

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ
Г. ИВАНОВО**

Куленцан А.Л., Марчук Н.А.

Куленцан Антон Львович, Марчук Наталья Александровна
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.
E-mail: kulencan@mail.ru, chyk85@rambler.ru

Здоровье населения представляет собой интегральный показатель качества жизни в объективных ее проявлениях. Оно напрямую влияет на социально-культурные и социально-экономические показатели развития населения. В последнее время все чаще наблюдается увеличение заболеваемости органов дыхания, нервной системы и т.д. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение воздействия количества выбросов в атмосферный воздух, содержащих тяжелые металлы. Поэтому целью данной работы являлось моделирование и прогнозирование заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи населения г. Иваново. В данной статье показано, что наблюдается сильная корреляция между количеством взвешенных веществ (CO , NO , SO_2 , NO_2 , C_6H_5OH , CH_2O , $C_{20}H_{12}$) и заболеваемостью нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново. Произведенный анализ позволил построить линейную многофакторную модель и модель в пространстве состояний. Показано, что данные модели могут быть использованы для прогнозирования заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново (сумма квадратов отклонений для линейной многофакторной модели в этом случае равна 0,459, для модели в пространстве состояний - 1,298). Также была построена регрессионно-дифференциальная модель изменения заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново. Для данной модели сумма квадратов отклонений равна 0,078. Это говорит о том, что регрессионно-дифференциальная модель наилучшим образом описывает зависимость заболеваемости населения от выбросов в окружающую среду. На основе полученных данных была построена прогнозная модель по всем типам заболеваний у населения на 2022 г.

Ключевые слова: заболеваемость населения, нервная система, органы дыхания, кожа и подкожная клетчатка, коэффициент парной корреляции, линейная многофакторная модель, модель в пространстве состояний, регрессионно-дифференциальная модель

MODELING AND FORECASTING OF MORBIDITY OF THE POPULATION OF IVANOVO

Kulentsan A.L., Marchuk N.A.

Kulentsan Anton Lvovich, Natalia Alexandrovna Marchuk
Ivanovo State University of Chemical and Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: kulencan@mail.ru, chyk85@rambler.ru

The health of the population is an integral indicator of the quality of life in its objective manifestations. It directly affects the socio-cultural and socio-economic indicators of population development. Recently, there has been an increase in the incidence of respiratory organs, nervous system, etc. among the population. In this regard, the study of the impact of the amount of emissions into the

atmospheric air containing heavy metals in the environment on the health of the population is of particular relevance. Therefore, the purpose of this work was to model and predict the incidence of the nervous system, respiratory organs, skin and subcutaneous tissue in Ivanovo. This article shows that there is a good correlation between suspended solids, CO, NO, SO₂, NO₂, C₆H₅OH, CH₂O, C₂₀H₁₂ and the incidence of the nervous system, respiratory organs and skin and subcutaneous tissue in residents of Ivanovo. The analysis made it possible to construct a linear multifactorial model and a model in the state space. It is shown that these models cannot be used to predict the morbidity of the nervous system, respiratory organs, skin and subcutaneous tissue in residents of Ivanovo, due to poor predictive properties (the sum of the squares of deviations for the linear multifactor model in this case is 0.459, for the model in the state space - 1.298). A regression-differential model of changes in the morbidity of the nervous system, respiratory organs, skin and subcutaneous tissue in residents of Ivanovo was also constructed. For this model, the sum of the squared deviations is 0.078. This suggests that the regression-differential model best describes the morbidity of the nervous system, respiratory organs and skin and subcutaneous tissue in residents of Ivanovo. Based on the data obtained, a predictive model was built for all types of diseases in the population for 2022.

Key words: morbidity of the population, nervous system, respiratory organs, skin and subcutaneous tissue, pair correlation coefficient, linear multivariate model, model in the state space, regression-differential model

Укрепление здоровья населения и увеличение продолжительности жизни является приоритетным направлением политики Российской Федерации [1]. Однако, каждый человек в месте своего проживания находится под воздействием различных факторов, таких, например, как окружающая среда, под действием которых происходит загрязнение атмосферного воздуха и почвы, что может являться причиной не только ухудшения состояния здоровья, но и появления различных заболеваний у населения [2, 3].

Так авторы работы [15] отмечают, что к факторам, влияющим на заболеваемость населения относятся социально-экономические показатели (средняя зарплата, численность врачей и средних медработников и др.), экологические и биогеохимические показатели (количество выбросов в атмосферный воздух, содержание тяжелых металлов в окружающей среде и др.), показатели первичной заболеваемости детей болезнями крови и кроветворных органов, эндокринными болезнями, атопическим дерматитом, пневмониями, заболеваниями нервной и костно-мышечной системы, врожденные аномалии. Авторы работ [16-18] указывают на то, что наряду с природными и климатическими условиями на состояние здоровья населения большое влияние может оказывать антропогенное загрязнение окружающей среды. Модифицирующее действие химических веществ даже при малой интенсивности способствует формированию неспецифических биологических эффектов, приводящих к нарушению здоровья человека [19]. Авторы Г.Х. Михеева, И.Г. Гатауллин, и Р.Г. Биктемирова в своей работе отмечают, что в следствии контакта человека с факторами внешней среды (вода, почва

