

<https://doi.org/10.31631/2073-3046-2026-25-2-49-59>

## Прогностические возможности метода логистической регрессии для персонализированного скрининга модуса отношения к вакцинопрофилактике

А. С. Нечитайло\*, А. А. Косова, Е. С. Башкирова, П. Л. Шулев

ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Екатеринбург

### Резюме

**Актуальность.** Вакцинация является эффективным средством профилактики многих инфекционных и неинфекционных заболеваний, однако недоверие к вакцинопрофилактике стало глобальной проблемой здравоохранения. Для повышения приверженности населения к вакцинации необходимы персонализированные инструменты оценки отношения к этому профилактическому мероприятию. **Цель исследования** – разработать бинарную логистическую регрессионную модель для персонализированной оценки модуса отношения индивида к вакцинопрофилактике. **Материалы и методы.** Результаты анонимного анкетирования 3082 респондентов (2087 медицинских и 995 немедицинских студентов). Данные разделены на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) выборки. Построена бинарная логистическая регрессионная модель на основе ответов на 7 вопросов анкеты. Оценка модели выполнена с использованием ROC-анализа, чувствительности, специфичности, точности и F1-меры.

**Результаты.** Разработанная модель статистически значима ( $p < 0,001$ ) и объясняет 50,1 % дисперсии отношения к вакцинопрофилактике. Значение площади под ROC-кривой (AUC) составило 0,888, что свидетельствует о высокой дискриминативной способности модели. На тестовой выборке чувствительность составила 82,3 %, специфичность – 86,7 %, точность – 83,3 %.

**Выводы.** Разработанный бинарный классификатор обладает высокими прогностическими возможностями для персонализированной оценки модуса отношения индивида к вакцинопрофилактике. Его применение позволит медицинским работникам эффективно идентифицировать лиц с неопределенным или отрицательным отношением к вакцинации и проводить целенаправленные разъяснительные мероприятия, способствующие повышению приверженности вакцинопрофилактике. Для повышения универсальности и точности модели необходимо ее дообучение с учетом представителей различных социальных групп.

**Ключевые слова:** отношение к вакцинации, приверженность вакцинации, бинарный классификатор, бинарная логистическая регрессионная модель

Конфликт интересов не заявлен.

**Для цитирования:** Нечитайло А. С., Косова А. А., Башкирова Е. С. и др. Прогностические возможности метода логистической регрессии для персонализированного скрининга модуса отношения к вакцинопрофилактике. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2026;25(2):49–59. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2026-26-2-49-59>

### Predictive Capabilities of the Logistic Regression Method for Personalized Screening of Attitudes towards Vaccination

AS Nechitaylo\*\*, AA Kosova, ES Bashkirova, PL Shulev

Ural State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Ekaterinburg

#### Abstract

**Relevance:** Vaccination is an effective method of prevention for many infectious and non-infectious diseases. However, distrust in immunization has become a global public health challenge. Personalized tools for assessing attitudes toward vaccination are necessary to improve population adherence to vaccination programs. **Aims.** To develop a binary logistic regression model for personalized assessment of an individual's attitude toward immunization. **Materials and methods.** The study utilized results from an anonymous survey of 3,082 respondents (2,087 medical students and 995 non-medical students). The data were split into training (80 %) and testing (20 %) datasets. A binary logistic regression model was constructed based on responses to seven survey questions. Model evaluation was performed using ROC analysis, sensitivity, specificity, accuracy, and the F1-score. **Results.** The developed model is statistically significant ( $p < 0.001$ ) and explains 50.1 % of the variance in attitudes toward vaccination. The area under the ROC curve (AUC) was 0.888, indicating high discriminative ability. On the test dataset, the model demonstrated

\* Для переписки: Нечитайло Александр Сергеевич, ассистент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпид-службы, Уральский государственный медицинский университет, 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3. +7 (343) 214-86-90, alexandr.ne4itaylo@gmail.com. ©Нечитайло А. С. и др.

\*\* For correspondence: Alexandr S. Nechitaylo, Assistant, Department of Epidemiology, Social Hygiene and Organization of State Sanitary and Epidemiological Service, Ural State Medical University, 3 Repina st, Ekaterinburg, 620028, Russia. +7 (343) 214-86-90, alexandr.ne4itaylo@gmail.com. ©Nechitaylo AS, et al.

a sensitivity of 82.3 %, specificity of 86.7 %, and accuracy of 83.3 %. **Conclusion.** The developed binary classifier exhibits high predictive capability for personalized assessment of an individual's attitude toward immunization. Its application can enable healthcare professionals to effectively identify individuals with uncertain or negative attitudes toward vaccination and conduct targeted educational interventions to improve vaccination adherence. To enhance the model's universality and accuracy, further training incorporating representatives of various social groups is required.

**Keywords:** vaccination attitude, vaccination adherence, binary classifier, binary logistic regression model

No conflict of interest to declare.

**For citation:** Nechitaylo AS, Kosova AA, Bashkirova ES et al. Predictive capabilities of the logistic regression method for personalized screening of attitudes towards vaccination. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2026;25(2):49-59 (In Russ.). <https://doi:10.31631/2073-3046-2026-25-2-49-59>.

## Введение

Вакцинация является эффективным элементом профилактики большого количества инфекционных и неинфекционных заболеваний, в том числе обеспечивающим национальную безопасность, так как позволяет сохранять и развивать человеческий капитал страны [1–3].

Согласно данным ВОЗ, во многих государствах активная реализация национальных программ иммунизации привела к значительному снижению заболеваемости населения по целому ряду нозологий [4–9].

Тем не менее в 2019 г. ВОЗ включила недоверие населения к вакцинопрофилактике в число глобальных проблем здравоохранения [10]. Инфекция, возникшая на фоне пандемии COVID-19, наглядно продемонстрировала ключевую роль модуса приверженности вакцинации различных социальных групп населения в достижении эпидемиологического благополучия. Именно в 2020 г. ВОЗ разработала глобальную стратегию иммунизации на период до 2030 г., основным принципом которой является тезис – «никого не оставить без внимания», что подразумевает обеспечение доступности вакцинации для каждого человека «в любой ситуации и на любом этапе жизни» [11]. В Российской Федерации этот постулат также положен в основу стратегии развития иммунопрофилактики инфекционных болезней на период до 2035 г. [12].

Следует отметить, что формирование доверия к вакцинации может происходить как на коллективном, так и на индивидуальном уровне. В настоящее время выявлен широкий спектр факторов, влияющих на отношение к данному способу профилактики у различных групп населения, при этом недоверие к прививкам носит убиквитарный характер. Тем не менее, по данным ряда авторов выявлены региональные различия, например, в России уровень скептицизма в отношении вакцинации детей в 3 раза превышает среднемировой показатель (17,1 % и 5,8 % соответственно) [13]. Отмечено, что модус отношения социума к иммунопрофилактике в динамике меняется и на него возможно оказывать влияние различными методами [14].

Традиционно в Российской Федерации в рамках эпидемиологического надзора активно проводится коммуникативный мониторинг отношения к иммунизации различных групп населения [15]. Также существует детально проработанная тактика формирования приверженности вакцинопрофилактике, в первую очередь для педиатрической практики. В то же время отсутствует общепринятый валидированный инструмент для персонализированной скрининговой оценки статуса доверия к данному профилактическому мероприятию, который мог бы стать основой для эффективного индивидуального информирования в рамках реализации так называемых риск-коммуникаций «пациент – врач».

