

Оценка экономической эффективности вакцинации против коклюша на основе данных реальной клинической практики

Светличная С. В. ¹, Елагина Л. А. ¹, Попович Л. Д. ²

¹ - Независимый институт социальных инноваций (НИСИ), Москва, Российская Федерация

² - ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Внедрение в нашей стране массовой вакцинации от коклюша снизило частоту этой инфекции. Уменьшение охвата детей прививками в 80-90-е гг. XX в. привело в настоящее время к росту заболеваемости. Требуется возвращение к активной вакцинации/ревакцинации населения против коклюша. Экономические аспекты такого подхода к общественному здоровью требуют изучения на основе данных реальной клинической практики (RWD). *Материалы и методы:* был проведён расчёт макроэкономических эффектов вакцинации на примере Дальневосточного федерального округа (ДФО) для бустерной вакцинации против коклюша детей в возрасте 6 и 7 лет на основе RWD с расчётами потенциального прогнозного числа заболевающих ежегодно. Разработана модель эпидемиологической ситуации с коклюшем в ДВФО на основе статистики и проекта Глобального груза болезней. Размер условной когорты детей 6-7-летнего возраста — 100 тысяч человек. Предполагалось, что 95% из них получит однократно вакцину для профилактики дифтерии (с уменьшенным содержанием антигена), столбняка и коклюша (бесклеточную), комбинированную, адсорбированную, с учётом её эффективности и стоимости. Произведён расчёт монетарного эквивалента эпидемиологического выигрыша в связи с предотвращённым заболеванием у вакцинированных детей с учётом подушевого внутреннего регионального продукта. Результаты: суммарный выигрыш в связи с предотвращённым заболеванием при ревакцинации когорты в ДВФО может составить 21,15 млн рублей ежегодно, а в связи с предотвращением смертей в оставшиеся годы жизни — 50,45 млн рублей. Общая выгода при ревакцинации в когорте детей 6-7 лет с учётом их влияния на заболеваемость детей младших возрастных групп могла бы потенциально составлять 198,69 млрд рублей за весь период действия вакцины (7 лет). *Заключение:* результаты проведённого моделирования на основе RWD и прогноза эпидемического процесса доказывают экономическую целесообразность ревакцинации от коклюшной инфекции у детей в возрасте 6-7 лет в Российской Федерации.

Ключевые слова: RWD; коклюш; вакцинация; экономические результаты; оценка технологий здравоохранения

Для цитирования:

Светличная С. В., Елагина Л. А., Попович Л. Д. Оценка экономической эффективности вакцинации против коклюша на основе данных реальной клинической практики. *Реальная клиническая практика: данные и доказательства.* 2023;3 (1):9 — 19. <https://doi.org/10.37489/2782-3784-myrd-27>.

Поступила: 07 февраля 2023 г. **Принята:** 08 февраля 2023 г. **Опубликована:** 09 марта 2023 г.

Evaluation of the economic efficacy of vaccination against pertussis based on real-world data

Svetlichnaya S. V. ¹, Elagina L. A. ¹, Popovich L. D. ²

¹ - Independent Institute for Social Innovations (IISI), Moscow, Russian Federation

² - National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russian Federation

Abstract

Mass vaccination against pertussis in our country has decreased the frequency of this infection. The lack of the total vaccination in children in 80-90 yy XX c led to the growth of morbidity in the current moment. Return in active vaccination/revaccination of population against pertussis is a demand of the time. Economic aspects of this kind approach to the social health care are required for an evaluation based on RWD. *Materials and methods:* Calculation of the macroeconomic effects of vaccination against pertussis has been performed with Far East Federal Region (FEFR) example for buster in children 6-7 y. o. based on RWD and prognosis of morbidity annually. A unique model of the epidemiology of pertussis in FEFR has been created with RWD statistics and the Global burden of diseases project usage. The size of the virtual cohort of children 6-7 y. o. was established as 100 thousand. It has been assumed that 95% from this cohort will receive buster of the tetanus toxoid, reduced diphtheria toxoid and acellular pertussis vaccine, combined, adsorbed (INN) with its efficacy and cost consideration. The monetary equivalent of the epidemiologic benefit due to disease prevention in the vaccinated children with regional GDP per capita has been calculated. *Results:* The total summarized benefit due to

illness prevention after booster in children in FEFR could be as 21,15 mln RUR annually, and due to mortality reduction in the life years expectation horizon — of 50,45 mln RUR. The total economic profit of the booster revaccination against pertussis in children 6-7 y. o. with its influence on morbidity in children of younger age groups can lead to 198,69 bln RUR during the 7-year horizon of vaccine efficacy. Conclusion: RWD is a base for modeling and potential prognosis of epidemiological process and results of this job are proved the economic necessity for booster vaccination against pertussis in children 6-7 y. o. in the Russian Federation.

Keywords: RWD; pertussis; vaccination; economic results; health technology assessment

For citation:

Svetlichnaya SV, Elagina LA, Popovich LD. Evaluation of the economic efficacy of vaccination against pertussis based on real-world data. *Real-World Data & Evidence*. 2023;3 (1):9 — 19. <https://doi.org/10.37489/2782-3784-myrd-27>.

