

Модель оценки неоднородности распределения характеристик глобул на изображениях новообразований кожи

Валентин Григорьевич Никитаев¹✉, Александр Николаевич Проничев², Ольга Борисовна Тамразова³, Василий Юрьевич Сергеев⁴, Владимир Юрьевич Сельчук⁵, Владимир Сергеевич Козлов⁶, Алина Олеговна Лим⁷

^{1, 2, 5, 6, 7} Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

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

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

⁶vskozlov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-6278>

⁷alinalim30@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5218-0478>

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, anait_tamrazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3261-6718>

⁴ Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия, vasesergeevu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8487-137X>

⁵ Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, Москва, Россия, selvu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2306-8959>

Аннотация. Рассмотрена проблема диагностики меланомы кожи по цифровым изображениям опухоли. Кратко описаны клинические алгоритмы выявления меланомы кожи. Дан обзор работ, посвященных автоматизированной оценке асимметрии распределения формы, цвета, площади глобул – важных признаков меланомы. Разработана модель оценки неоднородности распределения характеристик глобул на цифровых изображениях при диагностике новообразований кожи и предложены модели признаков неоднородности указанного распределения. Проведена экспериментальная сравнительная оценка моделей признаков с помощью программной системы, разработанной на языке C++. Определены наиболее информативные признаки неоднородности распределения характеристик глобул. Максимальная (93 %) точность оценки неоднородности распределения характеристик глобул получена для признака «приведенная обратная величина наибольшей частоты появления измеренных площадей глобул». Результаты исследования могут быть полезны при разработке систем поддержки принятия врачебных решений при диагностике меланомы.

Ключевые слова: новообразования кожи, диагностика меланомы, признаки неоднородности, характеристики глобул, цифровая обработка изображений

Для цитирования: Никитаев В. Г., Проничев А. Н., Тамразова О. Б., Сергеев В. Ю., Сельчук В. Ю., Козлов В. С., Лим А. О. Модель оценки неоднородности распределения характеристик глобул на изображениях новообразований кожи // Измерительная техника. 2021. № 9. С. 62–67. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2021-9-62-67>

Model for estimating the heterogeneity of the distribution of globule characteristics in images of skin neoplasms

Valentin G. Nikitaev¹✉, Alexandr N. Pronichev², Olga B. Tamrazova³, Vasily Yu. Sergeev⁴, Vladimir Yu. Selchuk⁵, Vladimir S. Kozlov⁶, Alina O. Lim⁷

^{1, 2, 5, 6, 7} National Research Nuclear University “MEPhI” (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

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

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

⁶vskozlov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-6278>

⁷alinalim30@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5218-0478>

³ Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia, anait_tamrazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3261-6718>

⁴ Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia, vasesergeevu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8487-137X>

⁵ A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia, selvu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2306-8959>

Abstract. The problem of skin melanoma diagnostics from digital images of the tumor is considered. Clinical algorithms for detecting skin melanoma are briefly described. An overview of the works devoted to the automated assessment of the asymmetry of the distribution of shape, color, area of globules – important signs of melanoma – is given. A model for estimating the heterogeneity of the distribution of the characteristics of globules on digital images in the skin neoplasms diagnosis is developed and models of signs of heterogeneity of this distribution are proposed. The comparative evaluation of the proposed models was carried out experimentally using a software system developed in C++. The most informative features are identified. The greatest accuracy 93 % in estimating the heterogeneity of the distribution of the characteristics of globules was shown by the sign “the reduced inverse of the greatest frequency of occurrence of the measured areas of globules”. The results obtained can be applied in the development of systems to support medical decision-making in the diagnosis of melanoma.