**Цель** – создать бинарную логистическую регрессионную модель для персонализированной оценки модуса отношения к вакцинопрофилактике.

## Материалы и методы

Поиск оригинальных публикаций, посвященных изучению факторов, влияющих на отношение различных групп населения к вакцинопрофилактике, осуществлялся в базе данных PubMed без временных ограничений по следующему поисковому запросу: («vaccine acceptance» or «vaccine hesitancy» or «vaccine refusal» or «vaccine attitudes» or «vaccine beliefs» or «vaccine perception») and («survey» or «public opinion» or «community attitudes» or «parental attitudes» or «healthcare worker attitudes» or «vaccine confidence»). Из поисковой выдачи было извлечено 3715 релевантных публикаций. Найденные статьи сохранялись с помощью библиографического менеджера Zotero 5.0.95.1. Для изучения публикационной активности и визуализации ключевых слов использовалась система глубокого анализа текстов (text mining) VOSviewer 1.6.16 [16].

Статистическое моделирование проводилось на основе данных, полученных в ходе кросс-секционного исследования. Для создания и валидации прогностической модели, позволяющей определить модус отношения индивида к вакцинопрофилактике, использован метод логистической регрессии. Базой данных для построения итогового уравнения послужили результаты анонимного анкетирования 3082 респондентов (72,8 % женщин; 27,2 % мужчин) с помощью опросного листа,

разработанного авторским коллективом кафедры эпидемиологии и доказательной медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России. Все опрошенные являлись студентами, ординаторами и аспирантами, обучающимися в двух крупных университетах медицинского и немедицинского профиля (2 087 и 995 человек соответственно) [17]. Каждый участник исследования ответил на 20 вопросов, из которых 4 составляли паспортную часть, 3 – были направлены на выяснение отношения к вакцинопрофилактике, 6 – собирали информацию о прививочном анамнезе респондента и прививочном анамнезе его детей (в случае их наличия), 7 – позволяли оценить степень информированности о вакцинации.

Имеющиеся данные были разделены на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) выборки с использованием модуля «Data sampler», в Orange v. 3.36.1 [18]. В тренировочный пул вошли результаты опроса 2 466 респондентов. Построение модели и статистическая обработка материалов проводились при помощи программного средства StatTech v. 4.0.7. Производительность полученной модели оценивалась на тестовой выборке из 616 анкет с использованием Google Colab (Python v. 3.10.12; библиотеки: NumPy v. 1.25.2, Matplotlib v. 3.7.1, pandas v. 1.5.3, plotly v. 5.15.0). Общая схема процесса обработки данных, построения и валидации прогностической модели представлена на рисунке (рис. 1).

Связь предикторов модели с вероятностью выявления положительного мнения о вакцинопрофилактике оценивалась путем расчета скорректированного

отношения шансов (влияние считалось статистически значимым при  $p < 0,05$ ). Оценка качества моделирования проводилась путем расчета критерия детерминации Найджелкерка, чувствительности, специфичности, точности, показателя F1 и проведения анализа ROC-кривых [19–21]. Для определения точки отсечения (cut-off) использовалось максимальное значение индекса Юдена [22–25]. Для оценки качества работы полученной модели и визуализации соотношения корректных и неверных прогнозов использована матрица ошибок.

**Результаты**

Факторы, влияющие на отношение конкретного человека к вакцинации, изучаются уже в течение длительного времени. За последние 40 лет только в базе данных PubMed индексировано 3569 оригинальных исследований, посвященных данной тематике. Следует отметить, что в многолетней динамике публикационная активность в этом направлении в последние годы значительно выросла (рис. 2).

Анализ найденных текстов показал, что пик научного интереса к данной проблематике, начиная с 2021 г., обусловлен в первую очередь появлением вакцин нового типа, направленных на профилактику COVID-19 (рис. 3).

При ответе на базовый вопрос для данного исследования: «Как Вы относитесь к вакцинопрофилактике?» 3082 респондентам предлагалось три варианта ответа: «положительно», «отрицательно» и «затрудняюсь ответить». По результатам обработки анкет подавляющее большинство опрошенных (2372 чел.) позитивно отнеслись к вакцинопрофилактике,

