

Валентин Г. Никитаев¹, Александр Н. Проничев², Ольга Б. Тамразова³,
Василий Ю. Сергеев⁴, Юрий Ю. Сергеев⁵, Дмитрий В. Гуров⁶, Сергей М. Зайцев⁷,
Михаил А. Соломатин⁸, Тамара П. Занегина⁹, Владимир С. Козлов¹⁰

^{1,2,6,7,8,9,10}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Каширское ш., 31, Москва, 115409, Россия

³Российский университет дружбы народов,
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Россия

^{4,5}Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента РФ,
ул. Маршала Тимошенко, 19, стр. 1А, Москва, 121359, Россия

¹e-mail: vgnikitayev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4349-3023>

²e-mail: anpronichev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0443-8504>

³e-mail: anait_tamrazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3261-6718>,

⁴e-mail: vasesergeevu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8487-137X>,

⁵e-mail: tosergeev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4193-1579>,

⁶e-mail: dmitry@gurov.co, <https://orcid.org/0000-0002-4193-1579>

⁷e-mail: zaippg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4208-1609>

⁸e-mail: mis4455@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9929-615X>

⁹e-mail: tamarazan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9254-5504>

¹⁰e-mail: vskozlov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-6278>

СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ДИАГНОСТИКЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ*

DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2021.4.09>

Аннотация. Рассмотрена задача применения технологий искусственного интеллекта в диагностике новообразований кожи. В качестве объекта исследования рассмотрены дерматоскопические изображения для восьми нозологий, среди которых присутствует и меланома. Наибольшая смертность среди больных со злокачественными заболеваниями кожи наблюдается именно при меланоме. Цель исследования – оценка эффективности применения предобученных сверточных нейронных сетей для классификации новообразований кожи. Предложен алгоритм классификации по ансамблю сверточных сетей. Для формирования ансамбля исследованы предобученные нейронные сети, зарекомендовавшие себя в соревновании ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. По результатам проведенного эксперимента для включения в ансамбль выбрано три наилучших из восьми исследованных сверточных нейронных сетей – MobileNet_v2, ResNet_152, ResNeXt_101_32x8d. Эксперимент проводился на выборке из 10015 изображений, представляющих восемь нозологий. Средняя точность классификации по всем нозологиям составила 79%. В работе отмечены особенности обеспечения информационной безопасности при использовании телемедицинских диагностических технологий с применением предложенного подхода в распознавании изображений новообразований кожи. Полученные в работе результаты могут быть использованы в проектировании систем поддержки принятия врачебных решений при диагностике злокачественных новообразований кожи (в том числе меланомы).

Ключевые слова: обработка изображений, дерматоскопия, диагностика меланомы, распознавание образов, сверточные нейронные сети.

Для цитирования: НИКИТАЕВ, Валентин Г. и др. СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ДИАГНОСТИКЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ Безопасность информационных технологий, [S.l.], т. 28, №. 4, с. 118–126, 2021. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1381>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2021.4.09>.

***Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ) по проекту № 19-11-00176.

Valentin G. Nikitaev¹, Alexander N. Pronichev², Olga B. Tamrazova³,
Vasily Yu. Sergeev⁴, Yuri Yu. Sergeev⁵, Dmitry V. Gurov⁶, Sergei M. Zaitsev⁷,
Mikhail A. Solomatин⁸, Tamara P. Zanegina⁹, Vladimir S. Kozlov¹⁰
^{1,2,6,7,8,9,10}*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
Kashirskoe shosse, 31, Moscow, 115409, Russia*
³*Russian Peoples' Friendship University,
str. Miklukho-Maklaya, 6, Moscow, 117198, Russia*
^{4,5}*Central State Medical Academy of the Administrative Department
of the President of the Russian Federation,
Marshal Timoshenko Str., 19, building 1A, Moscow, 121359, Russia*
¹*e-mail: vgnikitayev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4349-3023>*
²*e-mail: anpronichev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0443-8504>*
³*e-mail: anait_tamrazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3261-6718>,*
⁴*e-mail: vasesergeevu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8487-137X>,*
⁵*e-mail: tosergeev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4193-1579>,*
⁶*e-mail: dmitry@gurov.co, <https://orcid.org/0000-0002-4193-1579>*
⁷*e-mail: zaippg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4208-1609>*
⁸*e-mail: mis4455@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9929-615X>*
⁹*e-mail: tamarazan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9254-5504>*
¹⁰*e-mail: vskozlov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-6278>*

