

Вестник НГУЭУ. 2022. № 4. С. 190–207

Vestnik NSUEM. 2022. No. 4. P. 190–207

Научная статья

УДК 330.42

DOI: 10.34020/2073-6495-2022-4-190-207

**МЕТОДИКА ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ ОЦЕНКИ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ
ФАКТОРОВ РИСКА ИНВАЛИДИЗАЦИИ
И СМЕРТНОСТИ НЕДОНОШЕННЫХ ДЕТЕЙ**

**Султанов Булат Рамдисович¹, Бахитова Раиля Хурматовна²,
Лакман Ирина Александровна³, Брюханова Ольга Анатольевна⁴**

¹⁻³ *Башкирский государственный университет*

⁴ *Башкирский государственный медицинский университет*

¹ sultanoff.bulat.3.4@yandex.ru

² bakhitovarih@mail.ru

³ lackmania@mail.ru

⁴ bryukhanova.olga22@yandex.ru

Аннотация. Проблема недоношенности остается одной из важнейших в современной неонатологии. В статье приведена оценка экономических расходов на уход, выхаживание и реабилитацию недоношенных детей, а также при помощи метода машинного обучения определена нижняя граница гестационного возраста для выхаживания и активного лечения данной категории детей с учетом влияния основных факторов риска таких исходов, как смерть и инвалидизация. Полученные результаты позволят снизить экономическую нагрузку государства на лечение младенцев, родившихся с экстремально низкой массой тела.

Ключевые слова: глубоко недоношенные новорожденные, риск инвалидности, риск смерти, классификационное дерево решений, прямые и косвенные расходы

Для цитирования: Султанов Б.Р., Бахитова Р.Х., Лакман И.А., Брюханова О.А. Методика дерева решений оценки экономической нагрузки при определении факторов риска инвалидизации и смертности недоношенных детей // Вестник НГУЭУ. 2022. № 4. С. 190–207. DOI: 10.34020/2073-6495-2022-4-190-207.

Original article

METHODOLOGY OF THE DECISION TREE FOR ASSESSING THE ECONOMIC BURDEN IN DETERMINING THE RISK FACTORS FOR DISABILITY AND MORTALITY IN PREMATURE BABIES

Sultanov Bulat R.¹, Bakhitova Railya Kh.²,
Lachman Irina A.³, Bryukhanova Olga A.⁴

¹⁻³ *Bashkir State University*

⁴ *Bashkir State Medical University*

¹ sultanoff.bulat.3.4@yandex.ru

² bakhitovarih@mail.ru

³ lackmania@mail.ru

⁴ bryukhanova.olga22@yandex.ru

Abstract. The problem of prematurity remains one of the most important in modern neonatology. The article provides an assessment of the economic costs for the care, nursing and rehabilitation of premature babies, and using the machine learning method, the lower limit of the gestational age for nursing and active treatment of this category of children is determined, taking into account the influence of the main risk factors for such outcomes as death and disability. The results obtained will reduce the economic burden of the state on the treatment of infants born with extremely low body weight.

Keywords: very premature infants, risk of disability, risk of death, classification decision tree, direct and indirect costs

For citation: Sultanov B.R., Bakhitova R.H., Lakman I.A., Bryukhanova O.A. Methodology of the decision tree for assessing the economic burden in determining the risk factors for disability and mortality in premature babies. *Vestnik NSUEM*. 2022; (4): 190–207. (In Russ.). DOI: 10.34020/2073-6495-2022-4-190-207.

1. Введение

Недоношенность на сегодняшний день является ведущей причиной неонатальной смертности во всем мире. Среди выживших недоношенных детей хроническая заболеваемость и инвалидизация остаются достаточно высокими без существенной тенденции к снижению [5, 9]. Также у выживших новорожденных высок риск отсроченных последствий для здоровья [9]. В настоящее время доказана эффективность целого ряда лечебно-профилактических мероприятий, существенно влияющих на показатели выживаемости глубоко недоношенных новорожденных. К ним относятся: антенатальное использование кортикостероидов, усовершенствование методов первичной и реанимационной помощи, использование минимальной концентрации кислорода при проведении респираторной поддержки, неинвазивная и высокочастотная вентиляция легких [1]. Подавляющее большинство литературных источников ассоциируют риск развития тяжелых осложнений состояния здоровья и смерти с показателями веса тела при рождении и срока гестации. Например, в исследовании Р.Х. Бахитова

вой и соавт. получены следующие результаты: на риск смерти оказывает влияние в неонатальном периоде – вес при рождении, наличие патологии плода и оценка по Апгар; в постнатальный период – наличие патологии плода и пневмонии при рождении, объем лечебных мероприятий по выхаживанию; в детском возрасте (до 2 лет) – наличие у младенцев пневмонии при рождении, наличие патологий плода, объем первичных реанимационных мероприятий, длительность пребывания в отделении патологии новорожденных, фактор мужского пола [3]. В работе О.В. Лебедевой также изучено влияние на выживаемость оказания интенсивной терапевтической помощи и других мероприятий по выхаживанию детей с экстремально низкой и очень низкой массой тела при рождении [10]. В данной работе установлено, что показатели заболеваемости и смертности глубоко недоношенных новорожденных, особенно с крайней степенью незрелости, значительно варьируют и зависят от медико-социальных факторов, имеющих происхождение в родительской семье (низкая посещаемость беременных женских консультаций и их недообследованность к периоду родов, несоблюдение режима питания обследуемыми женщинами), уровня оказания медицинской помощи и исходных показателей здоровья новорожденного при рождении.

Исследование перинатальной смертности в РФ с помощью многомерного анализа данных в статьях О.Г. Павлова и Д.В. Мартынова подтверждает безусловное превалирование вклада показателей недоношенности – короткий период гестации и низкие антропометрические параметры новорожденных, обуславливающие неспособность плода к выживанию (39,5 % вклада в вариацию показателя смертности объясняется системно-образующими показателями) [6–8].