**Рисунок 1. Алгоритм разработки бинарного классификатора**  
**Figure 1. Algorithm for binary classifier development**

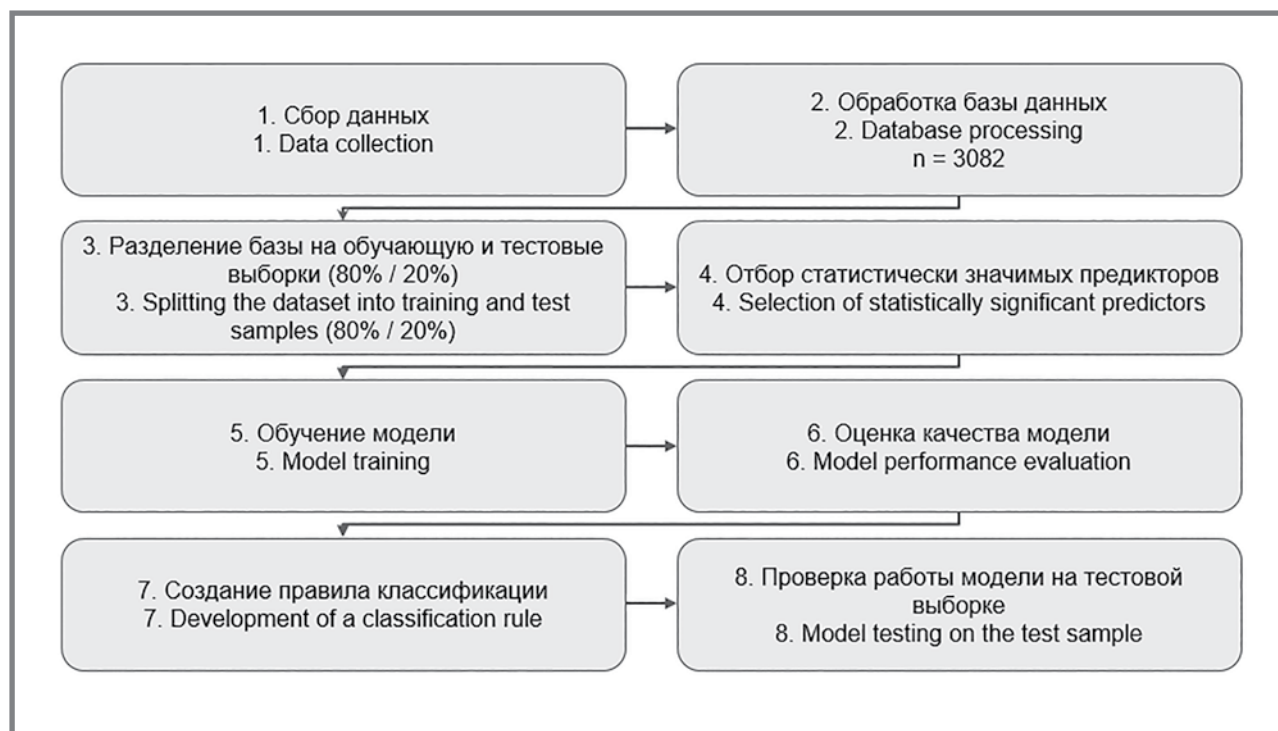
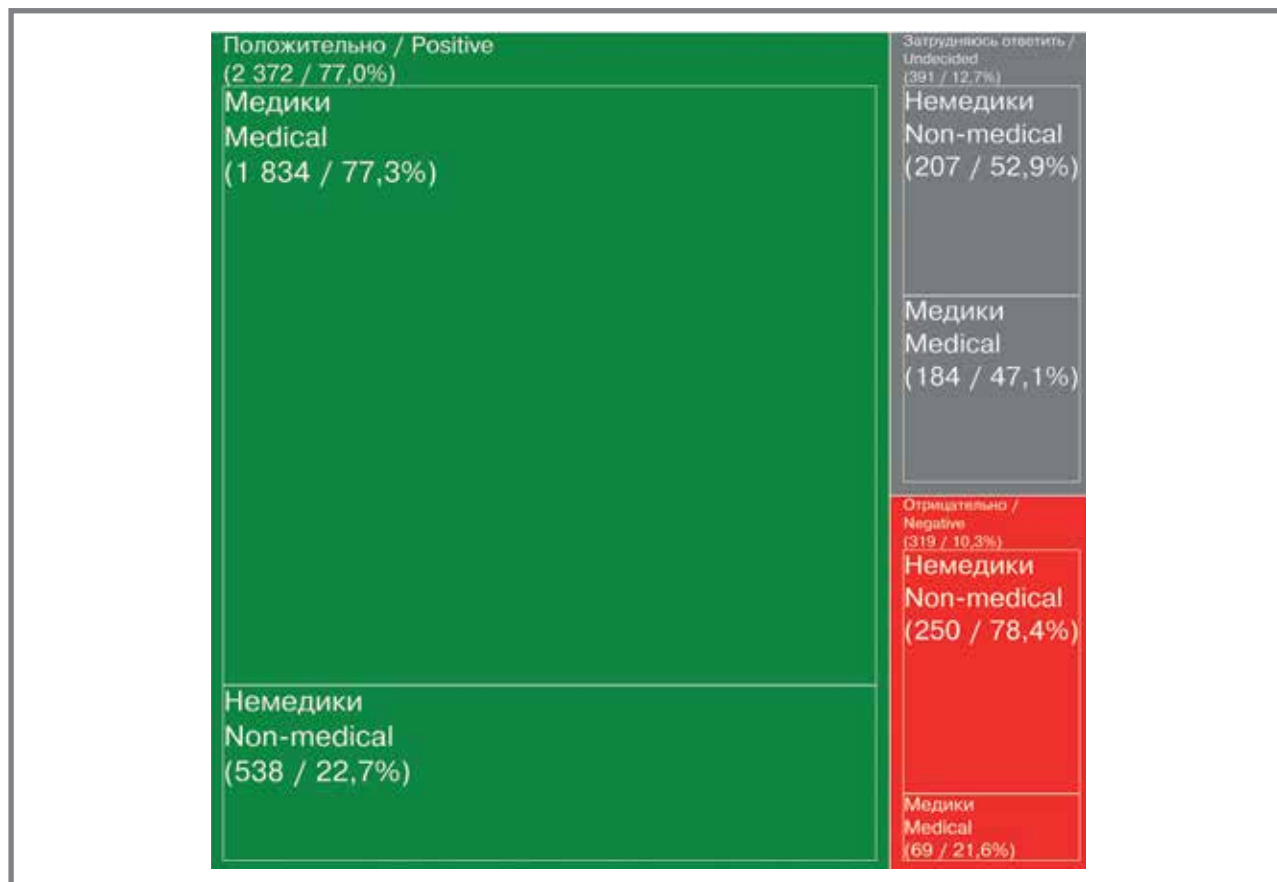




Рисунок 4. Структура ответов респондентов на вопрос: «Как Вы относитесь к вакцинопрофилактике?» (чел./ %)   
 Figure 4. Structure of respondents' answers to the question «How do you feel about vaccination?» (person/ %)



в то же время выявлено 10,3 % негативно настроенных респондентов и 12,7 % затруднившихся определить свою позицию (рис. 4). Исходя из полученной структуры ответов на данный вопрос, в соответствии с существующей методологией определения минимально необходимого объема репрезентативной выборки, для построения классификатора анкеты с негативной и неопределенной позицией были объединены в единый класс общей численностью 710 человек [26]. Такое разделение позволило эффективно решить задачу определения модуса отношения индивида, используя метод бинарной логистической регрессии.

Для построения классификатора использовалась обучающая выборка, состоявшая из ответов 2466 респондентов. В ходе статистического анализа оценена вероятность положительного отношения к вакцинопрофилактике в зависимости от ответов респондентов. В результате установлена статистически значимая связь индивидуального модуса отношения с мнением по 7 вопросам: «Получает ли респондент высшее медицинское образование?», «Считаете ли Вы что вакцинация снижает заболеваемость?», «Получаете ли Вы информацию о вакцинации по месту учебы или работы?», «Достаточно ли информации о вакцинации и всем что с ней связано Вы имеете?», «Получаете ли Вы какую-либо информацию о вакцинации от врачей при обращении

в больницу?», «Хотелось ли Вам получать больше информации о вакцинации?», «Как Вы считаете следует ли сделать вакцинацию принудительной?» (табл. 1).

Несмотря на то, что показатель отношения шансов, полученный для переменной X10, статистически незначим ( $p = 0,054$ ), тем не менее она была включена в итоговое уравнение, так как введение данного показателя положительно сказывалось на эффективности работы модели. Исключение этой переменной значительно снижало прогностическую способность уравнения. Помимо этого, такое решение позволило сохранить содержательную целостность группы ответов на вопрос №6, поскольку варианты X10 и X11 являлись взаимосвязанными элементами одного вопроса.

В результате проведенных вычислительных экспериментов получена прогностическая модель бинарного классификатора, построенная на данных 13 переменных. Эта зависимость описывается следующим уравнением:

$$P = 1 / (1 + e^z) \times 100 \%$$

$$(z = 4,921 - 0,906X_1 - 1,636X_2 - 2,036X_3 - 0,541X_4 - 0,320X_5 - 1,530X_6 - 0,935X_7 - 0,696X_8 - 0,408X_9 - 0,541X_{10} - 0,809X_{11} - 0,932X_{12} - 2,319X_{13}),$$

где:

P – вероятность положительного отношения к вакцинации;

**Таблица 1. Характеристика связи предикторов модели с вероятностью выявления положительного отношения к вакцинопрофилактике**

**Table 1. Characteristics of the relationship between model predictors and the probability of identifying a positive attitude towards vaccination**

