

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ  
В ЭПИДЕМИОЛОГИИ****Ксенофонтова О.Л., Смирнова Н.В., Котова А.В.**

Ксенофонтова Ольга Леонидовна (ORCID 0000-0002-4122-6220), Смирнова Наталия Владимировна (ORCID 0000-0002-1873-5334), Котова Анна Вячеславовна  
Ивановский государственный химико-технологический университет  
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.  
E-mail: olga\_izvolova@mail.ru, nataliasmirnova\_@mail.ru, anna.kotova2700@mail.ru

*В статье рассматривается вопрос использования методов интеллектуального анализа данных при исследовании эпидемических процессов. Пандемия коронавирусной инфекции COVID-19, вызванная новым штаммом коронавируса SARS-CoV-2, стала причиной сверхбыстрого роста числа заболевших и высокой смертности во всем мире. Развитие пандемии поставило перед специалистами здравоохранения новые задачи: разработать диагностические и лечебные алгоритмы, а также меры и средства профилактики. В связи с этим особое внимание уделяется внедрению информационных систем в медицинскую практику, а также применению технологий интеллектуального анализа данных с целью при принятии решений, связанных с противоковидными мерами, повышения качества оказываемой медицинской помощи. Одним из методов интеллектуального анализа данных является кластерный анализ. Кластерный анализ довольно широко используется при изучении различий между регионами по показателям заболеваемости и смертности населения и другим показателям здоровья населения. Авторами проведено исследование заболеваемости коронавирусом жителей 85 регионов ЦФО с помощью кластерного анализа. Предложенная авторами технология может быть применена в деятельности региональных департаментах здравоохранения РФ.*

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, эпидемиология, кластерный анализ, Data Mining, коронавирус, пандемия, моделирование.

**APPLICATION OF DATA MINING METHODS  
IN EPIDEMIOLOGY****Ksenofontova O.L., Smirnova N.V., Kotova A.V.**

Ksenofontova Olga Leonidovna (ORCID 0000-0002-4122-6220), Smirnova Natalia Vladimirovna (ORCID 0000-0002-1873-5334), Kotova Anna Vyacheslavovna  
Ivanovo state university of chemistry and technology  
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.  
E-mail: olga\_izvolova@mail.ru, nataliasmirnova\_@mail.ru, anna.kotova2700@mail.ru

*The article discusses the use of data mining methods in the study of epidemic processes. The COVID-19 coronavirus pandemic, caused by a new strain of SARS-CoV-2 coronavirus, has caused an ultra-rapid increase in the number of cases and high mortality worldwide. The development of the pandemic has set new tasks for healthcare professionals: to develop diagnostic and therapeutic algorithms, as well as measures and means of prevention. In this regard, special attention is paid to the introduction of information systems into medical practice, as well as the use of data mining technologies in order to improve the quality of medical care when making decisions related to anti-covid measures. One of the methods of data mining is cluster analysis. Cluster analysis is widely used in the study of differences between regions in terms of morbidity and mortality and other indicators of public health. The authors conducted a study of the incidence of coronavirus in residents of 85 regions of the Central Federal District using cluster analysis. The technology proposed by the authors can be applied in the activities of regional health departments of the Russian Federation.*

**Keywords:** data mining, epidemiology, cluster analysis, Data Mining, coronavirus, pandemic, modeling.

### ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие для изучения и поиска закономерностей и взаимосвязей медицинских данных использовались различные математические методы. В последние годы интеллектуальный анализ данных стал активнее применяться в сфере здравоохранения, в т.ч. в эпидемиологии.

Главной из функций постоянно развивающихся технологий является их способность справляться с возникающими глобальными вызовами. Так, в качестве примера можно указать на пандемию COVID-19, которая долгое время находилась и находится в центре внимания мирового сообщества. Пандемия превратилась в глобальную проблему с массовым воздействием на все сферы человеческой деятельности [13, 16]. Несмотря на то, что медицина, эпидемиология, биохимия, молекулярная биология и иммунология находятся в центре внимания этой глобальной проблемы, социальные и экономические науки также работают над новыми проектами по прогнозированию вирусов и пандемий, и минимизации последствий. Методы интеллектуального анализа данных выступают в качестве инструмента в рассматриваемом вопросе [17, 18, 19].