Keywords: skin neoplasms, diagnosis of melanoma, signs of heterogeneity, characteristics of globules, digital image processing

Введение. Необходимость ранней диагностики меланомы кожи связана с высокой летальностью – более 70 % всех форм рака кожи, при том, что доля меланомы в группе опухолей кожи составляет всего 13 % [1]. Меланому выявляют с помощью клинических алгоритмов, например ABCD, Menzies [2], Argenziano [3–5], Kittler [6, 7] и др. Такие алгоритмы позволяют дифференцировать новообразования на меланоцитарные и немеланоцитарные, а также на злокачественные и доброкачественные [8]. В дерматологической практике широко распространён алгоритм модифицированного анализа узора «Хаос и признаки», который рассматривает новообразование как совокупность структурных элементов – линий, глобул, точек, кругов, псевдоподий и бесструктурных областей. Одним из этапов диагностики меланомы с использованием этого алгоритма является выявление хаоса на дерматоскопическом изображении новообразования. Хаос – комплексное понятие – описывает несимметричное расположение структурных элементов новообразования и неоднородность распределения цветовых и морфологических характеристик структурных элементов [7]. Примеры изображений, содержащих и не содержащих хаос, представлены на рис. 1.

Глобула представляет собой двумерный объект, цвет которого отличается от цвета новообразования, а размер позволяет определить форму объекта не только как округлую [7, 9]. В алгоритме Киттлера одним из признаков хаоса является неравномерность распределения структурных элементов – глобул – по области новообразования и неоднородность их цвета, формы и площади (рис. 2).

Характеристики площади, формы и цвета глобул, а также распределение глобул по области новообразования используются в качестве диагностических признаков в ряде алгоритмов. Так, в алгоритме Argenziano одним из значимых признаков являются точки и глобулы (более трёх) округлой или овальной формы коричневого или чёрного цвета, асимметрично распределённые на новообразовании [3–5]. Диагностический критерий алгоритмов Menzies и Kittler – чёрные точки и глобулы на периферии новообразования [2, 6, 7]. В работе [10] показано, что для новообразований с глобулами присутствие сильно пигментированных (тёмных) глобул, глобул разного размера или формы, а также асимметричное скопление глобул является прогностическим признаком меланомы.

Перспективными для диагностики новообразований кожи являются методы искусственного интеллекта на базе

искусственных нейронных сетей [11]. В современных исследованиях для обработки больших массивов данных используют высокотехнологичные комплексы, основанные на базах знаний, методах распознавания образов, экспертных системах [12–16]. Несмотря на значительные успехи в применении искусственных нейронных сетей при диагностике заболеваний кожи, нейронная сеть воспринимается врачом как «чёрный ящик», что в значительной мере снижает степень доверия к получаемым результатам (особенно с учётом того, что юридическую ответственность за принятие диагностического решения несёт врач). Более приемлемыми для врача оказываются системы, в которых врач может отслеживать этапы обработки изображения, понимать, на чём базируются предлагаемые системой диагностические заключения, и сопоставлять их с собственными представлениями.

Автоматизированной оценке асимметрии распределения формы, цвета, площади глобул посвящено много работ. Например, в работе [17] асимметрию расположения глобул оценивали путём деления области новообразования на восемь равных частей и расчёта для каждой части количества содержащихся точек и глобул, включая определение процента покрываемой ими площади новообразования. Новообразования классифицировали как симметричные или асимметричные методом Logistic Model Tree, являющимся комбинацией линейной логистической регрессии и решающего дерева. Однако не раскрыты детали процесса обучения модели и не предусмотрено выявление асимметрии глобул по цвету, размеру и форме. В работе [18] асимметрию

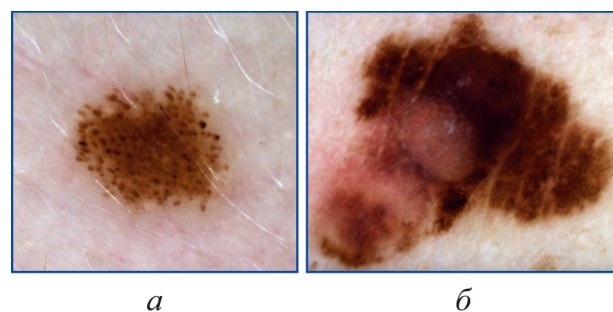


Рис. 1. Изображения новообразования кожи, не содержащее (доброкачественное) и содержащее (злокачественное – меланома) хаос – соответственно а, б