Received: February 07, 2023. **Accepted:** February 08, 2023. **Published:** March 09, 2023.

Актуальность

Внедрение в нашей стране массовой вакцинации от коклюша — одной из самых распространённых бактериальных инфекций, в 60-е гг. XX в., — позволило снизить частоту этой инфекции, по официальным данным, с 400-450 до 5-10 на 100 тыс. населения. Однако уменьшение охвата детей противококлюшными прививками в 80-90-е гг. привело к росту заболеваемости.

Начало XXI века сопровождалось ростом числа привитых, и это позволило сократить распространённость многих инфекций, в том числе коклюша, хотя сохранялись волнообразные колебания его проявления, что вполне соответствовало мировым тенденциям (см. рис. 1) [1]. Существенный рост показателей заболеваемости наблюдался в 2019 году. Однако в 2020-2021 гг. из-за эпидемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 и вводимых ограничительных мер произошло снижение зарегистрированных случаев коклюша. Аналогичный эффект отмечается многими исследователями в отношении разных детских респираторных инфекций [2]. Из-за такого временного эффекта произошло смещение акцентов иммунизации на борьбу с коронавирусной инфекцией в ущерб профилактики других инфекционных заболеваний.



Рис. 1. Динамика числа зарегистрированных случаев коклюша в РФ. Источник: ЕМИСС Росстат [3].

Сейчас, с возвращением к обычному уровню контактов детей, снижение интенсивности иммунизации в предыдущий период может привести

к скачкообразному росту заболеваемости. Поэтому эпидемиологи настаивают на возвращении к активной вакцинации/ревакцинации населения против разных инфекций. При этом для детей особенно важно усилить иммунизацию против коклюша [4, 5]. Бустерная ревакцинация в этом случае не только имеет позитивный эпидемиологический эффект, но и приводит к дополнительным экономическим выгодам за счёт усиления профилактического действия [6]. Особое внимание предлагается уделить первому бустеру в 6-летнем возрасте ребёнка как наиболее затратно-эффективному мероприятию [7].

Рассматривая социально-экономические последствия расширения вакцинопрофилактики коклюшной инфекции, необходимо принимать во внимание, что данные официальной статистики по этому заболеванию явно не отражают реальной картины распространённости. Как считают некоторые российские исследователи, их надо увеличивать в 3-5 раз, во всяком случае у детей [8]. Ещё более значимой может быть недооценка заболеваемости в старшем детском и подростковом возрасте. Заявляется, что зарегистрированные случаи коклюша — это лишь вершина айсберга, и его реальная распространённость может быть на порядок выше [9]. Углублённые обследования демонстрируют, что при нарастании частоты контактов в детских коллективах значительно увеличивается доля восприимчивых к инфекции детей школьного возраста [10]. В этой связи при оценке влияния этой инфекции на эпидемиологические процессы в стране придётся учитывать более высокую заболеваемость.

В полной мере это предположение может быть справедливо при рассмотрении показателей заболеваемости в субъектах Дальневосточного федерального округа (ДФФО), где наблюдается разнонаправленная динамика выявления случаев болезни (рис. 2) и в целом показатели ниже, чем в центральных регионах России.

Почему выбран ДВФО для анализа с учётом RWD?

Во-первых, это большой по площади и неоднородный по плотности населения округ России.

Во-вторых, имеются данные по заболеваемости. В-третьих, регион опережающего развития.

В этой связи представляется целесообразным при анализе потенциального прогноза заболева-

ния и с учётом недооценки диагностики в России при моделировании на основе данных ДВФО вводить дополнительный повышающий коэффициент.

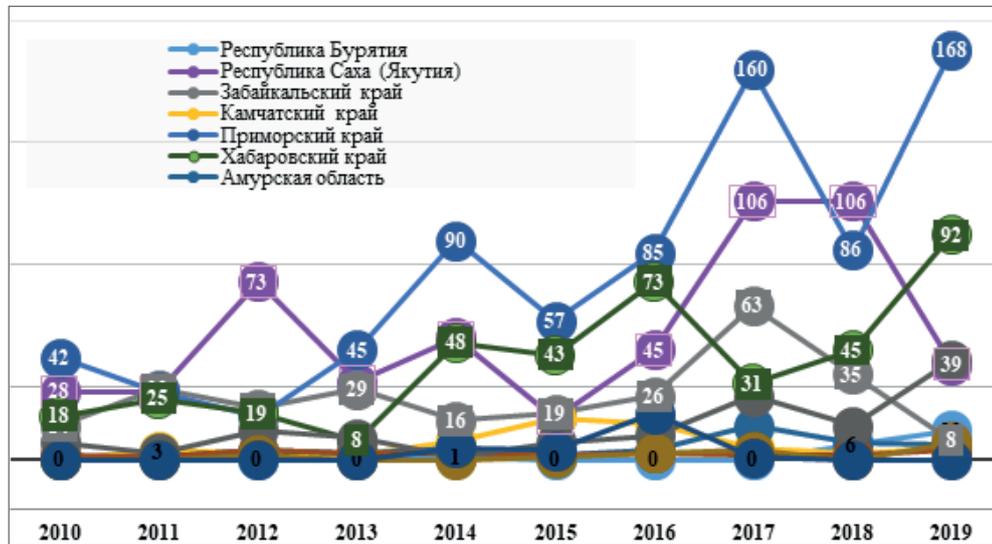


Рис. 2. Динамика численности регистрируемых случаев коклюша в регионах ДВФО [3]

В рамках настоящей работы был проведён расчёт потенциальных макроэкономических эффектов в ДВФО при проведении бустерной вакцинации против коклюша детей в возрасте 6 и 7 лет. При моделировании эпидемиологических процессов были приняты следующие допущения относительно уровня недооценки диагностики: в 5 раз для возраста 0-7 лет; в 20 раз для детей школьного возраста (старше 7 лет).

