

<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-3-38-44>

Интеллектуальная система поддержки принятия решений врача в диагностике новообразований кожи на основе мобильной дерматоскопии

Е.С. Козачок¹, С.С. Серегин²

¹ Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН (ИСП РАН), Москва, Россия

² Медицинский центр «Beauty Clinic», Орел, Россия

Контакт: Козачок Елена Сергеевна, dr.kozachok@mail.ru

Аннотация:

Введение. Злокачественные новообразования кожи являются одной из наиболее актуальных проблем современного здравоохранения, характеризующейся устойчивым ростом заболеваемости. Особую сложность представляет ранняя диагностика начальных форм меланомы врачами первичного звена, не обладающими навыками дерматоскопии. Цель исследования заключалась в разработке и валидации методики скринингового обследования с применением мобильной дерматоскопии и алгоритмов машинного обучения для ранней дифференциальной диагностики новообразований кожи.

Материалы и методы. Для обучения нейронных сетей был сформирован объединенный набор данных, включающий 24 765 дерматоскопических снимков из репозитория ISIC-2019 и 657 клинически верифицированных изображений, собранных авторами и учитывающих фототипы кожи населения России. Для получения собственных данных использовался разработанный оптический модуль-насадка на смартфон. Программная часть системы реализована в облачной архитектуре с использованием модели глубокого обучения Vision Transformer (ViT). Исследована эффективность двух режимов анализа: многоклассовой классификации (8 классов) и каскадной бинарной классификации (последовательное разделение на меланоцитарные/немеланоцитарные образования и дифференциация меланомы/невуса).

Результаты. Экспериментальная оценка показала преимущество каскадной стратегии. Точность (Accuracy) модели на критически важном этапе дифференциации меланомы и невуса составила 0,964 (F-мера 0,951), что превышает показатели многоклассового подхода (Accuracy 0,932). В ходе клинической апробации на выборке из более 200 пациентов было выявлено 9 случаев меланомы и 6 случаев базальноклеточной карциномы. Сопоставление результатов работы системы с заключениями экспертов-онкологов продемонстрировало совпадение диагнозов в 89% случаев.

Выводы. Предложенная интеллектуальная система поддержки принятия решений (СППВР) на основе мобильной дерматоскопии обеспечивает высокую диагностическую точность, сопоставимую с экспертной. Внедрение методики в практику врачей первичного звена позволит повысить онкоастороженность, доступность скрининга и эффективность маршрутизации пациентов в специализированные онкологические учреждения.

Ключевые слова: меланома; рак кожи; дерматоскопия; искусственный интеллект; телемедицина; скрининг; Vision Transformer; СППВР.

Для цитирования: Козачок Е.С., Серегин С.С. Интеллектуальная система поддержки принятия решений врача в диагностике новообразований кожи на основе мобильной дерматоскопии. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения 2025;11(3):38-44; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-3-38-44>

Intelligent physician decision support system for diagnosis of skin neoplasms based on mobile dermoscopy<https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-3-38-44>**E.S. Kozachok¹, S.S. Seregin²**¹ Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences (ISP RAS), Moscow, Russia² Medical Center «Beauty Clinic», Orel, Russia**Contact:** Elena S. Kozachok, dr.kozachok@mail.ru**Summary:**

Introduction. Malignant skin neoplasms are one of the most pressing problems in modern healthcare, characterized by a steady increase in morbidity. Early diagnosis of initial forms of melanoma by primary care physicians who lack dermoscopy skills presents a particular challenge.

The aim of the study was to develop and validate a screening methodology using mobile dermoscopy and machine learning algorithms for the early differential diagnosis of skin neoplasms.

Materials and Methods. To train neural networks, a combined dataset was formed, including 24,765 dermoscopic images from the ISIC-2019 repository and 657 clinically verified images collected by the authors, taking into account the skin phototypes of the Russian population. A developed optical smartphone attachment module was used to collect proprietary data. The software part of the system is implemented in a cloud architecture using the Vision Transformer (ViT) deep learning model. The efficiency of two analysis modes was investigated: multiclass classification (8 classes) and cascade binary classification (sequential separation into melanocytic/non-melanocytic lesions and differentiation of melanoma/nevus).

Results. Experimental evaluation showed the advantage of the cascade strategy. The accuracy of the model at the critically important stage of differentiating melanoma and nevus was 0.964 (F-measure 0.951), which exceeds the indicators of the multiclass approach (Accuracy 0.932). During clinical approbation on a sample of more than 200 patients, 9 cases of melanoma and 6 cases of basal cell carcinoma were detected. Comparison of the system's results with the conclusions of expert oncologists demonstrated a diagnosis agreement in 89% of cases.