Fig. 1. Images of skin neoplasms: a – benign (not containing “chaos”); b – malignant – melanoma (containing “chaos”)

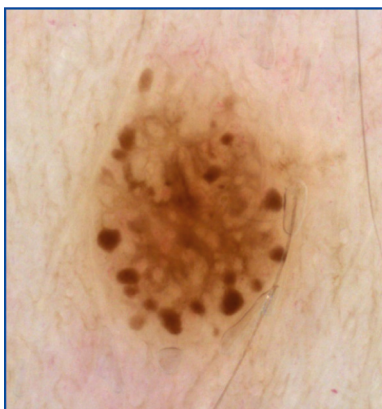


Рис. 2. Изображение доброкачественного новообразования, содержащее глобулы

Fig. 2. Image of a neoplasm containing globules (benign)

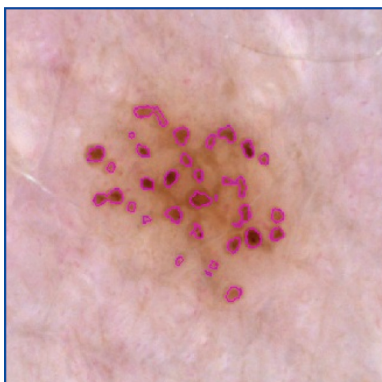


Рис. 3. Изображение доброкачественного новообразования с выделенными глобулами

Fig. 3. Image of a benign neoplasm with highlighted globules

распределения глобул оценивали методом сегментации Statistical Region Merging с разбиением области новообразования на однородные по цвету части. Затем подсчитывали количество тёмных областей внутри каждого из четырёх квадрантов, на которые новообразование делится главными осями инерции. Если количество объектов в квадрантах выходило за пределы ожидаемого диапазона биномиального распределения, то пространственное распределение глобул считали асимметричным. При этом в [18] не раскрыты значения количественных характеристик, использованных для классификации распределения на симметричное и асимметричное и не рассмотрены распределения характеристик цвета, площади и формы глобул.

Дальнейший обзор литературы по данной тематике показал,

что проблема оценки асимметрии формы, цвета, размера и углового распределения глобул недостаточно освещена. В существующих работах оценена только асимметрия пространственного распределения структур по площади новообразования и не исследованы возможности оценки неоднородности таких внутренних характеристик структурных элементов, как форма, размер и цвет. В настоящее время в литературе не существует общепризнанной модели оценки неоднородности характеристик глобул.

Цель настоящей статьи – разработка модели оценки неоднородности распределения характеристик глобул на новообразованиях кожи с учётом их площади, формы, цвета и расположения.

Элементы модели. Вследствие статистической природы распределений характеристик глобул для оценки неоднородности этих распределений авторы настоящей статьи использовали признаки, описывающие гистограммы распределения площади, коэффициента отклонения от окружности, яркости и угла. Признак пространственного распределения глобул применяли как дополнение к гистограммным

признакам. Концептуальная модель оценки неоднородности распределения характеристик глобул на изображениях новообразований кожи состоит из следующих элементов: цифрового изображения; выделения глобул; измерения характеристик глобул; расчета признаков неоднородности распределения характеристик глобул. Рассмотрим элементы модели.

Цифровое изображение. Получено с цифрового дерматоскопа РДС-2 и содержит область новообразования кожи. Формат изображения 2560×1920, глубина кодирования 24 бита (по 8 бит на каждую из компонент R, G, B цветовой модели RGB). Масштаб изображения 0,0052 мм/пиксел.

Выделение глобул. Для того чтобы измерить характеристики глобул, на исходных цифровых изображениях выделили структурные элементы (рис. 3). Подробно методы выделения глобул рассмотрены в работах [19, 20].

Измерение характеристик глобул. К характеристикам глобул, неоднородность распределения которых оценивали, относили площадь, яркость, коэффициент отклонения от окружности и угол наклона линии, соединяющей центр новообразования и центр глобулы. Площадь глобулы рассчитывали как количество принадлежащих ей пикселей, яркость – как среднее значение компоненты «яркости» V цветовой модели HSV для пикселей, принадлежащих глобуле. Коэффициент отклонения от окружности находили как отношение площади глобулы к площади круга с центром в центре масс глобулы и радиусом, равным максимальному расстоянию от центра масс до пиксела глобулы. Угол наклона линии, соединяющей центр новообразования и центр глобулы определяли относительно горизонтальной оси.