Материалы и методы

Разработана модель эпидемиологической ситуации по коклюшной инфекции в ДВФО на основе данных статистики (RWD) и расчётных данных для РФ в целом, полученных на основании проекта Глобального груза болезней (*англ.* Global burden of diseases; GBD) [11]. Она разрабатывалась в расчёте на равную удельную численность детей 6 и 7 лет. Суммарный размер этой условной когорты составлял 100 тысяч детей, по 50 тысяч детей каждого возраста. Предполагалось, что 95% этой условной когорты получит однократно противокклюшную вакцину (расчёты сделаны на примере вакцины для профилактики дифтерии (с уменьшенным содержанием антигена), столбняка и коклюша (бесклеточной), комбинированной, адсорбированной (МНН)). При этом учитывались параметры её эффективности и стоимость.

Для перехода от официально регистрируемой к прогнозной (с учётом возможной недооценки при диагностике) заболеваемости использовались данные о численности населения субъектов ДВФО

[12]. Суммарная численность детей каждого возраста представлена в табл. 1.

Таблица 1. Суммарная численность детей в субъектах ДВФО, на 1 января каждого года в период 2019–2022 гг.

Возраст ребёнка	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
0 лет	97576	90698	89871	85584
1 год	102736	97487	90639	89887
2 года	113465	102554	97395	90601
3 года	118571	113146	102338	97279
4 года	119762	118276	112925	102201
5 лет	118690	119447	117965	112739
6 лет	118722	118342	119170	117725
7 лет	113013	118359	117894	118920
8 лет	107262	112757	118053	117720
9 лет	109050	106923	112399	117859
10 лет	106640	108738	106668	112159
11 лет	102639	106323	108452	106334
12 лет	94835	102332	106014	108171
13 лет	94876	94474	102051	105755
14 лет	95911	94563	94198	101724
15 лет	93679	95553	94282	93819
16 лет	89611	93098	94896	93686
17 лет	83520	88954	92433	94313
ИТОГО 0–14 лет	1613748	1604419	1596032	1584658
ИТОГО 0–17 лет	1880558	1882024	1877643	1866476

Структура заболеваемости коклюшем в ДВФО приведена в табл. 2 [13].

Результаты расчётов повозрастного числа заболеваний детей в возрасте 0-17 лет, зарегистрированных в ДВФО, в каждой возрастной группе с учётом сложившейся структуры заболеваемости и её недооценки, представлены в табл. 3.

В дальнейшем в Модели все расчёты проводились для условной когорты из 50000 детей 6 лет и такой же по величине условной когорты детей 7 лет.

При разработке Модели учитывались данные об эффективности постпрививочного иммунитета [14]. Эти показатели составляли: первый год — 91%; второй — 89%; третий — 81%; четвёртый — 51%; пятый — 40%; шестой — 27%; седьмой — 9%. Поскольку длительность наблюдаемого эффекта вакцинации (а следовательно, и потенциального эффекта ревакцинации) составляет 7 лет, этот временной параметр использовался в качестве горизонта оценки эпидемиологического эффекта. Таким образом, рассчитывался прогнозный уровень заболеваемости для когорты детей в возрасте 6-12 лет при вакцинации в 6 лет и в возрасте 7-13 лет для вакцинированных в 7-летнем возрасте.

Таблица 3. Повозрастная структура заболеваемости коклюшем в ДВФО на основании учтённых случаев болезни и её прогнозные значения с учётом недооценки

Возраст	Повозрастная структура заболеваемости, %	Всего случаев в ДВФО	Прогнозное число заболевших с учётом недооценки	Прогнозный уровень заболеваемости (на 10000 детей)
Всего		382		3846
0 лет	25,1	96	480	49,19
1 год	7,1	27	135	13,18
2 года	7,8	30	150	13,18
3 года	5,5	21	105	8,83
4 года	5,5	21	106	8,83
5 лет	5,5	21	105	8,83
6 лет	5,5	21	105	8,83
7 лет	4,2	16	80	7,04
8 лет	4,0	15	302	28,15
9 лет	4,0	15	307	28,15
10 лет	3,9	15	300	28,15
11 лет	3,8	14	289	28,15
12 лет	3,5	13	267	28,15
13 лет	3,5	13	267	28,15
14 лет	3,5	13	270	28,15
15 лет	1,9	7		
16 лет	1,8	7		
17 лет	1,7	7		
Старше 17	2,1	8		