Данные европейских исследований отражают большие различия в определении нижней границы массы тела для выхаживания и активного лечения недоношенных детей в различных странах. В ряде стран (Бельгия, Испания, Франция, Нидерланды, Финляндия) не предусмотрены реанимационные меры новорожденным при преждевременных родах в сроках гестации 22–23 недели, а при сроке гестации 25 недель рекомендовано принимать решение индивидуально по информированному согласию родителей. В европейских исследованиях принято, что срок гестации 22–24 недели и масса 500–600 г для новорожденных являются предельной зоной жизнеспособности, поскольку в данном интервале наблюдается очень высокая летальность [14]. Проводимое нами исследование позволит определить нижние границы гестационного возраста и массы тела для выхаживания и активного лечения недоношенных детей, а также ключевые факторы риска инвалидизации и смертности у детей, родившихся глубоко недоношенными.

Целью исследования является определение нижней границы гестационного возраста для выхаживания и активного лечения недоношенных детей с учетом влияния основных факторов риска для таких исходов, как смерть и инвалидизация, а также оценка расходов на уход, выхаживание и реабилитацию данной категории детей.

2. Материал и методы

Эмпирической базой исследования являлись данные обследования и лечения 323 детей, родившихся с ОНМТ (очень низкая масса тела) и ЭНМТ (экстремально низкая масса тела), находившихся на стационарном лечении в 2013–2018 гг. в ГБУЗ ГДКБ № 17 г. Уфа МЗ РБ и ГБУЗ РКПЦ МЗ РБ [1, 5]. База представляет собой случайную выборку по критериям веса при рождении менее 1500 г и срока гестации до 32 недель.

Информационная база показателей включала в себя: показатели здоровья матери; факторы, относящиеся к течению беременности и родам; показатели здоровья ребенка при рождении и в течение первого года жизни; факторы заболевания ребенка после первого года жизни; конечные точки: нет инвалидности (условно здоров), инвалидность, смерть. Показатели здоровья матери составили следующие факторы: возраст матери, факт выкидыша и/или аборта, паритет родов, использование репродуктивных технологий (экстракорпоральное оплодотворение), истмикоцервикальная недостаточность, наличие эндокринных заболеваний у матери, наличие заболеваний сердечно-сосудистой системы у матери, наличие у матери заболеваний, передающихся половым путем. Факторы, относящиеся к течению беременности и родам: наличие перенесенной во время беременности острой респираторной вирусной инфекции, фето-плацентарная недостаточность, наличие угрозы прерывания беременности, наличие преэклампсии, степень тяжести внутриутробной гипоксии, наличие пороков развития плода, антенатальная профилактика респираторного дистресс-синдрома, длительность безводного промежутка (в часах), родоразрешения путем операции кесарева сечения.

К показателям характеристики и здоровья ребенка при рождении и в течение первого года жизни, а также объему оказанных лечебных мероприятий отнесены факторы: срок гестации, вес при рождении, пол, оценка по Апгар на 1-й минуте жизни, оценка по Апгар на 5-й минуте жизни, наличие реанимационных мероприятий, длительность традиционной искусственной вентиляции легких (в днях), длительность неинвазивной искусственной вентиляции легких (в днях), длительность высокочастотной искусственной вентиляции легких (в днях), продолжительность пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии новорожденных (в днях), продолжительность пребывания в отделении патологии новорожденных (в днях), введение курсурфа, введение дексаметазона, введение гемотрансфузии, наличие заболевания на первом месяце жизни: анемия, наличие заболевания на первом месяце жизни: респираторный дистресс-синдром, наличие заболеваний на первом месяце жизни таких как неонатальная пневмония, неонатальный сепсис, внутрижелудочковое кровоизлияние, гипоксически-ишемическое поражение центральной нервной системы, энтероколит, наличие внутриутробной гипотрофии (задержки внутриутробного развития), наличие врожденного порока развития, наличие постнатальной гипотрофии, наличие заболевания при выписке: тяжелая патология центральной нервной системы, наличие заболевания при выписке: другая патология центральной нервной системы, наличие заболевания при выписке: рети-

нопатия, наличие заболевания при выписке: бронхолегочная дисплазия, наличие заболевания при выписке: атрофия зрительного нерва, наличие заболевания при выписке: потеря слуха, наличие заболевания при выписке: анемия, наличие заболевания при выписке: заболевание желудочно-кишечного тракта, наличие заболевания при выписке: заболевание костно-мышечной системы, наличие заболевания при выписке: нарушение питания (недостаточность питания), сочетание: бронхолегочная дисплазия, тяжелая патология центральной нервной системы, степень тяжести гипоксически-ишемического поражения центральной нервной системы.

Рассматривались факторы заболевания ребенка после первого года жизни в виде сочетаний: бронхолегочная дисплазия и тяжелая патология центральной нервной системы; ретинопатия и бронхолегочная дисплазия; патология центральной нервной системы и ретинопатия; патология центральной нервной системы и заболевание костно-мышечной системы; ретинопатия и заболевание желудочно-кишечного тракта; тяжелая патология центральной нервной системы и атрофия зрительного нерва; патология центральной нервной системы, ретинопатия и анемия; ретинопатия и анемия; патология центральной нервной системы и нарушение питания; патология центральной нервной системы, бронхолегочная дисплазия и ретинопатия; патология центральной нервной системы и бронхолегочная дисплазия; тяжелая патология центральной нервной системы и ретинопатия; патология центральной нервной системы и заболевание желудочно-кишечного тракта; сочетание: патология центральной нервной системы, ретинопатия и нарушение питания; сочетание: патология центральной нервной системы, ретинопатия и заболевание желудочно-кишечного тракта; сочетание: патология центральной нервной системы и анемия, сочетание: ретинопатия и нарушение питания, сочетание: тяжелая патология центральной нервной системы и потеря слуха (табл. 1–5).

Факторы отобраны на основе предполагаемого их влияния на появление таких событий, как инвалидность и смертность. Данные исследований также подтверждают целесообразность использования отобранных факторов [1–3, 11–13, 16].