Расчёт признаков неоднородности распределения характеристик глобул. Данный расчёт основан на анализе морфологических (площади и коэффициента отклонения от окружности), световой (яркости) и ориентационной (угла) характеристик. Строили гистограммы распределения характеристик глобул, наблюдаемых в новообразовании. Гистограммы нормировали на число глобул в исследуемом новообразовании. Для каждой гистограммы рассчитывали признаки неоднородности.

Признак LCI (the largest column inverse) – приведённая обратная наибольшая частота появления измеренных значений характеристик глобул:

$$LCI = (kM)^{-1},$$

где k – количество столбцов гистограммы; M – высота наибольшего столбца.

Данный признак изменяется в диапазоне $[k^{-1}; 1]$, где единица соответствует равномерному распределению характеристики во всём диапазоне возможных значений, k^{-1} – единичному значению характеристики всех глобул новообразования.

Признак RSDM (ratio of standard deviation to mean) – отношение среднего квадратического отклонения SD характеристики к её среднему значению $\bar{X}$:

$$RSDM = SD / \bar{X}.$$

Значение данного признака тем больше, чем выше разброс значений исследуемой характеристики.

Признак RDM (ratio of difference of max and min to mean) – отношение разности максимального $X_{\max}$ и минимального $X_{\min}$ значения характеристики к среднему значению:

$$RDM = (X_{\max} - X_{\min}) / \bar{X}.$$

Значение данного признака увеличивается с расширением диапазона значений исследуемой характеристики.

Признак SSD (sum of squares of differences) – половина суммы квадратов разностей соседних столбцов гистограммы:

$$SSD = \sum (N_{i+1} - N_i)^2 / 2,$$

где N_i – соответственно высота и номер столбца.

Данный признак изменяется в диапазоне [0; 1], где ноль соответствует равномерному распределению характеристики во всем диапазоне ее возможных значений, а 1 соответствует равенству значений характеристики у всех глобул новообразования.

Признак DMM (ratio of difference of median and mean to mean) – отношение разности медианы M и среднего значения характеристики к среднему значению:

$$DMM = |M - \bar{X}| / \bar{X}.$$

Значение данного признака увеличивается с увеличением несимметричности гистограммы относительно среднего значения.

Кроме гистограммных характеристик для оценки неоднородности пространственного распределения глобул рассчитывали *признак VL* (vector length) – длину приведённой суммы векторов от центра новообразования к центрам глобул. Для этого сначала определяли сумму всех векторов $\mathbf{a}$, проведённых из центра масс новообразования к центрам масс глобул. Затем длину полученного вектора делили на общее количество глобул и модуль вектора $\mathbf{a}_{\max}$ максимальной длины:

$$VL = |\sum \mathbf{a}| / (n |\mathbf{a}_{\max}|).$$

Экспериментальное исследование модели оценки неоднородности распределения характеристик глобул на изображениях новообразований кожи. Цель эксперимента – проверка адекватности предложенной модели. В качестве исходных данных использовали 30 изображений новообразований кожи, предоставленных Российским обществом дерматоскопии. Изображения разделили на группы однородных и неоднородных по расположению глобул в пространстве, площади, коэффициенту отклонения от окружности и яркости. Эксперимент состоял из следующих этапов: выделение глобул на изображениях; измерение характеристик глобул для каждого изображения; построение гистограмм характеристик глобул для каждого изображения; расчёт коэффициентов неоднородности распределения характеристик глобул; выявление пороговых значений коэффициентов неоднородности, оптимально разделяющих группы однородных и неоднородных изображений по каждой характеристике глобул.

Для проведения эксперимента написана программа в среде разработки Qt на языке программирования C++.