Таблица 2. Заболеваемость коклюшем в 2019 году [13]

Наименование территории	Зарегистрировано заболеваний											
	Всего	Показатель на 100 тыс. населения	Из общего числа зарегистрированных заболеваний у детей в возрасте: 0–17 лет (включительно)	Показатель на 100 тыс. населения	Из них в возрасте:							
					0–14 лет (включительно)	Показатель на 100 тыс. населения	До 1 года	Показатель на 100 тыс. населения	1–2 года (включительно)	Показатель на 100 тыс. населения	3–6 лет (включительно)	Показатель на 100 тыс. населения
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	14407	9,81	13537	44,98	12879	49,76	2443	148,87	2116	57,37	3058	39,95
Дальневосточный ФО	382	4,66	374	19,92	353	21,86	96	95,76	57	25,40	84	17,72
Республика Бурятия	12	1,22	12	4,55	11	4,79	8	56,98	0	0,00	0	0,00
Республика Саха (Якутия)	39	4,04	39	14,76	36	15,90	3	22,13	9	29,67	10	15,16
Забайкальский край	8	0,75	8	2,98	8	3,46	5	36,04	1	3,25	1	1,49
Камчатский край	5	1,59	5	7,65	4	7,14	2	55,83	1	12,57	0	0,00
Приморский край	168	8,81	162	43,15	153	47,59	40	196,05	29	63,11	51	53,09
Хабаровский край	92	6,94	90	32,77	87	36,52	22	142,07	9	25,60	15	20,64
Амурская область	6	0,75	6	3,34	6	3,91	4	43,91	1	4,92	1	2,27
Магаданская область	4	2,80	4	13,37	4	15,79	0	0,00	3	91,66	0	0,00
Сахалинская область	41	8,37	41	38,93	37	40,76	8	129,14	3	22,07	6	23,16
Еврейская АО	7	4,35	7	18,82	7	21,88	4	213,79	1	23,97	0	0,00
Чукотский АО	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Результаты

Влияние ревакцинации на заболеваемость и смертность вакцинированных в возрасте 6 и 7 лет определялось как потенциальное число заболеваний, которые могут быть выявлены после ревакцинации. Рассчитывалось число детей, которые не болеют с учётом эффективности вакцины в соответствующем году. В оставшейся когорте определяли число потенциально заболевших с учётом скоррек-

тированной заболеваемости для соответствующего возраста, а численность тех, кто не заболел, прибавляли к группе изначально не заболевших. На следующий год процесс расчёта повторялся с учётом изменения эффективности вакцины и заболеваемости в соответствующем возрасте. Затем рассчитывали разницу между числом потенциально заболевших детей соответствующего возраста в когортах вакцинированных и невакцинированных (табл. 4).

Таблица 4. Эпидемиологический выигрыш в числе заболеваний у детей 6 и 7 лет после ревакцинации (когорты по 50 тыс. «условных» чел.) по сравнению с отсутствием вакцинации

Возраст, лет	Потенциальное число случаев болезни		Эпидемиологический выигрыш в числе болезней детей в возрасте 6–12 лет
	Когорта не вакцинированных в 6 лет	Когорта вакцинированных в 6 лет	
6	44,1	4,0	40,17
7	35,2	3,9	31,31
8	140,7	26,7	114,00
9	140,7	68,9	71,81
10	140,7	84,3	56,41
11	140,7	102,6	38,17
12	140,7	127,8	12,93
Всего в этой когорте			364,81 случая
Возраст, лет	Потенциальное число случаев болезни		Эпидемиологический выигрыш в числе болезней детей в возрасте 7–13 лет
	Когорта не вакцинированных в 7 лет	Когорта вакцинированных в 7 лет	
7	35,2	3,2	32,0
8	140,7	15,5	125,2
9	140,7	26,8	114,0
10	140,7	69,0	71,7
11	140,7	84,5	56,2
12	140,7	102,8	37,9
13	140,7	128,1	12,6
Всего в этой когорте			449,76 случая
ИТОГО 814,6 случая на 100 тысяч детей 6 и 7 лет			

Далее пересчитывали эпидемиологический выигрыш от ревакцинации из полученной метрики (числа случаев) в метрику, выраженную во временных показателях предотвращённых потерь лет жизни. Для этого рассчитывалась «средняя эпидемиологическая стоимость» каждого случая болезни из базы GBD. Определяли суммарную величину показателя потерянных лет жизни из-за заболевания коклюшем (*англ.* Years Lived with Disability; YLDs) и общее число случаев этого заболевания для Российской Федерации в 2019 году, когда данные Роспотребнадзора и GBD по числу зарегистрированных случаев совпадали. Средняя величина лет, потерянных в связи с заболеванием коклюшем, отнесённая на один случай заболевания, составила 0,02 года.

На основании полученной «стоимости» заболевания рассчитывался эпидемиологический выигрыш в метриках предотвращённых потерь лет жизни (табл. 5).

Летальность от коклюша в России незначительна, однако она наблюдается практически каждый год и, как правило, именно в детских возрастах. С учётом потенциальной возможности летальных исходов при высоком уровне недооценки диагностики, в Модели был введён параметр, отражающий вероятность летального исхода при коклюше на уровне показателя 2019 года (0,014%). В Модели принята гипотеза, что предотвращённые случаи болезни в период сохранения постпрививочного иммунитета потенциально приводили и к предотвращению летальности.

