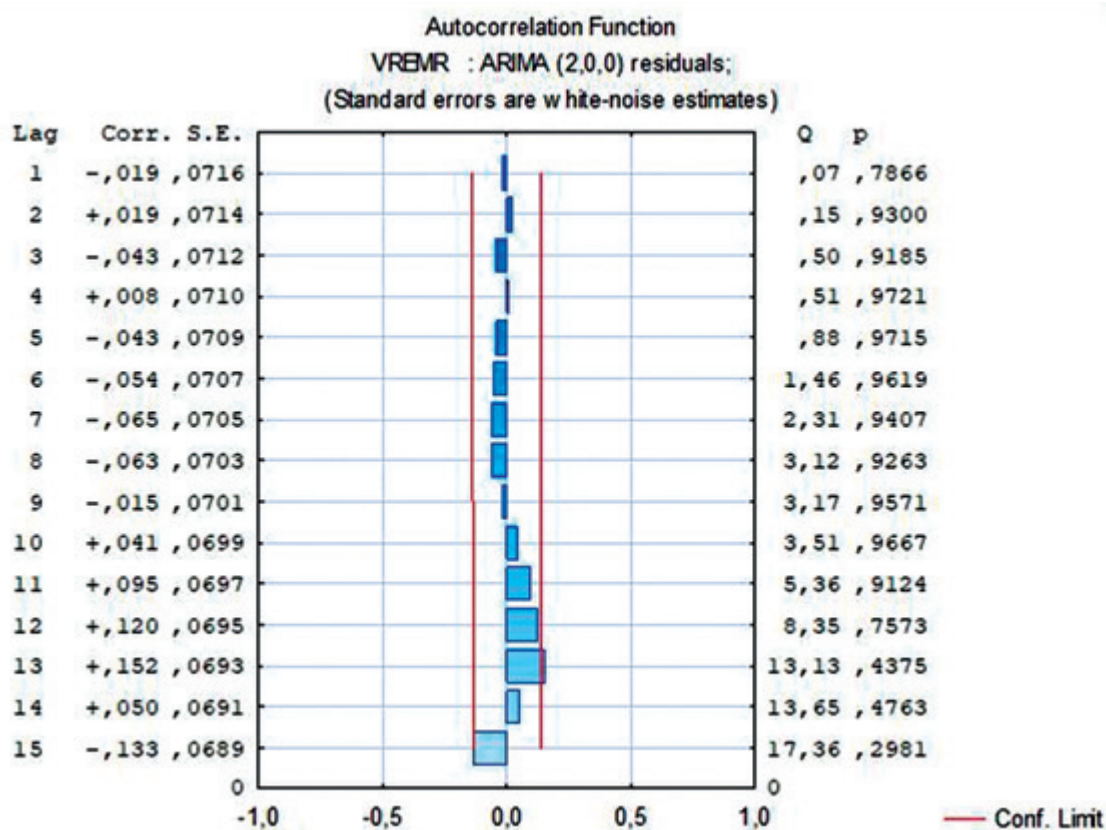
Нами выявлена летне-осенняя сезонность эпидемического процесса, что касается цикличности, то для её установления требуются более длительные наблюдения.

Рисунок 6.

Автокоррелограмма остатков и график их распределения (модель автокорреляционного анализа сезонности эпидемического процесса ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.))

Figure 6.

Autocorrelation analysis of residuals and plot of their distribution as related to the seasonality of non-polio enterovirus infections in Kemerovo Region (2006–2021)



