



Обзор методов раннего обнаружения меланомы с использованием методов компьютерного зрения

¹А.В. Козачок, ORCID: 0000-0002-6501-2008 <a.kozachok@ispras.ru>

¹А.А. Спирин, ORCID: 0000-0002-7231-5728 <a.spirin@ispras.ru>

²Е.С. Козачок, ORCID: 0000-0003-2912-0754 <muza2804@gmail.com>

¹Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН,
109004, Россия, г. Москва, ул. А. Солженицына, д. 25

²Орловская областная клиническая больница
302028, Россия, г. Орел, ул. Бульвар Победы, д. 1

Аннотация. Меланома является одной из самых агрессивных форм рака, которая поддается лечению только при раннем обнаружении заболевания. В статье рассмотрены существующие алгоритмы и методики визуального диагностирования меланомы. Также рассмотрены системы автоматического диагностирования дерматоскопических изображений и методов, используемых ими. В статье рассмотрены ограничения, препятствующие развитию систем автоматического диагностирования: отсутствие релевантных отечественных наборов данных, позволяющих обучать модели искусственного интеллекта, недостаточный уровень учета метаданных пациентов, низкий охват населения на наличие меланомы при прохождении плановых осмотров. Предложен вариант построения системы поддержки принятия решения врачами общей практики при анализе дерматоскопических изображений кожного покрова.

Ключевые слова: раннее обнаружение меланомы; системы автоматической диагностики; искусственный интеллект в медицине

Для цитирования: Козачок А.В., Спирин А.А., Козачок Е.С. Обзор методов раннего обнаружения меланомы. Труды ИСП РАН, том 34, вып. 4, 2022 г., стр. 241-250. 10.15514/ISPRAS-2022-34(4)-17

Review of methods for early melanoma computer vision detection

¹A.V. Kozachok, ORCID: 0000-0002-6501-2008 <ivanov@ispras.ru>

¹A.A. Spirin, ORCID: 0000-0002-7231-5728 <a.spirin@ispras.ru>

²E.S. Kozachok, ORCID: 0000-0003-2912-0754 <muza2804@gmail.com>

¹Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,
25, Alexander Solzhenitsyn st., Moscow, 109004, Russia

²Oryol Regional Clinical Hospital
10, Pobedy boulevard, Oryol, 302028, Russia

Abstract. Melanoma is one of the most aggressive forms of cancer, which can be treated only with early detection of the disease. The article discusses the existing algorithms and methods of visual diagnosis of melanoma. The systems of automatic diagnosis of dermatoscopic images and the methods used by them are also considered. The article considers the limitations hindering the development of automatic diagnosis systems: the lack of relevant domestic data sets that allow training artificial intelligence models, insufficient level of patient metadata accounting, low coverage of the population for the presence of melanoma during

routine examinations. A variant of building a decision support system by general practitioners in the analysis of dermatoscopic images of the skin is proposed.

Keywords: early detection of melanoma; automatic diagnosis systems; artificial intelligence in medicine

For citation: Kozachok A.V., Spirin A.A., Kozachok E.S. Review of methods for early melanoma detection using computer vision methods. Trudy ISP RAN/Proc. ISP RAS, vol. 34, issue 4, 2022. pp. 241-250 (in Russian). DOI: 10.15514/ISPRAS-2022-34(4)-17

1. Введение

Меланома – злокачественная опухоль, развивающаяся из меланоцитов – пигментных клеток продуцирующих меланины. Меланома является одной из наиболее агрессивных форм рака кожи, который развивается очень стремительно. Преимущественно локализуется в коже, реже – в сетчатке глаза, слизистых оболочках. Одна из наиболее опасных злокачественных опухолей человека, часто рецидивирующая и метастазирующая лимфогенным и гематогенным путем почти во все органы. Её возникновение и распространение зачастую остается незамеченным, вплоть до формирования неизлечимой стадии болезни. Очень часто меланома похожа на невусы – меланоцитарные образования, не представляющие опасности. Согласно исследованию [1] международного агентства по изучению рака заболеваемость меланомой кожи к 2040 году возрастет до 510 000 случаев в год, смертность от заболевания составит 96 000 случаев.