Таблица 5. Эпидемиологический выигрыш в метриках предотвращённых потерь лет жизни в связи с ревакцинацией

Возраст, лет	Эпидемиологический выигрыш в метрике предотвращённых потерь лет жизни по болезни на 50 тысяч детей в возрасте 6–12 лет, лет	Возраст, лет	Эпидемиологический выигрыш в метрике предотвращённых потерь лет жизни по болезни на 50 тысяч детей в возрасте 7–13 лет, лет	Итого в группе из 100 тысяч детей 6–7 лет
6	0,97	7	0,77	1,75
7	0,76	8	3,03	3,79
8	2,76	9	2,76	5,52
9	1,74	10	1,74	3,47
10	1,37	11	1,36	2,73
11	0,92	12	0,92	1,84
12	0,31	13	0,31	0,62
ИТОГО 19,7 года на 100 тысяч детей 6–7 лет				

Экономические выгоды рассчитывались в метриках монетарного эквивалента статистической стоимости года жизни, рассчитанной на основе реального средневзвешенного показателя величин подушевых значений валового регионального продукта (ВРП) в субъектах в ДВФО, в 2019–2021 годах. В последующие годы расчёт проводился на основе прогнозной величины коэффициента инфляции, с учётом особенностей инфляционных ожиданий в 2022 году на уровне 13,4%, в 2023 году — 5,5%, в 2024 году — 4,2%. В последующие годы принят целевой уровень инфляции в 4% [12].

Результат расчётов монетарного эквивалента эпидемиологического выигрыша в связи с предотвращёнными заболеваниями в каждой когорте из 50 тысяч вакцинированных детей 6–7 лет получен путём перемножения показателей эпидемиологического выигрыша в метрике предотвращённых потерь лет жизни на монетарный эквивалент стоимости года жизни в метрике подушевого ВРП в соответствующий год. Результаты расчётов для общей когорты из 100 тысяч вакцинированных в 2023 году детей (допущение) в период сохранения поствакцинального иммунитета представлены в табл. 6.

Таблица 6. Монетарный эквивалент суммарного эпидемиологического выигрыша в связи с предотвращёнными заболеваниями при ревакцинации в 2023 году 100 тысяч детей в возрасте 6–7 лет в метриках подушевого ВРП в ДВФО

Год	Величина подушевого ВРП в соответствующем году, руб.	Суммарный эпидемиологический выигрыш в метрике предотвращённых потерь лет жизни по болезни, лет	Монетарный эквивалент потенциального выигрыша от предотвращённых случаев заболевания, руб.
2023	956721,7	1,75	1671309,71
2024	1009341,4	3,79	3824229,86
2025	1052743,1	5,52	5807659,05
2026	1094852,8	3,47	3803454,49
2027	1138646,9	2,73	3103526,16
2028	1184192,8	1,84	2181051,18
2029	1231560,5	0,62	762068,21
ИТОГО			21153298,66

Экономический выигрыш в связи с потенциально предотвращёнными случаями смерти рассчитывался исходя из значения ожидаемой продолжительности жизни, которую для условий Модели приняли на уровне 80 лет.

В этом случае дети 6 лет, которые были бы вакцинированы в 2023 году, могли бы прожить ещё 74 года, а дети, получившие вакцину в 7-летнем возрасте, — 73 года. Соответственно, монетарный

эквивалент общественного выигрыша от предотвращённой летальности в связи с коклюшной инфекцией составил бы величину, равную прогнозной суммарной стоимости лет оставшейся жизни в метриках регионального ВРП (с учётом инфляции), умноженной на вероятность смерти от этой инфекции в условиях отсутствия ревакцинации (как указывалось выше, принятой за 0,014%). Результаты полученного расчёта представлены в табл. 7.

Таблица 7. Монетарный эквивалент эпидемиологического выигрыша в связи с предотвращёнными случаями смерти в метриках суммарной величины прогнозного подушевого ВРП в оставшиеся годы жизни

Год после вакцинации	50 тысяч детей, подлежащих вакцинации в 6-летнем возрасте		50 тысяч детей, подлежащих вакцинации в 7-летнем возрасте	
	Суммарная стоимость лет оставшейся жизни, руб.	Монетарный эквивалент потенциального выигрыша от предотвращённых случаев смерти, руб.	Суммарная стоимость лет оставшейся жизни, руб.	Монетарный эквивалент потенциального выигрыша от предотвращённых случаев смерти, руб.
1	455082227,3	2559200,81	436642429,5	1957253,37
2	454125505,6	1990902,03	435685707,9	7639686,36
3	453116164,2	7231729,51	434676366,5	6935155,51
4	452063421,2	4544983,78	433623623,4	4355020,40
5	450968568,4	3561582,94	432528770,7	3404199,20
6	449829921,5	2403962,27	431390123,8	2291072,96
7	448645728,7	812084,71	430205931,0	761315,66
	Всего в этой когорте	23104446,05	Всего в этой когорте	27343703,47
ИТОГО на 100 тысяч детей 6-7 лет				50448149,52