Точность разделения набора данных на однородное и неоднородное изображения по признакам неоднородности распределения характеристик глобул

Признак	Угол	Площадь	Форма	Яркость
LCI	0,83	0,93	0,70	0,80
RSDM	0,73	0,73	0,77	0,80
RDM	0,50	0,55	0,70	0,73
SSD	0,80	0,90	0,77	0,73
DMM	0,60	0,70	0,50	0,63

Адекватность модели оценивали путём сравнения результатов компьютерной и экспертной (врачебной) классификации новообразований кожи. Точности Асс классификации определяли по формуле

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN},$$

где TP , FP – количества истинно и ложноположительных результатов классификации соответственно; TN , FN – количества истинно и ложноотрицательных результатов классификации соответственно.

Анализ экспериментальных результатов. Для каждой характеристики глобул рассчитаны коэффициенты неоднородности, найдены их пороговые значения, позволяющие оптимально разделить группы «однородных» и «неоднородных» снимков (таблица).

При классификации распределения глобул по углу и по площади наибольшую точность имеет признак LCI, поскольку учитывает высокий пик гистограммы. Для характеристики по углу это соответствует значительной неоднородности распределения глобул по углу, а для характеристики по площади – равенство площадей большого количества глобул. Признаки RSDM и SSD показали средние точности классификации по углу и площади, признаки RDM и DMM – наименьшую точность.

Точность разделения выборки изображений с однородным и неоднородным распределением глобул по пространственному признаку VL составила 0,8. Точность признака VL близка к точности признака LCI, применённого к гистограмме распределения глобул по углам. При выявлении однородности изображений, на которых глобулы распределены вдоль овала, точность признака VL выше точности признака LCI из-за двух пиков гистограммы средней высоты. В этом случае признак LCI показывал меньшую степень однородности, а признак VL учитывал суммирование векторов, при котором овальная форма распределения глобул так же симметрична, как круглая или кольцеобразная.

Наиболее низкие точности классификации выявлены для характеристик «форма» и «яркость». Точность классификации по форме и яркости признаков LCI, RSDM и SSD выше точности признаков RDM и DMM.

Таким образом, наивысшую точность классификации для всех характеристик имеют признаки LCI, RSDM и SSD, а максимальную (0,93) точность для характеристики «площадь» имеет признак LCI. Признак пространственного распределения глобул VL имеет точность классификации меньше

точности LCI, но более оптимально учитывает симметрию овальных глобул. Признаки RDM и DMM имеют наименьшую точность классификации по всем характеристикам.

Заключение. По результатам исследования установлено, что наиболее адекватно отражает неоднородность распределения характеристик глобул признак LCI для характеристики «площадь». Дальнейшие работы в этой области целесообразно направить на исследование комбинированного показателя, учитывающего все рассмотренные выше признаки с соответствующими весовыми коэффициентами. Значения весовых коэффициентов должны быть сформированы по результатам дополнительных экспериментов и экспертных (врачебных) оценок. Применение предложенных моделей в системах поддержки принятия врачебных решений при диагностике меланомы призвано повысить точность диагностики меланомы.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-11-00176).