Несмотря на развитие методов лечения и развитие фармацевтических препаратов меланома является основной причиной смерти от рака кожи [2].

Как и другие злокачественные новообразования, лечение меланомы дает наилучшие показатели выживаемости при обнаружении на ранней стадии. Когда меланома выявляется до инвазии, лечение имеет высокие показатели излечения только при широком местном иссечении [3, 4, 5], но по мере увеличения глубины инвазии в направлении возможного метастазирования лечение становится все более болезненным, а выживаемость снижается [2].

Вероятность возникновения меланомы зависит от множества признаков: генетических, особенностей окружающей среды, наличия хронических заболеваний, нахождение на солнце, длина теломеров, количество родинок и их размер [6, 7]. Выявление зависимостей возникновения заболевания от различных факторов возможно при использовании искусственного интеллекта и наличия обширных данных по мониторингу состояния здоровья населения [8]. Таким образом дополнительные данные о состоянии здоровья пациентов, их наследственных заболеваниях и ряд других признаков могут повысить точность обнаружения меланомы на ранних стадиях при использовании обученных моделей искусственного интеллекта. Для классификации новообразований по стадиям развития опухоли применяют различные методики, наиболее популярным в настоящее время является стандарт TNM (Tumor – толщина опухоли, Node – количество метастазированных узлов, Metastasis – расположение метастаз) [9, 10].

Для своевременного и безболезненного излечения меланомы необходимо обнаруживать на ранних стадиях, поскольку нагрузка на профильных врачей весьма высокая, то можно сделать предположение, что CAD (computer-aided diagnosis – системы автоматической компьютерной диагностики) системы позволят значительно повысить вероятность обнаружения меланомы на ранней стадии.

2. Цель и задачи исследования

В настоящее время существующие подходы к обнаружению меланомы возможно разделить на 2 группы: визуальный осмотр врачом и CAD-системы, представляющие собой аналитические системы поддержки принятия решений, позволяющие врачу экономить время и повышать точность выставления диагноза. Наиболее распространенной системой

поддержки принятия решений врачей-дерматологов является проприетарная система FotoFinder, производства Германии [10]. Ее основным недостатком является высокая стоимость, ограничивающая возможности массового применения для проведения скринингового обследования и раннего выявления меланомы.

В работе [11] авторы делают вывод о недостаточности принимаемых в России мер для ранней диагностики на доинвазивной стадии (pT1) меланомы.

Недостаточная диагностика вызвана, на наш взгляд, несколькими факторами: с одной стороны, недостаточное количество профильных специалистов-онкологов в медицинских учреждениях и как следствие высокая нагрузка и длительные очереди ожидания на прием, что негативно сказывается на вероятности излечения. С другой – отсутствие медицинских информационных систем, способствующих охвату населения при диспансеризации или плановом визите к врачу.

Для снижения времени ожидания очереди на прием к врачу-онкологу CAD-системы могут быть внедрены в непрофильных медицинских учреждениях, что позволит уделять небольшое количество времени врачу на осмотр кожных покровов пациента и отправить подозрительные образования для анализа в CAD-системе. Но существует ограничение, в настоящее время подобные системы работают с дерматоскопическими изображениями, следовательно, врач должен обладать дерматоскопом.

Целью исследования является обзор методов диагностирования меланомы на основе применения методов компьютерного зрения и машинного обучения и описание разработанного прототипа системы анализа меланоцитарных изображений. Необходимость его разработки обуславливается отсутствием отечественных аналогов систем и низким процентом обнаружения меланомы на ранней стадии в настоящее время.

3. Методы исследования

При визуальном осмотре пациента применяются различные субъективные методики диагностирования меланомы: правило ABCD(EF) [12], алгоритм CASH [13], 7-точечный список Маки [14], 7-точечное правило Арджениано [15], метод Мензиса [16], метод TADA [17].