и воздух), в условиях экологического неблагополучия происходит изменение иммунной, эндокринной и центральной нервной системы, вызывая широкий спектр функциональных расстройств. После чего появляются нарушения, связанные с обменом веществ. И, в результате, происходит запуск механизмов формирования экозависимого патологического процесса. Если рассматривать онкологические заболевания, то экозависимостью отличаются заболевания кожного покрова, легочной ткани, а также органов пищеварения [20]. Авторы работ [4, 21-23] отмечают, что в условиях социально-экономического неблагополучия высокая антропогенная нагрузка в промышленно развитых регионах создает угрозу здоровью детей, являющихся наиболее чувствительной социальной группой к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Несоответствие нагрузки количеству выбросов в атмосферный воздух, тяжелых металлов [25-27], может приводить к различным отклонениям в состоянии здоровья и развития детей. Юзбеков М.А., Юзбеков А.К. в своей работе [28] показали, что одним из важнейших факторов среды обитания человека является качество атмосферного воздуха, зависящее от интенсивности его загрязнения выбросами вредных веществ от стационарных источников и автомобильного транспорта. Загрязняющие вещества, поступившие в атмосферу, поглощаются, в первую очередь, органами дыхания, проникают в кожу, во внутренние органы и, таким образом, действуют на весь организм человека [29-35].

В настоящее время как в г. Иваново, так и в Ивановской области, наблюдается нестабильная экологическая ситуация, вызванная значительными социально-экономическими преобразованиями

ями, а это сильно отражается на состоянии здоровья населения. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение воздействия экологических факторов на состояние здоровья населения и построение различных моделей. Поэтому целью данной работы было моделирование и прогнозирование заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи в г. Иваново.

Методы исследования. Для моделирования болезней нервной системы, кожи и подкожной клетчатки, а также органов дыхания и прогнозирования их количества на ближайшие годы, мы рассмотрели следующие модели:

1. Линейная многофакторная модель (ЛММ) – многофакторная экономическая линейная модель. Данная модель устанавливает зависимость между каждым показателем и несколькими факторами.
2. Модель в пространстве состояний (МПС) – это такая модель, в которой факторы влияют не только на систему, но и сами на себя.

3. Регрессионно-дифференциальная модель – это нелинейная модель на основе дифференциального уравнения n -го порядка [8-11].

Рассмотрим динамику заболеваемости нервной системы (y_1), кожи (y_2) и органов дыхания (y_3) от действия различных загрязняющих веществ, которые наблюдаются в атмосфере воздуха г. Иваново. Данные заболевания у людей могут возникать от многих факторов, рассмотрим, как влияют загрязняющие вещества:

- x_1 – взвешенные вещества, мг/м³;
- x_2 – оксид углерода, мг/м³;
- x_3 – оксид азота, мг/м³;
- x_4 – диоксид серы, мг/м³;
- x_5 – диоксид азота, мг/м³;
- x_6 – фенол, мг/м³;
- x_7 – формальдегид, мг/м³;
- x_8 – бенз(а)пирен, мг/м³.

Результаты и их обсуждение. В данной работе проанализированы статистические данные по указанным факторам за 15 лет (с 2005 г.). Значения критериев и факторов приведены в (табл. 1).

Таблица 1

**Значения критериев и факторов
Table 1. Values of criteria and factors**

Год	Критерий и факторы										
	y_1	y_2	y_3	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
2005	15,8	56,3	371,5	0,398	5	0,036	0,044	0,051	0,010	0,044	5,9
2010	15	55,4	418,4	0,196	2,8	0,015	0,017	0,028	0,007	0,023	2,6
2011	14,5	56,6	440,3	0,177	2,6	0,017	0,016	0,027	0,006	0,022	2,4
2012	14,5	62,3	443,1	0,162	2,4	0,018	0,014	0,025	0,005	0,021	2
2013	14,6	57,1	461	0,154	2	0,02	0,012	0,023	0,005	0,018	1,5
2014	11,5	56,4	458,4	0,092	1,8	0,02	0,011	0,02	0,004	0,006	0,5
2015	9,5	47,5	463,2	0,169	1,75	0,033	0,011	0,039	0,004	0,011	0,4
2016	9,8	48,1	478,3	0,235	1,7	0,044	0,012	0,059	0,005	0,013	0,3
2017	10,8	49,5	500,3	0,147	1	0,057	0,009	0,062	0,004	0,01	0,2
2018	10,5	50,4	499,5	0,142	1	0,057	0,009	0,06	0,004	0,01	0,3
2019	12,1	51,1	510,1	0,139	1,2	0,057	0,009	0,067	0,004	0,01	0,3

Таблица 2

**Значения нормированных факторов и критериев
Table 2. Values of normalized factors and criteria**

Год	Критерий и факторы										
	y_1	y_2	y_3	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
2005	1	0,595	0	1	1	0,5	1	0,659	1	1	1
2010	0,873	0,534	0,338	0,339	0,45	0	0,229	0,170	0,5	0,447	0,421
2011	0,794	0,615	0,496	0,278	0,4	0,048	0,2	0,149	0,333	0,421	0,386
2012	0,794	1	0,517	0,229	0,35	0,071	0,143	0,106	0,167	0,395	0,316
2013	0,809	0,649	0,646	0,203	0,25	0,119	0,086	0,064	0,167	0,316	0,228
2014	0,317	0,601	0,627	0	0,2	0,119	0,057	0	0	0	0,053
2015	0	0	0,662	0,252	0,1875	0,429	0,057	0,404	0	0,132	0,035
2016	0,048	0,041	0,771	0,467	0,175	0,690	0,086	0,829	0,167	0,18	0,018
2017	0,206	0,135	0,929	0,179	0	1	0	0,894	0	0,105	0
2018	0,159	0,196	0,924	0,163	0	1	0	0,851	0	0,105	0,018
2019	0,413	0,243	1	0,154	0,05	1	0	1	0	0,105	0,018

Далее в работе исключили влияние размерности для каждого конкретного критерия и фактора, т.е. нашли его максимальное и минимальное значение по всем данным и рассчитали нормированные значения по формуле (1) [10-12]:

$$\tilde{y}_i(t_m) = \frac{y_i(t_m) - \min_t y_i(t_m)}{\max_t y_i(t_m) - \min_t y_i(t_m)} \quad (1)$$

где t_m – номер критерия или фактора в табл. 1,

$$t_m = \{t_1, t_2, \dots, t_M\}, \quad k = \overline{1, M}$$

Факторы нормируются аналогично. Результаты нормирования приведены в (табл. 2).