В конце 2019 г. в г. Ухань была зафиксирована вспышка заболевания пневмонией, вызванной неизвестным видом коронавируса. 11 февраля 2020 г. Международный комитет по таксономии вирусов присвоил новому вирусу наименование SARS-CoV-2 (коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома). Данное название выбрано по причине того, что этот вирус имеет генетическое родство с возбудителем вспышки ТОРС в 2003 г. Это разные вирусы, хотя они и связаны генетически. В марте 2020 г. ВОЗ объявила о пандемии [1, 2, 4].

Правительствами разных стран предпринимаются ограничительные меры, которые должны способствовать снижению уровня заболеваемости и распространения заболевания, поскольку оно оказывает прямое воздействие на население – широк спектр осложнений, возникающих даже спустя полгода после болезни, а само заболевание может протекать в очень тяжелой и фатальной форме [3, 4, 5].

Математическое моделирование эпидемий уже имеет историческое основание, поэтому и для новой возникшей эпидемии вполне естественно пробовать существующие модели и сформулировать новые, чтобы получить возможность предсказания течения эпидемии [7].

Актуальность темы исследования связана с текущей активностью эпидемии, которой в силу

её опасности для общества уже присвоен статус эпидемии. Интеллектуальный анализ и математическое моделирование распространения эпидемий является эффективным инструментом предсказания развития событий, а на этой основе потребности в ресурсах, вакцине, медицинском оборудовании.

### АВТОРСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Теоретическую и методологическую основу исследования составили труды российских и зарубежных ученых по вопросам эпидемиологии, применения математического моделирования в медицине, кластерного анализа, эконометрического прогнозирования: Афанасьева В.Н., Барояна О.В., Бойкова И.В., Дегтяревой Н.А., Дубровой Т.А., Корякиной О.Е., Куркиной Е.С., Лукашина Ю.П., Сошниковой Л.А., Янчевской Е.Ю., Самарский А.А., Кольцовой Э.М., Куркиной Е.С., Васецкого А.М., Добродеевой Л.К., Мартыновой Н.А. и др. [1, 2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 14]

Для того чтобы принимать грамотные противоэпидемиологические шаги, необходимо анализировать динамику развития заболеваемости, смертности, выздоровевших, рассчитывать нагрузку на врачей и больницы, составлять краткосрочные прогнозы [11]. Для этого эффективно применять интеллектуальные методы анализа (Data Mining) и математическое моделирование.

Методы Data Mining помогают решить многие задачи, с которыми сталкивается аналитик. Из них основными являются: классификация, регрессия, поиск ассоциативных правил и кластеризация. Задача кластеризации заключается в делении множества объектов на кластеры схожих по параметрам. При этом, в отличие от классификации, число кластеров и их характеристики могут быть заранее неизвестны и определяться в ходе построения кластеров исходя из степени близости объединяемых объектов по совокупности параметров [1, 4, 8].

Наиболее полно эпидемиологический процесс описывается кривыми, показывающими зависимость ежесуточного прироста числа случаев заболевания от времени. Альтернативный способ выявления связи между внешними факторами и динамикой эпидемиологического процесса основан на выделении групп регионов со сходной формой эпидемических кривых при значительных различиях между группами. Далее выделенные группы сравниваются между собой по перечисленным внешним факторам с использованием статистических тестов и других средств сравнения групп по наборам показателей в целях выявления статистически значимых различий.

Для выделения в совокупности данных групп объектов, имеющих похожие описания, обычно применяются методы кластерного анализа. Анализ медико-демографического движения приобретает особую актуальность и значимость в условиях массового, особенно неожиданного, распространения заболеваний, в том числе ранее неизвестных, характеризующихся интенсивными темпами прироста, высокими уровнями летальности и смертности [17, 18]. К таким заболеваниям относится инфекция COVID-19.