При суммировании получаемых макроэкономических выгод в связи с потенциально предотвращёнными случаями болезни и смерти от коклюша в условной когорте из 100 тысяч детей, ревакцинированных рассматриваемой вакциной в 6-7-летнем возрасте, за весь период действия поствакцинального иммунитета в принятых при разработке Модели сценарных условиях получены следующие показатели монетарного эквивалента суммарного эпидемиологического выигрыша в связи с предотвращёнными:

- заболеваниями при ревакцинации 100 тысяч детей в возрасте 6-7 лет в метриках подушевого ВРП в ДВФО — 21 153 298,66 рубля;
- случаями смерти в метриках суммарной величины прогнозного подушевого ВРП в оставшиеся годы жизни — 50448 149,52 рубля.

Таким образом, монетарный эквивалент суммарного общественного выигрыша в связи со снижением заболеваемости и смертности в когорте из 100 тысяч детей 6-7-летнего возраста, вакцинированных, например, в 2023 году, в метриках подушевого ВРП мог бы составить в ДВФО 71 601 448,18 рубля.

Поскольку совокупное число вакцинируемых способствует снижению распространения инфекции, в расчётах необходимо учитывать эффект влияния ревакцинации когорты 6-7-летних детей на заболеваемость детей младшего возраста. В Модели учитывалось возможное влияние вакцинации детей дошкольного возраста на снижение заболеваемости младших детей, рассчитанное по описанной ранее методике [15].

Расчёт экономического выигрыша в связи со снижением заболеваемости младших детей проводился по схеме, аналогичной описанной выше для когорты детей 6 и 7 лет.

Эпидемиологический выигрыш составил 27,55 года жизни, не потерянных в связи с заболеваемостью малышей в период сохранения эффекта ревакцинации старших детей, и 0,1594 предотвращённого случая смерти в расчёте на 100 тысяч детей в младших возрастных группах.

Экономический выигрыш благодаря предотвращённым случаям болезни рассчитывался как произведение числа предотвращённых потерь лет жизни на величину ВРП в соответствующий год.

Экономический выигрыш в связи с потенциально предотвращёнными случаями смерти рассчитывался как произведение числа предотвращённых случаев смерти на суммарную стоимость оставшихся лет жизни для ребёнка соответствующего возраста в каждый год в период сохранения поствакцинального иммунитета старших детей (табл. 8-9). Как следует из приведённых результатов расчётов, суммарная выгода в младшей когорте детей благодаря ревакцинации 100 тысяч детей 6-7 лет потенциально могла бы составить в метриках подушевого ВРП в ДВФО 127 086 566,2 рубля.

Таким образом, общая выгода при ревакцинации в когорте детей 6-7 лет с учётом их влияния на заболеваемость младших детей могла бы потенциально составлять в метриках подушевого ВРП 198 688 014,38 рубля за весь период действия вакцины (7 лет).

Цена одной дозы вакцины, принятая для расчётов в Модели, составляла 1700 рублей с НДС. Ревакцинация 95% из когорты в 100 тысяч детей 6-7 лет в этом случае потребовала бы 161,5 млн рублей. При таких условиях соотношение общественных выгод к затратам составило бы:

$$(198,688 \text{ млн рублей}) \div (161,500 \text{ млн рублей}) = 1,23$$

Таким образом, в рамках принятых условий и входных параметров Модели величина общественных выгод при ревакцинации от коклюша дошкольников в ДВФО могла бы превысить необходимые затраты на закупку вакцины.

Анализ чувствительности при изменённых параметрах Модели подтвердил экономическую целесообразность ревакцинации детей в возрасте 6-7 лет от коклюшной инфекции в ДВФО (табл. 10).

Таблица 8. Экономические выгоды в связи с предотвращённой заболеваемостью детей от коклюша в возрасте 0-5 лет

Возраст детей младшей когорты, лет	Экономические выгоды от предотвращения случаев болезни (руб.)							ИТОГО, руб.
	Период сохранения поствакцинального иммунитета вакцинированных в 2023 году детей 6-7 лет							
	1-й год (2023 г.)	2-й год (2024 г.)	3-й год (2025 г.)	4-й год (2026 г.)	5-й год (2027 г.)	6-й год (2028 г.)	7-й год (2029 г.)	
0	5216325,5	5382273,5	5109108,0	3345519,6	2728894,4	1915683,9	664103,7	24361908,6
1	137341,1	141710,4	134518,2	88084,5	71849,3	50438,2	17485,3	641427,1
2	137341,1	141710,4	134518,2	88084,5	71849,3	50438,2	17485,3	641427,1
3	96196,3	99256,6	94219,1	61696,0	50324,6	35327,9	12247,0	449267,5
4	166157,2	171443,2	162742,0	106565,9	86924,3	61020,9	21153,9	776007,4
5	428510,8	442143,0	419703,0	274827,8	224173,2	157369,6	54554,8	2001282,3
ИТОГО, руб.	6181872,1	6378537,1	6054808,5	3964778,3	3234015,2	2270278,7	787029,9	28871319,9