Таблица 3

**Коэффициенты парной корреляции между исследуемыми показателями
Table 3. Coefficients of paired correlation between the studied indicators**

	у ₁	х ₁	х ₂	х ₃	х ₄	х ₅	х ₆	х ₇	х ₈
у ₁	1,00	0,82	0,74	-0,60	0,62	-0,49	0,73	0,78	0,82
х ₁	0,82	1,00	0,84	0,00	0,92	0,22	0,89	0,88	0,82
х ₂	0,74	0,84	1,00	-0,46	0,95	-0,28	0,96	0,95	0,98
х ₃	-0,60	0,00	-0,46	1,00	-0,19	0,96	-0,31	-0,32	-0,39
х ₄	0,62	0,92	0,95	-0,19	1,00	-0,02	0,95	0,94	0,95
х ₅	-0,49	0,22	-0,28	0,96	-0,02	1,00	-0,11	-0,13	-0,23
х ₆	0,73	0,89	0,96	-0,31	0,95	-0,11	1,00	0,97	0,97
х ₇	0,78	0,88	0,95	-0,32	0,94	-0,13	0,97	1,00	0,98
х ₈	0,82	0,82	0,98	-0,39	0,95	-0,23	0,97	0,98	1,00

Примечание: у₁ – заболеваемость нервной системы, х₁ – взвешенные вещества, мг/м³; х₂ – оксид углерода, мг/м³; х₃ – оксид азота, мг/м³; х₄ – диоксид серы, мг/м³; х₅ – диоксид азота, мг/м³; х₆ – фенол, мг/м³; х₇ – формальдегид, мг/м³; х₈ – бенз(а)пирен, мг/м³

Таблица 4

**Коэффициенты парной корреляции между исследуемыми показателями
Table 4. Coefficients of paired correlation between the studied indicators**

	у ₂	х ₁	х ₂	х ₃	х ₄	х ₅	х ₆	х ₇	х ₈
у ₂	1,00	0,86	0,51	-0,72	0,33	-0,71	0,38	0,47	0,54
х ₁	0,86	1,00	0,84	0,00	0,92	0,22	0,89	0,88	0,82
х ₂	0,51	0,84	1,00	-0,46	0,95	-0,28	0,96	0,95	0,98
х ₃	-0,72	0,00	-0,46	1,00	-0,19	0,96	-0,31	-0,32	-0,39
х ₄	0,33	0,92	0,95	-0,19	1,00	-0,02	0,95	0,94	0,95
х ₅	-0,71	0,22	-0,28	0,96	-0,02	1,00	-0,11	-0,13	-0,23
х ₆	0,38	0,89	0,96	-0,31	0,95	-0,11	1,00	0,97	0,97
х ₇	0,47	0,88	0,95	-0,32	0,94	-0,13	0,97	1,00	0,98
х ₈	0,54	0,82	0,98	-0,39	0,95	-0,23	0,97	0,98	1,00

Примечание: у₂ – заболеваемость кожи, х₁ – взвешенные вещества, мг/м³; х₂ – оксид углерода, мг/м³; х₃ – оксид азота, мг/м³; х₄ – диоксид серы, мг/м³; х₅ – диоксид азота, мг/м³; х₆ – фенол, мг/м³; х₇ – формальдегид, мг/м³; х₈ – бенз(а)пирен, мг/м³

Таблица 5

**Коэффициенты парной корреляции между исследуемыми показателями
Table 5. Coefficients of paired correlation between the studied indicators**

у ₃	х ₁	х ₂	х ₃	х ₄	х ₅	х ₆	х ₇	х ₈
у ₃	1,00	-0,72	-0,97	0,63	-0,87	0,47	-0,90	-0,88
х ₁	-0,72	1,00	0,84	0,00	0,92	0,22	0,89	0,88
х ₂	-0,97	0,84	1,00	-0,46	0,95	-0,28	0,96	0,95
х ₃	0,63	0,00	-0,46	1,00	-0,19	0,96	-0,31	-0,32
х ₄	-0,87	0,92	0,95	-0,19	1,00	-0,02	0,95	0,94
х ₅	0,47	0,22	-0,28	0,96	-0,02	1,00	-0,11	-0,13
х ₆	-0,90	0,89	0,96	-0,31	0,95	-0,11	1,00	0,97
х ₇	-0,88	0,88	0,95	-0,32	0,94	-0,13	0,97	1,00
х ₈	-0,93	0,82	0,98	-0,39	0,95	-0,23	0,97	0,98

Примечание: у₃ – заболеваемость органов дыхания, х₁ – взвешенные вещества, мг/м³; х₂ – оксид углерода, мг/м³; х₃ – оксид азота, мг/м³; х₄ – диоксид серы, мг/м³; х₅ – диоксид азота, мг/м³; х₆ – фенол, мг/м³; х₇ – формальдегид, мг/м³; х₈ – бенз(а)пирен, мг/м³