Таблица 1

Структура показателей здоровья матери
Structure of maternal health indicators

Фактор	Структура
Возраст матери	30,55 ± 6,06
Факт выкидыша и/или аборта	1,09 ± 1,41
Паритет родов	1,87 ± 1,12
Использование репродуктивных технологий (экстракорпоральное оплодотворение), %	10,53
Истмиоцервикальная недостаточность, %	13,00
Наличие эндокринных заболеваний у матери, %	4,95
Наличие заболеваний сердечно-сосудистой системы у матери, %	17,96
Наличие у матери заболеваний, передающихся половым путем, %	38,08

Таблица 2

**Структура показателей, относящихся к течению беременности и родам
Structure of indicators related to the course of pregnancy and childbirth**

Фактор	Структура
Фето-плацентарная недостаточность, %	59,13
Наличие угрозы прерывания беременности (0 – нет, 1 – есть, 2 – стационарное лечение), %	0 – 33,13, 1 – 46,13, 2 – 20,74
Наличие преэклампсии, %	27,86
Степень тяжести внутриутробной гипоксии (0 – нет, 1 – компенсированная, 2 – субкомпенсированная, 3 – декомпенсированная), %	0 – 45,51, 1 – 11,46, 2 – 27,86, 3 – 15,17
Наличие пороков развития плода, %	6,81
Аntenатальная профилактика респираторного дистресс-синдрома (РДС) (0 – не проведена, 1 – проведена не в полном объеме, 2 – проведена в полном объеме), %	0 – 56,66, 1 – 11,46, 2 – 31,88
Длительность безводного промежутка, ч	10,39 ± 23,92
Родоразрешение путем операции кесарева сечения, %	71,83

Таблица 3

Структура показателей характеристик и здоровья ребенка при рождении и в течение первого года жизни, а также объема оказанных лечебных мероприятий

The structure of indicators of the characteristics and health of the child at birth and during the first year of life, as well as the volume of therapeutic measures rendered

Фактор	Структура
1	2
Срок гестации, количество недель	28,91 ± 3,21
Вес при рождении, г	1131,66 ± 274,96
Пол ребенка, %	Ж – 54,49, М – 45,51
Оценка по Апгар на 1-й минуте жизни, балл	3,61 ± 1,58
Оценка по Апгар на 5-й минуте жизни, балл	5,41 ± 1,49
Наличие реанимационных мероприятий, %	74,61
Длительность традиционной искусственной вентиляции легких, дни	9,54 ± 14,98
Длительность неинвазивной искусственной вентиляции легких, дни	4,43 ± 7,65
Длительность высокочастотной искусственной вентиляции легких, дни	0,74 ± 4,23
Продолжительность пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии новорожденных, дни	17,96 ± 20,97
Продолжительность пребывания в отделении патологии новорожденных, дни	32,03 ± 16,61
Введение куросурфа, %	68,11
Введение дексаметазона, количество доз	1,50 ± 4,14
Введение гемотрансфузии, количество доз	0,90 ± 1,49

Окончание табл. 3

1	2
Наличие заболевания на первом месяце жизни, %:	
анемия	52,63
респираторный дистресс-синдром	71,21
неонатальная пневмония	89,47
неонатальный сепсис	12,38
внутрижелудочковое кровоизлияние	28,17
гипоксически-ишемическое поражение ЦНС	75,54
энтероколит	25,39
внутриутробная гипотрофия	31,58
Наличие врожденного порока развития, %	78,33
Наличие постнатальной гипотрофии, %	27,55
Наличие заболевания при выписке, %:	
тяжелая патология центральной нервной системы (внутрижелудочковое кровоизлияние 3-й степени, гипоксически-ишемическое поражение центральной нервной системы тяжелой степени, органическое поражение головного мозга), %	11,15
другая патология центральной нервной системы	75,54
ретинопатия	33,75
бронхолегочная дисплазия	25,39
атрофия зрительного нерва	1,24
потеря слуха	1,86
анемия	52,63
заболевание желудочно-кишечного тракта	9,91
заболевание костно-мышечной системы	8,05
нарушение питания (недостаточность питания)	3,10

Таблица 4

**Структура показателей заболевания ребенка после первого года жизни
(сочетания)
The structure of indicators of the disease of a child after the first year of life
(combinations)**

Фактор	Структура, %
1	2
Сочетание:	
бронхолегочная дисплазия и тяжелая патология центральной нервной системы	0,93
ретинопатия и бронхолегочная дисплазия	0,93
патология центральной нервной системы и ретинопатия	5,26
патология центральной нервной системы и заболевание костно-мышечной системы	1,24
ретинопатия и заболевание желудочно-кишечного тракта	0,31
тяжелая патология центральной нервной системы и атрофия зрительного нерва	0,93
патология центральной нервной системы, ретинопатия и анемия	0,62
ретинопатия и анемия	0,31
патология центральной нервной системы и нарушение питания	0,93

Окончание табл. 4

1	2
патология центральной нервной системы, бронхолегочная дисплазия и ретинопатия	0,62
патология центральной нервной системы и бронхолегочная дисплазия	1,55
тяжелая патология центральной нервной системы и ретинопатия	0,62
патология центральной нервной системы и заболевание желудочно-кишечного тракта	1,24
патология центральной нервной системы, ретинопатия и нарушение питания	0,31
патология центральной нервной системы, ретинопатия и заболевание желудочно-кишечного тракта	0,31
патология центральной нервной системы и анемия	0,31
ретинопатия и нарушение питания	0,31
тяжелая патология центральной нервной системы и потеря слуха	0,31

Таблица 5

**Конечные точки
Endpoints**

Фактор	Структура, %
Инвалидизация	10,22
Смерть	14,86

На первом этапе исследования для обеспечения надежности и достоверности получаемых результатов исходные данные были разделены на обучающую (используется для построения модели) и тестовую (используется для проверки и оценки качества модели) выборки и восполнены методом многомерной оценки цепными уравнениями. Под цепными уравнениями подразумеваются цепи Маркова – последовательность случайных событий с конечным или счетным числом исходов, где вероятность наступления каждого события зависит только от состояния, достигнутого в предыдущем событии. Метод предполагает использование комплексных функций для работы с пропущенными значениями, при этом процесс восполнения выполняется в два шага: на первом – строится модель, на втором – генерируются данные по построенной модели.

