

УДК 004.8

ДИАГНОСТИКА ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. Г. Зимина^{1,*}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, 115409, Россия

*e-mail: blasunnybla@mail.ru

Поступила в редакцию: 22.06.2024

После доработки: 6.11.2024

Принята к публикации: 12.11.2024

Негативная динамика частоты онкологических заболеваний придает высокую значимость и актуальность задаче повышения эффективности методов диагностики. По всему миру ежегодно выявляют более 10 млн случаев патологии, в том числе фиксируется 2.2 млн случаев онкологии легких, из которых 1.8 млн случаев заканчиваются летально. Ранняя, дифференциальная и точная диагностика заболевания традиционно считается важной задачей медицины. Целью работы является создание автоматизированной системы обработки результатов объективного контроля для дифференциальной диагностики злокачественных новообразований в грудной клетке и повышение с ее помощью точности и скорости диагностики. Полученный в результате работы продукт представляет собой систему искусственного интеллекта на основе нейронной сети, осуществляющей анализ изображений и их множественную классификацию. Анализ изображений позволяет не только фиксировать отсутствие или наличие злокачественных новообразований, но и в последнем случае произвести дифференциальную диагностику аденокарциномы, крупноклеточной карциномы и плоскоклеточного рака легких. Результаты работы данного продукта заметно превосходят достижения других описанных и доступных в настоящее время систем: полученный в результате работы продукт имеет ошибку 3.5 %, в то время как ошибка существующих аналогов составляет не менее 7.1 %, что в два раза больше ошибки полученной системы. Предлагаемый продукт позволяет в два раза сократить количество неправильно поставленных системой диагнозов по сравнению с существующими в настоящее время аналогами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросеть, дифференциальная диагностика, онкология, аугментация.

DOI: 10.26583/vestnik.2024.6.7

EDN TNDLDH

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе рассматривается задача дифференциальной диагностики рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки с использованием нейронных сетей. Данная задача остается актуальной и сейчас, так как ежегодно раком легких заболевают 2.2 млн человек, из которых 1.8 млн человек умирают [1]. Выживаемость выше, если онкозаболевание выявлено на ранних стадиях. Около 80 % пациентов правильно диагностируются на средней или поздней стадии рака [2], ранняя диагностика существенно повышает эффективность лечения.

Медицинская визуализация является критически важным инструментом для обнаружения и диагностики онкозаболевания на ранней стадии. Ручная интерпретация большого количества ме-

дицинских снимков весьма трудоемка, а также допускает человеческие предвзятости и ошибки в процессе диагностики. Алгоритмы классификации моделей определяют входные данные в различные классы в качестве основы для характеристик входных данных.

Описанные ранее в литературе процедуры не достигали высокой точности в дифференциальной диагностике, так как нейронные сети были еще недавно недостаточно развиты. Несмотря на то, что применением нейронных сетей для диагностики рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки активно занимаются ученые [3–6], дифференциальная диагностика по снимкам компьютерной томографии грудной клетки с использованием нейронных сетей изучена в меньшей степени и имеет недостаточно высокую точность.

ДИАГНОСТИКА ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Целью работы являлось создание автоматизированной системы обработки результатов объективного контроля для дифференциальной диагностики злокачественных новообразований в грудной клетке и повышение с ее помощью точности и скорости диагностики. В ходе работы решены следующие группы задач:

1) выбор архитектуры нейронной сети, определение количества скрытых слоев, оптимизация количества нейронов в слоях;

2) сбор и подготовка данных, включая формирование сбалансированных классов;

3) обучение и тестирование обученной модели, оценка достигаемой точности и надежности;

4) создание интерфейса (веб-приложения) доступа пользователя к системе с моделью.

Теоретическая значимость работы заключается в рассмотрении методов машинного обучения, дающих высокие результаты при дифференциальной диагностике рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки. Практическая значимость обусловлена получением высоких результатов при обучении нейронных сетей для решения задачи дифференциальной диагностики рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки.

НАБОР ДАННЫХ

Входными данными являются достоверные и реальные снимки компьютерной томографии грудной клетки из общедоступного банка данных¹. Всего использовалось 627 изображений, которые равномерно распределены на 4 класса: аденокарцинома (рис. 1), крупноклеточная карцинома (рис. 2), плоскоклеточный рак (рис. 3) и отсутствие рака (рис. 4).