Следующим шагом провели корреляционный анализ по формуле плотности 2-го нормального закона распределения (2). Данный анализ используется для выявления связи между переменными и оценки тесноты их связи [24]:

$$f(x, y) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_x \cdot \alpha_y \cdot \sqrt{1 - \rho^2}} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{2 \cdot \sqrt{1 - \rho^2}} \cdot \left[\left(\frac{x - \eta_x}{\alpha_x} \right)^2 - 2 \cdot \rho \cdot \left(\frac{y - \eta_x}{\alpha_x} \right) \cdot \left(\frac{x - \eta_y}{\alpha_y} \right) + \left(\frac{x - \eta_y}{\alpha_y} \right)^2 \right] \right\} \quad (2)$$

которая определяется 5 параметрами - математическим ожиданием (η_x, η_y) , дисперсией (α_x, α_y) и коэффициентом парной корреляции (ρ) . Данный коэффициент показывает тесноту линейной связи между рассматриваемыми выборочными значениями. Данный коэффициент может быть рассчитан следующим образом (3):

$$\rho = M \left(\frac{x - \eta_x}{\alpha_x} \cdot \frac{y - \eta_y}{\alpha_y} \right) \quad (3)$$

Свойства парного коэффициента корреляции:

1. если значение коэффициента корреляции по модулю равно единице, то между выборочными значениями x и y возникает линейная корреляционная связь;
2. если значение коэффициента корреляции меньше нуля, то возникает обратная зависимость между выборочными значениями x и y ;
3. если значение коэффициента корреляции больше нуля, то возникает прямая зависимость между выборочными значениями x и y ;
4. если значение коэффициента корреляции равно нулю, то между выборочными значениями x и y отсутствует линейная корреляционная связь;
5. если значение коэффициента корреляции лежит в пределах от -1 до 1, то чем ближе значение коэффициента корреляции к единице, тем возникает более тесная связь между выборочными значениями x и y [6, 7, 24]. Результат корреляции приведен в (табл. 3).

Результаты, представленные в (табл. 3-5) говорят о том, что корреляция у всех рассмотренных факторов достаточно высокая, поэтому ни один из факторов не может быть исключен из расчетов [13, 14]. Для построения ЛММ используем формулу (4):

$$y_i(t) = \beta_0 + \sum \beta_i x_i(t) \quad (4)$$

где β_0 – коэффициент эластичности модели; β_i – коэффициент влияния i -го фактора на критерий y ; $x_i(t)$ – значение i -го фактора.

Согласно методу наименьших квадратов, в качестве оценок неизвестных параметров β_0 и β_i следует брать такие значения выборочных характеристик β_0 и β_i , которые минимизируют сумму квадратов отклонений наблюдаемых значений зависимой переменной от оцененных значений (5), т.е.

$$S = \sum_{i=1}^m (y_i(t) - \beta_0 - \sum \beta_i x_i(t))^2 \xrightarrow{\beta_0, \beta_i} \min \quad (5)$$

После построения ЛММ были получены следующие результаты:

- заболеваемость нервной системы:

$$\beta_0 = 0,114, \beta_1 = 1,769, \beta_2 = 0,732, \beta_3 = 0,323, \\ \beta_4 = 0,154, \beta_5 = 0,238, \beta_6 = 0,032, \\ \beta_7 = 0,199, \beta_8 = 0,995.$$

- заболеваемость кожи:

$$\beta_0 = 88,020, \beta_1 = 2,855, \beta_2 = 0,286, \\ \beta_3 = 0,179, \beta_4 = 0,488, \beta_5 = 0,111, \beta_6 = 0,011, \\ \beta_7 = 0,303, \beta_8 = 1,779.$$

- заболеваемость органов дыхания:

$$\beta_0 = 576,200, \beta_1 = 7,964, \beta_2 = 1,082, \\ \beta_3 = 2,013, \beta_4 = 1,460, \beta_5 = 2,933, \\ \beta_6 = 0,275, \beta_7 = 0,913, \beta_8 = 3,506.$$

По результатам видно, что возможное появление заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново связано с действием взвешенных веществ, что вполне логично. Далее была сделана оценка аппроксимации ЛММ. Полученные результаты на рис. 1 свидетельствуют о том, что данные по ЛММ и исходные данные по заболеваемостям близки, сумма квадратов отклонений в этом случае равна 0,459.

При построении модели в пространстве состояний использовали следующие формулы (6, 7) [11, 13]:

$$x(t_i) = a + \bar{d} \cdot \bar{x}(t_{i-1}) \quad (6)$$

$$y(t_i) = \bar{c} + B \cdot \bar{x}(t_i) \quad (7)$$

где B – матрица перехода из одного состояния в другое, a, \bar{c} – свободные коэффициенты, \bar{d} – вектор функции выхода, $\bar{x}(t_i)$ – вектор состояния.

На рис. 2 построена МПС модель и исходные данные заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново. Сумма квадратов отклонений в этом случае равна 1,298 для факторов и 0,912 для критериев. Полученные данные, для двух типов моделей показали, что ЛММ модель лучше описывает исходные данные по заболеваемостям, чем МПС модель.