Сведения о чувствительности и специфичность (выражение 1) рассмотренных методов экспертного определения признаков меланомы представлены в табл. 1.

Табл. 1. Чувствительность и специфичность методов экспертной диагностики меланомы
Table 1. Sensitivity and specificity of methods for expert diagnosis of melanoma

Метод	Чувствительность	Специфичность
Дерматоскопическое правило ABCD	84,1 %	83,5 %
Алгоритм CASH	98 %	68 %
7-точечный список Макки	91,7 %	53,5 %
7-точечное правило Арджениано	97 %	71 %
Метод Мензиса	92 %	71 %
Метод TADA	94 %	75,5 %

Некоторые из них, несмотря на свою субъективность, могут являться количественными характеристиками для алгоритмов машинного обучения “quantitative imaging”. В исследовании [11] была статистически доказана связь количественных признаков с признаками, применяемыми на качественном уровне правила ABCD: количественной асимметрии образования путем измерения различий в нормализованных распределениях

интенсивности с двух сторон для каждой двух основных осей симметрии на сегментированном поражении в синем диапазоне (430 нм); количественной нерегулярности границ образования, которая является мерой относительной ширины между фактической границей сегментированного поражения и границей эллипса, аппроксимированного так, чтобы соответствовать фактической границе; количественной оценки цвета, которая измеряет пятнистость изображений поражения, полученных в красном диапазоне (700 нм); количественного диаметра поражения – максимального расстояния между самыми удаленными точками новообразования в мм [11].

В исследовании [12] отмечается, что до этапа внедрения механизмов раннего обнаружения заболеваний необходимо решить проблемы получения ложно положительных результатов и как следствие, гипердиагностики и чрезмерного лечения, что влечет дополнительные траты и неоправданно нагружает медицинские учреждения.

НАМ 10000 набор дерматоскопических изображений, состоящий из 10015 изображений, разделенных на 7 типов: актинический кератоз, меланома, базальноклеточная карцинома, доброкачественный кератоз, дерматофиброз, меланоцитарный невус, сосудистые поражения кожи.

РН2 набор состоит из 200 изображений, увеличенных в 20 раз размером 768*560. Набор содержит следующие классы: 80 изображений невусов, 80 изображений атипичных невусов и 40 изображений меланомы.

ISIC набор содержит 33126 изображений кожи пациентов, относящихся к 37 классам, в том числе меланома. Преимуществом данного набора является присутствие метаданных: расположение на теле пациента, пол, возраст, анамнез заболеваний родственников и др. Точность обнаружения для описанных наборов и их модификациях представлена в таблице 3.

Глубокие нейронные сети не используют алгоритмы визуального обнаружения признаков меланомы, а определяют информативные признаки в ходе своей работы, основываясь на корреляции признаков и ответов на выходе нейронной сети [18].

В исследовании [19] было доказано, что нейронные сети оказались точнее при выставлении диагноза меланома. Результаты оценки по метрикам чувствительность и специфичность представлены в таблице 2.

Система поддержки принятия решений врачей-дерматологов FotoFinder [19] обладает чувствительностью 86,6 % и специфичностью 89,9 %. Данные показатели являются достаточно высокими и лишь незначительно уступают по чувствительности общей оценке 157 врачей 88,9 % и превосходят врачей по метрике специфичность 75,7 %.

Результаты исследования [20] также подтверждают более высокую точность при классификации меланомы искусственным интеллектом относительно врачей: при одинаковом значении метрики чувствительности в 86,6% специфичность нейросетей составила значение 82,5% против 71,3% у дерматологов. Наличие метаданных позволяет повысить чувствительность при обнаружении меланомы врачами до значения 88,9% согласно кривой ошибок.