Convolutional neural networks in the diagnosis of skin neoplasms*

DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2021.4.09>

Abstract. The problem of using artificial intelligence technologies in the diagnosis of skin neoplasms is considered. Dermatoscopic images for 8 nosologies were the object of the research. The melanoma was one of them. Melanoma is responsible for the highest mortality of all skin cancers. The study aims to evaluate the effectiveness of the use of pre-trained convolutional neural networks for the classification of skin neoplasms. A classification algorithm for an ensemble of convolutional networks was proposed. Pre-trained neural networks have been used to form the ensemble. Neural network samples were selected from a set of neural networks that have proven themselves in the ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. According to the results of the experiment, three of the best of the eight convolutional neural networks were selected for inclusion in the ensemble – MobileNet_v2, ResNet_152, ResNeXt_101_32x8d. The experiment was conducted on a sample of 10015 images representing 8 nosologies. The average classification accuracy for all nosologies was 79%. The paper highlights the features of ensuring information security when using telemedicine diagnostic technologies using the proposed approach in the recognition of images of skin neoplasms. The obtained results can be used in the design of medical decision support systems for the diagnosis of malignant skin neoplasms (including melanoma).

Keywords: artificial intelligence, convolutional neural networks, image recognition, melanoma diagnostics, telemedicine technologies, information security.

For citation. NIKITAEV Valentin G. et al. Convolutional neural networks in the diagnosis of skin neoplasms. *IT Security (Russia)*, [S.l.], v. 28, n. 4, p. 118–126, 2021. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1381>. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2021.4.09>.

**Acknowledgement.* The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation (RSF) under project No. 19-11-00176.

Введение

По данным ряда исследователей заболеваемость меланомой кожи в России неуклонно растет [1, 2]. Несмотря на то, что меланома кожи является опухолью визуальной локализации, показатели запущенности по этому заболеванию по-прежнему

остаются на высоком уровне. Поэтому особую актуальность приобретает разработка средств, помогающих врачу при первичной диагностике не пропустить это заболевание. Одним из эффективных методов, применяемых в настоящее время в дерматоонкологии, является исследование, при котором врач с помощью дерматоскопа рассматривает новообразование с увеличением и без бликов с поверхности кожи, скрывающих диагностически значимые признаки опухолей при осмотре невооруженным глазом [3]. Ввиду многообразия различных наблюдаемых картин новообразований кожи даже при одном виде заболевания однозначное установление диагноза может вызывать затруднения. В таких ситуациях решению проблемы может способствовать применение систем поддержки принятия врачебных решений, основанных на анализе изображений и базе данных с экспертными оценками.

Состояние вопроса.

Современное развитие технологий в области обработки цифровых изображений позволило создать алгоритмы автоматизированного компьютерного анализа дерматологических снимков, которые могут использоваться в системах поддержки принятия врачебных решений [4]. Основная задача таких систем – автоматизировать работу врача и помочь ему принять решение о диагнозе пациента. При помощи алгоритмов компьютерного зрения на дерматоскопическом изображении могут выделяться область новообразования и определяться такие характеристики как цвет и текстура [5–8]. Более продвинутые системы включают оценку таких диагностически значимых структур как пигментная сеть, точки, глобулы, бесструктурные области и др. [9–11]. Тем самым обеспечивается эффективное повышение точности диагностики и помощь врачам.

В последнее время активно ведется разработка алгоритмов, основанных на технологиях искусственного интеллекта, в частности сверточных нейросетях, обеспечивающих обнаружение на изображениях кожи злокачественных образований [12–15]. Исследования показывают высокий потенциал применения нейросетевых технологий для диагностики новообразований кожи.

В настоящее время нет однозначного решения в задаче применения нейронных сетей в диагностике новообразований кожи. В научных публикациях отражены частные решения при ограниченных наборах нозологий и выборках изображений. Рассматриваются применения различных архитектур нейронных сетей с многообразными условиями их настройки.

Цель данного исследования – предварительная оценка возможностей применения сверточных нейронных сетей для диагностики новообразований кожи на основе анализа дерматоскопических изображений.

1. Распознавание изображений новообразований кожи

Предлагаемое решение – многоклассовая система распознавания изображений новообразований кожи.