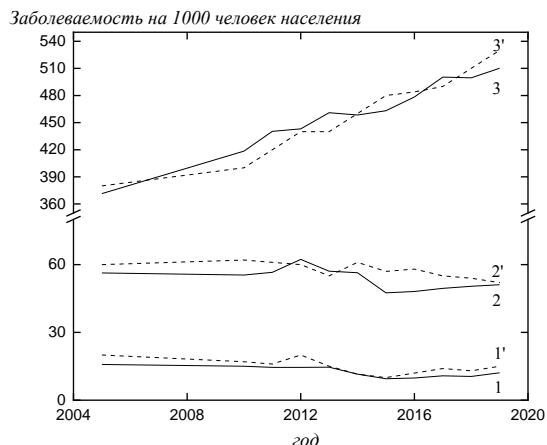


Рис. 1. Заболеваемость населения в г. Иваново, исходные данные: 1 – заболеваемость нервной системы, 2 – заболеваемость кожи, 3 – заболеваемость органов дыхания. Линейная многофакторная модель: 1' – заболеваемость нервной системы, 2' – заболеваемость кожи, 3' – заболеваемость органов дыхания
 Fig. 1. Morbidity of the population in Ivanovo, initial data: 1 – morbidity of the nervous system, 2 – skin morbidity, 3 – morbidity of the respiratory organs. Linear multifactorial model: 1' – morbidity of the nervous system, 2' – skin morbidity, 3' – morbidity of the respiratory organs

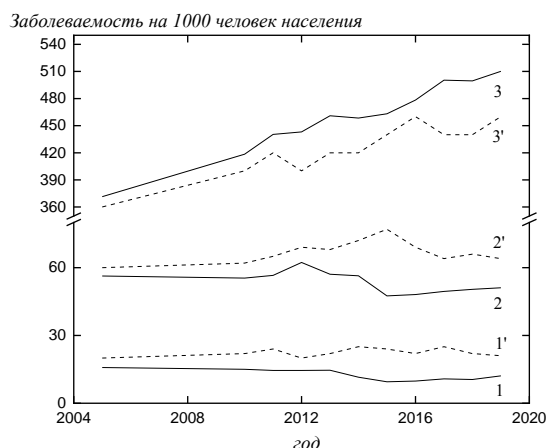


Рис. 2. Заболеваемость населения в г. Иваново, исходные данные: 1 – заболеваемость нервной системы, 2 – заболеваемость кожи, 3 – заболеваемость органов дыхания. Модель в пространстве состояний: 1' – заболеваемость нервной системы, 2' – заболеваемость кожи, 3' – заболеваемость органов дыхания
 Fig. 2. Morbidity of the population in Ivanovo, initial data: 1 – morbidity of the nervous system, 2 – skin morbidity, 3 – morbidity of the respiratory organs. The model in the space of states: 1' – the incidence of the nervous system, 2' – skin morbidity, 3' – the incidence of respiratory organs

Следующим этапом работы было построение регрессионно-дифференциальной модели. Данную модель рассмотрели на примере обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка (8) [5, 11]:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + g \cdot \frac{dy(t)}{dt} = a + b \cdot y(t) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_i(t) \cdot x_j(t) + \sum_{i=1}^m f_i \cdot (x_i(t))^2 \quad (8)$$

На рис. 3 построена регрессионно-дифференциальная модель и исходные данные заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново. Полученные результаты говорят о том, что данная модель наилучшим образом описывает рассмотренные типы заболеваний. Сумма квадратов отклонений в этом случае равна 0,078.

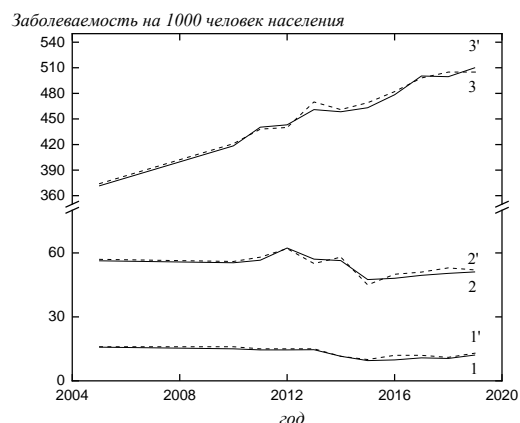


Рис. 3. Заболеваемость населения в г. Иваново, исходные данные: 1 – заболеваемость нервной системы, 2 – заболеваемость кожи, 3 – заболеваемость органов дыхания. Регрессионно-дифференциальная модель: 1' – заболеваемость нервной системы, 2' – заболеваемость кожи, 3' – заболеваемость органов дыхания
 Fig. 3. Morbidity of the population in Ivanovo, initial data: 1 – morbidity of the nervous system, 2 – skin morbidity, 3 – morbidity of the respiratory organs. Regression-differential model: 1' – morbidity of the nervous system, 2' – skin morbidity, 3' – morbidity of the respiratory organs

Последним шагом в данной работе было построение итогового прогноза заболеваемости нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново с помощью регрессионно-дифференциальной модели на 2021 и 2022 гг. Результаты представлены в табл. 6. Полученные результаты показали, что средняя ошибка прогнозируемых данных составляет 1,9%. Это говорит о том, что рассматриваемая модель, хорошо предсказывает наблюдаемые значения.