№	Вопрос Question	Предиктор Predictor	Переменная Variable X	Скорректированное отношение шансов Adjusted odds ratio 95 % ДИ/CI	P
1	Статус получаемого образования Status of education received	не медицинское not medical	$X_1$	0,404 0,304–0,538	< 0,001*
2	Считаете ли Вы, что вакцинация снижает заболеваемость? Do you think that vaccination reduces the incidence of disease?	не думал об этом didn't think about it	$X_2$	0,195 0,136–0,280	< 0,001*
		нет no	$X_3$	0,131 0,090–0,190	< 0,001*
3	Получаете ли Вы информацию о вакцинации по месту учебы или работы? Do you receive information about vaccination at your place of study or work?	не обращал внимания didn't pay attention	$X_4$	0,582 0,410–0,826	0,002*
		нет no	$X_5$	0,726 0,540–0,977	0,035*
4	Достаточно ли информации о вакцинации и обо всем, что с ней связано, что с ней связано, Вы имеете? Do you have enough information about vaccination and everything connected with it?	мне это не нужно I don't need it	$X_6$	0,217 0,119–0,395	< 0,001*
		нет no	$X_7$	0,393 0,298–0,516	< 0,001*
5	Получаете ли Вы какую-либо информацию о вакцинации от врачей при обращении в больницу? Do you receive any information about vaccination from doctors when you go to the hospital?	затрудняюсь ответить I'm unsure	$X_8$	0,499 0,313–0,793	0,003*
		нет no	$X_9$	0,665 0,506–0,875	0,004*
6	Хотелось ли Вам получать больше информации о вакцинации? Would you like to receive more information about vaccination?	не интересуюсь not interested	$X_{10}$	0,582 0,336–1,008	0,054
		нет no	$X_{11}$	0,445 0,272–0,728	0,001*
7	Как Вы считаете, следует ли сделать вакцинацию принудительной? Do you think vaccination should be made compulsory?	затрудняюсь ответить I'm unsure	$X_{12}$	0,394 0,212–0,731	0,003*
		нет no	$X_{13}$	0,098 0,058–0,167	< 0,001*

Примечание: p – уровень статистической значимости; \* – влияние предиктора статистически значимо ( $p < 0,05$ ).  
Notes: p – level of statistical significance; \* – the influence of the predictor is statistically significant ( $p < 0.05$ ).

$X_1$  – Получает ли респондент высшее медицинское образование? (0 – да, 1 – нет);

$X_2$  – Считаете ли Вы, что вакцинация снижает заболеваемость? (0 – да, 1 – не думал об этом);

$X_3$  – Считаете ли Вы, что вакцинация снижает заболеваемость? (0 – да, 1 – нет);

$X_4$  – Получаете ли Вы информацию о вакцинации по месту учебы или работы? (0 – да, 1 – не обращал внимания);

$X_5$  – Получаете ли Вы информацию о вакцинации по месту учебы или работы? (0 – да, 1 – нет);

$X_6$  – Достаточно ли информации о вакцинации и обо всем, что с ней связано, что с ней связано, Вы имеете? (0 – да, 1 – мне это не нужно);

$X_7$  – Достаточно ли информации о вакцинации и всем, что с ней связано, Вы имеете? (0 – да, 1 – нет);

$X_8$  – Получаете ли Вы какую-либо информацию о вакцинации от врачей при обращении в больницу? (0 – да, 1 – затрудняюсь ответить);

$X_9$  – Получаете ли Вы какую-либо информацию о вакцинации от врачей при обращении в больницу? (0 – да, 1 – нет);

$X_{10}$  – Хотелось ли Вам получать больше информации о вакцинации? (0 – да, 1 – не интересуюсь);

$X_{11}$  – Хотелось ли Вам получать больше информации о вакцинации? (0 – да, 1 – нет);

$X_{12}$  – Как Вы считаете, следует ли сделать вакцинацию принудительной? (0 – да, 1 – затрудняюсь ответить);

$X_{13}$  – Как Вы считаете, следует ли сделать вакцинацию принудительной? (0 – да, 1 – нет).

Следует отметить, что для каждого вопроса, кроме первого, респонденту было предложено

выбрать 1 ответ из 3 различных вариантов. Ответ на первый вопрос определял статус опрашиваемого (медик/не медик). В итоге получено 13 пар сравнений для каждого из вопросов. В случае, когда одна из парных переменных ( $X_2$  и  $X_3$ ;  $X_4$  и  $X_5$ ;  $X_6$  и  $X_7$ ;  $X_8$  и  $X_9$ ;  $X_{10}$  и  $X_{11}$ ;  $X_{12}$  и  $X_{13}$ ) принимала значение равное 1, значение другой считалось равным 0.

Полученная регрессионная модель является статистически значимой ( $p < 0,001$ ). Исходя из значения коэффициента детерминации Найджелкерка, уравнение объясняет 50,1 % дисперсии отношения респондентов к вакцинопрофилактике, что свидетельствует об умеренной предсказательной способности полученного бинарного классификатора.

Для оценки эффективности работы модели проведен анализ ROC-кривой (рис. 5). Значение площади под ROC-кривой (AUC) составило  $0,888 \pm 0,007$  (95 % ДИ: 0,875–0,901 %), что свидетельствует об «очень хорошей» дискриминативной возможности разработанного классификатора [22–25].

Критическое значение логистической функции P в точке отсечения (cut-off), при которой достигнуто максимальное значение индекса Юдена, составило 0,731 (рис. 6).

Таким образом, получено правило для определения модуса отношения индивида к вакцинопрофилактике (рис. 7).

По результатам оценки качества моделирования чувствительность и специфичность составили 81,9 % (95 % ДИ: 80,2–83,6 %) и 79,5 % (95 % ДИ: 76,2–82,8 %) соответственно. Показатель точности работы модели – 81,4 % (95 % ДИ: 79,8–82,9 %). Значение F1 приближалось к единице (0,87), что свидетельствовало о наличии достаточного баланса между точностью и полнотой полученных результатов. Следовательно, данный классификатор способен достаточно точно и полно предсказывать положительные и отрицательные (неуверенные) классы респондентов.

Оценка работоспособности модели проводилась на тестовой выборке, состоявшей из ответов 616 человек. Полученные результаты представлены в матрице ошибок (рис. 8). При этом чувствительность, специфичность и точность составили 82,3 %, 86,7 % и 83,3 % соответственно. Ложноотрицательный результат был обнаружен у 85 человек (17,7 %), а ложноположительный – у 18 человек (13,3 %).