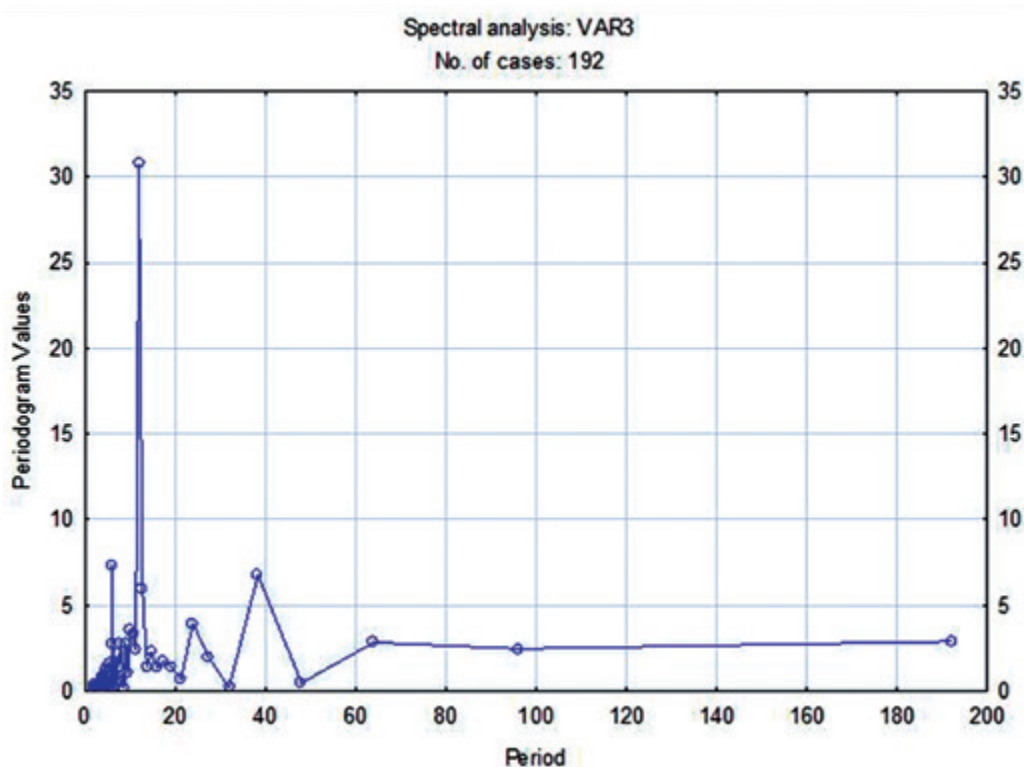


Рисунок 7. Спектральный анализ периодичности эпидемического процесса ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг., «period» – месяц)

Figure 7. Fourier analysis of periodicity of non-polio enterovirus infections in Kemerovo Region (2006–2021, each step is equal to 1 month)

Таблица 4. Моделирование нейронных сетей эпидемического процесса ЭВНИ инфекций в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг.)

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error	Test error
1	MLP 12-5-1	0,778734	0,890307		0,145675	0,068446
2	MLP 12-7-1	0,758311	0,895710		0,157110	0,069371
3	MLP 12-2-1	0,785453	0,892322		0,141672	0,065778
4	MLP 12-4-1	0,770698	0,887293		0,150286	0,076877
5	MLP 12-5-1	0,770834	0,887998		0,150203	0,068571

Table 4. Neural network forecasting of non-polio enterovirus infections (including their seasonality and periodicity) in Kemerovo Region (2006–2021)