Закключение. В результате данного исследования нами были рассмотрены следующие математические модели - линейная многофакторная, регрессионно-дифференциальная и модель в пространстве состояний. Полученные результаты говорят о том, что регрессионно-дифференциальная

модель наилучшим образом описывает заболеваемость нервной системы, органов дыхания и кожи у жителей г. Иваново. Построена прогнозная модель по всем типам заболеваний у населения на 2022 г., из которой видно, что будет наблюдаться динамика увеличения заболеваемости по всем исследуемым параметрам. Результаты данной работы могут быть использованы с целью профилактики, анализа и

нахождения путей по снижению заболеваемости у населения г. Иваново.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

Таблица 6

Результаты итогового прогноза заболеваемости населения в г. Иваново с помощью регрессионно-дифференциальной модели

Table 6. Results of the final prognosis of the morbidity of the population in Ivanovo using a regression-differential model

	Исходные данные по заболеваемости			Прогноз заболеваемости на 1000 чел.			Ошибка прогнозируемых данных	
	2018	2019	2022	2018	2019	2022		
Заболеваемость нервной системы	10,5	12,1	-	10,9	12,5	14,4	3,8	3,3
Заболеваемость кожи	50,4	51,1	-	51,0	51,6	53,2	1,2	0,98
Заболеваемость органов дыхания	499,5	510,1	-	503,5	516,9	525,3	0,8	1,3

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

- Цинкер М.Ю.** Статистическое моделирование для оценки влияния факторов среды обитания на индикаторные показатели здоровья населения Российской Федерации. *Здоровье населения и среда обитания*. 2013. № 11 (248). С. 10-13.
- Протасов В.Ф.** Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: *финансы и статистика*. 2000. С. 672.
- Оценка влияния факторов среды обитания на заболеваемость верхних дыхательных путей населения промышленного города. В сборнике: *Интеграция медицинской науки и практики: итоги, достижения и перспективы. Материалы конференции*. 2013. С. 88-90.
- Куленцан А.Л., Марчук Н.А.** Опыт применения корреляционно-регрессионного анализа в исследовании заболеваемости детей в возрасте 0-14 лет. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2022. № 2 (70). С. 69-77. DOI: 10.6060/snt.20227002.0009.
- Куленцан А.Л., Марчук Н.А.** Влияние на человека загрязняющих веществ в г. Москва. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 9. С. 129–137. DOI: 10.6060/ivkkt.20226509.6619.
- Положенцева Ю.С.** Управление дифференциацией социально-экономических систем регионов на основе мобилизации внутренних и привлечения внешних ресурсов развития. *Известия юго-западного государственного университета*. 2017. № 2 (71). С. 137-149.
- Куленцан А.Л., Марчук Н.А.** Анализ объемов производства продукции растениеводства в различных хозяйствах. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2020. Т. 6. № 1. С. 92–100. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-92-100.
- Tsinker M.Yu.** Statistical modeling for assessing the influence of environmental factors on the indicator indicators of the health of the population of the Russian Federation. *Population health and habitat*. 2013. N 11 (248). P. 10-13. (in Russian).
- Protasov V.F.** Ecology, health and environmental protection in Russia. M.: *finance and statistics*. 2000. 672 p. (in Russian).
- Kazakovtsev V.P.** Assessment of the influence of environmental factors on the morbidity of the upper respiratory tract of the population of an industrial city. In the collection: *Integration of medical science and practice: results, achievements and prospects. Materials of the conference*. 2013. P. 88-90. (in Russian).
- Kulentsan A.L., Marchuk N.A.** The experience of using correlation and regression analysis in the study of morbidity in children aged 0-14 years. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2022. N 2 (70). P. 69-77. (in Russian). DOI: 10.6060/snt.20227002.0009.
- Kulentsan A.L., Marchuk N.A.** Impact on humans of pollutants in Moscow. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 9. P. 129–137. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226509.6619.
- Poshentseva Yu.S.** Management of differentiation of socioeconomic systems of regions based on mobilization of internal and attraction of external development resources. *Proceedings of the Southwestern State University*. 2017. N 2 (71). P. 137-149. (in Russian).
- Kulentsan A.L., Marchuk N.A.** Analysis of crop production volumes in various farms. *Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences"*. 2020. V. 6. N 1. P. 92-100. (in Russian). DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-92-100.