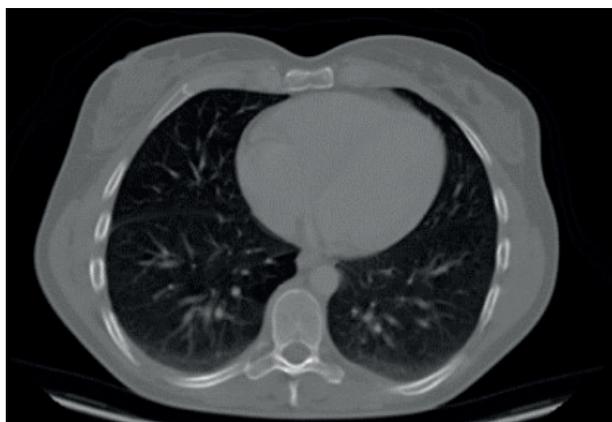


Рис. 1. Аденокарцинома (КТ)



Рис. 2. Крупноклеточная карцинома (КТ)

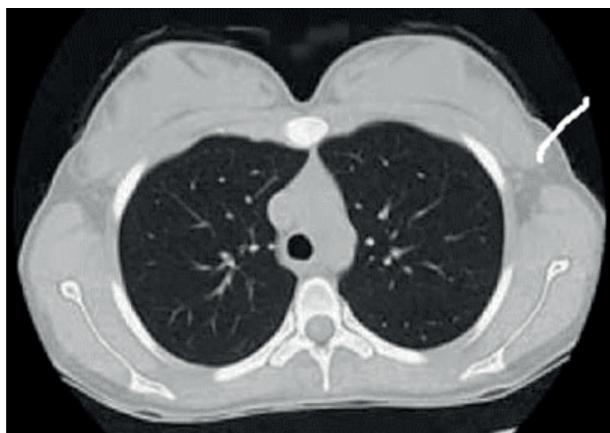


Рис. 3. Плоскоклеточный рак (КТ)

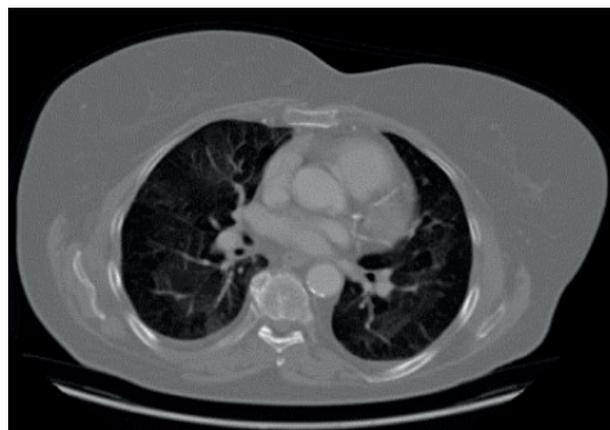


Рис. 4. Отсутствие рака (КТ)

Балансировка данных в нейронных сетях важна для предотвращения смещения модели в сторону часто встречающихся классов данных. Она может включать в себя использование весов классов, аугментацию данных или сэмплирование данных так, чтобы каждый класс был представлен более равномерно. Это помогает модели обучаться более сбалансированно и делает ее более устойчивой к различиям в распределении

¹ Chest CT-Scan images Dataset [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/mohamedhanyyy/chest-ctscan-images/data> (дата обращения: 16.12.2023).

данных в реальном мире. В связи с этим была произведена балансировка данных.

ОБ ИСКЛЮЧЕНИИ НЕУДАЧНОЙ АУГМЕНТАЦИИ

В рамках машинного обучения нейронных сетей широко применяются методы аугментации данных для увеличения объема обучающей выборки². Под аугментацией традиционно понимается увеличение выборки путем модификации имеющихся данных (см., например, [7]). Так в классической задаче распознавания рукописного текста внесение в имеющийся образец разумно внести некоторые искажения (например, растяжение или сжатие, поворот и пр.) и рассматривать искусственно полученные изображения как реально существующие образцы, увеличивая тем самым количество образцов, используемых для обучения нейронной сети³. Применимость такого подхода обсуждается редко, и часто специалисты по обучению нейронных сетей считают применимость аугментации доказанной. В настоящей работе приведен пример того, как применение аугментации значимо снижает качество обучения нейронной сети, и ее аналитическая способность уменьшается.