Conclusion. The proposed intelligent decision support system (CDSS) based on mobile dermoscopy ensures high diagnostic accuracy comparable to expert levels. The implementation of the methodology in primary care practice will increase cancer alertness, screening accessibility, and the efficiency of patient routing to specialized oncological institutions.

Key words: melanoma; skin cancer; dermoscopy; artificial intelligence; telemedicine; screening; Vision Transformer; CDSS.

For citation: Kozachok E.S., Seregin S.S. Intelligent physician decision support system for diagnosis of skin neoplasms based on mobile dermoscopy. Russian Journal of Telemedicine and E-Health 2025;11(3):38-44; <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2025-11-3-38-44>

■ ВВЕДЕНИЕ

Злокачественные новообразования кожи (ЗНОК) являются одной из наиболее актуальных проблем современного здравоохранения, занимая ведущие позиции в структуре онкологической заболеваемости. По данным международных и отечественных исследований, за последнее десятилетие отмечается устойчивая тенденция к росту числа случаев меланомы и немеланоцитарных раков кожи. Согласно глобальной статистике GLOBOCAN, ежегодно в мире регистрируется более 320 тысяч новых

случаев меланомы и более 1 миллиона случаев немеланоцитарного рака кожи [1]. В Российской Федерации показатели заболеваемости также демонстрируют неуклонный рост: прирост заболеваемости меланомой кожи за последние 10 лет составил более 30% [2].

Особую опасность представляют поздние стадии заболевания, когда эффективность лечения существенно снижается, а риск летального исхода возрастает. Пятилетняя выживаемость при локализованной меланоме превышает 98%, однако при наличии отдаленных метастазов этот показатель падает до 30% [3]. ►

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Экономическое бремя лечения запущенных форм онкопатологии кожи ложится тяжелым грузом на систему здравоохранения, требуя применения дорогостоящей таргетной и иммунотерапии.

Наибольшие трудности вызывает ранняя диагностика, поскольку начальные формы меланомы и ряда других опухолей часто протекают бессимптомно и требуют применения специальных методов визуализации. «Золотым стандартом» неинвазивной диагностики является дерматоскопия, позволяющая визуализировать внутрикожные морфологические структуры, невидимые невооруженным глазом. Однако чувствительность и специфичность дерматоскопии напрямую зависят от квалификации специалиста. Исследования показывают, что точность диагностики меланомы у врачей общей практики без применения дерматоскопии составляет около 60%, тогда как у экспертов-дерматологов она достигает 90% [4]. В условиях дефицита узкопрофильных специалистов в первичном звене здравоохранения возникает так называемый «диагностический разрыв».

В связи с этим особую значимость приобретают разработки скрининговых методик, позволяющих оперативно выявлять подозрительные новообразования на ранних стадиях и направлять пациентов к профильным специалистам. Внедрение телемедицинских технологий и систем искусственного интеллекта (ИИ) способно стать тем инструментом, который повысит онконастороженность врачей первичного звена (терапевтов, хирургов, косметологов) и обеспечит маршрутизацию пациентов группы риска [5].

Цель настоящего исследования заключалась в разработке методики скринингового обследования с применением мобильной дерматоскопии и алгоритмов машинного обучения, ориентированной на раннюю дифференциальную диагностику меланоцитарных и немеланоцитарных новообразований кожи, а также в оценке ее эффективности в клинической практике.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Качество работы алгоритмов машинного обучения критически зависит от репрезента-

тивности обучающей выборки. В качестве исходных данных использован объединенный набор дерматоскопических изображений, включающий 24 765 снимков из открытого международного репозитория ISIC-2019 (International Skin Imaging Collaboration), который является эталонным источником для обучения нейронных сетей в дерматологии [6]. Однако использование только международных баз данных может вносить смещение, связанное с преобладанием определенных фототипов кожи, нехарактерных для российской популяции.

Для устранения этого ограничения выборка была дополнена 657 клинически верифицированными изображениями, собранными авторами исследования и учитывающими фототипы кожи (преимущественно I–III по Фитцпатрику), характерные для населения России. Все изображения прошли процедуру деперсонализации и экспертной разметки с подтверждением диагноза гистологическим заключением (для злокачественных образований) или экспертым консенсусом (для доброкачественных). Распределение по классам в локальном наборе данных включало: невусы (353), себорейный кератоз (116), меланому (75), сосудистые поражения (61), дерматофибромы (19), базальноклеточную карциному (18) и плоскоклеточный рак (15). Проблема дисбаланса классов решалась методами аугментации данных (повороты, отражения, изменение яркости) при обучении моделей.