Табл. 2. Сравнение результатов оценки новообразований врачами и нейронными сетями
Table 2. Comparison of results of assessment of neoplasms by doctors and neural networks

	Чувствительность (true positive rate)	Специфичность
Все участники (n=157)	74,1 %	60,0 %
Университетская больница (n=151)	74,0 %	59,8 %
Врачи-ординаторы (n=6)	76,7 %	65,8 %
Иерархия должностей:		

Начинающие специалисты (n=88)	74,8 %	58,2 %
Врачи (n=15)	72,7 %	60,0 %
Начальники отделений (n=45)	73,0 %	62,3 %
Главные врачи (n=3)	73,3 %	69,2 %
ResNet-50 CNN [3]	87,5 %	60,0 %
Inception v4 CNN (FotoFinder) test-set-300 [7]	95,0 %	80,0%
Врачи [7]	86,6 %	71,3 %

Исследования по применению методов искусственного интеллекта и компьютерного зрения в области классификации изображений новообразований кожи также были отражены в работах [21, 22], результаты представлены в табл. 3.

Табл. 3. Сравнение результатов оценки новообразований нейронными сетями
Table 3. Comparison of the results of assessment of neoplasms by neural networks

Нейронная сеть	Датасет	Точность
VGG-16	HAM 10000	87,42 %
VGG-19		85,02 %
MobileNet		88,22 %
Inception v3		89,81 %
Ансамбль сетей: DenseNet 201, Inception-ResNet v2, Inception v3	PH2	98,8 %
	ISIC-MSK	99,2 %
	ISIC-UDA	97,1 %
	ISBI-2017	95,9 %

Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности классификации изображений меланомы и доброкачественных образований нейронными сетями. Однако в ряде исследований отмечается наличие ошибок 1-го и 2-го рода при обнаружении меланомы [19], что оставляет открытым вопрос о совершенствовании архитектур нейронных сетей и формировании более качественных и репрезентативных наборов данных.

В процессе анализа меланоцитарных изображений была выявлена зависимость точности распознавания от типа применяемого оптического дерматоскопа, что обуславливает необходимость дообучения на изображениях от конкретных устройств для повышения точности распознавания.

4. Система раннего диагностирования меланомы

В России существуют системы аналитической поддержки врачей-рентгенологов при скрининговых маммографических исследованиях, демонстрирующие высокую точность при обнаружении рака груди [23, 24].

Разрабатываемая система относится к системам автоматического диагностирования меланомы на основе анализа меланоцитарных изображений (Computer aided diagnosis) [25-27].

Для повышения вероятности обнаружения меланомы на ранней стадии необходимо использовать 2 существующих подхода совместно. Визуальный осмотр непрофильным специалистом, например, врачом общей практики при диспансеризации (скрининге), поможет выявить подозрительные образования. Фотография подобного образования загружается в систему поддержки принятия решений, которая анализирует изображение и

выдает определенный вероятностный результат, на основании которого врач принимает решение о необходимости дополнительных консультаций у профильного специалиста. Функциональная схема разрабатываемой системы представлена на "рис. 1".

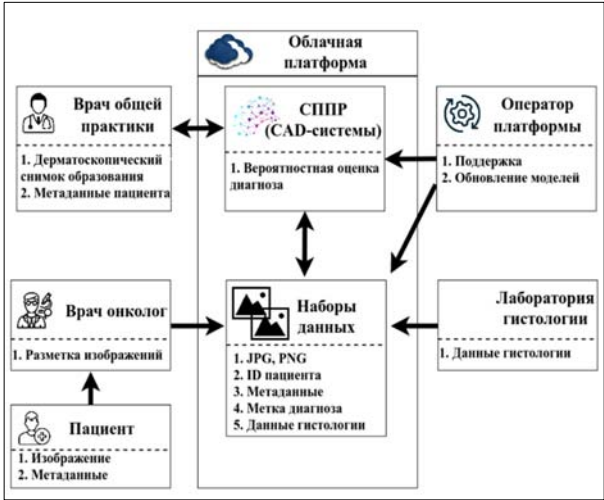


Рис. 1. Функциональная схема разрабатываемой системы
Fig. 1. Functional diagram of the developing system

В целом, задача обнаружения меланомы может включать три подзадачи [5]:

1. Предобработка изображения.
2. Сегментация изображения, выделение участка с новообразованием (определение его размеров в масштабе).
3. Классификация изображений на основе алгоритмов глубокого обучения.