Таким образом, все функции оценки результатов бинарного классификатора, полученные при тестировании модели, оказались лучше, чем на обучающей

**Рисунок 5. ROC-кривая зависимости выявления положительного отношения к вакцинопрофилактике при использовании логистической функции P**  
**Figure 5. ROC curve of the dependence of identifying a positive attitude towards vaccination using the logistic function P**

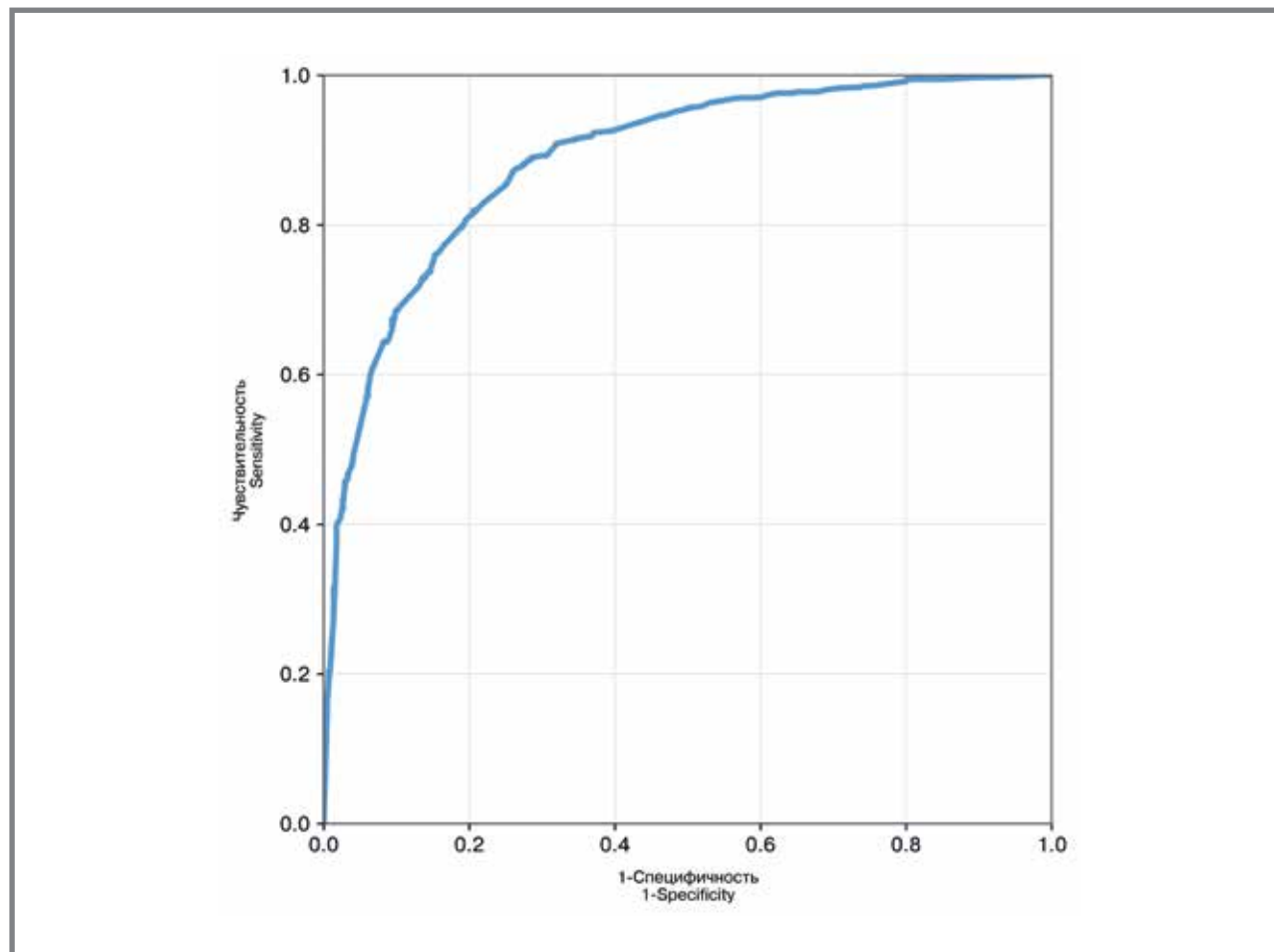


Рисунок 6. Анализ чувствительности и специфичности модели в зависимости от пороговых значений логистической функции P

Figure 6. Analysis of the sensitivity and specificity of the model depending on the threshold values of the logistic function P

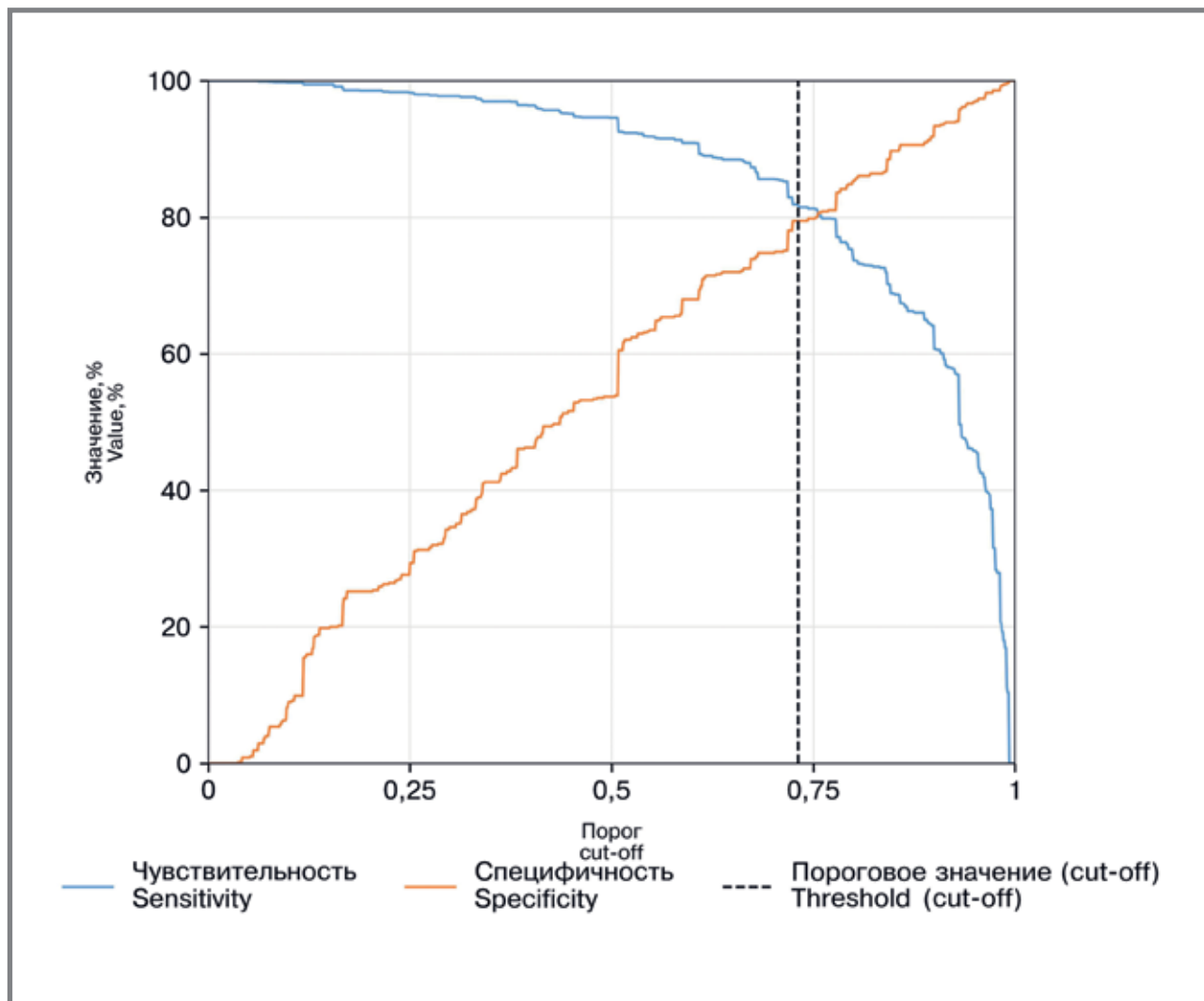
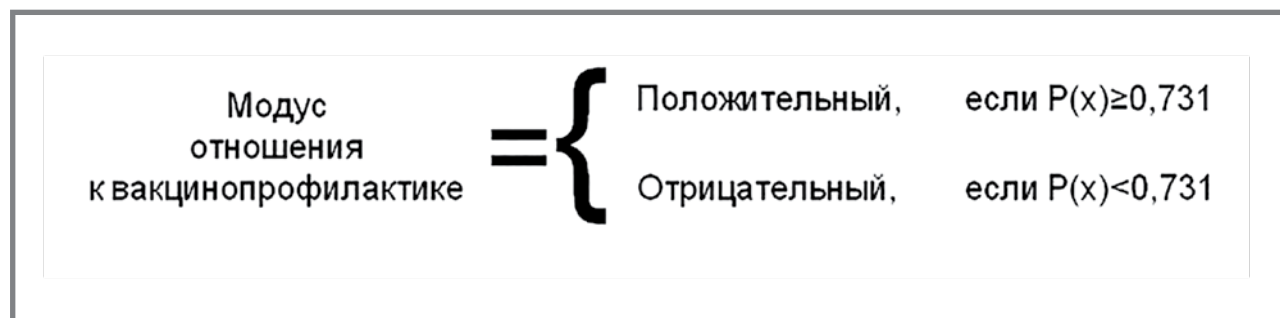