Таблица 9. Экономические выгоды в связи с предотвращённой смертностью от тяжёлого течения коклюша детей в возрасте 0-5 лет

Возраст детей младшей когорты, лет	Экономические выгоды от предотвращения случаев смерти (руб.)							ИТОГО, руб.
	Период сохранения поствакцинального иммунитета вакцинированных в 2023 году детей 6-7 лет							
	1-й год (2023 г.)	2-й год (2024 г.)	3-й год (2025 г.)	4-й год (2026 г.)	5-й год (2027 г.)	6-й год (2028 г.)	7-й год (2029 г.)	
0	18366551,8	18681943,1	17682859,0	11578998,0	9444829,8	6630270,5	2298493,8	84683946,0
1	464197,8	472169,6	446918,8	292649,0	238709,8	167574,3	58092,4	2140311,8
2	445566,2	453218,6	428981,3	280903,3	229129,0	160848,5	55760,8	2054407,8
3	299534,9	304679,6	288386,0	188839,4	154033,7	108131,7	37485,6	1381090,9
4	496538,2	505067,3	478057,5	313039,1	255341,7	179249,9	62140,0	2289433,6
5	1228867,1	1249977,5	1183131,7	774732,2	631938,4	443620,8	153788,5	5666056,2
ИТОГО, руб.	21301256,1	21667055,8	20508334,2	13429161,1	10953982,4	7689695,6	2665761,2	98215246,3

Таблица 10. Результаты анализа чувствительности при изменении входных параметров Модели

Изменяемый параметр	Характер изменения	Суммарный монетарный эквивалент эффекта ревакцинации для детей 6-7 лет (руб.)	Монетарный эквивалент эффекта ревакцинации для детей 0-5 лет (руб.)	Соотношение выгод/затрат при ревакцинации в 6-7 лет
Исходные параметры		71601448,18	127086566,2	1,23
Недооценка выявляемости у детей 0-7 лет	Увеличение с 5 до 7 раз	75178687,82	177921192,68	1,57
Недооценка выявляемости у детей 0-7 лет	Уменьшение с 5 до 3 раз	68024217,19	76251939,72	0,89
Недооценка выявляемости у детей 8-17 лет	Увеличение с 20 до 30 раз	102954874,49	127086566,20	1,42
Недооценка выявляемости у детей 8-17 лет	Уменьшение с 20 до 10 раз	40264321,36	127086566,20	1,04

Таблица 10. Результаты анализа чувствительности при изменении входных параметров Модели

Изменяемый параметр	Характер изменения	Суммарный монетарный эквивалент эффекта ревакцинации для детей 6–7 лет (руб.)	Монетарный эквивалент эффекта ревакцинации для детей 0–5 лет (руб.)	Соотношение выгод/затрат при ревакцинации в 6–7 лет
Синхронизация с показателями летальности, отмечаемыми для России в базе данных GBD	Увеличение с 0,014% до 0,018%	86015205,18	155148065,15	1,49
Синхронизация с показателями летальности, отмечаемыми в отчёте РПН для ДВФО	Уменьшение с 0,014% до 0%	21153298,66	28871319,87	0,31
Уменьшение уровня планируемой инфляции в период после 2030 г.	Снижение с 4% до 3%	53695042,77	88155654,73	0,88
Сохранение повышенной инфляции до 2027 г.	2023 г. – 7,0% 2024 г. – 5,5% 2025 г. – 5,0% 2026 г. – 4,5% 2027 г. – 4,0%	72317688,88	128090008,62	1,24
Изменение цены одной дозы препарата (руб.)	Увеличение на 10%	71601448,18	127086566,20	1,10
Изменение цены одной дозы препарата (руб.)	Уменьшение на 10%	71601448,18	127086566,20	1,39

Выводы

Данные реальной клинической практики могут быть основой для прогнозирования эпидемиологической ситуации с коклюшной инфекцией и дальнейших расчётов экономической целесообразности бустерной ревакцинации детей.

Ревакцинация в когорте 100 тыс. детей 6-7 лет в течение 7 лет (периода сохранения активного иммунитета) позволит снизить уровень заболеваемости среди этой возрастной когорты наполовину. Кроме того, она позволит предотвращать заболевания и случаи смерти среди детей младшей возрастной группы (0-5 лет), что может сопровождаться предотвращением потери по болезни 27,55 года жизни и 0,1594 предотвращённого случая смерти в расчёте на 100 тысяч детей в младших возрастных группах.

Результаты проведённого моделирования на основе анализа заболеваемости и прогноза эпидеми-

ческого процесса в ДВФО доказывают экономическую целесообразность ревакцинации от коклюшной инфекции у детей в возрасте 6-7 лет.

Монетарный эквивалент суммарного общественного выигрыша от снижения заболеваемости и смертности детей 6 и 7 лет, а также детей младшего возраста за 7 лет после ревакцинации дошкольников в ДВФО может превысить 198 млн рублей в расчёте на 100 тысяч в рассматриваемых возрастных группах детей.