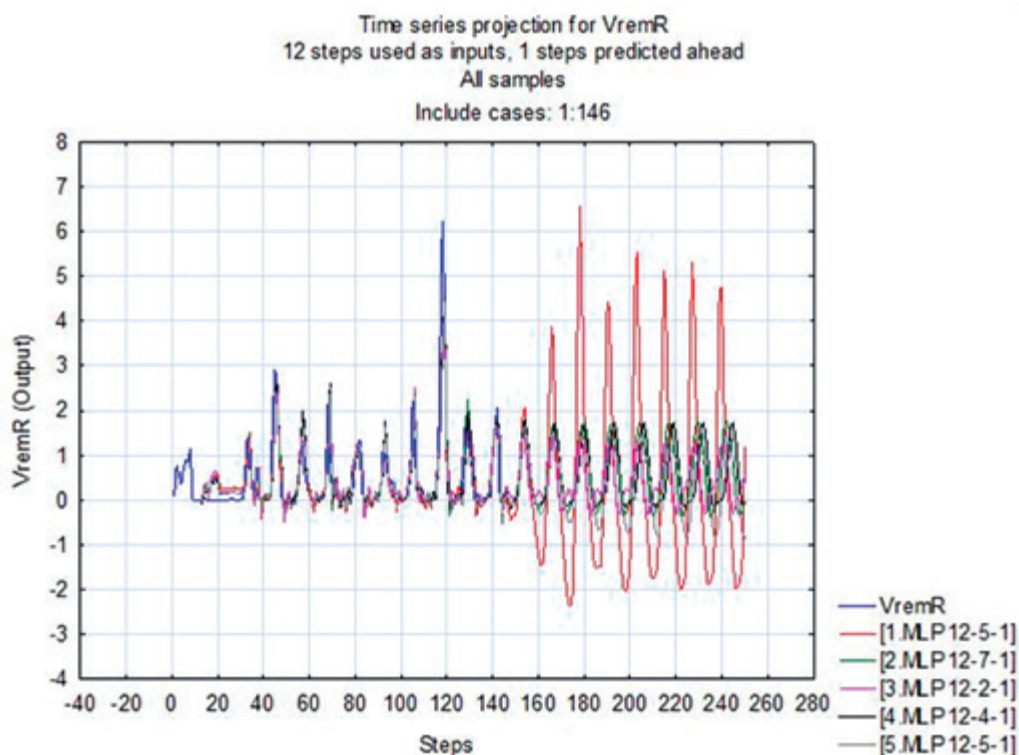
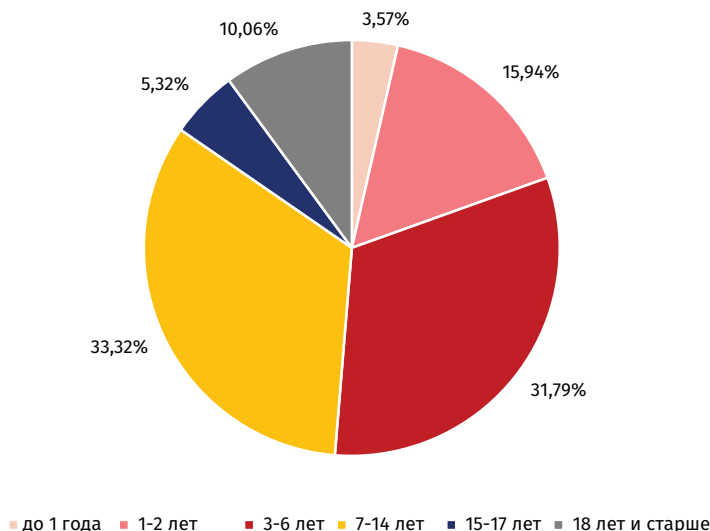


Рисунок 8. Моделирование нейронных сетей эпидемического процесса ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе (2006–2021 гг. «steps» – месяц).

Figure 8. Neural network modeling of periodicity of non-polio enterovirus infections in Kemerovo Region (2006–2021, each step is equal to 1 month).

Рисунок 9.
Возрастная структура
заболеваемости
ЭВНИ в Кемеровской
области – Кузбассе
(2006–2021 гг.).

Figure 9.
Age-specific incidence
of non-polio
enterovirus infections
(2006–2021) in
Kemerovo Region.



Исследователи считают [11], что для прогнозирования основным предиктором интенсивности передачи энтеровируса является температура точки росы: интенсивность передачи энтеровируса увеличивалась с увеличением этого параметра, а репликация вируса была максимальной при значениях точки росы от 0 °C до 12 °C [12]. Вероятно, этот параметр может быть включен в систему мониторинга за ЭВНИ. Вместе с тем авторы считают, что причины сезонных колебаний заболеваемости ЭВНИ остаются открытым вопросом, в кото-

ром доминируют исследования гриппа и других вирусов с зимней сезонностью, таких как респираторно-синцитиальный вирус [13].

Заключение

Эпидемический процесс ЭВНИ в Кемеровской области – Кузбассе характеризуется низкой интенсивностью проявлений, выраженной летне-осенней сезонностью. Технологии математического моделирования эпидемического процесса ЭВНИ позволяют с высокой вероятностью составить прогноз заболеваемости.

Литература:

- Brouwer L, Moreni G, Wolthers KC, Pajkrt D. World-Wide Prevalence and Genotype Distribution of Enteroviruses. *Viruses*. 2021;13(3):434. <https://doi.org/10.3390/v13030434>
- Nikonov OS, Chernykh ES, Garber MB, Nikonova EYu. Enteroviruses: Classification, Diseases They Cause, and Approaches to Development of Antiviral Drugs. *Biochemistry (Moscow)*. 2017;82(13):1615-1631. <https://doi.org/10.1134/S0006297917130041>
- Романенкова Н.И., Бичурина М.А., Голицына Л.Н., Розаева Н.Р., Канаева О.И., Черкасская И.В., Кириллова Л.П., Батаева А.Ю., Барышникова А.С., Новикова Н.А. Неполиомиелитные энтеровирусы, которые вызвали рост энтеровирусной инфекции на некоторых территориях России в 2016 году. *Журнал инфектологии*. 2017;9(3):98-108. <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2017-9-3-98-108>
- Fischer TK, Simmonds P, Harvala H. The importance of enterovirus surveillance in a post-polio world. *Lancet Infect Dis*. 2022;22(1):e35-e40. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30852-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30852-5)
- Wang J, Hu Y, Zheng M. Enterovirus A71 antivirals: Past, present, and future. *Acta Pharm Sin B*. 2022;12(4):1542-1566. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2021.08.017>
- Yadav SK, Akhter Y. Statistical Modeling for the Prediction of Infectious Disease Dissemination With Special Reference to COVID-19 Spread. *Front Public Health*. 2021;9:645405. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.645405/full>
- Чалапа В.И., Резайкин А.В., Усольцева П.С., Алимов А.В. Энтеровирусная инфекция в Уральском федеральном округе и Западной Сибири: результаты эпидемиологического наблюдения с применением молекулярно-генетических методов. *Медицинский алфавит*. 2020;(18):38-43. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-18-38-43>
- Голицына Л.Н., Сапегва Е.Ю., Пономарева Н.В., Бутакова Л.В., Зверев В.В., Леонов А.В., Троценко О.Е., Новикова Н.А. Эпидемиологическая ситуация по энтеровирусной инфекции в РФ в 2020 году: заболеваемость, результаты лабораторной диагностики, прогноз на 2021 г. *Заболеваемость, этиологическая структура и вопросы профилактики энтеровирусной (неполио) инфекции*. Информационный бюллетень Референс-центра по мониторингу энтеровирусных инфекций. Нижний Новгород; 2021:3-9.
- Фельдблюм И.В., Акимкин В.Г., Алимов А.В., Питерский М.В., Захарова Ю.А., Михайленко Ю.А., Маркович Н.И., Захаров А.А. Новые подходы к оценке и прогнозу заболеваемости энтеровирусной (неполио) инфекцией в Российской Федерации с использованием математических моделей. *Анализ риска здоровью*. 2021;(3):108-117. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.10>
- Суханова Н.В. Разработка нейросетевой модели для мониторинга заболеваемости и прогнозирования эффективности противоэпидемических мер. *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2020;(7):42-50. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-10-42-50>
- Сергеев В.И., Тряслобова М.А. Летняя сезонность заболеваемости энтеровирусной инфекцией населения разных климатических поясов и ее причины. *Медицинский алфавит*. 2019;3(32(407):29-31. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-32\(407\)-29-31](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-32(407)-29-31)
- Pons-Salort M, Oberste MS, Pallansch MA, Abedi GR, Takahashi S, Grenfell BT, Grassly NC. The seasonality of nonpolio enteroviruses in the United States: Patterns and drivers. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018;115(12):3078-3083. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721159115>
- Pitzer VE, Vibud S, Alonso WJ, Wilcox T, Metcalf KJ, Steiner KA, Haynes AK, Grenfell BT. Environmental factors in the spatiotemporal dynamics of respiratory syncytial virus in the United States. *PLoS Pathog*. 2015;11(1):e1004591. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004591>

References:

1. Brouwer L, Moreni G, Wolthers KC, Pakrt D. World-Wide Prevalence and Genotype Distribution of Enteroviruses. *Viruses*. 2021;13(3):434. <https://doi.org/10.3390/v13030434>
2. Nikonov OS, Chernykh ES, Garber MB, Nikonova EYu. Enteroviruses: Classification, Diseases They Cause, and Approaches to Development of Antiviral Drugs. *Biochemistry (Moscow)*. 2017;82(13):1615-1631. <https://doi.org/10.1134/S0006297917130041>
3. Romanenkova NI, Bichurina MA, Golitsyna LN, Rozaeva NR, Kanaeva OI, Cherkasskaya IV, Kirillova LP, Bataeva AY, Baryshnikova AS, Novikova NA. Nonpolio Enteroviruses which caused the rise of enterovirus infection on some territories of Russia 2016. *Journal Infektologii*. 2017;9(3):98-108. (In Russ). <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2017-9-3-98-108>
4. Fischer TK, Simmonds P, Harvala H. The importance of enterovirus surveillance in a post-polio world. *Lancet Infect Dis*. 2022;22(1):e35-e40. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30852-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30852-5)
5. Wang J, Hu Y, Zheng M. Enterovirus A71 antivirals: Past, present, and future. *Acta Pharm Sin B*. 2022;12(4):1542-1566. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2021.08.017>
6. Yadav SK, Akhter Y. Statistical Modeling for the Prediction of Infectious Disease Dissemination With Special Reference to COVID-19 Spread. *Front Public Health*. 2021;9:645405. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.645405/full>
7. Chalapa VI, Rezaykin AV, Usoltseva PS, Alimov AV. Enteroviral infection in Ural Federal District and West Siberia: results of epidemiologic observation involving molecular-genetic methods. *Medical alphabet*. 2020;(18):38-43. (In Russ). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-18-38-43>
8. Golitsyna LN, Sapaga EYu, Ponomareva NV, Butakova LV, Zverev VV, Leonov AV, Trotsenko OE, Novikova NA. Epidemiologicheskaya situatsiya po enterovirusnoy infektsii v RF v 2020 godu: zaboлеваemost', rezul'taty laboratornoy diagnostiki, prognoz na 2021 g. *Zabolevaemost', etiologicheskaya struktura i voprosy profilaktiki enterovirusnoy (nepolio) infektsii*. Informatsionnyy byulleten' Referens-tsentra po monitoringu enterovirusnykh infektsiy. Nizhniy Novgorod; 2021: 3-9. (In Russ).
9. Feldblum IV, Akimkin VG, Alimov AV, Pterskiy MV, Zakharova YuA, Mikhaylenko YuA, Markovich NI, Zakharov AA. New approaches to assessing and forecasting morbidity with enterovirus (non-polio) infection in the Russian Federation using mathematical models. *Health Risk Analysis*. 2021;(3):108-117. (In Russ). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.10>
10. Sukhanova NV. Neural network model development for disease rate monitoring and prediction of antiepidemic measure effectiveness. *Bulletin of the Bryansk State Technical University*. 2020;(7):42-50. (In Russ). <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-10-42-50>
11. Sergevin VI, Tryasolobova MA. Summer seasonality of incidence of enterovirus infection in population of different climatic zones and its causes. *Medical Alphabet*. 2019;3(32(407)):29-31. (In Russ). [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-32\(407\)-29-31](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-3-32(407)-29-31)
12. Pons-Salort M, Oberste MS, Pallansch MA, Abedi GR, Takahashi S, Grenfell BT, Grassly NC. The seasonality of nonpolio enteroviruses in the United States: Patterns and drivers. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018;115(12):3078-3083. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721159115>
13. Pitzer VE, Vibud S, Alonso WJ, Wilcox T, Metcalf KJ, Steiner KA, Haynes AK, Grenfell BT. Environmental factors in the spatiotemporal dynamics of respiratory syncytial virus in the United States. *PLoS Pathog*. 2015;11(1):e1004591. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004591>

Сведения об авторах

Новосёлова Маргарита Владимировна, аспирант кафедры эпидемиологии, инфекционных болезней и дерматовенерологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, д. 22а)
Вклад в статью: сбор и статистическая обработка материала, написание статьи.
ORCID: 0000-0003-1635-5458

Поцелуев Николай Юрьевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены и основ экологии человека ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 40)
Вклад в статью: статистическая обработка материала, написание статьи.
ORCID: 0000-0002-9733-5039

Брусина Елена Борисовна, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой эпидемиологии, инфекционных болезней и дерматовенерологии ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, д. 22а)
Вклад в статью: разработка концепции и дизайна исследования, координация выполнения работы, анализ результатов.
ORCID: 0000-0002-8616-3227

Статья поступила: 11.01.2023 г.

Принята в печать: 28.02.2023 г.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

Authors

Dr. Margarita V. Novoselova, MD, PhD Student, Department of Epidemiology, Infectious Diseases, Dermatology and Venereology, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056, Russian Federation)
Contribution: collected the data; performed the data analysis; wrote manuscript.
ORCID: 0000-0003-1635-5458

Dr. Nikolay Y. Potseluev, MD, PhD, Associate Professor, Department of Hygiene and Human Ecology, Altai State Medical University (40, Lenina Prospekt, Barnaul, Altai Territory, 656038, Russian Federation)
Contribution: performed the data analysis; wrote manuscript.
ORCID: 0000-0002-9733-5039

Prof. Elena B. Brusina, MD, DSc, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head of the Department of Epidemiology, Infectious Diseases, Dermatology and Venereology, Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056, Russian Federation)
Contribution: conceived and designed the study; performed the data analysis.
ORCID: 0000-0002-8616-3227

Received: 11.01.2023 г.

Accepted: 28.02.2023 г.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.