На втором этапе были построены классификационные деревья по определению риска инвалидизации и смертности недоношенных детей. Алгоритм дерева решений является одним из наиболее распространенных методов машинного обучения, ставший популярным в последнее время из-за высокой точности и эффективности получаемых моделей. Структура дерева состоит из «листьев» и «веток». На «ветках» дерева решения записаны признаки, от которых зависит целевая функция, значения которой как раз и надо предсказать, в «листьях» записаны значения целевой функции. Чтобы классифицировать новое наблюдение, т.е. отнести по правилу к одному из классов, надо спуститься по дереву до листа и выдать соответствующее

значение. Данное расстояние определяет глубину дерева. Алгоритм применяется для определения принадлежности наблюдения к определенному классу. Математическая запись модели имеет вид:

$$(x, Y) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, Y),$$

где зависимая переменная Y (в данном исследовании: исход – нет инвалидности (условно здоров), инвалидность, смерть) является целевой переменной, которую необходимо классифицировать. Вектор x состоит из входных переменных x_1, x_2, x_3 и т.д. (в данном исследовании это экзогенные факторы: показатели здоровья матери, показатели здоровья ребенка при рождении и в течение первого года жизни, факторы заболевания ребенка после первого года жизни), которые используются для выполнения задачи классификации.

В данной задаче необходимо построить алгоритм, который на основе анализа всего пула признаков, относит каждое наблюдение к одному из трех исходов: нет инвалидности (условно здоров), инвалидность, смерть. Правила принятия решений имеют форму операторов: «если...-то...-в противном случае...». От глубины дерева зависит сложность правил, их эффективность и точность модели. Преимуществом использования алгоритма дерева решения по отношению к другим алгоритмам машинного обучения является то, что получаемые в ходе моделирования правила позволяют найти значение независимого признака, при котором происходит ветвление в отношении выбора альтернативы. Таким образом, можно найти нижнюю границу гестационного возраста младенца для его выхаживания.

Для проверки точности и оценки качества алгоритма классификации была выбрана метрика AUC (площадь под ROC-кривой), как наиболее часто используемая метрика для оценки применимости классификатора. ROC-кривая отображает соотношение между долей верно классифицированных объектов от общего количества носителей признака (откладывается по оси абсцисс), и долей неверно классифицированных объектов от общего количества объектов (откладывается по оси ординат).

На заключительном этапе исследования выполнена оценка прямых и косвенных расходов на уход, выхаживание и реабилитацию недоношенных новорожденных. Подход, предложенный З.В. Максименко, Р.Х. Бахитовой, О.А. Брюхановой [4] включает определение:

- прямых (затраты на лечение заболеваний и осложнений, в том числе препараты, консультации врачей, операционные вмешательства и пр.);
- косвенных затрат (экономический ущерб, который понесет государство из-за инвалидизации и нетрудоспособности ребенка в будущем и нетрудоспособности одного из родителей или опекунов).

Прямые медицинские затраты, производимые органами здравоохранения и членами семей детей для проведения соответствующего лечения, рассчитывались как сумма двух составляющих:

- 1) затрат на стационарное лечение при рождении и в период выхаживания в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТН) и отделении патологии новорожденных (ОПН):

$$\begin{aligned}
C_{\text{пз}} = & C_{\text{мед}} + C_{\text{иссл}} + C_{\text{опер}} + C_{\text{пит}} + C_{\text{гем}} + C_{\text{спец}} + \\
& + (C_{\text{гост}} + C_{\text{инв}} + C_{\text{рм}} + C_{\text{кисл}} + C_{\text{кдз}}) \times N_{\text{ОРИТН}} + \\
& + (C_{\text{гост}} + C_{\text{инв}} + C_{\text{рм}} + C_{\text{кисл}} + C_{\text{кдз}}) \times N_{\text{ОПН}},
\end{aligned}$$

где $C_{\text{мед}}$ – стоимость медикаментозной терапии, $C_{\text{иссл}}$ – затраты на проведение лабораторных и инструментальных исследований, $C_{\text{опер}}$ – затраты на проведение оперативных вмешательств, $C_{\text{пит}}$ – стоимость питательных смесей, $C_{\text{гем}}$ – стоимость гемотрансфузий, $C_{\text{спец}}$ – стоимость консультаций узких специалистов, в том числе из других стационаров, $C_{\text{гост}}$ – стоимость гостиничных услуг на пациента в сутки, $C_{\text{инв}}$ – стоимость мягкого инвентаря на 1 койко-день, $C_{\text{рм}}$ – затраты на расходные материалы на 1 койко-день, $C_{\text{кисл}}$ – затраты на обеспечение кислородом 1 койко-день, $C_{\text{кдз}}$ – затраты на выплату заработной платы сотрудникам отделения за 1 койко-день, проведенный пациентом в отделении, $N_{\text{ОРИТН}}$ и $N_{\text{ОПН}}$ – средняя длительность пребывания пациента в отделениях ОРИТН и ОПН соответственно, дней;

2) затрат на стационарное лечение диагностированных на этапе выхаживания заболеваний и их осложнений.

Косвенные (социально-экономические) затраты на самого ребенка и на родителей/опекунов включают: выплаты по инвалидности, потери ВВП/ВРП, налоговых сборов, доходов детей и их родителей, связанные с временной нетрудоспособностью как минимум одного из родителей, потерей ребенком трудоспособности в будущем и пр. Для оценки потерь ВВП/ВРП по причине нетрудоспособности применяется метод «человеческого капитала», при этом учитываются потери ВВП/ВРП за весь период нетрудоспособности потенциально работоспособного гражданина. Оценка социальных затрат и потерь основывается на данных о числе дней нетрудоспособности детей и одного из родителей/опекунов, на потерях консолидированного бюджета РФ вследствие снижения налоговых сборов из-за нетрудоспособности и преждевременной смерти [4].

Расчеты были выполнены в информационно-аналитической среде RStudio, представляющей собой свободную среду разработки программного обеспечения для статистической обработки данных и работы с графикой.

3. Результаты

В результате разработки алгоритма дерева решений на обучающей выборке была получена система логических правил принятия решений, представленная на рис. 1.