На этапе предобработки выполняется преобразование изображения к стандартным размерам, нормализация по каждому каналу модели RGB.

Сегментация изображения может выполняться на основе цветовой оптимизации каналов изображения [28, 29], методов фиксации уровня [30], методы формирования однородных областей [31], применения глубоких нейронных сетей [32-34].

При обнаружении меланомы используются нейронные сети на основе архитектуры EfficientNet [35].

Разработанный прототип системы включает в себя подсистему разметки изображений врачом-дерматологом для формирования собственного набора данных и подсистему классификации меланоцитарных изображения на предмет наличия меланомы. При оценке точности классификации использовались метрики чувствительность и специфичность:

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN}, Specificity = \frac{TN}{TN + FP}, \tag{1}$$

где TP – количество верно распознанных изображений меланомы, TN – количество верно распознанных невусов, FP – количество невусов, распознанных как меланомы, FN – количество меланом, распознанных как невусы.

5. Выводы и направление дальнейших исследований

В ходе проведенного анализа была обоснована актуальность разработки системы обнаружения меланомы на неинвазивной начальной стадии, что позволит повысить

вероятность успешного излечения меланомы. Разработанный прототип позволяет анализировать меланоцитарные изображения, полученные от дерматоскопа.

Направление дальнейших исследований связано с формированием собственного набора данных и повышения чувствительности и специфичности при диагностировании меланомы с использованием методов компьютерного зрения.