Кластерный анализ довольно широко используется при изучении различий между территориями (регионами) по показателям заболеваемости и смертности населения и другим показателям здоровья людей [18, 20].

В настоящее время существует достаточно много методов кластерного анализа [19].

1) Метод полных связей. Суть данного метода в том, что два объекта, принадлежащих одной и той же группе (кластеру), имеют коэффициент сходства, который меньше некоторого порогового значения  $\beta$ .

2) Метод максимального локального расстояния. Каждый объект рассматривается как одноточечный кластер. Объекты группируются по следующему правилу: два кластера объединяются, если максимальное расстояние между точками одного кластера и точками другого минимально. Процедура состоит из  $n-1$  шагов, и результатом являются разбиения, которые совпадают со всевозможными разбиениями в предыдущем методе для любых пороговых значений.

3) Метод Ворда (Уорда). В этом методе в качестве целевой функции применяют внутригрупповую сумму квадратов отклонений, которая есть не что иное, как сумма квадратов расстояний между каждой точкой (объектом) и средней по кластеру, содержащему этот объект. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению целевой функции, т.е. внутригрупповой суммы квадратов. Этот метод направлен на объединение близко расположенных кластеров.

4) Центроидный метод. Расстояние между двумя кластерами определяется как евклидово расстояние между центрами (средними) этих кластеров.

Как и любой другой метод, кластерный анализ имеет определенные недостатки и ограничения. В частности, состав и количество кластеров зависит от выбираемых критериев разбиения. При сведении исходного массива данных к более компактному виду могут возникать определенные ис-

кажения, а также могут теряться индивидуальные черты отдельных объектов за счет замены их характеристиками обобщенных значений параметров кластера. При проведении классификации объектов игнорируется очень часто возможность отсутствия в рассматриваемой совокупности каких-либо значений кластеров. Это необходимо учитывать при применении данного метода на практике [15].

В общем случае кластерный анализ предназначен для объединения некоторых объектов в классы (кластеры) таким образом, чтобы в один класс попадали максимально схожие, а объекты различных классов максимально отличались друг от друга. Количественный показатель сходства рассчитывается заданным способом на основании данных, характеризующих объекты.

Цель исследования - изучение возможностей методов кластерного анализа для исследования регионов РФ по заболеваемости коронавирусом для выявления регионов, которым требуется усиление мер борьбы с опасным заболеванием.

Для кластеризации регионов использовались статистические данные информационного ресурса Дашборд Yandex DataLens о заболеваемости коронавирусом с июня 2020 г. по май 2022 г. 85 регионах Российской Федерации.

Кластеризация производилась в программном комплексе STATISTICA 7 (модуль Cluster Analysis).

В качестве объектов кластерного анализа выбраны регионы РФ (85 объектов). Анализируемые показатели:  $X_1$  - количество заболевших, чел.;  $X_2$  - количество умерших, чел.;  $X_3$  - летальность, %;  $X_4$  - количество выздоровевших, чел.

Авторы предлагают следующий алгоритм кластерного анализа регионов РФ по заболеваемости COVID-19:

1) Стандартизация исходных данных. х. Стандартизация или нормирование приводит значения всех преобразованных переменных к единому диапазону значений путем выражения через отношение этих значений к некоей величине, отражающей определенные свойства конкретного признака.

2) Кластерный анализ регионов на основе иерархических агломеративных методов.

3) Кластерный анализ регионов на основе метода К-средних.

4) Сравнение кластеров, полученных разными методами.

5) Интерпретация полученных результатов.

Задачей кластерного анализа является организация наблюдаемых данных в наглядные структуры.

Для решения данной задачи в Statistica используются следующие методы:

- 1) Joining (tree clustering) (иерархические агломеративные методы или древовидная кластеризация),
- 2) K – means clustering (метод K – средних),
- 3) Two-way joining (двухходовое объединение).