Рисунок 7. Критическое значение P для определения модуса отношения к вакцинопрофилактике

Figure 7. Critical P value for determining the attitude towards vaccination



выборке. При этом специфичность и точность превысили верхнюю границу доверительного интервала, что подтверждает «очень хорошие» дискриминативные возможности разработанной модели.

**Обсуждение**

При условии успешной внешней валидации разработанной модели на независимых данных

полученный бинарный классификатор может быть использован для персонализированной оценки модуса отношения индивида к вакцинопрофилактике. Результаты тестирования модели позволяют с высокой степенью вероятности по ответам на семь косвенных вопросов выявить в первую очередь лиц, имеющих неопределенное или отрицательное мнение о вакцинопрофилактике.

Рисунок 8. Матрица ошибок работы обученной модели на тестовой выборке (чел./ %)   
 Figure 8. Error matrix of the trained model on the test sample (person/ %)

	Фактическое отношение Actual attitude  Положительное Positive	Фактическое отношение Actual attitude  Отрицательное Negative	
Прогнозируемое отношение Predicted attitude  Положительное Positive	Истинно положительные True Positive 396  82,33% Чувствительность Sensitivity	Ложно положительные False Positive 18  13,33% Процент выпадения False positive rate	414
Прогнозируемое отношение Predicted attitude  Отрицательное Negative	Ложно отрицательные False Negative 85  17,67% Процент пропусков False negative rate	Истинно отрицательные True Negative 117  86,67% Специфичность Specificity	202
	481	135	Всего - 616 Total - 616  Точность - 83,3% Accuracy - 83,3%

Один из возможных вариантов использования классификатора в практике может выглядеть следующим образом: врач первичного звена с помощью программного продукта, разработанного на основе предложенной модели, определяет отношение человека к вакцинации и, исходя из полученных результатов, проводит таргетную разъяснительную работу, направленную на повышение приверженности в соответствии с существующими вариантами риск-коммуникаций [27].

В то же время у предлагаемого правила классификации обнаружены определенные ограничения. Проверка эффективности работы модели показала возможность ошибочного отнесения индивида с положительным модусом в группу неопределившихся

или отрицательных, т.е. ложноотрицательных. Однако данный факт в рассматриваемом контексте не имеет существенного значения, так как результатом использования модели является лишь принятие решения о необходимости проведения дополнительной разъяснительной работы, которая, возможно, укрепит приверженность вакцинопрофилактике. Таким образом, несмотря на то, что по результатам тестирования точность классификатора составила 83,3 %, ее практическая точность, как метода для персонализированного скрининга, может быть оценена на уровне 96,6 % (ложноотрицательные результаты исключаются из расчета точности).

Повышение приверженности вакцинопрофилактике имеет особое значение в педиатрической

практике, так как уровень охвата вакцинацией напрямую зависит от модуса отношения родителей к этому профилактическому мероприятию [3,28]. Предлагаемый бинарный классификатор может использоваться как инструмент раннего выявления родителей, негативное или неопределенное отношение которых к иммунизации способно привести к несвоевременному началу вакцинации детей. Подобная задержка может оказывать кумулятивное влияние на график всех последующих прививок, снижая защищенность детей в наиболее уязвимые возрастные периоды [29,30].

Несмотря на то, что предлагаемый бинарный классификатор разработан преимущественно на ответах респондентов, находящихся в репродуктивном возрасте, тем не менее для обеспечения

более корректной работы целесообразно произвести дополнительное обучение модели с учетом опроса представителей других социальных групп.

### Заключение

Таким образом, разработанный бинарный классификатор на основе метода логистической регрессии имеет высокие прогностические возможности для персонализированного скрининга модуса отношения к вакцинопрофилактике.

Целесообразно провести дообучение модели с учетом мнения представителей различных социальных групп, что повысит ее универсальность и точность, а также позволит использовать в первичном звене здравоохранения.