8. **Марчук Н.А., Таланова В.А., Куленцан А.Л.** Анализ выбросов загрязняющих веществ различными источниками. *Modern Science*. 2022. № 2-1. С 35-39.
9. **Куленцан А.Л., Марчук Н.А.** Анализ воздействия на человека и окружающую среду загрязняющих веществ. *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2022. Т. 65. Вып. 1. С. 116-121. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6531.
10. **Затонский А.В., Тугашова Л.Г., Барова А.Е.** Моделирование и прогнозирование развития внутреннего и внешнего туризма в Турции. *Прикладная математика и вопросы управления*. 2019. № 2. С. 135-150. DOI: 10.15593/2499-9873/2019.2.07.
11. **Фурда Л.В., Смальченко Д.Е., Титов Е.Н., Лебедева О.Е.** Термокаталитическая деструкция полипропилена в присутствии алюмосиликатов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 6. С. 85-89. DOI: 10.6060/ivkkt.20206306.6202.
12. **Соловьева А.А., Фам Т.Ч., Лебедева О.Е., Устинова М.Н.** Деструкция бромфенолового синего с участием пероксидазы хрена. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 1. С. 93–98. DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6267.
13. **Пивоварова Н.А., Берберова Н.Т., Шинкарь Е.В., Акишина Е.С.** Перспективные технологии удаления и утилизации сероводорода из мазута. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 8. С. 39–53. DOI: 10.6060/ivkkt.20206308.6143.
14. **Фефанова М.А., Радин А.С., Малышева Ю.А., Крылов А.А., Никольский В.М.** Применение вольфрамванадиевой гетерополиоксидной кислоты типа Кеггина в качестве чувствительного материала для сенсора монооксида углерода. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 2. С. 62–65. DOI: 10.6060/ivkkt.20216402.6281.
15. **Нуштаева А.В., Вилкова Н.Г.** Гидрофобизация частиц кремнезема различными катионными поверхностно-активными веществами. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 3. С. 41-45. DOI: 10.6060/ivkkt.20216403.6321.
16. **Ефимова Н.В.** Влияние факторов среды обитания на заболеваемость органов дыхания населения северных регионов. *Современные проблемы науки и образования*. 2016. № 6. С. 74.
17. **Чашин В.П.** Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территории активного природопользования в Арктике. *Экология человека*. 2014. № 1. С. 3-12.
18. **Gilman A.** Public health and the effects of contaminants. In: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Human health in the Arctic. Oslo, Norway. 2009. P. 89-143.
19. **Караулова А.В.** Клиническая иммунология. М. МИА. 1999. С. 318-321.
20. **Михеева Г.Х., Гатауллин И.Г., Биктемирова Р.Г.** Экологическая ситуация как фактор риска формирования заболеваемости онкологической патологией в Ульяновской области. *Поволжский онкологический вестник*. 2012. № 4. С. 12-14.
21. **Куленцан А.Л., Марчук Н.А.** Анализ использования свежей воды в Российской Федерации. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. № 2. С. 71–77. DOI: 10.6060/rcj.2022662.11.
22. **Бондин В.И., Почекаева В.И., Попова Т.В.** Формирование состояния здоровья детского населения на территориях с высокой антропогенной нагрузкой. *Валеология*. 2011. № 4. С. 7–10.
23. **Горшков А.И., Черкасова Л.В., Осипова Е.М.** Комплексная гигиеническая оценка окружающей среды и здоровья детей в Северном административном округе Москвы. *Гигиена и санитария*. 2012. № 2. С. 77–79.
8. **Marchuk N.A., Talanova V.A., Kulentsan A.L.** Analysis of emissions of pollutants by various sources. *Modern Science*. 2022. N 2-1. P. 35-39. (in Russian).
9. **Kulentsan A.L., Marchuk N.A.** Analysis of the impact of pollutants on humans and the environment. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 1. P. 116–121. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6531.
10. **Zatonsky A.V., Tugashova L.G., Barova A.E.** Modeling and forecasting the development of internal and external tourism in Turkey. *Applied mathematics and management issues*. 2019. N 2. P. 135-150. (in Russian). DOI: 10.15593/2499-9873/2019.2.07.
11. **Furda L.V., Smalchenko D.E., Titov E.N., Lebedeva O.E.** Thermocatalytic destruction of polypropylene in the presence of aluminosilicates. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 6. P. 85-89 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206306.6202.
12. **Solovyeva A.A., Pham T.T., Lebedeva O.E., Ustinova M.N.** Horseradish peroxidase catalyzed degradation of bromophenol blue dye. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 1. P. 93–98. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6267.
13. **Pivovarova N.A., Berberova N.T., Shinkar E.V., Akishina E.S.** Promising technology for removal and disposal of hydrogen sulfide from fuel oil. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 8. P. 39–53. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206308.6143.
14. **Feofanova M.A., Radin A.S., Malysheva Yu.A., Krylov A.A., Nikolskiy V.M.** Application of Keggin type phosphotungstovanadic heteropoly acid as sensitive material for carbon monoxide sensor. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 2. P. 62–65. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216402.6281.
15. **Nushtaeva A.V., Vilkova N.G.** Hydrophobization of silica particles with various cationic surfactants. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 3. P. 41-45. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216403.6321.
16. **Efimova N.V.** The influence of environmental factors on the respiratory morbidity of the population of the northern regions. *Modern problems of science and education*. 2016. N 6. 74 p. (in Russian).
17. **Chashchin V.P.** Characteristics of the main risk factors for health disorders of the population living in the territory of active nature use in the Arctic. *Human ecology*. 2014. N 1. P. 3-12. (in Russian).
18. **Gilman A.** Public health and the effects of contaminants. In: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Human health in the Arctic. Oslo, Norway. 2009. P. 89-143.
19. **Karaulova A.V.** Clinical immunology. M. MIA. 1999. P. 318-321. (in Russian).
20. **Mikheeva G.H., Gataullin I.G., Biktemirova R.G.** The ecological situation as a risk factor for the formation of the incidence of oncological pathology in the Ulyanovsk region. *Volga Oncological Bulletin*. 2012. N 4. P. 12-14. (in Russian).
21. **Kuletsan A.L., Marchuk N.A.** Analysis of the use of fresh water in the Russian Federation. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. 66. N 2. P. 71–77 (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2022662.11.
22. **Bondin V.I., Pochekaeva V.I., Popova T.V.** Formation of the state of health of the child population in territories with high anthropogenic load. *Valeologiya*. 2011. N 4. P. 7-10. (in Russian).
23. **Gorshkov A.I., Cherkasova L.V., Osipova E.M.** Complex hygienic assessment of the environment and children's health in the Northern Administrative District of Moscow. *Hygiene and sanitation*. 2012. N 2. P. 77-79. (in Russian).