В настоящей работе описано создание многоклассовой системы классификации, распознающей на изображении не только меланому кожи, но и другие кожные заболевания. В качестве классификаторов изображений использованы искусственные сверточные нейронные сети (СНС). Проводилось исследование по оценке точности ансамбля из нескольких классификаторов.

Авторами выбран подход с применением готовых зарекомендовавших себя архитектур СНС с уже оптимизированными весами и адаптацией их под решаемую задачу. Адаптация производилась путем замены последнего полносвязного слоя на

собственный с числом выходов равным количеству классов обучающей выборки в решаемой задаче. Далее методом обратного распространения ошибки по имеющейся выборке оптимизируются веса только последнего слоя, а не всех слоев, входящих в СНС. Веса предыдущих слоев остаются неизменными в процессе обучения.

Для выбора применяемых СНС были рассмотрены результаты соревнований ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC), в которых участвующие СНС обучаются на аннотированной базе изображений ImageNet [16]. В базу данных входят 1000 классов по 1000 изображений на каждый. Побеждает алгоритм с наименьшим количеством ошибок в классификации объектов. Измеряется Top1 error (класс, который СНС определяет как наиболее вероятный – корректный) и Top5 error (один из пяти наиболее вероятных классов оказался корректным).

Отличительной особенностью предложенного решения является использование сразу нескольких нейросетей в рамках одной модели для получения более точного результата классификации. Алгоритм классификации представлен на рис. 1.

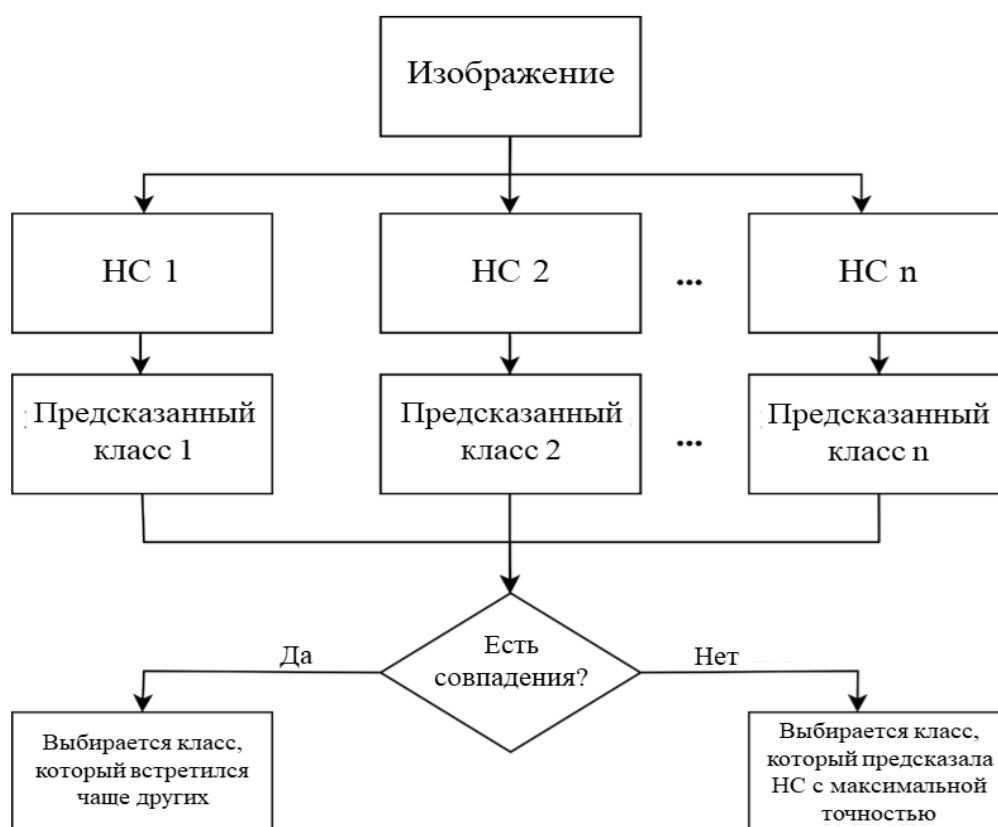


Рис. 1. Алгоритм классификации разработанной модели
Fig. 1. Classification algorithm of the developed model

2. Экспериментальные исследования

Цель эксперимента – определение точности выбранных сверточных нейросетей и их ансамбля по принятому алгоритму классификации при решении задачи диагностики новообразований кожи.

Начальные условия эксперимента.