Список литературы / References

- [1] Arnold M., Singh D. et al. Global burden of cutaneous melanoma in 2020 and projections to 2040. *JAMA dermatology*, vol. 158, issue 5, 2022, pp. 495-503.
- [2] Deacon D.C., Smith E.A., Judson-Torres R.L. Molecular Biomarkers for Melanoma Screening, Diagnosis and Prognosis: Current State and Future Prospects. *Frontiers in Medicine*, vol. 8, 2021, article no. 642380, 26 p.
- [3] Gershenwald J.E., Scolyer R.A. et al. Melanoma staging: evidence-based changes in the American Joint Committee on Cancer eighth edition cancer staging manual. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 67, issue 6, 2017, pp. 472-492.
- [4] Siegel R.L., Miller K.D., Jemal A. Cancer statistics, 2020. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 70, issue 1, 2020, pp. 7-30.
- [5] Thanh D.N., Prasath V.B. et al. Melanoma skin cancer detection method based on adaptive principal curvatures, colour normalisation and feature extraction with the ABCD rule. *Journal of Digital Imaging*, vol. 33, issue 3, 2020, pp. 574-585.
- [6] Gu F., Chen T.H. et al. Combining common genetic variants and non-genetic risk factors to predict risk of cutaneous melanoma. *Human molecular genetics*, vol. 27, issue 23, 2018, pp. 4145-4156.
- [7] Landi M.T., Bishop D.T. et al. Genome-wide association meta-analyses combining multiple risk phenotypes provide insights into the genetic architecture of cutaneous melanoma susceptibility. *Nature genetics*, vol. 52, issue 5, 2020, pp. 494-504.
- [8] Siegel R.L., Miller K.D. et al. Cancer statistics, 2022. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 72, issue 1, 2022, pp. 7-33.
- [9] Teterycz P., Ługowska I. et al. Comparison of seventh and eighth edition of AJCC staging system in melanomas at locoregional stage. *World Journal of Surgical Oncology*, vol. 17, issue 1, 2019, pp. 1-7.
- [10] Gershenwald M.S., Scolyer R.A. Melanoma Staging: American Joint Committee on Cancer (AJCC) 8th Edition and Beyond. *Annals of Surgical Oncology*, vol. 25, 2018, pp. 2105-2110.
- [11] Неретин Е.Ю., Садреева С.Х. «Истинная» заболеваемость меланомой кожи по результатам масштабной трехдневной кампании по ранней диагностике в крупном промышленном центре. Ульяновский медико-биологический журнал, no. 1, 2021 г., стр. 71-83 / Neretin E.Yu., Sadreeva S.Kh. The «true» incidence of melanoma of the skin from the results of a large-scale three-day campaign for early diagnosis in a large industrial center. *Ulyanovsk Medical Biological Journal*, no. 1, 2021, pp. 71-83 (in Russian).
- [12] Srivastava S, Koay E.J. et al. Cancer overdiagnosis: a biological challenge and clinical dilemma. *Nature Reviews Cancer*, vol. 19, 2019, pp. 349-358.
- [13] Glazer A.M., Farberg A.S. et al. Quantitative ABCD parameters measured by a multispectral digital skin lesion analysis device for evaluation of suspicious pigmented skin lesions strongly correlate with clinical ABCD observations. *Dermatology Online Journal*, vol. 23, no. 8, 2017, 4 p.
- [14] Senan E.M., Jadhav M.E. Analysis of dermoscopy images by using ABCD rule for early detection of skin cancer. *Global Transitions Proceedings*, vol. 2, issue 1, 2021, pp. 1-7.
- [15] Saghir U., Devendran V. A Brief Review of Feature Extraction Methods for Melanoma Detection. In *Proc. of the 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, vol. 1, 2021, pp. 1304-1307.
- [16] Kittler H. Evolution of the Clinical, Dermoscopic and Pathologic Diagnosis of Melanoma. *Dermatology Practical & Conceptual*, vol. 11, no. S1, 2021, pp. 1-10.
- [17] Babino G., Lallas A. et al. Melanoma diagnosed on digital dermoscopy monitoring: A side-by-side image comparison is needed to improve early detection. *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 85, issue 3, 2021, pp. 619-625.
- [18] Saba T. Computer vision for microscopic skin cancer diagnosis using handcrafted and non-handcrafted features. *Microscopy Research and Technique*, vol. 84, issue 6, 2021, pp. 1272-1283.