Сопоставление величины монетарного эквивалента общественной выгоды в метриках регионального ВРП с затратами на проведение однократной ревакцинации 100 тыс. детей в возрасте 6-7 лет (161,5 млн руб.) демонстрирует общественный выигрыш в горизонте 7 лет — он потенциально может превысить затраты на вакцинацию в 1,23 раза.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Конфликт интересов.

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

ADDITIONAL INFORMATION

Conflict of interests.

The authors declares no conflict of interest.

Ограничения исследования

Моделирование выполнено с учётом предположения о потенциально большей распространённости заболевания в сравнении с имеющимися статистическими данными.

Участие автора. Светличная С. В. — расчёты, анализ, написание статьи; Елагина Л. А. — расчёты; Попович Л. Д. — написание, редактирование статьи.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Светличная Светлана Валентиновна — директор Независимого института социальных инноваций, Москва, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку

e-mail: svetlichnayasv@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3977-819X>

Елагина Любовь Александровна — эксперт Независимого института социальных инноваций, Москва, Российская Федерация

e-mail: elaginaluba@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9692-4157>

Попович Лариса Дмитриевна — к. б. н., директор Института экономики здравоохранения ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация

e-mail: ldpopovich@hse.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4566-8704>

Study limitations

Modeling was performed considering the assumption of a potentially higher prevalence of the disease compared with the available statistical data.

Participation of author. Svetlichnaya SV — calculations, analysis, writing the article; Elagina LA — calculations; Popovich LD — writing and editing the article.

ABOUT THE AUTHORS

Svetlichnaya Svetlana V. — Head of Independent Institute for Social Innovation, Moscow, Russian Federation

Corresponding author

e-mail: svetlichnayasv@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3977-819X>

Elagina Lybov A. — Expert of the Independent Institute for Social Innovation, Moscow, Russian Federation

e-mail: elaginaluba@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9692-4157>

Popovich Larissa D. — PhD Biological Sci., Head of Institute of Health Care Economics in the National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russian Federation

e-mail: ldpopovich@hse.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4566-8704>

Литература/References

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году»/Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. [State report «On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2021»/Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2022].
2. Falkenstein-Hagander K, Appelqvist E, Cavefors AF et al. Waning infant pertussis during COVID-19 pandemic. *Arch Dis Child.* 2022;107(3):e19. doi: 10.1136/archdischild-2021-323055
3. ЕМИСС Росстат. [EMISS Rosstat]. <https://www.fedstat.ru/indicator/57778> (обращение к ресурсу 16 августа 2022).
4. Cohen R, Ashman M, Taha MK et al. Pediatric Infectious Disease Group (GPIP) position paper on the immune debt of the COVID-19 pandemic in childhood, how can we fill the immunity gap? *Infect Dis Now.* 2021;51(5):418-23. doi: 10.1016/j.idnow.2021.05.004
5. Matczak S, Levy C, Fortas C et al. Association between the COVID-19 pandemic and pertussis derived from multiple nationwide data sources, France, 2013 to 2020. *Euro Surveill.* 2022;27(25):2100933. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2022.27.25.2100933
6. Tanaka M, Okubo R, Hoshi SL et al. Cost-effectiveness of pertussis booster vaccination for preschool children in Japan. *Vaccine.* 2022;40(7):1010-8. doi: 10.1016/j.vaccine.2022.01.001
7. Langsam D, Kahana D, Shmueli E, Yamin D. Cost-Effectiveness of Pertussis Vaccination Schedule in Israel. *Vaccines (Basel).* 2021;9(6):590. doi: 10.3390/vaccines9060590
8. Таточенко В.К. Коклюш — недоуправляемая инфекция. *Вопросы современной педиатрии.* 2014;13(2):78-82.
9. Riffelmann M, Wirsing von König CH, Caro V et al. Nucleic Acid amplification tests for diag-

- nosis of Bordetella infections. *J Clin Microbiol* 2005;43:4925-9. doi: 10.1128/JCM. 43.10.4925-4929.2005
10. Басов А. А. Эпидемический процесс коклюша на современном этапе: автореф. дис.... канд. мед. наук/А. А. Басов. — М., 2016. — 20 с.
 11. https://www.healthdata.org/sites/default/files/files/policy_report/2013/WB_EuropeCentralAsia/IHME_GBD_WorldBank_EuropeCentralAsia_FullReport_RUSSIAN.pdf (обращение к ресурсу 12 января 2023).
 12. Витрины данных Росстат [Электронный ресурс]. <https://showdata.gks.ru/report/278936/> (обращение к ресурсу 2 августа 2022).
 13. Формы статистического наблюдения №2 Роспотребнадзора.
 14. Bell CA, Russell ML, Drews SJ, et al. Acellular pertussis vaccine effectiveness and waning immunity in Alberta, Canada: 2010-2015, a Canadian Immunization Research Network (CIRN) study. *Vaccine*. 2019 Jul 9;37 (30):4140-6.
 15. Брико Н.И., Миндлина А.Я., Михеева И.В. и др. Моделирование потенциального эффекта ревакцинации против коклюша детей в 6-7 и 14 лет в рамках национального календаря профилактических прививок. *Эпидемиология и Вакцинопрофилактика*. 2021;20 (5):4-20. <https://doi:10.31631/2073-3046-2021-20-5>. [MWRWD](#)