Исходные данные были взяты из одного из самых крупных архивов изображений кожных новообразований International Skin Imaging Collaboration (ISIC) [17], набор данных

НАМ10000. Данные представляют выборку 10 015 изображений, включающей следующий набор диагностических категорий в области пигментированных поражений.

- Актинический кератоз (солнечные кератозы)
- Базальноклеточный рак
- Дерматофиброма
- Меланома
- Меланоцитарный невус
- Доброкачественные пигментированные новообразования кожи (себорейный кератоз, лентиго и другие)
- Плоскоклеточный рак кожи (эпидермоидная карцинома)
- Васкулит (воспалительное поражение сосудов кожи)

В табл. 1 представлено распределение категорий заболеваний в исходной выборке.

Таблица 1. Распределение категорий заболеваний в исходной выборке

N	Название	Количество
1	Актинический кератоз	130
2	Базальноклеточный рак	514
3	Дерматофиброма	115
4	Меланома	1113
5	Невус	6705
6	Другие доброкачественные новообразования	1099
7	Плоскоклеточный рак кожи	197
8	Васкулит	142

Методика проведения эксперимента.

Методика проведения эксперимента по определению точности классификации изображений новообразований кожи состоит в реализации нижеследующих процедур.

1. Вся коллекция изображений набора данных НАМ10000 разделяется на обучающую, тестовую и валидационную выборки.

2. Выбранные нейронные сети с заданными параметрами оптимизируются на обучающей и валидационной выборках. Замеряется общая точность и точность по классам моделей на тестовой выборке. Проводится анализ полученных кривых точности и ошибок.

3. На основании анализа кривых параметры обучения корректируются, и пункт 2 повторяется еще раз.

4. Строится ансамбль нейронных сетей. Среди ансамбля и отдельных нейронных сетей выбирается модель с максимальной точностью.

На первом этапе проводилось обучение всех доступных предобученных нейросетей в 24 эпохи на исходном наборе данных без изменения баланса классов со стартовым показателем learning rate равным 0.01. В табл. 2 отражены результаты обучения нейросетей.

Для формирования ансамбля были отобраны только те модели, у которых точность выше средней во всех испытаниях. Лучшие результаты показали модели: MobileNet_v2, ResNet_152, ResNeXt_101_32x8d.

Таблица 2. Результаты обучения нейросетей

scope	Alex Net	Inception_v3	Mnas Net_1-0	Mobile Net_v2	ResNet_152	ResNeXt_101_32x8d	VGG_19_bn	Wide_ResNet_101-2
total	75.80	74.96	75.20	77.64	79.83	79.27	75.72	77.32
actinic keratosis	43.33	43.33	23.33	50.00	50.00	43.33	40.00	53.33
basal cell carcinoma	69.29	42.52	52.76	65.35	70.87	59.06	37.01	51.97
dermatofibroma	14.29	0.00	7.14	7.14	35.71	35.71	14.29	10.71
melanoma	50.50	27.06	21.12	33.99	41.91	46.86	29.70	45.54
nevus	87.33	93.84	97.85	92.65	92.23	92.47	93.72	92.29
pigmented benign keratosis	56.76	49.42	27.41	56.76	66.02	61.39	50.97	51.35
squamous cell carcinoma	10.64	29.79	19.15	29.79	29.79	29.79	44.68	34.04
vascular lesion	72.97	43.24	70.27	81.08	78.38	67.57	59.46	54.05

В результате эксперимента получена модель, состоящая из ансамбля нейронных сетей, имеющая точность классификации изображений кожных новообразований 79%. Модель ансамбля нейронных сетей имеет точность незначительно меньше отдельно взятых нейронных сетей, зато превосходит их в точности по некоторым классам. Сведения о точности моделей, участвующих в эксперименте, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Сведения о точности моделей-участников эксперимента

scope	MobileNet_v2	ResNet_152	ResNeXt_101_32x8d	ensemble
total	78.47	79.43	80.27	78.83
actinic keratosis	50.00	53.33	43.33	63.33
basal cell carcinoma	62.99	61.42	70.08	73.23
dermatofibroma	7.14	17.86	39.29	32.14
melanoma	42.24	37.29	52.15	46.53
nevus	92.35	94.68	92.89	90.20
pigmented benign keratosis	60.62	60.23	57.14	62.16
squamous cell carcinoma	23.40	19.15	31.91	23.40
vascular lesion	72.97	75.68	59.46	83.78

Предложенная модель может быть применена при клинической диагностике новообразований кожи. При этом результаты распознавания изображений могут использоваться как предварительные. Окончательное решение принимает врач, используя как результаты распознавания изображений новообразований кожи, так и

соответствующие предполагаемому диагнозу примеры изображений с верифицированными диагнозами из базы данных системы поддержки принятия врачебных решений.