Для получения собственных данных применялся оптический дерматоскоп, сопряженный со смартфоном, что обеспечивает достаточную детализацию, сопоставимую с традиционной клинической дерматоскопией. В отличие от дорогостоящих зарубежных аналогов (например, Heine Delta 20 стоимостью около 270 000 руб.), разработанный прототип ориентирован на массовое использование в первичном звене.

Разработанный на первом этапе прототип обладает следующими характеристиками:

- Увеличение: 10-кратное, что является стандартом для классической дерматоскопии.
- Оптика: использован ахроматический объектив диаметром 1/32 мм, минимизирующий хроматические aberrации и искажения цвета, что критически важно для корректной работы алгоритмов анализа цвета.

- Просветляющие покрытия: многослойные ($R < 0,5\%$), обеспечивающие высокую светопропускаемость.

- Разрешение: оптическое разрешение системы составляет 40 линий/мм при контрасте 80% (на поле 50 мм), что позволяет фиксировать мельчайшие признаки атипии (бело-голубая вуаль, точки, глобулы).

- Система освещения: реализована на базе i4 светодиодов с высоким индексом цветопередачи ($CRI > 90$) и поддержкой кросс-поляризации для устранения поверхностных бликов от рогового слоя эпидермиса.

- Автономность: питание осуществляется от перезаряжаемого аккумулятора типоразмера 18650 через порт micro-USB, что обеспечивает мобильность врача.

Ключевыми техническими параметрами для смартфона, используемого в связке с дерматоскопом, выступали разрешение камеры не менее 12 МП, светосила объектива $f/2.0$ и размер матрицы не менее $1/3"$. Это гарантирует получение изображений с плотностью пикселей, достаточной для выделения микропризнаков.

Разработанная система реализована в архитектуре облачного веб-сервиса, включающего модули приема изображений, предобработки, классификации и формирования предварительного заключения. Клиентская часть представляет собой кроссплатформенное веб-приложение, доступное с мобильных устройств врачей. Серверная часть обеспечивает хранение обезличенных данных и запуск инференса нейросетевых моделей.

Для классификации применялись современные архитектуры глубокого обучения, преимущественно Vision Transformer (ViT) и его модификации, обученные и валидированные на сформированном датасете. Выбор архитектуры ViT обусловлен ее способностью моделировать глобальные зависимости между участками изображения (патчами) с помощью механизма самовнимания (Self-Attention), что дает преимущество перед сверточными сетями (CNN) в задачах, где важен контекст и взаимосвязь удаленных друг от друга структур [7].

Схема обработки данных включала:

1. Препроцессинг: изменение размера до 224×224 пикселей, нормализация, разбиение на патчи 16×16 .

2. Извлечение признаков: Backbone на основе ViT-Base-Patch16-224 (pre-trained на ImageNet-21k).

3. Тонкая настройка (Fine-tuning): дообучение полносвязных слоев классификатора (Classification Head) на объединенном дерматологическом датасете.

Система поддерживает два режима анализа изображений, реализующих различные клинические стратегии.

Первый режим – многоклассовая классификация, позволяющая распределять изображения по восьми нозологическим категориям (nevus, меланома, базальноклеточная карцинома, актинический кератоз, себорейный кератоз, дерматофиброма, сосудистые поражения и плоскоклеточный рак). Этот режим ориентирован на массовые профилактические обследования, когда требуется оперативное разделение большого числа изображений по основным классам и маршрутизация пациентов к узкопрофильным специалистам.

Второй режим – каскадная бинарная классификация в два этапа:

- **I этап:** изображения разделяются на меланоцитарные (меланома, невус) и немеланоцитарные (базалиома, кератозы и др.) новообразования.

- **II этап:** проводится дифференциация меланомы и невуса внутри меланоцитарного класса.