В корне дерева – наиболее важный показатель, влияющий на варианты исходов (рис. 1). Показатели, расположенные выше по уровню, оказывают менее значимое влияние на результат. Корень дерева в контексте данной задачи представляет собой наиболее важный фактор, имеющий первостепенное влияние на появление конечных точек, далее происходит движение в направлении, удовлетворяющем определенному условию, записанному в блок-схеме дерева. Расположенные выше по уровню блок-схемы узлы отражают точку возникновения последствий, к ним относятся показатели за-

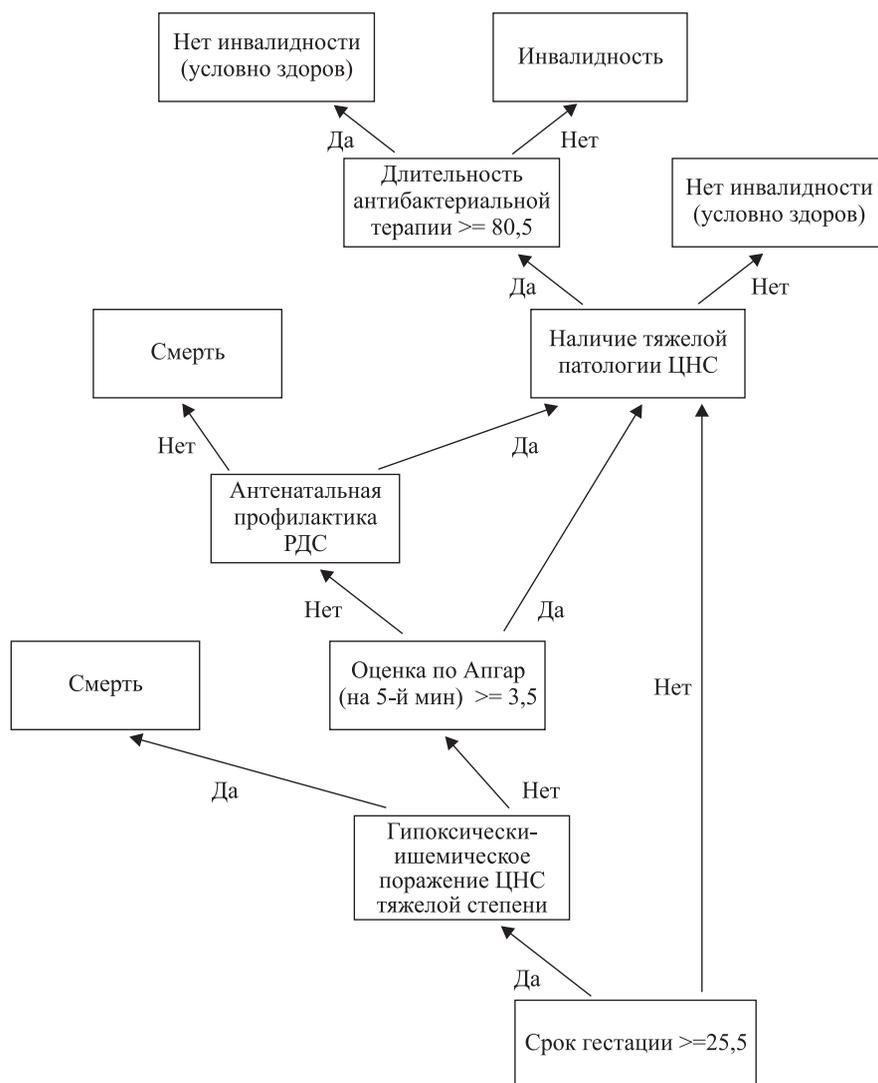


Рис. 1. Классификационное дерево инвалидизации и смертности
Classification tree of disability and mortality

болеваемости, дозы приема лекарств и другие признаки. В вершине дерева расположены исходы: нет инвалидности (условно здоров), инвалидность, смертность.

Точность классификатора проверялась на тестовой выборке, которая составляла 20 % от первоначального объема базы наблюдений. В результате моделирования точность классификации инвалидизации и смертности составила в среднем 72,7 % (75 % – для ROC-кривой риска инвалидизации недоношенных детей: «дети с инвалидностью»/«дети без инвалидности (условно здоровые)» – «умершие» и 70,4 % – для ROC-кривой риска смертности недоношенных детей: «умершие»/«дети с инвалидностью» – «дети без инвалидности (условно здоровые)»). На рис. 2, 3 отражены результаты построения ROC-кривой рисков инвалидизации и смертности недоношенных младенцев против события «нет инвалидности (условно здоров)».

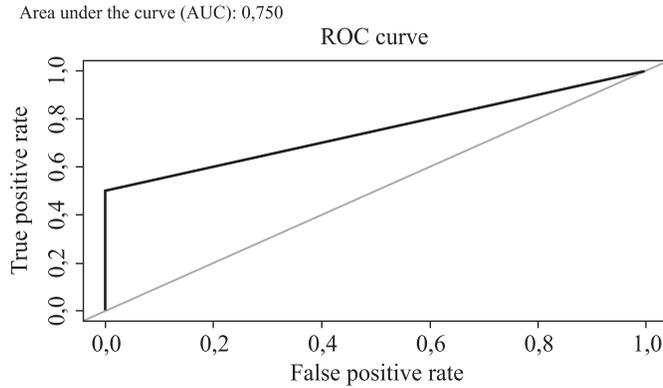


Рис. 2. ROC-кривая риска инвалидизации недоношенных детей: «дети с инвалидностью»/«дети без инвалидности (условно здоровые)» – «умершие»

ROC-curve of the risk of disability in premature babies: “children with disabilities”/“children without disabilities (conditionally healthy)” – “deceased”

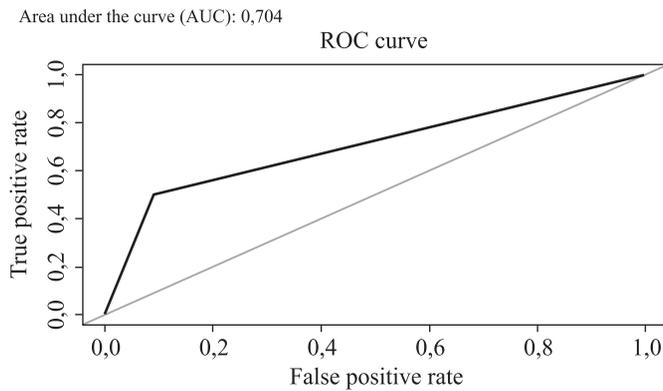


Рис. 3. ROC-кривая риска смертности недоношенных детей: «умершие»/«дети с инвалидностью» – «дети без инвалидности (условно здоровые)»

ROC-curve of the risk of mortality of premature infants: “deceased”/“children with disabilities” – “children without disabilities (conditionally healthy)”