- [19] Jaimes N., Marghoob A.A. Triage amalgamated dermoscopic algorithm. *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 82, issue 6, 2020, pp. 1551-1552.
- [20] Gillies R.J., Schabath M.B. Radiomics improves cancer screening and early detection. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, vol. 29, issue 12, 2020, pp. 2556-2567.
- [21] Brinker T. J. et al. Deep learning outperformed 136 of 157 dermatologists in a head-to-head dermoscopic melanoma image classification task // *European Journal of Cancer*. – 2019. – Т. 113. – С. 47-54.
- [22] Haenssle H. A., Fink C. et al. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists. *Annals of oncology*, vol. 29, issue 8, 2018, pp. 1836-1842.
- [23] Ratul M.A.R., Mozaffari M.H. et al. (2020). Skin lesions classification using deep learning based on dilated convolution. *BioRxiv*, 2019, 860700.
- [24] Akram T., Lodhi H.M.J. et al. A multilevel features selection framework for skin lesion classification. *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 10, issue 1, 2020, pp. 1-26.
- [25] Павлович П.И., Броннов О.Ю. и др. Сравнительное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «Цельс» и врачей-рентгенологов. *Digital Diagnostics*, том 2, no 2S, 2021 г., стр. 22-23 / Pavlovich P.I., Bronov O.Yu. et al. Comparative study of the digital mammography data analysis system based on artificial intelligence «Celsus» and radiologists. *Digital Diagnostics*, vol. 2, no. 2S, 2021, pp. 22-23 (in Russian).
- [26] Карпов О.Э., Броннов О.Ю. и др. Компаративное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «цельс» и врачей-рентгенологов. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. НИ Пирогова*, том 16, вып. 2, 2021 г., стр. 86-92 / Karpov O.E., Bronov O.Yu. et al. Comparative study of data analysis results of digital mammography ai-based system «Celsus» and radiologists. analysis of clinical cases. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*, vol. 16, issue 2, 2021, pp. 86-92 (in Russian).
- [27] Foahom Gouabou A.C., Damoiseaux J.L. et al. Ensemble Method of Convolutional Neural Networks with Directed Acyclic Graph Using Dermoscopic Images: Melanoma Detection Application. *Sensors*, vol. 21, issue 12, 2021, article no. 3999, 19 p.
- [28] Luna-Benoso B., Martínez-Perales J.C. et al. Melanoma detection in dermoscopic images using a cellular automata classifier. *Computers*, vol. 11, issue 1, 2022, 13 p.
- [29] Rizzi M., & Guaragnella C. A Decision Support System for Melanoma Diagnosis from Dermoscopic Images. *Applied Sciences*, vol. 12, issue 14, 2022, article no. 7007, 15 p.
- [30] Thanh D.N.H., Hien N.N. et al. Adaptive Thresholding Skin Lesion Segmentation with Gabor Filters and Principal Component Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1125, 2019, pp. 811-820.
- [31] Thanh D.N.H., Erkan U. et al. A Skin Lesion Segmentation Method for Dermoscopic Images Based on Adaptive Thresholding with Normalization of Color Models. In *Proc. of the IEEE 2019 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 2019, pp. 116-120.
- [32] Thanh D.N.H., Hien N.N. et al. Automatic Initial Boundary Generation Methods Based on Edge Detectors for the Level Set Function of the Chan-Vese Segmentation Model and Applications in Biomedical Image Processing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1125, 2019, 2018, pp. 171-181.
- [33] Wong A., Scharcanski J., Fieguth P. Automatic Skin Lesion Segmentation via Iterative Stochastic Region Merging. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, issue 6, 2011, pp. 929-936.
- [34] Jaisakthi S.M., Mirunalini P., Aravindan C. Automated skin lesion segmentation of dermoscopic images using GrabCut and k-means algorithms. *IET Computer Vision*, vol. 12, issue 8, 2018, pp. 1088-1095. doi: 10.1049/iet-cvi.2018.5289.
- [35] Burdick J, Marques O et al. Rethinking Skin Lesion Segmentation in a Convolutional Classifier. *Journal of Digital Imaging*, vol. 31, issue 4, 2018, pp. 435-440.
- [36] Al-Masni M.A., Al-Antari M.A. et al. Skin lesion segmentation in dermoscopy images via deep full resolution convolutional networks. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 162, 2018, pp. 221-231.
- [37] Ha Q., Liu B., Liu F. Identifying melanoma images using efficientnet ensemble: Winning solution to the siim-isic melanoma classification challenge. *arXiv preprint arXiv:2010.05351*, 2020, 6 p.

Информация об авторах / Information about authors

Александр Васильевич КОЗАЧОК – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией безопасного программного обеспечения и анализа данных. Сфера научных интересов: методы и системы защиты информации, кибербезопасность, машинное обучение, анализ данных.

Alexander Vasilievich KOZACHOK – Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the Laboratory of Secure Software and Data Analysis. Research interests: algebraic structures in the information security methods and systems, cybersecurity, machine learning, data analysis.

Андрей Андреевич СПИРИН – кандидат технических наук, научный сотрудник. Его научные интересы включают распознавание образов, системы искусственного интеллекта.

Andrei Andreevich SPIRIN is a Candidate of Technical Sciences, Research Associate. His research interests include pattern recognition, artificial intelligence systems.

Елена Сергеевна КОЗАЧОК – врач-дерматолог. Сфера научных интересов: машинное обучение, анализ меланоцитарных изображений.

Elena Sergeevna KOZACHOK – Dermatologist. Her research interests include artificial intelligence systems, melanocytic image analysis.