Такой подход ориентирован на повышение точности при первичных приемах в условиях ограниченного доступа к специалистам-онкологам и позволяет сократить количество ложно-положительных результатов, фокусируясь на наиболее опасной патологии – меланоме.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка метрик эффективности моделей

Экспериментальная оценка качества классификации показала высокую эффективность предложенной методики. Валидация проводилась на отложенной тестовой выборке с использованием метрик точности (Accuracy) и F-меры (гармоническое среднее между точностью и полнотой), что является стандартом для оценки алгоритмов на несбалансированных данных. ►

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В задаче многоклассовой классификации лучшая модель на архитектуре ViT продемонстрировала точность (Accuracy) 0,932 и F-меру 0,891. Данные показатели сопоставимы с результатами ведущих мировых исследований в области AI-дерматоскопии [8], где метрики state-of-the-art решений варьируются в диапазоне 0,85–0,95 в зависимости от сложности тестовой выборки.

При каскадной бинарной классификации показатели оказались выше, что подтверждает гипотезу о целесообразности декомпозиции задачи. На первом этапе (меланоцитарные / немеланоцитарные) достигнуты Accuracy 0,954 и F-мера 0,948. На втором этапе, критически важном для жизни пациента (дифференциация «меланома / невус»), модель показала Accuracy 0,964 и F-меру 0,951.

Таким образом, каскадная стратегия обеспечивает прирост точности на 2–3 % по сравнению с многоклассовым подходом, особенно в критически важной задаче распознавания меланомы. Высокая чувствительность алгоритма на втором этапе минимизирует риск пропуска злокачественного новообразования (ложно-отрицательного результата).

Клиническая апробация

Дополнительным преимуществом предложенной схемы является снижение диагностической нагрузки и повышение онкоастороженности на уровне врачей первичного звена. Практическая апробация разработанной методики скринингового обследования с использованием мобильной дерматоскопии была проведена в рамках серии профилактических акций «День меланомы», организованных на базе Орловской областной клинической больницы и медицинского центра «Beauty Clinic» при поддержке просветительской платформы Melanoscope.

В период с ноября 2024 по апрель 2025 года в пяти сессиях обследовано более 200 пациентов, которым бесплатно выполнялась дерматоскопия подозрительных новообразований с применением мобильных устройств и последующим автоматизированным анализом в облачной интеллектуальной системе. Процедура включала:

1. Сбор анамнеза и заполнение электронной анкеты пациента.
2. Макросъемку и дерматоскопию с использованием разработанного оптического модуля.
3. Загрузку данных в веб-интерфейс системы.
4. Получение мгновенного вероятностного прогноза («Второе мнение»).

Все полученные изображения проходили классификацию в двух режимах (многоклассовом и каскадном бинарном), а результаты автоматически сопоставлялись с заключениями врачей-дерматологов и онкологов.

По итогам мероприятий выявлено девять случаев меланомы, шесть случаев базально-клеточной карциномы и более тридцати дисплазических невусов. Совпадение результатов автоматической системы с мнением экспертов составило около 89%, что подтвердило высокую диагностическую ценность и практическую применимость методики в условиях массового скрининга. Важно отметить, что в спорных случаях система часто выдавала повышенную вероятность злокачественности, что заставляло врачей проявлять большую настороженность и направлять пациента на эксцизионную биопсию, что является желательным поведением для скринингового инструмента.

ОБСУЖДЕНИЕ

Внедрение систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в дерматологию – это общемировой тренд. Существующие коммерческие решения, такие как FotoFinder (Германия) или приложение SkinVision (Нидерланды), доказали свою эффективность, однако имеют ряд ограничений для широкого внедрения в российскую систему ОМС. Системы класса FotoFinder являются стационарными, дорогостоящими и требуют специально оборудованного кабинета [9]. Мобильные приложения типа SkinVision, ориентированные на пациентов, часто демонстрируют высокую долю ложноположительных результатов, вызывая необоснованную тревогу и перегрузку профильных специалистов [10].

Представленная в исследовании разработка занимает промежуточную нишу: это про-

фессиональный инструмент для врача первичного звена, сочетающий доступность мобильного решения с качеством дерматоскопической визуализации. Многоклассовая классификация целесообразна для сценариев массового скрининга, когда ключевым критерием является скорость обработки большого объема данных и триаж (сортировка) потока пациентов. Каскадная бинарная классификация, напротив, обеспечивает максимальную точность при дифференциации меланомы и невусов и может применяться в условиях ограниченных ресурсов и недостатка узкопрофильных специалистов, например, в сельской местности или фельдшерско-акушерских пунктах.

Полученные данные демонстрируют перспективность внедрения интеллектуальной системы поддержки принятия решения врача в систему профилактических осмотров населения для повышения онконастороженности и раннего выявления злокачественных новообразований кожи. Использование архитектуры Vision Transformer позволило достичь показателей точности, превосходящих традиционные сверточные сети (CNN), за счет лучшего учета глобальной структуры новообразования.