На основании результатов моделирования к ключевым факторам, оказывающим наибольшее влияние на риск инвалидности, отнесена тяжелая патология ЦНС. Риск смерти тесно коррелирован со сроком гестации, тяжестью гипоксически-ишемического поражения ЦНС, оценкой по шкале Апгар на 5-й минуте жизни и антенатальной профилактикой РДС. Определена нижняя граница гестационного возраста для выхаживания и активного лечения недоношенных детей. По результатам проведенного нами исследования, гестационный возраст менее 25,5 недель значительно снижает шансы ребенка на выживание. В исследовании Р.Х. Бахитовой и соавт. показано, что вес при рождении оказывает влияние на риск смерти [2]. Вариации моделей с массой тела при рождении не обнаружили существенной



Рис. 4. Значимость факторов риска инвалидности и смертности
Significance of risk factors for disability and mortality

зависимости с целевыми переменными. По данным нашего исследования, масса тела при рождении не имеет решающего влияния на риск инвалидности и смерти. Рис. 4 в виде диаграммы Парето отражает вклад каждого фактора в возникновение того или иного исхода.

Прямые затраты на уход, выхаживание и реабилитацию недоношенных детей составили 1 137 170,33 руб. Распределение по статьям прямых затрат на стационарное лечение при рождении и в период выхаживания в ОРИТН и ОПН в рублях представлено в табл. 6.

Таблица 6

Распределение прямых затрат по статьям
Distribution of direct costs by items

Статья затрат	Сумма
Пребывание ОПН	333 214,67
Пребывание ОРИТН	232 253,67
Питание	7654,39
Лабораторные исследования	56 080,74
Консультации врачей	5062,46
ИВЛ	40 085,33
Переливание крови	3211,16
Лекарственная терапия	459 608,11
Итого	1 131 170,533

Прямые затраты на ежегодную реабилитацию до достижения ребенком 18 лет в среднем составляют около 2 млн руб. на одного ребенка.

Косвенные (социально-экономические) затраты на самого ребенка и на родителей/опекунов рассчитывались по данным официальной статистики (Пенсионный фонд РФ, Росстат, Башстат):

1) выплаты пенсии по инвалидности детям-инвалидам до 18 лет – 12 681,09 руб. в месяц;

2) выплаты компенсаций родителям/опекунам по инвалидности до достижения ребенком 18 лет – 10 000 руб. в месяц;

3) потери консолидированного бюджета РФ, связанные с временной нетрудоспособностью как минимум одного из родителей до 18-летия ребенка:

– потери налоговых сборов от налога на доходы физических лиц – 13 % от средней заработной платы работников организаций в Республике Башкортостан (35 756 руб. в месяц), составляют 4648,30 руб. в месяц;

– потери ВРП на душу населения по Республике Башкортостан составляют 374,4 тыс. руб.

Итоговые прямые затраты до достижения ребенком 18 лет в среднем составляют более 4 млн руб., косвенные – более 12 млн руб. [6]. С учетом количества оцененных моделью дерева решений детей с инвалидностью (25 чел.) суммарные расходы составят соответственно 100 млн руб. и 300 млн руб.

4. Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют детально оценить вклад каждого фактора в развитие того или иного исхода глубокой недоношенности (инвалидности, смертности). Решающими предикторами вероятности инвалидизации и смертности признаны срок гестации и наличие тяжелой патологии ЦНС. Также, как уже было отмечено выше, существенным результатом явилось определение нижней границы гестационного возраста для выхаживания и активного лечения недоношенных детей. Похожие результаты были получены в других исследованиях.

В работах M.A. Abolfotouh et al., S. Santhakumaran et al. с помощью логистической регрессии оценивается выживаемость глубоко недоношенных детей в период до 6 и 20 лет, где в качестве показателей риска неблагоприятного исхода рассматриваются ранний гестационный возраст, пол, низкий вес при рождении, низкая оценка по шкале Апгар. В работах [11, 15] сделан вывод о том, что выживаемость напрямую коррелирует с гестационным возрастом (ГА) и массой тела при рождении. В статье H. Inoue et al. модель пропорциональных рисков Кокса используется для оценки выживаемости младенцев, рожденных с весом менее 500 г, в период до 5 лет. Помимо уже ставших традиционными вышеописанных предикторов риска смерти, в данной работе также фигурируют такие факторы, как врожденные аномалии плода и кесарево сечение. В многомерном анализе учитывались следующие факторы: антенатальное применение кортикостероидов, кесарево сечение, поздний гестационный возраст, масса тела, отсутствие серьезных врожденных аномалий. Результаты данного исследования сопоставимы с настоящим в части значимости показателей применения различных препаратов (кортикостероидов и антибиотиков) [14]. В исследовании A.S. Stephens et al. выживаемость моделировали с помощью регрессии пропорциональных рисков Кокса для неонатального и постнатального периодов с учетом классических факторов риска смерти и неонатальной заболеваемости. Гестационный возраст был связан со смертностью, что подтверждает настоящее исследование [16]. В работе Rodrigo F. García-Muñoz et al. выживаемость новорожденных с очень низкой массой тела (ОНМТ)

и экстремально низкой массой тела (ЭНМТ) исследовали с помощью регрессии Кокса, при этом учитывали социально-демографические (возраст, образование) и клинические (использование репродуктивных технологий, осложнения беременностей и акушерские осложнения) факторы. Данная работа сопоставима с настоящей в контексте значимости фактора нормы применения препаратов (стероидов и антибиотиков) [12].

Таким образом, результаты настоящего исследования сопоставимы с результатами изучения проблемы недоношенности в мировой практике.

5. Заключение

Ключевым достижением данного исследования явилось определение нижней границы гестационного возраста для выхаживания и активного лечения недоношенных детей с учетом влияния основных факторов риска таких исходов, как смерть и инвалидизация. Знание данных факторов позволят разработать определенные методики и технологии ухода и выхаживания недоношенных детей в контексте снижения вероятности вышеупомянутых неблагоприятных исходов. Кроме того, исследование должно стать базисом при дальнейшей разработке рекомендаций и протоколов профилактических мероприятий по ведению недоношенных детей. Рассчитанные прямые и косвенные расходы призваны акцентировать внимание читателей на экономической составляющей проблемы инвалидизации недоношенных детей.