Предложенные модели могут использоваться в качестве составной части телемедицинских систем для дистанционных врачебных консультаций при диагностике новообразований кожи [18].

Отдельного изучения заслуживают вопросы безопасности обмена информацией с подобными экспертными системами по каналам связи мобильных операторов связи и провайдеров Интернет. Информацию, передаваемую по открытым каналам (к которым относится Интернет) необходимо защищать. Перед построением защиты следует ответить на два вопроса: от кого и от чего защищаться. В ходе ответа на первый вопрос (от кого?) строится модель нарушителя, т.е. описание злоумышленника, которому могут быть интересны передаваемые сведения. В ходе ответа на второй вопрос (от чего?) строится модель угроз, т.е. описание того, как именно может действовать злоумышленник. Традиционно осуществляется защита информация по трем направлениям: защита от не передачи, защита от перехвата, защита от подмены.

Разумно предположить, что передаваемые медицинские данные сами по себе злоумышленникам не интересны. Вместе с тем блокировка возможной передачи данных и порча данных с целью шантажа и получения выкупа видится вполне разумной. В связи с этим главными методами защиты должны быть дублирование каналов связи, защита от DDOS (отказ в обслуживании), цифровая подпись данных.

Заключение

Настоящая работа посвящена исследованию точности классификации изображений новообразований кожи с применением сверточных нейронных сетей в диагностике новообразований кожи.

Для построения классификатора из восьми исследованных нейросетей по результатам эксперимента отобраны три наилучших – MobileNet_v2, ResNet_152, ResNeXt_101_32x8d.

Результаты проведенного предварительного исследования показывают, что число правильно установленных диагнозов по всей использованной выборке составляет около 79% (из 10015 рассмотренных изображений), хотя для отдельных нозологий точность не превышает 23% (плоскоклеточный рак кожи, представленный 197 изображениями в выборке изображений новообразований кожи). Это может быть следствием несбалансированной и недостаточно объемной выборки.

Дальнейшие исследования необходимо провести на более представительной и сбалансированной выборке.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ) по проекту № 19-11-00176.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Потекаев Н.Н., Титов К.С., Маркин А.А., Кашурников А.Ю. Эпидемиология меланомы кожи в Российской Федерации и в городе Москве за 10 лет (2008-2018 гг.). Клиническая дерматология и венерология. 2020. Т. 19. № 6. С. 810–816. DOI: <http://dx.doi.org/10.17116/klinderma202019061810>.
2. Малишевская Н.П., Соколова А.В., Демидов Л.В. Современное состояние заболеваемости меланомой кожи в Российской Федерации и федеральных округах. Медицинский совет. 2018. № 10. С. 161–165. DOI: <http://dx.doi.org/10.21518/2079-701X-2018-10-161-165>.
3. Жучков М.В., Булинська А.К., Киттлер Г. Применение алгоритма «Хаос и Признаки» в оценке дерматоскопических изображений пигментных новообразований кожи. Дерматология (Прил. К журн.