24. **Марчук Н.А., Куленцан А.Л.** Влияние загрязняющих веществ на заболеваемость в Южном Федеральном округе. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2020. № 3 (63). С. 129-138.
25. **Макрушин Н.А., Гартман В.Л., Замуруев О.В., Вейнбендер А.Я., Дульнев А.В.** Влияние поверхностно-активных веществ на процесс пропитки в производстве катализаторов конверсии метана. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 8. С. 66-72. DOI: 10.6060/ivkkt.20206308.6075.
26. **Меньшова И.И., Заболотная Е., Челноков В.В., Гарабаджиу А.В.** Адсорбция органических веществ с применением цеолитов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 8. С. 131-138. DOI: 10.6060/ivkkt.20216408.6427.
27. **Пугачева И.Н., Карманов А.В., Зуева С.Б., De Michelis I., Ferella F., Молоканова Л.В., Vegliò F.** Удаление тяжелых металлов текстильными отходами на основе целлюлозы. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 2. С. 105–110. DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6098.
28. **Юзбеков М.А., Юзбеков А.К.** Комплексная оценка качества жизни населения в регионе. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 3-2. С. 349-355.
29. **Березин Н.Б., Чевела В.В., Межевич Ж.В., Иванова В.Ю.** Комплексообразование в системе цинк(II)-хром(III)-никель(II)-глицин-вода. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 11. С. 44–49. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6401.
30. **Григорьева И.О., Дресвянников А.Ф.** Электрохимический синтез дисперсного феррита бария с использованием анодного растворения металла. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 4. С. 59–66. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6315.
31. **Хоботова Э.Б., Грайворонская И.В., Калужная Ю.С., Игнатенко М.И.** Сорбционная очистка сточных вод от органических красителей с помощью гранулированного доменного шлака. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 6. С. 89–94. DOI: 10.6060/ivkkt.20216406.6302.
32. **Авилова М.М., Марьева Е.А., Попова О.В., Иванова Т.Г.** Молекулярное моделирование адсорбции газополлютантов на кадмийсодержащем полиакрилонитриле. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 4. С. 49–54. DOI: 10.6060/ivkkt.20206304.6008.
33. **Войтович Р., Коцевьяк К., Липин А.А.** Определение реологических свойств растворов полиэтиленоксид - вода. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 9. С. 82–87. DOI: 10.6060/ivkkt.20206309.6236.
34. **Охлобыстин А.О., Камышникова А.С., Олейникова К.В., Стороженко В.Н., Пащенко К.П., Берберова Н.Т.** Теоретическое и экспериментальное изучение адсорбционной способности ацетатов переходных металлов в процессе обессеривания модельного углеводородного топлива. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 12. С. 98–104. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6518.
35. **Гусев Г.И., Гушчин А.А., Гриневич В.И., Рыбкин В.В., Извекова Т.В., Шаронов А.В.** Обработка сточных вод, содержащих 2,4-дихлорофенол, в плазме диэлектрического барьерного разряда. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 7. С. 88–94. DOI: 10.6060/ivkkt.20206307.6182.
24. **Marchuk N.A., Kulentsan A.L.** The influence of pollutants on morbidity in the Southern Federal District. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2020. N 3 (63). P. 129-138. (in Russian).
25. **Makrushin N.A., Gartman V.L., Zamuruev O.V., Weynbender A.Ya., Dulnev A.V.** Influence of surface-active substances on impregnation process in production of methane conversion catalysts. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 8. P. 66-72 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206308.6075.
26. **Menshova I.I., Zabolotnaya E., Chelnokov V.V., Garabadzhiu A.V.** Adsorption of organic substances using zeolites. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 8. P. 131-138 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216408.6427.
27. **Pugacheva I.N., Karmanov A.V., Zueva S.B., De Michelis I., Ferella F., Molokanova L.V., Vegliò F.** Heavy metal removal by cellulose-based textile waste product. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 2. P. 105–110. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206302.6098.
28. **Yuzbekov M.A., Yuzbekov A.K.** Comprehensive assessment of the quality of life of the population in the region. *Fundamental research*. 2014. N 3-2. P. 349-355. (in Russian).
29. **Berezin N.B., Chevella V.V., Mezhevich Zh.V., Ivanova V.Yu.** Complexation in the system zinc (II)-chrome (III)-nickel (II)-glycine-water. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 11. P. 44–49. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6401.
30. **Grigoryeva I.O., Dresvyannikov A.F.** Electrochemical synthesis of dispersed barium ferrite using anodic dissolution of metal. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 4. P. 59–66. DOI: 10.6060/ivkkt.20216404.6315.
31. **Khobotova E.B., Hraivoronska I.V., Kaliuzhna Iu.S., Ihnatenko M.I.** Sorption purification of wastewater from organic dyes using granulated blast-furnace slag. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 6. P. 89–94. DOI: 10.6060/ivkkt.20216406.6302.
32. **Avilova M.M., Maryeva E.A., Popova O.V., Ivanova T.G.** Molecular modeling of adsorption of pollutant gases on cadmium-containing polyacrylonitrile. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 4. P. 49–54. DOI: 10.6060/ivkkt.20206304.6008.
33. **Wójtowicz R., Kocewiak K., Lipin A.A.** Identification of rheological properties of poly(ethylene oxide) – water solutions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 9. P. 82–87. DOI: 10.6060/ivkkt.20206309.6236.
34. **Okhlobystin A.O., Kamyshnikova A.S., Oleinikova K.V., Storozhenko V.N., Pashchenko K.P., Berberova N.T.** Theoretical and experimental study of the adsorption capacity of transition metal acetates in the process of desulfurization of a model hydrocarbon fuel. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 12. P. 98–104. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6518.
35. **Gusev G.I., Gushchin A.A., Grinevich V.I., Rybkin V.V., Izvekova T.V., Sharonov A.V.** Treatment of wastewater containing 2,4-dichlorophenol in dielectric barrier discharge plasma. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 7. P. 88–94. DOI: 10.6060/ivkkt.20206307.6182.