Все кластерные алгоритмы нуждаются в оценках расстояний между кластерами или объектами, и ясно, что при вычислении расстояния необходимо задать масштаб измерений. Поскольку исходные данные имеют различные типы шкал (единицы измерения), то данные необходимо стандартизовать.

Для приведения исходных переменных к стандартизованному виду можно воспользоваться операцией центрирования и нормирования данных. Для этого в программном комплексе STATISTICA используется надстройка Data/Standardize.

Приведем результаты кластеризации регионов РФ на основе иерархических агломеративных методов (метод Уорда), выбрав пороговое значение  $\beta=7$ , проведенной авторами.

На 01.06.2020, 4 кластера

1 кластер – г. Москва; 2 кластер - Кировская область, Дагестан; 3 кластер - Московская область, Свердловская область, Ростовская область, Санкт-Петербург, Нижегородская область; 4 кластер – остальные 77 регионов.

На 31.12.2020, 4 кластера

1 кластер – г. Москва, г. Санкт-Петербург; 2 кластер - Владимирская область; 3 кластер - Московская область, Свердловская область, Красноярский край, Нижегородская область, Самарская область, Тульская область, Ленинградская область, Хакасия, Краснодарский край, Ростовская область, Воронежская область; 4 кластер – остальные 71 регион.

На 31.12.2021, 5 кластеров

1 кластер – Чукотский АО, Хакасия, Костромская область, ЕАО, Челябинская область, Брянская область; 2 кластер - Москва, Санкт-Петербург, Московская область; 3 кластер - Омская область, Иркутская область, Свердловская область, Красноярский край, Крым, Башкортостан, Самарская область, Воронежская область, Ставропольский край, Краснодарский край, Ростовская область, Пермский край, Алтайский край; 4 кластер – Чувашская республика, Рязанская область, Чеченская Республика, Марий Эл, ХМАО, Тамбовская область, Сахалинская область, Якутия, Новгородская область, Псковская область, Орловская область, Курганская область, Ульяновская область, Липецкая область, Северная Осетия,

Дагестан, Саратовская область, Новосибирская область, Тульская область, Тверская область, Коми, Тюменская область, Волгоградская область; 5 кластер – остальные 40 регионов.

На 31.05.2022, 4 кластера

1 кластер – Камчатский край, Калмыкия, Ненецкий АО, Сахалинская область, Ингушетия, Татарстан, Костромская область, Курганская область, Калужская область, Кемеровская область, Забайкальский край, Оренбургская область, Ленинградская область, Коми, Ярославская область, Тверская область, Псковская область, Орловская область, Новгородская область; 2 кластер - Карелия, ХМАО, Якутия, Приморский край, Калининградская область, Чукотский АО, Тыва, Хабаровский край, Архангельская область, Ямало-Ненецкий АО, Кировская область, Томская область, Амурская область, Хакасия; 3 кластер – г. Москва; 4 кластер – остальные 51 регион.

Далее представим результаты кластеризации регионов РФ методом K-средних, проведенной авторами.

На 01.06.2020, 3 кластера

1 кластер – г. Москва; 2 кластер - Кировская область, Дагестан; 3 кластер - остальные 82 региона.

На 31.12.2020, 4 кластера

1 кластер – г. Москва, г. Санкт-Петербург; 2 кластер - Владимирская область; 3 кластер - Московская область, Свердловская область, Красноярский край, Нижегородская область, Самарская область, Тульская область, Ленинградская область, Хакасия, Краснодарский край, Ростовская область, Воронежская область; 4 кластер – остальные 71 регион.

На 31.12.2021, 5 кластеров

1 кластер – Чукотский АО, Хакасия, Костромская область, ЕАО, Челябинская область, Брянская область; 2 кластер – г. Москва, г. Санкт-Петербург, Московская область; 3 кластер - Омская область, Иркутская область, Свердловская область, Красноярский край, Крым, Башкортостан, Самарская область, Воронежская область, Ставропольский край, Краснодарский край, Ростовская область, Пермский край, Алтайский край; 4 кластер – Хабаровский край, Ленинградская область, Приморский край, Кемеровская область, Нижегородская область, Курская область, Смоленская область, Ярославская область, Пензенская область, Владимирская область; 5 кластер – остальные 30 регионов.