- Consilium Medicum). 2017. № 2. С. 5–13. URL: <https://omnidocor.ru/upload/iblock/c08/c0835e7b934d6faa49b490378d8df137.pdf> (дата обращения: 04.12.2021).
4. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., Sergeev V.Yu., Druzhinina E.A., Medvedeva O.A., Solomatin M.A. Model of a Decision-Making System for the Diagnosis of Melanoma Using Artificial Intelligence. *Biomedical Engineering*. 2021. Vol. 55. No. 3. P. 215–218. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-021-10104-z>.
 5. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., Sergeev V.Yu., Sergeev Yu.Yu., Medvedeva O.A., Solomatin M.A., Kozlov V.S. Color recognition of dermatoscopic images of skin neoplasms. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2058. No. 1. 012027. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2058/1/012027>.
 6. Khan M.Q., Hussain A., Rehman S.U., Khan U., Maqsood M., Mehmood K., Khan M.A. Classification of Melanoma and Nevus in Digital Images for Diagnosis of Skin Cancer. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 90132–90144. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2926837>.
 7. Nezhadian F.K., Rashidi S. Melanoma skin cancer detection using color and new texture features. *Artificial Intelligence and Signal Processing Conference (AISP) IEEE*. 2017. P. 1–5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/AISP.2017.8324108>.
 8. JC Kavitha, A. Suruliandi, D. Nagarajan Melanoma Detection in Dermoscopic Images using Global and Local Feature Extraction. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 2017. Vol. 12, no. 5. P. 19–28. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ijmue.2017.12.5.02>.
 9. Nikitaev V.G., Tamrazova O.B., Pronichev A.N., Sergeev V.Y., Druzhinina E.A. Algorithm for the Analysis of Pigment Network Characteristics in Diagnosing Melanoma. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2021. Vol. 13. No 5. P. 861–869. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S2070048221050161>.
 10. J.L. Garcia-Arroyo, B. Garcia-Zapirain. Recognition of pigment network pattern in dermoscopy images based on fuzzy classification of pixels. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2018. Vol. 153. P. 61–69. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.10.005>.
 11. Nikitaev, V.G., Pronichev, A.N., Tamrazova, O.B. et al. Detection of Circles as Structural Elements in Dermoscopic Images of Skin Neoplasms in the Diagnosis of Melanoma. *Biomedical Engineering*. 2021. Vol. 55. No. 4. P. 255–258. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-021-10113-y>.
 12. Yunendah Nur Fu'adah, NK Caecar Pratiwi, Muhammad Adnan Pramudito, Nur Ibrahim. Convolutional Neural Network (CNN) for Automatic Skin Cancer Classification System. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 982. 012005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012005>.
 13. M. Hasan, S.D. Barman, S. Islam, A.W.Reza Skin Cancer Detection Using Convolutional Neural Network. *ICCAI '19: Proceedings of the 2019 5th International Conference on Computing and Artificial Intelligence April 2019*. P. 254–258. DOI: <https://doi.org/10.1145/3330482.3330525>.
 14. T.J. Brinker, A. Hekler, A.H. Enk, J. Klode, A. Hauschild, C. Berking, B. Schilling, S. Haferkamp, D. Schadendorf, S. Fruhling, J.S. Utikal, C. Kalle. A convolutional neural network trained with dermoscopic images performed on par with 145 dermatologists in a clinical melanoma image classification task. *European Journal of Cancer*. 2019. Vol. 111. P. 148–154. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejca.2019.02.005>.
 15. E.B. Kuprel, R.A. Novoa, J. Ko, S.M. Swetter, H.M. Blau, S. Thrun. Dermatologist level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017. Vol. 542. P. 115–118. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature21056>.
 16. Russakovsky O., Deng J., Su H., et al. ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*. 2015. Vol. 115. P. 211–252. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>.
 17. Tschandl, P., Rosendahl, C. & Kittler, H. The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. *Scientific Data*. 2018. Vol. 5. 180161. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.161>.
 18. Sergeev V.Yu., Sergeev Yu.Yu., Tamrazova O.B., Nikitaev V.G., Pronichev A.N. Automated Remote Diagnosis of Dermatological Neoplasms. *Biomedical Engineering*. 2019. Vol. 53. P. 194–195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10527-019-09907-y>.

REFERENCES:

- [1] Potekaev N.N., Titov K.S., Markin A.A., Kashurnikov A.Yu. Epidemiology of skin melanoma in the Russian Federation and in Moscow for 10 years (2008-2018). *Russian Journal of Clinical Dermatology and Venereology. Klinicheskaya Dermatologiya i Venerologiya*. 2020. Vol. 19. № 6. P. 810–816. DOI: <http://dx.doi.org/10.17116/klinderma202019061810> (in Russian).