Ограничением исследования является ограниченное количество изображений некоторых нозологических категорий (например, плоскоклеточного рака и дерматофибромы) в локальном датасете, что требует дальнейшего расширения базы данных и дообучения моделей на более репрезентативных выборках.

ЛИТЕРАТУРА

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin* 2021;71(3):209-249.
- Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2022.
- Gershenwald JE, Sculay RA, Hess KR, Sondak VK, Long GV, Ross MI, et al. Melanoma staging: Evidence-based changes in the American Joint Committee on Cancer eighth edition cancer staging manual. *CA Cancer J Clin* 2017;67(6):472-492.
- Argenziano G, Puig S, Zalaudek I, Sera F, Corona R, Moscarella E, et al. Dermoscopy improves accuracy of primary care physicians to triage lesions suggestive of skin cancer. *J Clin Oncol* 2006;24(12):1877-1882.
- Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 2017;542(7639):115-118.
- Tschandl P, Rosendahl C, Kittler H. The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermatoscopic images of common pigmented skin lesions. *Sci Data* 2018;5:180161.
- Dosovitskiy A, Beyer L, Kolesnikov A, Weissenborn D, Zhai X, Unterthiner T, et al. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. *ICLR* 2021.
- Haggenmüller S, Maron RC, Hekler A, Utikal JS, Meier F, Roopfarine C, et al. Skin cancer classification via convolutional neural networks: systematic review of studies involving human

Также необходимо продолжить исследования в направлении интерпретируемости (Explainable AI) решений алгоритма, чтобы врач понимал, на какие именно признаки (асимметрия, цветовые паттерны) среагировала нейросеть.

ВЫВОДЫ

Предложенная методика скринингового обследования с использованием мобильной дерматоскопии и алгоритмов машинного обучения обеспечивает высокую точность ранней дифференциальной диагностики злокачественных новообразований кожи.

Она может быть интегрирована в практику учреждений первичного звена здравоохранения в качестве системы поддержки принятия врачебных решений. Реализованный прототип дерматоскопа и облачный сервис показали свою надежность и удобство в ходе клинической апробации.

Применение данной методики позволит повысить доступность ранней диагностики, сократить сроки постановки предварительного диагноза, снизить количество неоправданных направлений в онкологические диспансеры и, как следствие, улучшить качество маршрутизации пациентов. В дальнейшем планируется интеграция системы с Единой государственной информационной системой в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) и проведение мультицентровых клинических испытаний. ■

ЛИТЕРАТУРА

- experts. *Eur J Cancer* 2021;156:202-216.
9. Soyer HP, Argenziano G, Zalaudek I, Corona R, Sera F, Talamini R, et al. Three-point checklist of dermoscopy. A new screening method for early detection of melanoma. *Dermatology* 2004;208(1):27-31.
10. Udrea A, Mitra G, Kostopoulos D, Dobre G, Grjñnlund C. Accuracy of a smartphone application for triage of skin lesions based on machine learning algorithms. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2020;34(3):648-655.

Сведения об авторах:

Козачок Е.С. – специалист 16 отдела Института системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, врач-дерматовенеролог, косметолог, трихолог, главный врач Beauty Clinic, Москва, Россия

Серегин С.С. – к.м.н., врач дерматолог, онколог, БУЗ Орловский Онкологический диспансер, Орел, Россия

Вклад авторов:

Козачок Е.С. – разработка и дизайн проекта, технологическое и медицинское применение, обзор литературы, написание текста, 50%

Серегин С.С. – научное руководство проектом, 50%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Опубликовано без спонсорской поддержки.

Статья поступила: 02.06.25

Рецензирование: 17.08.25

Принята к публикации: 29.08.25

Information about authors:

Kozachok E.S. – specialist, Department 16, V. P. Ivannikov Institute for System Programming, Russian Academy of Sciences; dermatovenerologist, cosmetologist, trichologist; Chief Physician, Beauty Clinic, Moscow, Russia

Seregin S.S. – PhD, dermatologist, oncologist, Orlovsky Oncology Center, Orel, Russia

Authors Contribution:

Kozachok E.S. – project development and design, technological and medical applications, literature review, writing, 50%

Seregin S.S. – project scientific supervision, 50%

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. Published without sponsorship.

Received: 02.06.25

Reviewing: 17.08.25

Accepted for publication: 29.08.25