При формировании обучающей выборки казалось правильными и разумным воспользоваться методом аугментации для увеличения ее объема. Использовались две трансформации: поворот на случайное количество градусов в пределах 360° и вертикальное отражение, вторая – поворот на случайное количество градусов в пределах 360° и горизонтальное отражение. Однако экспериментальная работа показала, что расширение объема выборки с такой аугментацией устойчиво приводит к снижению диагностического результата приблизительно на 4 %. Следует иметь в виду, что эти 4 % отнюдь не малая величина, так она равна тому выигрышу, который удалось достичь в приведенной работе в сравнении с уже известными работам: до настоящего времени точность классификации составляла только 93 %, нам же удалось достичь точности 97 %.

Выявленный в данном конкретном примере эффект – отрицательное влияние аугментации – следует детализировать и объяснить. Предложен один из вариантов объяснения, связанный с раз-

личием исходной задачи распознавания образов. Например очевидно, что несильно искаженная рукописная цифра не теряет своего смысла и по существу ничем не отличается от изначальной. Точно так же изображение кошки (еще один классический объект для систем распознавания изображений), перевернутое вверх ногами, не перестает быть кошкой. В некотором смысле образы кошки или рукописной цифры инвариантны относительно поворота на некоторый угол (а изображение кошки еще и относительно отражения). В то же время формирование картины новообразований в грудной клетке происходит в привязке к конкретным осям – рост вправо и влево будет идти неодинаково. Таким образом, не исключено, что новообразование, повернутое на некоторый угол, являет собой нереальный, несуществующий объект, а искусственная нейросеть, получив его как образец для машинного обучения, по существу оказывается введенной в заблуждение.

В связи с предложенным объяснением следует отметить наличие ряда вопросов для дальнейшей проработки. Например, имеет смысл понять, почему нейросеть не смогла сориентироваться по внешним областям снимка (ребра, грудина, позвоночник). Однако проделанная работа очевидно указывает на то, что к применению аугментации следует подходить с осторожностью, и возможность (или невозможность) применения этого приема должна быть доказана в ходе обучения сети.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для классификации рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки была выбрана сверточная нейронная сеть, так как она хорошо себя зарекомендовала в задаче классификации изображений. Сверточная нейронная сеть является центральным компонентом компьютерного зрения. Ее обучение происходит путем обнаружения разнообразных абстрактных характеристик, варьирующихся от простых до сложных. Сеть затем использует эти признаки для прогнозирования правильной категории [8]. Основными функциональными особенностями являются нормализация, свертка, активация, объединение, полносвязные слои и классификаторы.

Среди сверточных нейросетей рассматривались AlexNet, ResNet, GoogleNet, VGG, после чего была выбрана ResNet как сеть, показывающая наименьшую ошибку (таблица сравнения ошибок нейронных сетей представлена на рис. 5).

На момент проведения исследования рассматривались ResNet-34, ResNet-50, ResNet-101, ResNet-152. Так как изображений всего 627, то

² Аугментация данных для обучения нейронной сети на примере печатных символов. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/smartengines/articles/264677/> (дата обращения: 07.11.2023).

³ A Complete Guide to Data Augmentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.datacamp.com/tutorial/complete-guide-data-augmentation> (дата обращения: 07.11.2023).

ДИАГНОСТИКА ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

method	top-1 err.	top-5 err.
VGG [41] (ILSVRC'14)	-	8.43 [†]
GoogLeNet [44] (ILSVRC'14)	-	7.89
VGG [41] (v5)	24.4	7.1
PReLU-net [13]	21.59	5.71
BN-inception [16]	21.99	5.81
ResNet-34 B	21.84	5.71
ResNet-34 C	21.53	5.60
ResNet-50	20.74	5.25
ResNet-101	19.87	4.60
ResNet-152	19.38	4.49

Рис. 5. Сравнения уровней ошибки для различных нейросетей⁴

были рассмотрены ResNet-50 и ResNet-101, однако точность модели при использовании ResNet-101 ниже, чем при использовании ResNet-50, так как в случае использования нейронной сети с большим количеством слоев начинается переобучение. Архитектура ResNet-50 представлена на рис. 6.