- [2] Malishevskaya N.P., Sokolova A.V., Demidov L.V. The current state of the incidence of skin melanoma in the Russian Federation and federal districts. *Meditinskiy sovet*. 2018. № 10. P. 161–165. DOI: <http://dx.doi.org/10.21518/2079-701X-2018-10-161-165> (in Russian).
- [3] Zhuchkov M.V., Bulinska A.K., Kittler G. Application of the algorithm "Chaos and Signs" in the evaluation of dermatoscopic images of pigmented skin neoplasms. *Dermatology (Adj. To the journal Consilium Medicum)*. 2017. № 2. P. 5–13. URL: <https://omnidocor.ru/upload/iblock/c08/c0835e7b934d6faa49b490378d8df137.pdf> (дата обращения: 04.12.2021) (in Russian).
- [4] Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., Sergeev V.Yu., Druzhinina E.A., Medvedeva O.A., Solomatin M.A. Model of a Decision-Making System for the Diagnosis of Melanoma Using Artificial Intelligence. *Biomedical Engineering*. 2021. Vol. 55. No. 3. P. 215–218. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-021-10104-z>.
- [5] Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., Sergeev V.Yu., Sergeev Yu.Yu., Medvedeva O.A., Solomatin M.A., Kozlov V.S. Color recognition of dermatoscopic images of skin neoplasms. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2058. No. 1. 012027. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2058/1/012027>.
- [6] Khan M.Q., Hussain A., Rehman S.U., Khan U., Maqsood M., Mehmood K., Khan M.A. Classification of Melanoma and Nevus in Digital Images for Diagnosis of Skin Cancer. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 90132–90144. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2926837>.
- [7] Nezhadian F.K., Rashidi S. Melanoma skin cancer detection using color and new texture features. *Artificial Intelligence and Signal Processing Conference (AISP) IEEE*. 2017. P. 1–5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/AISP.2017.8324108>.
- [8] JC Kavitha, A. Suruliandi, D. Nagarajan Melanoma Detection in Dermoscopic Images using Global and Local Feature Extraction. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. 2017. Vol. 12, no. 5. P. 19–28. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/ijmue.2017.12.5.02>.
- [9] Nikitaev V.G., Tamrazova O.B., Pronichev A.N., Sergeev V.Y., Druzhinina E.A. Algorithm for the Analysis of Pigment Network Characteristics in Diagnosing Melanoma. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2021. Vol. 13. No 5. P. 861–869. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S2070048221050161>.
- [10] J.L. Garcia-Arroyo, B. Garcia-Zapirain. Recognition of pigment network pattern in dermoscopy images based on fuzzy classification of pixels. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2018. Vol. 153. P. 61–69. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.10.005>.
- [11] Nikitaev, V.G., Pronichev, A.N., Tamrazova, O.B. et al. Detection of Circles as Structural Elements in Dermoscopic Images of Skin Neoplasms in the Diagnosis of Melanoma. 2021. Vol. 55. No. 4. P. 255–258. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10527-021-10113-y>.
- [12] Yunendah Nur Fu'adah, NK Caecar Pratiwi, Muhammad Adnan Pramudito, Nur Ibrahim. Convolutional Neural Network (CNN) for Automatic Skin Cancer Classification System. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 982. 012005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012005>.
- [13] M. Hasan, S.D. Barman, S. Islam, A.W.Reza Skin Cancer Detection Using Convolutional Neural Network. *ICCAI '19: Proceedings of the 2019 5th International Conference on Computing and Artificial Intelligence April 2019*. P. 254–258. DOI: <https://doi.org/10.1145/3330482.3330525>.
- [14] T.J. Brinker, A. Hekler, A.H. Enk, J. Klode, A. Hauschild, C. Berking, B. Schilling, S. Haferkamp, D. Schadendorf, S. Frühling, J.S. Utikal, C. Kalle. A convolutional neural network trained with dermatoscopic images performed on par with 145 dermatologists in a clinical melanoma image classification task. *European Journal of Cancer*. 2019. Vol. 111. P. 148–154. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejca.2019.02.005>.
- [15] E.B. Kuprel, R.A. Novoa, J. Ko, S.M. Swetter, H.M. Blau, S. Thrun. Dermatologist level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017. Vol. 542. P. 115–118. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature21056>.
- [16] Russakovsky O., Deng J., Su H., et al. ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*. 2015. Vol. 115. P. 211–252. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>.
- [17] Tschandl, P., Rosendahl, C. & Kittler, H. The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. *Scientific Data*. 2018. Vol. 5. 180161. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.161>.
- [18] Sergeev V.Yu., Sergeev Yu.Yu., Tamrazova O.B., Nikitaev V.G., Pronichev A.N. Automated Remote Diagnosis of Dermatological Neoplasms. *Biomedical Engineering*. 2019. Vol. 53. P. 194–195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10527-019-09907-y>.

*Поступила в редакцию – 27 ноября 2021 г. Окончательный вариант – 06 декабря 2021 г.
Received – November 27, 2021. The final version – December 06, 2021.*