Список источников

1. *Байбарина Е.Н., Дегтярев Д.Н., Широкова В.И.* Интенсивная терапия и принципы выхаживания детей с экстремально низкой и очень низкой массой тела при рождении. Методическое письмо Министерства здравоохранения и социального развития России / ФГУ «НЦ акушерства, гинекологии и перинатологии им. академика В.И. Кулакова». М., 2011. 71 с.
2. *Бахитова Р.Х., Лакман И.А., Максименко З.В., Брюханова О.А., Шангареева Р.Х.* Оценка выживаемости глубоко недоношенных детей в неонатальном, постнатальном и детском периодах // Здравоохранение Российской Федерации. 2020. № 64 (1). С. 29–35. <https://doi.org/10.18821/0044-197X-2020-64-1-29-35>
3. *Глуховец Н.И., Белоусова Н.А., Попов Г.Г.* Основные причины смерти новорожденных с экстремально низкой массой тела // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2004. № 5. С. 61.
4. *Максименко З.В., Бахитова Р.Х., Брюханова О.А.* Методика оценки экономической нагрузки для информационно-аналитической системы мониторинга и планирования расходов по выхаживанию и лечению новорожденных, родившихся с ОНМТ и ЭНМТ // Информационные технологии и системы: тр. Восьмой Междунар. науч. конф., Ханты-Мансийск, Россия, 17–21 марта 2020 г. (ИТиС – 2020): науч. электрон. изд. (1 файл 12 Мб) / отв. ред. Ю.С. Попков, А.В. Мельников. Ханты-Мансийск, 2020. С. 103–108.
5. *Павлов О.Г.* Влияние наследственной предрасположенности к соматопатологии и медикосоциальных факторов на течение беременности и исход родов с позиций системного анализа / Курский гос. технический ун-т. Курск, 2006. 236 с.
6. *Павлов О.Г.* Системное влияние наследственной предрасположенности к соматопатологии и медико-социальных факторов на течение беременности и исход ро-

дов: дис. ... д-ра мед. наук. Тула: ГОУВПО «Тулский государственный университет», 2006. 295 с.

7. Павлов О.Г., Мартыанов Д.В. Системообразующие факторы развития ранних послеродовых инфекций // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 1. С. 23–25.
8. Сорокина З.Х. Централизация помощи новорожденным: значимость и метод оценки // Вопросы практической педиатрии. 2008. Т. 3, № 6. С. 59–62.
9. Фатыхова Н.Р., Гамирова Р.Г., Прусаков В.Ф. Отдаленные результаты выхаживания детей с экстремально низкой массой тела // Общественное здоровье и здравоохранение. 2014. № 2. С. 31–34.
10. Лебедева О.В. Заболеваемость и смертность детей с очень низкой и экстремально низкой массой тела при рождении: факторы риска и пути снижения // Вестник новых медицинских технологий. Электронный журнал. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zabolevaemost-i-smertnost-detey-s-ochen-nizkoy-i-ekstremalno-nizkoy-massoy-tela-pri-rozhdenii-factory-riska-i-puti-snizheniya/viewer>
11. Abolfotouh M.A., Al Saif S., Altwaijri W.A., Al Rowaily M.A. Prospective study of early and late outcomes of extremely low birthweight in Central Saudi Arabia. BMC Pediatrics. 2018; 18 (1). Paper number 280. URL: <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1248-y>
12. García-Muñoz Rodrigo F., García Hernández J.Á., García-Alix A. Characterization of mothers at risk of delivery at the limit of viability and factors related to infant survival. Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine. 2017; 30 (18): 2198–2203. URL: <https://doi.org/10.1080/14767058.2016.1243095>
13. Inoue H., Ochiai M., Yasuoka K. Early Mortality and Morbidity in Infants with Birth Weight of 500 Grams or Less in Japan. Journal of Pediatrics. 2017; 190: 112–117. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.05.017>
14. Källén K., Serenius F., Westgren M., Maršál K. Impact of obstetric factors on outcome of extremely preterm births in Sweden: prospective population-based observational study (EXPRESS). Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica, 94 (11), 1203–1214. URL: <https://doi.org/10.1111/aogs.12726>
15. Santhakumaran S., Statnikov Y., Gray D., Battersby C., Ashby D., Modi N. Survival of very preterm infants admitted to neonatal care in England 2008-2014: time trends and regional variation. Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition. 2018; 103 (3): F208–F215. URL: <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312748>
16. Stephens A.S., Lain S.J., Roberts C.L., Bowen J.R., Nassar N. Association of Gestational Age and Severe Neonatal Morbidity with Mortality in Early Childhood. Pediatric and Perinatal Epidemiology. 2016; 30 (6): 583–593. URL: <https://doi.org/10.1111/ppe.12323>

References

1. Bajbarina E.N., Degtjarev D.N., Shirokova V.I. Intensivnaja terapija i principy vychivanija detej s jekstremal'no nizkoj i ochen' nizkoj massoj tela pri rozhdenii. Metodicheskoe pis'mo Ministerstva zdravoohraneniya i social'nogo razvitija Rossii [Intensive care and nursing principles for children with extremely low and very low birth weight]. FGU «NC akusherstva, ginekologii i perinatologii im. akademika V.I. Kulakova». Moscow, 2011. 71 p.
2. Bahitova R.H., Lakman I.A., Maksimenko Z.V., Brjuhanova O.A., Shangareeva R.H. Ocenka vyzhivaemosti gluboko nedonoshennyh detej v neonatal'nom, postnatal'nom i detskom periodah [Evaluation of the survival rate of deeply premature infants in the neonatal, postnatal and childhood periods], *Zdravoohranenie Rossijskoj Federacii [Healthcare of the Russian Federation]*, 2020, no. 64 (1), pp. 29–35. <https://doi.org/10.18821/0044-197X-2020-64-1-29-35>