Список литературы

1. Каприн А. Д., Старинский В. В., Петрова Г. В. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. 250 с.
2. Menzies S. W., Moloney F. J., Byth K. et al., *JAMA dermatology*, 2013, vol. 149, no. 6, pp. 699–709. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2013.2466>
3. Argenziano G., Soyer P., Chimenti S. et al., *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2003, vol. 48, no. 5, pp. 679–693. <https://doi.org/10.1067/mjd.2003.281>
4. Argenziano G., Catricalà C., Ardigo M. et al, *British Journal of Dermatology*, 2011, vol. 164, no. 4, pp. 785–790. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.10194.x>
5. Малишевская Н. П., Соколова А. В., Торопова Н. П. Рекомендации по проведению дерматоскопии новообразований кожи, протокол дерматоскопического исследования: Учебное пособие для врачей. Екатеринбург: СВ-96, 2018. 23 с.
6. Tschandl P., Rosendahl C., Kittler H., *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 2015, vol. 29, no. 1, pp. 120–127. <https://doi.org/10.1111/jdv.12483>
7. Жучков М. В., Тарасова М. А., Сонин Д. Б. Нодулярные меланомы кожи. Дерматоскопическая диагностика // Вестник дерматологии и венерологии. 2016. № 6. С. 27–33.
8. Коровин С. И., Литус А. И., Литвиненко Б. В., Кукушкина М. Н., Паливец Ф. Ю. Дерматоскопия меланомы кожи: прикладное значение и перспективы // Клиническая онкология. 2012. № 4. С. 28–32.
9. Жучков М. В., Большакова Е. Е., Сонин Д. Б., Жильцова Е. Е., Шилин Р. Р., Исакова М. С., Родионова С. А. Дерматоскопический алгоритм CASH: вопросы применения в клинической практике // Дерматология. Приложение к журналу Consilium Medicum. 2019. № 1. С. 39–42. <https://doi.org/10.26442/24143537.2019.1.190203>
10. Xu J., Gupta K., Stoecker W.V. et al., *Archives of dermatology*, 2009, vol. 145, no. 11, pp. 1245–1251. <https://doi.org/10.1001/archdermatol.2009.285>

11. Kawahara J., Daneshvar S., Argenziano G., Hamarneh G., *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 2018, vol. 23, no. 2, pp. 538–546. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2018.2824327>
12. Nasir M., Khan M. A., Sharif M., Javed M. Y., Saba T., Ali H., Tariq J., *Current Medical Imaging*, 2020, vol. 16, no. 7, pp. 794–822. <https://doi.org/10.2174/1573405615666191223122401>
13. Jiménez A., Serrano C., Acha B., *14th International Conference Image Analysis and Recognition, ICIAR 2017*, Montreal, QC, Canada, July 5–7, 2017, Springer, 2017, pp. 486–493. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59876-5_54
14. Нукмаев В. Г. Экспертные системы в информационно-измерительных комплексах онкологической диагностики // Измерительная техника. 2015. № 6. С. 67–70.
15. Нукмаев В. Г. Высокотехнологичные информационно-измерительные комплексы онкологической диагностики: проблемы и ключевые положения методологии построения // Измерительная техника. 2015. № 2. С. 68–70.
16. Нукмаев В. Г. Современные принципы измерений в интеллектуальных системах гистологической диагностики онкологических заболеваний // Измерительная техника. 2015. № 4. С. 68–70.
17. Jaworek-Korjakowska J., Tadeusiewicz R., *2013 IEEE International Conference on Image Processing*, IEEE, 15–18 September 2013, Melbourne, Australia, 2013, pp. 1456–1460. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2013.6738299>
18. Fabbrocini G., Cacciapuotì S., Salvatore G. De Fata et al., *AIMS Bioengineering*, 2020, vol. 7, no. 4, pp. 306–320. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2020025>
19. Yoshino S., Tanaka T., Tanaka M., Oka H., Application of morphology for detection of dots in tumor, *SICE 2004 Annual Conference*, IEEE, 4–6 August 2004, Sapporo, Japan, 2004, vol. 1, pp. 591–594.
20. Chatterjee S., Dey D., Munshi S., Studies on a formidable dot and globule related feature extraction technique for detection of melanoma from dermoscopic images, *Proceedings of the computer, communication and electrical technology*, 2017, pp. 337–341.

References

1. Kaprin A. D., Starinskij V. V., Petrova G. V., *Zlokachestvennye novoobrazovaniya v Rossii v 2018 godu (zabolevaemost' i smernost')*, Moscow, MNI OI im. P. A. Gercena – filial FGBU "NMIC radiologii" Minzdrava Rossii Publ., 2019, 250 p. (In Russ.)
2. Menzies S. W., Moloney F. J., Byth K. et al., *JAMA dermatology*, 2013, vol. 149, no. 6, pp. 699–709. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2013.2466>
3. Argenziano G., Soyer P., Chimenti S. et al., *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2003, vol. 48, no. 5, pp. 679–693. <https://doi.org/10.1067/mjd.2003.281>
4. Argenziano G., Catricalà C., Ardigo M. et al, *British Journal of Dermatology*, 2011, vol. 164, no. 4, pp. 785–790. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.10194.x>
5. Malishevskaya N. P., Sokolova A. V., Toropova N. P., *Rekomendatsii po provedeniyu dermatoskopii novoobrazovaniy kozhi, protokol dermatoskopicheskogo issledovaniya, Training manual for doctors*, Ekaterinburg, SV-96 Publ., 2018, 23 p. (In Russ.)