Чтобы использовать архитектуру ResNet-50, для данной задачи была произведена замена выходного слоя на новый, у которого четыре выхода. После этого было произведено дообучение модели (график обучения нейронной сети представлен на рис. 7). Для увеличения точности модели была использована кросс-валидация. Также было рассмотрено несколько видов оптимизаторов.

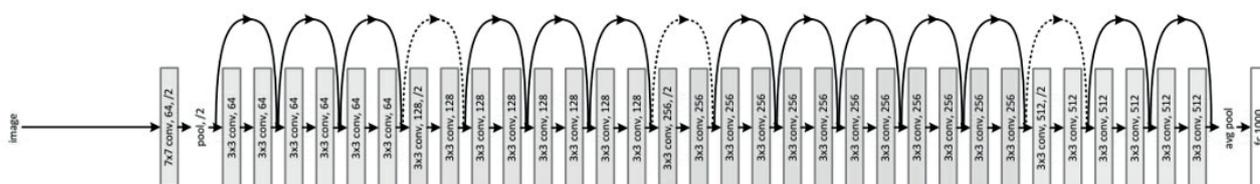


Рис. 6. Архитектура модели ResNet-50⁵

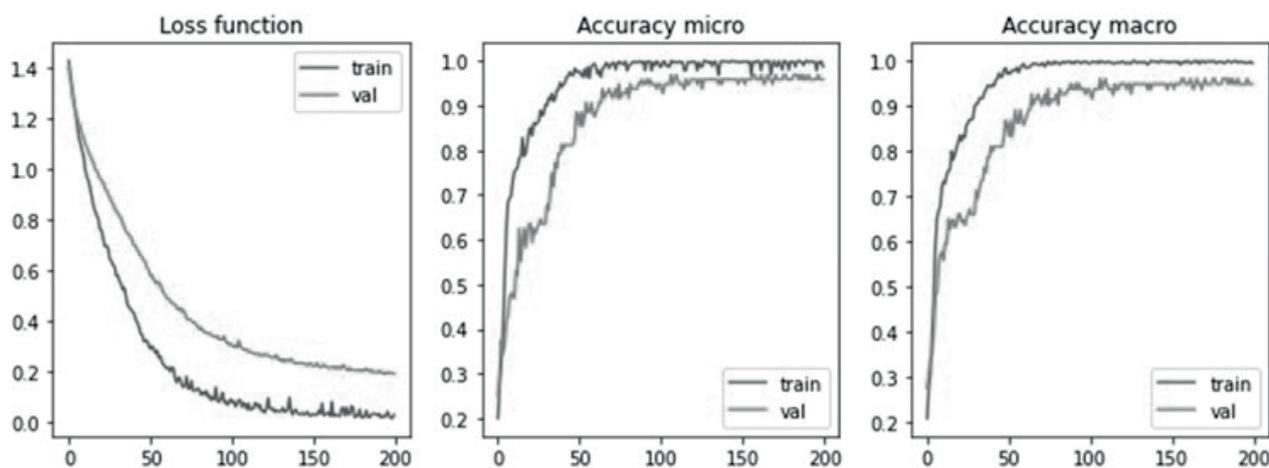


Рис. 7. График обучения нейронной сети

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки результатов обучения модели для множественной классификации были использованы микроточность (доля экземпляров, которые модель правильно спрогнозировала) и макроточность (средняя точность на уровне класса). По

итогу проведения экспериментальных работ микроточность диагностики равняется 96.9 %, а макроточность диагностики – 96.5 %.

Обученная нейронная сеть может быть помещена на сервер, в результате чего ее смогут использовать специалисты в дополнение к самостоятельному анализу снимков, что позволит повысить точность диагностики рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки. В настоящее время создан цифровой продукт, позволяющий осуществлять взаимодействие пользователя с созданной системой. Этот продукт не только предоставляет наиболее вероятный диагноз на основе анализа изображений, но и указывает вероятность этого диагноза.