На 31.05.2022, 7 кластеров

1 кластер – Камчатский край, Калмыкия, Ненецкий АО, Сахалинская область, Ингушетия,

Татарстан, Костромская область, курганская область, калужская область, Кемеровская область, забайкальский край, Оренбургская область, Ленинградская область, Коми, Ярославская область, тверская область, Псковская область, орловская область, Белгородская область; 2 кластер - Новгородская область, Карелия, ХМАО, Якутия, Приморский край, Калининградская область, Чукотский АО, Тыва, Хабаровский край, Архангельская область, Ямало-Ненецкий АО, Кировская область, Томская область, Амурская область; 3 кластер – г. Москва; 4 кластер – г. Санкт-Петербург, Московская область; 5 кластер - Свердловская область, Нижегородская область, Ростовская область, Красноярский край, Челябинская область, Пермский край, Самарская область, Воронежская область; 6 кластер - Чувашская Республика, Краснодарский край, Дагестан, Ставропольский край, Крым, Тульская область, Пензенская область, Волгоградская область, Иркутская область, Алтайский край; 7 кластер – остальные 48 регионов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Результаты кластерного анализа - это ко-

личество выделенных кластеров на каждую дату и количество объектов в каждом кластере. Видим примерно одинаковое объединение регионов в кластеры. Анализ соседей в кластере имеет практическую значимость для министерства здравоохранения, для региональных департаментов здравоохранения, например, при принятии решений, связанных с противоковидными мерами.

Эпидемия заражения коронавирусом не заканчивается. Если в одних странах она пошла на спад, в других – наблюдается новый всплеск заболеваемости. Чтобы держать ситуацию под контролем, необходимо делать прогнозы на основе модели, сравнивать расчетные данные со статистическими, корректировать параметры модели или вводить новые локальные волны и делать прогнозы снова. На основании прогнозов принимать решение об усилении или ослаблении ограничительных мер.

*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.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сенько О.В., Кузнецова А.В., Воронин Е.М., Кравцова О.А., Борисова Л.Р., Кирилук И.Л., Акимкин В.Г. Методы интеллектуального анализа данных в исследовании эпидемии COVID-19. *Журн. Белорус. гос. ун-та. Матем. Инф.* 1 (2022), 83–96. <https://doi.org/10.33581/2520-6508-2022-1-83-96>.
2. Виноградов К.А., Артюхов И.П., Роснев А.А., Роснев Д.А. Кластерный анализ административных территорий по показателям здоровья и здравоохранения (на примере Красноярского края). *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2000. Т. 23, № 4. С. 68–75.
3. Янчевская Е.Ю., Меснянкина О.А. Математическое моделирование и прогнозирование в эпидемиологии инфекционных заболеваний. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. 2019. Т. 23. № 3. С. 328–334. DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-3-328-334.2.
4. Котова А.В., Ксенофонтова О.Л., Смирнова Н.В. Кластерный анализ регионов РФ по заболеваемости коронавирусом. Сборник научных трудов вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством". 2022. № 51. С. 181–187.
5. Смирнова Е.М., Валинурова А.А., Данилова С.В., Валинуров Т.Р. Разработка подхода к кластеризации районов на базе инструментального средства машинного обучения KNIME. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2021. № 4 (50). С. 165–175.
6. Котова А.В., Ксенофонтова О.Л. Применение математического моделирования к исследованию распространения эпидемий. Сборник научных трудов вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством". 2022. № 50. С. 173–176.
7. Миролюбова А.А., Ксенофонтова О.Л. Архитектуры нейронных сетей для прогнозирования развития коронавирусной инфекции. В сборнике: Последствия и вызовы пандемии коронавируса для технологического и