### Литература

- Мукожева Р. А., Куличенко Т. В., Вильчанская Т. В. и др. Анализ привитости и своевременности вакцинации детей против инфекции из перечня национального календаря профилактических прививок в субъектах Приволжского и Дальневосточного федеральных округов Российской Федерации: одномоментное исследование. *Вопросы современной педиатрии*. 2021. Т. 20, №4. С. 282–291. doi: 10.15690/vsp.v20i4.2284
- Ушакова А. А., Корнеев А. Г., Паньков А. С. и др. К вопросу об эффективности и безопасности вакцинации против новой коронавирусной инфекции: обзор литературы/ *Оренбургский медицинский вестник*. 2022. Т. 10, № 4(40). С. 6–11. EDN: ZVMLBR
- Брико Н. И., Лобзин Ю. В., Баранов А. А. и др. Оценка эффективности вакцинации: основные подходы и спорные вопросы/ *Педиатрическая фармакология*. 2014. Т. 11, № 4. С. 8–15. EDN: SNJWEX
- Su S.B., Chang H.L., Chen A.K. Current Status of Mumps Virus Infection: Epidemiology, Pathogenesis, and Vaccine/ *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, № 5. P. 1686. doi: 10.3390/ijerph17051686
- Robert A., Kucharski A.J., Funk S. The impact of local vaccine coverage and recent incidence on measles transmission in France between 2009 and 2018/ *BMC Medicine*. 2022. Vol. 20, № 1. P. 77. doi: 10.1186/s12916-022-02277-5
- Khan R., Ahmed A., Zeitounie R., et al. Impact of influenza vaccine in reduction of incidence and severity of influenza-like illness/ *Eastern Mediterranean Health Journal*. 2021. Vol. 27, № 9. P. 884–891. doi: 10.26719/emhj.21.041
- Пасечник О. А., Плеханова М. А., Цыганкова Е. А. и др. Эффективность и безопасность противотуберкулезной вакцинации/ *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2014. № 6(79). С. 83–89. EDN: TENLON
- Юшкова И. Ю., Костинов М. П., Филатова И. Н. и др. Эффективность вакцинации против гемофильной инфекции детей в учреждениях закрытого типа/ *Детские инфекции*. 2004. № 4. С. 34–36. EDN: KAPSAV
- Романенко В. В., Косова А. А., Смирнова С. С. и др. Организация системы иммунопрофилактики инфекционных болезней в Свердловской области: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский государственный медицинский университет, 2023. 172 с. ISBN: 978-5-00168-053-6
- Всемирная организация здравоохранения. Десять проблем здравоохранения, над которыми ВОЗ будет работать в 2019 году. Доступно на: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>. Ссылка активна на 08 ноября 2025.
- Всемирная организация здравоохранения. Повестка дня в области иммунизации на период до 2030 г. Глобальная стратегия на основе принципа «никого не оставить без внимания». Доступно на: <https://www.who.int/publications/m/item/immunization-agenda-2030-a-global-strategy-to-leave-no-one-behind>. Ссылка активна на 08 ноября 2025.
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2020 г. № 2390-р «Об утверждении Стратегии развития иммунопрофилактики инфекционных болезней на период до 2035 года». Доступно на: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202009280074>. Ссылка активна на 08 ноября 2025.
- Larson H.J., de Figueiredo A., Xiaohong Z., et al. The State of Vaccine Confidence 2016: Global Insights Through a 67-Country Survey/ *EBioMedicine*. 2016. Vol. 12. P. 295–301. doi: 10.1016/j.ebiom.2016.08.042
- Тактика формирования приверженности вакцинопрофилактике. Брико Н. И., ред. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 168 с.
- Брико Н. И., Фельдблюм И. В., Алыева М. Х. и др. Концепция риск-коммуникаций по обеспечению приверженности к вакцинации как необходимая составляющая стратегического развития иммунопрофилактики в России/ *Общественное здоровье*. 2021. № 1. С. 32–43. doi: 10.21045/2782-1676-2021-1-1-32-43
- Гавриков П. Г., Косова А. А. Опыт применения программного средства VOSviewer в эпидемиологических исследованиях на примере анализа научных публикаций в медицинских текстовых базах данных/ *Вестник Уральского государственного медицинского университета*. 2020. № 3. С. 51–53.
- Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624660. Российская Федерация. База данных мониторинга отношения к вакцинации обучающихся медицинским и немедицинским высшим учебным заведениям: № 2024623169: заявл. 24.07.2024; опублик. 23.10.2024.
- Demsar J., Curk T., Erjavec A., et al. Orange: Data Mining Toolbox in Python/ *Journal of Machine Learning Research*. 2013. Vol. 14. P. 2349–2353.
- Hajjan-Tilaki K. Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation/ *Caspian Journal of Internal Medicine*. 2013. Vol. 4, № 2. P. 627–635.
- Obuchowski N.A., Bullen J.A. Receiver operating characteristic (ROC) curves: review of methods with applications in diagnostic medicine/ *Physics in Medicine and Biology*. 2018. Vol. 63, № 7. P. 07TR01. doi: 10.1088/1361-6560/aab4b1
- Сергиенко В. И., Бондарева И. Б. Математическая статистика в клинических исследованиях. 2-е изд. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2006. 304 с. ISBN 5-9704-0197-8
- Богданов Л. Ю. Оценка эффективности бинарных классификаторов на основе логистической регрессии методом ROC-анализа/ *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2010. Т. 4, № 2(50). С. 92–97. EDN: MNKFUF
- Старовойтов В. В., Голубю Ю. И. Сравнительный анализ оценок качества бинарной классификации/ *Информатика*. 2020. Т. 17, № 1. С. 87–101. doi: 10.37661/1816-0301-2020-17-1-87-101
- Гайдышев И. П. Оценка качества бинарных классификаторов/ *Вестник Омского университета*. 2016. № 1(79). С. 14–17. EDN: VPLWCD
- Ковалев А. А., Кузнецов Б. К., Ядченко А. А. и др. Оценка качества бинарного классификатора в научных исследованиях/ *Проблемы здоровья и экологии*. 2020. Т. 4, № 66. С. 105–113. doi: 10.51523/2708-6011.2020-17-4-15
- Наркевич А. Н., Виноградов К. А. Методы определения минимально необходимого объема выборки в медицинских исследованиях/ *Социальные аспекты здоровья населения*. 2019. Т. 65, № 6. С. 10. doi: 10.21045/2071-5021-2019-65-6-10. EDN: MRAPST
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669673. Российская Федерация. Классификатор модуса отношения индивида к вакцинопрофилактике «МТMind» / А. С. Нечитайло, А. А. Косова, В. И. Чалапа [и др.] - № 2024667325: заявл. 25.07.2024; опублик. 20.08.2024.
- Плакида А. В., Брико Н. И., Намазова-Баранова Л. С. и др. Повышение приверженности населения вакцинации: оценка и системный подход к реализации/ *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2022. Т. 21, № 3. С. 4–26. doi: 10.31631/2073-3046-2022-21-3-4-26
- Минаева В. А., Голубкова А. А. Современное состояние вакцинопрофилактики и её ресурсное обеспечение в постпандемический период: научный обзор/ *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2024. Т. 29, № 6. С. 432–443. doi: 10.17816/EID636229. EDN: UEWCWJZ
- Минаева В. А., Голубкова А. А. Несвоевременная вакцинация — упущенные возможности защиты от детских инфекций в раннем возрасте/ *Эпидемиология и инфекционные болезни*. Актуальные вопросы. 2025. Т. 15, № 2. С. 44–49. ISSN 2226-6976