⁴ Расширенные темы в глубоких сверточных нейронных сетях. [Электронный ресурс]. URL: <https://machinelearningmastery.ru/advanced-topics-in-deep-convolutional-neural-networks-71ef1190522d/> (дата обращения: 16.12.2023).

⁵ ResNet (34, 50, 101): «остаточные» CNN для классификации изображений. [Электронный ресурс]. URL: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/resnet-34-50-101/> (дата обращения: 16.12.2023).

Следует также отметить, что полная замена работанной системой деятельности медицинских специалистов является ошибкой, так как в случае получения вероятности класса менее 90 %, не следует ориентироваться исключительно на результат работы автоматизированной системы, а необходимо медицинскому персоналу установить причины возникновения подобных результатов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе был рассмотрен и реализован метод для получения более высокой точности дифференциальной диагностики легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки по сравнению с результатами, представленными в других найденных научных статьях. Предлагаемый продукт в рамках процедуры дифференциальной диагностики рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки дает ошибку 3.5 %. Это более чем в два раза меньше ошибки существующих аналогов, где она составляет не менее 7.1 %. Из этого следует, что новый продукт позволяет в два раза сократить количество неправильно поставленных системой диагнозов по сравнению с существующими в настоящее время аналогами, что является существенным достижением.

Методологическая значимость данной работы заключается в обосновании методов машинного обучения, дающих более высокие результаты при дифференциальной диагностике рака легких по снимкам компьютерной томографии грудной клетки по сравнению с известными.

Методология машинного обучения нейронных сетей при решении задач распознавания образов имеет важнейшее значение для таких приложений, как медицинская диагностика. Существенными результатами проведенной работы по совершенствованию этой технологии являются:

- создание полномасштабной рабочей системы искусственного интеллекта для дифференциальной диагностики онкологических заболеваний грудной клетки с уровнем надежности и точности, превосходящим существующие аналоги;
- возможность распространения данной технологии для создания систем диагностики иных онкологических заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комарова А.И., Саидова З.А. Онкологические заболевания в России и мире // Человек и общество, М., 2022. Т. 846 (888), вып. 55. Режим доступа: <https://clck.ru/379RTE> (дата обращения: 16.12.2023).
2. Motohiro A., Ueda H., Komatsu H., Yanai N., Mori T. National Chest Hospital Study Group for Lung Cancer. Prognosis of non-surgically treated, clinical stage I lung cancer patients in Japan // Lung Cancer, 2002. V. 36. Iss. 1. P. 65–69. DOI: 10.1016/S0169-5002(01)004597.
3. Bushara A.R. Deep Learning-based Lung Cancer Classification of CT Images using Augmented Convolutional Neural Networks // Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, 2022. V. 21(1). P. 130–142. DOI: 10.5565/rev/elcvia.1490.
4. Venkatesh C., Ramana K., Lakkisetty S. Y., Band S.S., Agarwal S., Mosavi A. A Neural Network and Optimization Based Lung Cancer Detection System in CT Images // Front. Public Health, 2022. V. 10. DOI: 10.3389/fpubh.2022.769692.
5. Kuruvilla J., Gunavathi K. Lung cancer classification using neural networks for CT images // Comput Methods Programs Biomed, 2014. V. 113(1). P. 202–209. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.10.011.
6. Mohamed T.I.A., Oyelade O.N., Ezugwu A.E. Automatic detection and classification of lung cancer CT scans based on deep learning and ebola optimization search algorithm // PLoS One, 2023. V. 18(8). e0285796. DOI: 10.1371/journal.pone.0285796.
7. Андриянов Н.А., Андриянов Д.А. О важности аугментации данных при машинном обучении в задачах обработки изображений в условиях дефицита данных // Сб. трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы, 2020. Режим доступа: <https://clck.ru/36TBwi> (дата обращения: 07.11.2023).
8. Khan S., Rahmani H., Shah S.A.A., Bennamoun M. A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision // Synthesis Lectures on Computer Vision, 2018. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/323174279_A_Guide_to_Convolutional_Neural_Networks_for_Computer_Vision (дата обращения: 06.06.2024).