#### REFERENCES

1. Senko O.V., Kuznetsova A.V., Voronin E.M., Kravtsova O.A., Borisova L.R., Kirilyuk I.L., Akimkin V.G. Methods of data mining in studies of the COVID-19 epidemic. *Journal. Belarusian State University. Math. Inf.* 1 (2022), 83–96. <https://doi.org/10.33581/2520-6508-2022-1-83-96>.
2. Vinogradov K.A., Artyukhov I.P., Rossiev A.A., Rossiev D.A. Cluster analysis of administrative territories by indicators of health and health protection (on the example of the Krasnoyarsk Territory). *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2000. Vol. 23, N 4. P. 68-75.
3. Yanchevskaya E.Yu., Mesnyankina O.A. Mathematical modeling and forecasting in the epidemiology of infectious diseases. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Medicine*. 2019. Vol. 23. N 3. P. 328-334. DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-3-328-334.2.
4. Kotova A.V., Ksenofontova O.L., Smirnova N.V. Cluster analysis of the regions of the Russian Federation on the incidence of coronavirus. Collection of scientific papers of Russian universities "Problems of economics, finance and production management". 2022. N 51. P. 181-187.
5. Smirnova E.M., Valinurova A.A., Danilova S.V., Valinurov T.R. Development of an approach to clustering of districts based on the KNIME machine learning tool. *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. 2021. N 4 (50). P. 165-175.
6. Kotova A.V., Ksenofontova O.L. Application of mathematical modeling to the study of the spread of epidemics. Collection of scientific papers of Russian universities "Problems of economics, finance and production management". 2022. N 50. P. 173-176.
7. Miroyubova A.A., Ksenofontova O.L. Neural network architectures for predicting the development of coronavirus infection. In the collection: Consequences and challenges of the coronavirus pandemic for the technological and socio-economic development of society. Proceedings of the III International Scientific