## References

- Mukozheva RA, Kulichenko TV, Vil'chanskaya TV, et al. Analysis of vaccination coverage and timeliness among children against infections included in the national immunization schedule in the Volga and Far Eastern federal districts of the Russian Federation: a cross-sectional study. *Voprosy Sovremennoi Pediatrii*. 2021;20(4):282–291. doi: 10.15690/vsp.v20i4.2284 (In Russ.)
- Ushakova AA, Korneev AG, Pankov AS, et al. On the effectiveness and safety of vaccination against the new coronavirus infection: a literature review. *Orenburgskiy Meditsinskiy Vestnik (Orenburg Medical Bulletin)*. 2022;10(4[40]):6–11. EDN: ZVMLBR. (In Russ.)
- Briko NI, Lobzin YuV, Baranov AA, et al. Assessment of vaccination effectiveness: main approaches and controversial issues. *Pediatricheskaya Farmakologiya*. 2014;11(4):8–15. (In Russ.)
- Su SB, Chang HL, Chen AK. Current status of mumps virus infection: epidemiology, pathogenesis, and vaccine. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(5):1686. doi: 10.3390/ijerph17051686
- Robert A, Kucharski AJ, Funk S. The impact of local vaccine coverage and recent incidence on measles transmission in France between 2009 and 2018. *BMC Med*. 2022;20(1):77. doi: 10.1186/s12916-022-02277-5
- Khan R, Ahmed A, Zeitounie R, et al. Impact of influenza vaccine in reduction of incidence and severity of influenza-like illness. *East Mediterr Health J*. 2021;27(9):884–891. doi: 10.26719/emhj.21.041
- Pasechnik OA, Plekhanova MA, Tsygankova EA, et al. Effectiveness and safety of anti-tuberculosis vaccination. *Epidemiology & Vaccinal Prevention*. 2014;6(79):83–89. (In Russ.)
- Yushkova IYu, Kostinov MP, Filatova IN, et al. Efficiency of vaccination against *Haemophilus influenzae* infection in children in closed institutions. *Detskie Infektsii*. 2004;4:34–36. (In Russ.)
- Romanenko VV, Kosova AA, Smirnova SS, et al. Organization of the immunoprophylaxis system of infectious diseases in the Sverdlovsk region: textbook. Ekaterinburg: Ural State Medical University; 2023. 173 p. ISBN: 978-5-00168-053-6. (In Russ.)
- World Health Organization. Ten threats to global health in 2019. Available at: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>. Accessed: February 18, 2024.
- World Health Organization. Immunization Agenda 2030: a global strategy to leave no one behind. Available at: <https://www.who.int/publications/m/item/immunization-agenda-2030-a-global-strategy-to-leave-no-one-behind>. Accessed: February 18, 2024.
- Order of the Government of the Russian Federation No. 2390-r of September 18, 2020. On approval of the Strategy for the development of immunoprophylaxis of infectious diseases for the period up to 2035. (In Russ.)
- Larson HJ, de Figueiredo A, Xiaohong Z, et al. The state of vaccine confidence 2016: global insights through a 67-country survey. *EBioMedicine*. 2016;12:295–301. doi: 10.1016/j.ebiom.2016.08.042
- Briko NI. Tactics of forming adherence to vaccination. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. 168 p. (In Russ.)
- Briko NI, Feldblyum IV, Alyeva MKH, et al. The concept of risk communication to ensure adherence to vaccination as a necessary component of the strategic development of immunoprophylaxis in Russia. *Okhrana Zdorov'ya*. 2021;(1). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-risk-kommunikatsiy-po-obespecheniyu-priverzhennosti-k-vaktsinatsii-kak-neobhodimaya-sostavlyayuschaya-strategicheskogo>. (In Russ.)
- Gavrikov PG, Kosova AA. Experience of using the VOSviewer software in epidemiological studies on the example of analysis of scientific publications in medical text databases. *Vestnik Uralskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta*. 2020;(3):51–53. (In Russ.)
- Certificate of State Registration of Database No. 2024624660, Russian Federation. Database for monitoring attitudes towards vaccination among students of medical and non-medical higher educational institutions: No. 2024623169; applied July 24, 2024; published October 23, 2024. (In Russ.)
- Demsar J, Curk T, Erjavec A, et al. Orange: data mining toolbox in Python. *J Mach Learn Res*. 2013;14:2349–2353.
- Hajian-Tilaki K. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis for medical diagnostic test evaluation. *Caspian J Intern Med*. 2013;4(2):627–635.
- Obuchowski NA, Bullen JA. Receiver operating characteristic (ROC) curves: review of methods with applications in diagnostic medicine. *Phys Med Biol*. 2018;63(7):07TR01. doi: 10.1088/1361-6560/aab401
- Sergienko VI, Bondareva IB. *Mathematical statistics in clinical research*. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2006. (In Russ.)
- Bogdanov LYu. Evaluation of the effectiveness of binary classifiers based on logistic regression using ROC analysis. *Vestnik Saratovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2010;4(2[50]):92–97. (In Russ.)
- Starovoitov VV, Golub Yul. Comparative analysis of binary classification quality estimates. *Informatika*. 2020;17(1):87–101. doi: 10.37661/1816-0301-2020-17-1-87-101. (In Russ.)
- Gaidyshev IP. Evaluation of the quality of binary classifiers. *Vestnik Omskogo Universiteta*. 2016;1(79):14–17. (In Russ.)
- Kovalev AA, Kuznetsov BK, Yadchenko AA, et al. Evaluation of the quality of a binary classifier in scientific research. *Problemy Zdorov'ya i Ekologii*. 2020;4:105–113. doi: 10.51523/2708-6011.2020-17-4-15. (In Russ.)
- Narkevich AN, Vinogradov KA. Methods for determining the minimally required sample size in medical research. *Sotsial'nye Aspekty Zdorov'ya Naseleniya*. 2019;65(6):10. doi: 10.21045/2071-5021-2019-65-6-10. (In Russ.)
- Certificate of State Registration of Computer Program No. 2024669673, Russian Federation. Classifier of the mode of an individual's attitude to immunoprophylaxis "ImmuMind" / A.S. Nechitaylo, A.A. Kosova, V.I. Chalapa. [et al.] - Right Holder: Ural State Medical University No. 2024667325; applied July 25, 2024; published August 20, 2024. (In Russ.)
- Plakida AV, Briko NI, Namazova-Baranova LS, et al. Increasing population adherence to vaccination: assessment and systematic approach to implementation. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika*. 2022;21(3):4–26. doi: 10.31631/2073-3046-2022-21-3-4-26. (In Russ.)
- Minaeva VA, Golubkova AA. The current state of vaccination and its resource support in the post-pandemic period: a scientific review. *Epidemiology and Infectious Diseases*. 2024;29(6):432–443. doi: 10.17816/EID636229. (In Russ.)
- Minaeva VA, Golubkova AA. Delayed vaccination—missed opportunities for protection against childhood infections at an early age. *Epidemiology and Infectious Diseases. Current Issues*. 2025;15(2):44–49. (In Russ.)

## Об авторах

- Александр Сергеевич Нечитайло** – ассистент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия. Alexandr.Ne4itaylo@gmail.com. ORCID: 0009-0007-6921-4479.
- Анна Александровна Косова** – к. м. н., доцент, заведующая кафедрой эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия. kosova\_anna2003@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0268-8887.
- Елена Сергеевна Башкирова** – ассистент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия. bashkirovaes@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-3400-7537.
- Павел Леонидович Шулев** – ассистент кафедры эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы, Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия. p.shulev@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4314-1033.

Поступила: 26.11.2025. Принята к печати: 16.04.2026.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

## About the Authors

- Alexandr S. Nechitaylo** – Assistant of the Department of Epidemiology, Social Hygiene, and Organization of the State Sanitary and Epidemiological Service, Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. Alexandr.Ne4itaylo@gmail.com. ORCID: 0009-0007-6921-4479.
- Anna A. Kosova** – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Epidemiology, Social Hygiene, and Organization of the State Sanitary and Epidemiological Service, Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. kosova\_anna2003@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0268-8887.
- Elena S. Bashkirova** – Assistant of the Department of Epidemiology, Social Hygiene, and Organization of the State Sanitary and Epidemiological Service, Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. BashkirovaES@yandex.ru. ORCID: 0000-0003-3400-7537.
- Pavel L. Shulev** – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Epidemiology, Social Hygiene, and Organization of the State Sanitary and Epidemiological Service, Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. p.shulev@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4314-1033.

Received: 26.11.2025. Accepted: 16.04.2026.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0