6. Tschandl P., Rosendahl C., Kittler H., *Journal of the European Academy of Dermatology and Venerology*, 2015, vol. 29, no. 1, pp. 120–127. <https://doi.org/10.1111/jdv.12483>
7. Zhuchkov M. V., Tarasova M. A., Sonin D. B., Nodulyarnye melanomy kozhi. Dermatoskopicheskaya diagnostika, *Vestnik dermatologii i venerologii*, 2016, no. 6, pp. 27–33. (In Russ.)
8. Korovin S. I., Litus A. I., Litvinenko B. V., Kukushkina M. N., Palivets F. Yu., Dermatopskopiya melanomy kozhi: prikladnoe znachenie i perspektivy, *Klinicheskaya onkologiya*, 2012, no. 4, pp. 28–32. (In Russ.)
9. Zhuchkov M. V., Bolshakova E. E., Sonin D. B., Zhiltsova E. E., Shilin R. R., Isakova M. S., Rodionova S. A., *Dermatologiya. Prilozhenie k zhurnalu Consilium Medicum*, 2019, no. 1, pp. 39–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.26442/24143537.2019.1.190203>
10. Xu J., Gupta K., Stoecker W. V. et al., *Archives of dermatology*, 2009, vol. 145, no. 11, pp. 1245–1251. <https://doi.org/10.1001/archdermatol.2009.285>
11. Kawahara J., Daneshvar S., Argenziano G., Hamarneh G., *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 2018, vol. 23, no. 2, pp. 538–546. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2018.2824327>
12. Nasir M., Khan M. A., Sharif M., Javed M. Y., Saba T., Ali H., Tariq J., *Current Medical Imaging*, 2020, vol. 16, no. 7, pp. 794–822. <https://doi.org/10.2174/1573405615666191223122401>
13. Jiménez A., Serrano C., Acha B., *14th International Conference Image Analysis and Recognition, ICIAR 2017*, Montreal, QC, Canada, July 5–7, 2017, Springer, 2017, pp. 486–493. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59876-5_54
14. Nikitaev V. G., *Measurement Techniques*, 2015, vol. 58, no. 6, pp. 719–723. <https://doi.org/10.1007/s11018-015-0781-4>
15. Nikitaev V. G., *Measurement Techniques*, 2015, vol. 58, no. 2, pp. 214–218. <https://doi.org/10.1007/s11018-015-0688-0>
16. Nikitaev V. G., *Measurement Techniques*, 2015, vol. 58, no. 4, pp. 68–70. <https://doi.org/10.1007/s11018-015-0736-9>
17. Jaworek-Korjakowska J., Tadeusiewicz R., *2013 IEEE International Conference on Image Processing*, IEEE, 15–18 September 2013, Melbourne, Australia, 2013, pp. 1456–1460. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2013.6738299>
18. Fabbrocini G., Cacciapuoti S., Salvatores G. De Fata et al., *AIMS Bioengineering*, 2020, vol. 7, no. 4, pp. 306–320. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2020025>
19. Yoshino S., Tanaka T., Tanaka M., Oka H., Application of morphology for detection of dots in tumor, *SICE 2004 Annual Conference*, IEEE, 4–6 August 2004, Sapporo, Japan, 2004, vol. 1, pp. 591–594.
20. Chatterjee S., Dey D., Munshi S., Studies on a formidable dot and globule related feature extraction technique for detection of melanoma from dermoscopic images, *Proceedings of the computer, communication and electrical technology*, 2017, pp. 337–341.

Статья поступила в редакцию 28.05.2021; принята к публикации 08.07.2021.