DIAGNOSIS OF MALIGNANT NEIPLASMS OF THE CHEST USING NEURAL NETWORK

A.G. Zimina^{1,*}

¹National Research Nuclear University «Mephi», Moscow, 115409, Russia

*e-mail: blasunnybla@mail.ru

Received June 22, 2024; revised November 6, 2024; accepted November 12, 2024

The negative dynamics of the incidence of cancer gives high importance and relevance to the task of improving the effectiveness of diagnostic methods. Worldwide, more than 10 million cases of pathology are detected annually including 2.2 million cases of lung cancer of which 1.8 million cases are fatally. Early differential and accurate diagnosis of the disease is traditionally considered an important task of medicine. The aim of the work is to create an automated system for processing the results of objective control for the differential diagnosis of malignant neoplasms in the chests and to increase the accuracy and speed of diagnosis with its help. The resulting product is an artificial intelligence system based on a neural network that analyzes images and their multiple classification. Image analysis allows not only record the absence of presence of malignant neoplasms but also in the latter case to make a differential diagnosis of adenocarcinoma, large cell carcinoma and squamous cell lung cancer. The results of this product significantly exceed the achievements of other systems described and currently available the resulting product has an error of 3.5 % while the error of existing analogues is at least 7.1 % which is twice the error of the resulting system. The proposed product makes it possible to reduce the number of incorrectly diagnosed diagnoses by 2 times compared to currently existing analogues which is a significant achievement.

Keywords: artificial intelligence, neural network, differential diagnosis, oncology, augmentation.

REFERENCES

1. Komarova A.I., Saidova Z.A. Oncologicheskiye zabolevaniya v Rossii i mire. [Oncological diseases in Russia and the world]. Nauchnoye, Enciclopedicheskoye mnogotomnoye izdaniye «Chelovek i obchestvo», 2022. Moscow, 2022. Vol. 846 (888). Iss. 55 (in Russian). URL: <https://elck.ru/379RTE> (date of application: 16.12.2023).
2. Motohiro A., Ueda H., Komatsu H., Yanai N., Mori T. National Chest Hospital Study Group for Lung Cancer. Prognosis of non-surgically treated, clinical stage I lung cancer patients in Japan. *Lung Cancer*, 2002. Vol. 36. Iss. 1. Pp. 65–69. DOI: 10.1016/S0169-5002(01)004597.
3. Bushara A.R. Deep Learning-based Lung Cancer Classification of CT Images using Augmented Convolutional Neural Networks. *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 2022. Vol. 21(1). Pp. 130–142. DOI: 10.5565/rev/elcvia.1490.
4. Venkatesh C., Ramana K., Lakkisetty S. Y., Band S.S., Agarwal S., Mosavi A. A Neural Network and Optimization Based Lung Cancer Detection System in CT Images. *Front. Public Health*, 2022. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpubh.2022.769692.
5. Kuruvilla J., Gunavathi K. Lung cancer classification using neural networks for CT images. *Comput Methods Programs Biomed*, 2014. Vol. 113(1). Pp. 202–209. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.10.011.
6. Mohamed T.I.A., Oyelade O.N., Ezugwu A.E. Automatic detection and classification of lung cancer CT scans based on deep learning and ebola optimization search algorithm. *PLoS One*, 2023. Vol. 18(8). e0285796. DOI: 10.1371/journal.pone.0285796.
7. Andriyanov N.A., Andriyanov D.A. O vazhnosti augmentacii danih pri machinnom obuchenii v zadachah obrabotki izobrazheniy v usloviyah deficita danih [On the importance of data augmentation in machine learning in image processing tasks in conditions of data scarcity]. *Sbornik trudov po materialam VI Mezhdunarodnoi konferencii I molodezhnoy shkoli [collection of works based on materials from the VI International Conference and Youth School]*, 2020. URL: <https://elck.ru/36TBwi> (date of application: 07.11.2023) (in Russian).
8. Khan S., Rahmani H., Shah S.A.A., Bennamoun M. A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision. *Synthesis Lectures on Computer Vision*, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/323174279_A_Guide_to_Convolutional_Neural_Networks_for_Computer_Vision (date of application: 06.06.2024).