- социально-экономического развития общества. Сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией к.э.н. С.В. Шкиотова, д.э.н. В.А. Гордеева. Ярославль, 2020. С. 375–380.
8. **Куркина Е.С., Кольцова Е.М.** Математическое моделирование и прогнозирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19. Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 4-й Международной конференции (4-5 февраля 2021 г., Москва). М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2021. С. 178–192. DOI: 10.20948/future-2021-17.
  9. **Ермолаев М.Б., Попов И.А.** Опыт прогнозирования динамики заражений коронавирусом в России на основе S-образных моделей. Сборник научных трудов вузов России "Проблемы экономики, финансов и управления производством". 2020. № 46. С. 186–188.
  10. **Ильченко А.Н., Ксенофонтова О.Л., Канакина Г.В.** Практикум по экономико-математическим методам. Учебное пособие. Москва: Финансы и статистика. 2014. 288 с.
  11. **Леоненко В.Н.** Математическая эпидемиология. СПб: Университет ИТМО, 2018. 38 с.
  12. **Мирлобова А.А., Ермолаев А.Д., Проковьев М.Б.** ARIMA - прогнозирование спроса производственного предприятия. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 2(66). С. 50–55. DOI 10.6060/snt.20216602.0007.
  13. **Абрамова Е.А.** Особенности и возможности развития самозанятости населения Российской Федерации в условиях пандемии коронавирусной инфекции. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 4(68). С. 6–14. DOI 10.6060/snt.20216804.0001.
  14. **Смирнова Е.М., Валинурова А.А., Данилова С.В., Валинуров Т.Р.** Разработка подхода к кластеризации районов на базе инструментального средства машинного обучения KNIME. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2021. № 4(50). С. 165–175. DOI 10.6060/ivecofin.2021504.579.
  15. **Наркевич А.Н., Серов А.А., Виноградов К.А. [и др.]** Использование самоорганизующихся карт Кохонена для анализа состояния регионов России по социально-значимым заболеваниям. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2016. № 4(50). С. 9.
  16. **Ермолаев М.Б., Хомякова А.А., Белова А.Д., Серкова Ю.А.** Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений на базе системного подхода. *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2022. № 1(51). С. 138–146. DOI 10.6060/ivecofin.2022511.594.
  17. **Корхмазов В.Т., Перхов В.И.** Результаты использования кластерного анализа для оценки различий между субъектами Российской Федерации по уровню смертности от COVID-19. *Инновационная медицина Кубани*. 2023. № 1. С. 65–71. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-1-65-71>.
  18. **Корхмазов В.Т., Перхов В.И.** Дифференциация российских регионов по уровню стандартизованных коэффициентов смертности от COVID-19 в 2021 г. *ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ*. 2022. Т. 8, № 4. С. 13–27. DOI: <https://doi.org/10.33029/2411-8621-2022-8-4-13>
  - and Practical Conference. Under the general editorship of Candidate of Economics S.V. Shkiotov, Doctor of Economics V.A. Gordeev. Yaroslavl, 2020. P. 375-380.
  8. **Kurkina E.S., Koltsova E.M.** Mathematical modeling and forecasting of the spread of the COVID-19 coronavirus epidemic. Designing the future. Problems of digital reality: Proceedings of the 4th International Conference (February 4-5, 2021, Moscow). Moscow: M.V.Keldysh IPM, 2021. P. 178-192. DOI: 10.20948/future-2021-17.
  9. **Ermolaev M.B., Popov I.A.** Experience in predicting the dynamics of coronavirus infections in Russia on based on S-shaped models // Collection of scientific papers of Russian universities "Problems of economics, finance and production management". 2020. N 46. P. 186-188.
  10. **Ichenko A.N., Ksenofontova O.L., Kanakina G.V.** Workshop on economic and mathematical methods. Study guide. Moscow: Finance and Statistics. 2014. 288 p.
  11. **Leonenko V.N.** Mathematical epidemiology. St. Petersburg: ITMO University, 2018. 38 p.
  12. **Miroyubova A.A., Ermolaev A.D., Prokofiev M.B.** ARIMA - forecasting the demand of a manufacturing enterprise. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2021. N 2(66). P. 50-55. DOI 10.6060/snt.20216602.0007.
  13. **Abramova E.A.** Features and opportunities for the development of self-employment of the population of the Russian Federation in the conditions of the coronavirus pandemic. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2021. N 4(68). P. 6-14. DOI 10.6060/snt.20216804.0001.
  14. **Smirnova E.M., Valinurova A.A., Danilova S.V., Valinurov T.R.** Development of an approach to clustering of districts based on the KNIME machine learning tool. *Izvestia of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. 2021. N 4(50). P. 165-175. DOI 10.6060/ivecofin.2021504.579.
  15. **Narkevich A.N., Serov A.A., Vinogradov K.A. [et al.]** The use of self-organizing Kohonen maps for analyzing the state of Russia's regions for socially significant diseases. *Social aspects of public health*. 2016. N 4(50). P. 9.
  16. **Ermolaev M.B., Khomyakova A.A., Belova A.D., Serkova Yu.A.** Development of an algorithm for intellectual decision support based on a system approach. *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. 2022. N 1(51). P. 138-146. DOI 10.6060/ivecofin.2022511.594.
  17. **Korkhmazov V.T., Perkhov V.I.** Results of using cluster analysis to assess differences between the subjects of the Russian Federation in terms of mortality from COVID-19. *Innovative medicine of Kuban*. 2023. N 1. P. 65-71. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-1-65-71>.
  18. **Korkhmazov V.T., Perkhov V.I.** Differentiation of Russian regions by the level of standardized mortality rates from COVID-19 in 2021. *ORGZDRAV: news, me-niya, training. Bulletin of the Higher School of Economics*. 2022. Vol. 8, N 4. P. 13-27. DOI: <https://doi.org/10.33029/2411-8621-2022-8-4-13>

Поступила в редакцию 04.03.2023  
Принята к опубликованию 17.05.2023

Received 04.03.2023  
Accepted 17.05.2023