3. Gluhovec N.I., Belousova N.A., Popov G.G. Osnovnye prichiny smerti novorozhden-nyh s jekstremal'no nizkoj massoj tela [The main causes of death in extremely low birth weight infants], *Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii* [*Russian Vestnik of Perinatology and Pediatrics*], 2004, no. 5, pp. 61.
4. Maksimenko Z.V., Bahitova R.H., Brjuhanova O.A. Metodika ocenki jekonomicheskoy nagruzki dlja informacionno-analiticheskoy sistemy monitoringa i planirovaniya rashodov po vyhazhivaniju i lecheniju novorozhden-nyh, rodivshihsja s ONMT i JeNMT [Methodology for assessing the economic burden for an information-analytical system for monitoring and planning costs for nursing and treating newborns born with VLBW and ENMT]. Informacionnye tehnologii i sistemy: tr. Vos'moj Mezhdunar. nauch. konf., Hanty-Mansijsk, Rossija, 17–21 marta 2020 g. (ITiS – 2020): nauch. jelektron. izd. (1 fajl 12 Mb) / otv. red. Ju.S. Popkov, A.V. Mel'nikov. Hanty-Mansijsk, 2020. Pp. 103–108.
5. Pavlov O.G. Vlijanie nasledstvennoj predraspolzhenosti k somatopatologii i mediko-social'nyh faktorov na techenie beremennosti i ishod rodov s pozicij sistemnogo analiza [The influence of hereditary predisposition to somatopathology and medical and social factors on the course of pregnancy and the outcome of childbirth from the standpoint of system analysis]. *Kurskij gos. tehničeskij un-t. Kursk*, 2006. 236 p.
6. Pavlov O.G. Sistemnoe vlijanie nasledstvennoj predraspolzhenosti k somatopatologii i mediko-social'nyh faktorov na techenie beremennosti i ishod rodov [Systemic influence of hereditary predisposition to somatopathology and medical and social factors on the course of pregnancy and the outcome of childbirth]. Dissertation of the doctor of medical sciences. Tula: GOUVPO "Tul'skij gosudarstvennyj universitet", 2006. 295 p.
7. Pavlov O.G., Mart'janov D.V. Sistemoobrazujushhie faktory razvitija rannih poslerodovyh infekcij [System-forming factors in the development of early postpartum infections], *Vestnik novyh medicinskih tehnologij* [*Vestnik of new medical technologies*], 2011, vol. 18, no. 1, pp. 23–25.
8. Sorokina Z.H. Centralizacija pomoshhi novorozhden-nyh: znachimost' i metod ocenki [Centralization of newborn care: relevance and assessment method], *Voprosy praktičeskoy pediatrii* [*Practical issues of pediatrics*], 2008, vol. 3, no. 6, pp. 59–62.
9. Fatyhova N.R., Gamirova R.G., Prusakov V.F. Otdalennye rezul'taty vyhazhivanija detej s jekstremal'no nizkoj massoj tela [Long-term results of nursing children with extremely low body weight], *Obshhestvennoe zdorov'e i zdavoohranenie* [*Public health and healthcare*], 2014, no. 2, pp. 31–34.
10. Lebedeva O.V. Zabolevaemost' i smertnost' detej s ochen' nizkoj i jekstremal'no nizkoj massoj tela pri rozhdenii: faktory riska i puti snizhenija [Morbidity and mortality in children with very low and extremely low birth weight: risk factors and ways of reduction], *Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnyj zhurnal* [*Vestnik of new medical technologies. Electronic edition*], 2015, no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/zabolevaemost-i-smertnost-detey-s-ochen-nizkoy-i-ekstremalno-nizkoy-massoy-tela-pri-rozhdenii-faktory-riska-i-puti-snizheniya/viewer>
11. Abolfotouh M.A., Al Saif S., Altwaijri W.A., Al Rowaily M.A. Prospective study of early and late outcomes of extremely low birthweight in Central Saudi Arabia. *BMC Pediatrics*. 2018; 18 (1). Paper number 280. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1248-y>
12. García-Muñoz Rodrigo F., García Hernández J.Á., García-Alix A. Characterization of mothers at risk of delivery at the limit of viability and factors related to infant survival. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. 2017; 30 (18): 2198–2203. Available at: <https://doi.org/10.1080/14767058.2016.1243095>
13. Inoue H., Ochiai M., Yasuoka K. Early Mortality and Morbidity in Infants with Birth Weight of 500 Grams or Less in Japan. *Journal of Pediatrics*. 2017; 190: 112–117. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.05.017>

14. Källén K., Serenius F., Westgren M., Maršál K. Impact of obstetric factors on outcome of extremely preterm births in Sweden: prospective population-based observational study (EXPRESS). *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 94 (11), 1203–1214. Available at: <https://doi.org/10.1111/aogs.12726>
15. Santhakumaran S., Statnikov Y., Gray D., Battersby C., Ashby D., Modi N. Survival of very preterm infants admitted to neonatal care in England 2008-2014: time trends and regional variation. *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition*. 2018; 103 (3): F208–F215. Available at: <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312748>
16. Stephens A.S., Lain S.J., Roberts C.L., Bowen J.R., Nassar N. Association of Gestational Age and Severe Neonatal Morbidity with Mortality in Early Childhood. *Pediatric and Perinatal Epidemiology*. 2016; 30 (6): 583–593. Available at: <https://doi.org/10.1111/ppe.12323>

Сведения об авторах:

Б.Р. Султанов – аспирант, кафедра цифровой экономики и коммуникаций, Институт экономики, финансов и бизнеса, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация.

Р.Х. Бахитова – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой цифровой экономики и коммуникаций, Институт экономики, финансов и бизнеса, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация.

И.А. Лакман – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией исследования социально-экономических проблем регионов, Институт экономики, финансов и бизнеса, Башкирский государственный университет, Уфа, Российская Федерация.

О.А. Брюханова – кандидат медицинских наук, доцент, кафедра госпитальной педиатрии, Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Российская Федерация.

Information about the authors:

B.R. Sultanov – Graduate Student, Department of Digital Economy and Communications, Institute of Economics, Finance and Business, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation.

R.H. Bakhitova – Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Digital Economy and Communications, Institute of Economics, Finance and Business, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation.

I.A. Lakman – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory for the Study of Socio-Economic Problems of Regions, Institute of Economics, Finance and Business, Bashkir State University, Ufa, Russian Federation.

O.A. Bryukhanova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Hospital Pediatrics, Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

<i>Статья поступила в редакцию</i>	18.09.2022	<i>The article was submitted</i>	18.09.2022
<i>Одобрена после рецензирования</i>	22.10.2022	<i>Approved after reviewing</i>	22.10.2022
<i>Принята к публикации</i>	02.11.2022	<i>Accepted for publication</i>	02.11.2022