

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-2-150-166>



УДК 004.93, 004.896

Автоматизированное распознавание форм патологий верхнечелюстных пазух в цифровой диафаноскопии с помощью свёрточных нейронных сетей

Д. В. Герасин¹ ✉, Е. О. Брянская¹, А. В. Бакотина²,
В. В. Дрёмин¹, А. В. Дунаев¹

¹ Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева
ул. Комсомольская, д. 95, г. Орёл 302026, Российская Федерация

² Российский университет медицины Министерства здравоохранения России
ул. Долгоруковская, д. 4, г. Москва 127006, Российская Федерация

✉ e-mail: G.D.V.1984@mail.ru

Резюме

Целями исследования являются разработка и обоснование системы поддержки принятия врачебных решений, использующей алгоритм классификации патологий верхнечелюстных пазух в цифровой диафаноскопии на базе свёрточной нейронной сети ResNet-50, для повышения точности выявления патологий (синусит и кистозное изменение) в условиях скрининга здоровья населения.

Методы. Рассмотрены особенности патологий, выявлены их формы, которые чаще всего встречаются у пациентов ринологического профиля. Разработан классификатор патологий верхнечелюстных пазух на три класса по результатам анализа диафаногамм, зарегистрированных с помощью программно-аппаратного комплекса цифровой диафаноскопии, с использованием свёрточной нейронной сети ResNet-50. В работе предложены алгоритмы для системы поддержки принятия врачебных решений.

Результаты. Разработано программное средство классификации состояния тканей верхнечелюстных пазух с использованием алгоритма свёрточной нейронной сети ResNet-50, реализующее алгоритмы обучения и классификации патологий верхнечелюстных пазух. Проведена апробация разработанной системы поддержки принятия врачебных решений. Получены следующие показатели точности при дифференцировании состояния верхнечелюстных пазух на три класса: «отсутствие патологии» – чувствительность 0,94, специфичность 0,96, точность 0,95; «синусит» – чувствительность 0,9, специфичность 0,95 и точность 0,88; «кистозное изменение» – чувствительность 0,86, специфичность 0,96 и точность 0,88.

Заключение. Предлагаемая система поддержки принятия врачебных решений обеспечивает более высокую точность диагностики по сравнению с существующими экономически доступными методами. Кроме того, предложенное решение способно дифференцировать типы патологических изменений на диафаногаммах в отличие от ранее предложенных подходов в цифровой диафаноскопии. Таким образом, разработанная технология оптической диагностики состояния тканей верхнечелюстных пазух совместно с разработанной на основе СНС моделью классификации в виде системы поддержки принятия врачебных решений может быть применена как в рамках скрининга здоровья населения (для раннего выявления патологии), так и в рамках диагностики и контроля эффективности назначаемой терапии в отоларингологии, ЛОР-онкологии и стоматологии, а также в телемедицине.

Ключевые слова: цифровая диафаноскопия; синусит; кистозные заболевания; алгоритм классификации; обучение модели; свёрточные нейронные сети.

© Герасин Д. В., Брянская Е. О., Бакотина А. В., Дрёмин В. В., Дунаев А. В., 2026

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-75-00144.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Автоматизированное распознавание форм патологий верхнечелюстных пазух в цифровой диафаноскопии с помощью свёрточных нейронных сетей / Д. В. Герасин, Е. О. Брянская, А. В. Бакотина, В. В. Дрёмин, А. В. Дунаев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2026. Т. 16, № 2. С. 150–166. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-2-150-166>.

Поступила в редакцию 28.04.2026

Подписана в печать 25.05.2026

Опубликована 30.06.2026

Automated recognition of maxillary sinus pathology forms in digital diaphanoscopy using convolutional neural networks

Dmitrii V. Gerasin¹ ✉, Ekaterina O. Bryanskaya¹, Anna V. Bakotina²,
Viktor V. Dremin¹, Andrey V. Dunaev¹

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev
95 Komsomolskaya Str., Orel 302026, Russian Federation

² Russian University of Medicine of the Ministry of Health of Russia
4 Dolgorukovskaya Str., Moscow 127006, Russian Federation

✉ e-mail: G.D.V.1984@mail.ru

Abstract

The purposes of the reseach are to develop and justify a medical decision support system that uses an algorithm for classifying maxillary sinus pathologies in digital dia-fanoscopy based on the ResNet-50 convolutional neural network to increase the accuracy of detecting pathologies (sinusitis and cystic change) in the context of population health screening.

Methods. The features of pathologies were considered, their forms were revealed, which are most often found in rhinological patients. A classifier of maxillary sinus pathologies was developed into three classes based on the results of the analysis of diaphanograms recorded using a digital diaphanoscopy software and hardware complex using the ResNet-50 convolutional neural network. The work proposes algorithms for a system for supporting medical decision-making.

Results. A software tool has been developed for classifying the state of maxillary sinus tissues using the ResNet-50 convolutional neural network algorithm, which implements algorithms for learning and classifying maxillary sinus pathologies. The developed medical decision support system was tested. The following accuracy indicators were obtained when differentiating the condition of the maxillary sinuses into three classes: "absence of pathology" – sensitivity 0,94, specificity 0,96, accuracy 0,95; "sinusitis" – sensitivity 0,9, specificity 0,95 and accuracy 0,88; "cystic change" – sensitivity 0,86, specificity 0,96 and accuracy 0,88.

Conclusion. The proposed medical decision support system provides more accurate diagnostics than existing economically available methods. In addition, the proposed solution is able to differentiate the types of pathological changes on diaphanograms in contrast to the previously proposed approaches in digital diaphanoscopy. In this way, the developed technology for optical diagnostics of the condition of the maxillary sinuses, together with the classification model developed on the basis of the SNS in the form of a system for supporting the adoption of medical decisions, can be used both as part of population health screening (for early detection of pathology), and as part of the diagnosis and control of the effectiveness of the prescribed therapy in otolaryngology, ENT oncology and dentistry, as well as in telemedicine.

Keywords: digital diaphanoscopy; sinusitis; cystic changes; classification algorithm; model learning; convolutional neural networks.

Funding: The study was funded by Russian Science Foundation according to the research project № 24-75-00144.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Gerasin D.V., Bryanskaya E.O., Bakotina A.V., Dremine V.V., Dunaev A.V. Automated recognition of maxillary sinus pathology forms in digital diaphanoscopy using convolutional neural networks. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering. 2026;16(2):150–166. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2026-16-2-150-166>.

Received 28.04.2026

Accepted 25.05.2026

Published 30.06.2026

Введение

В современной оториноларингологии, в частности ринологии, особую актуальность приобретает вопрос выявления заболеваний верхнечелюстных пазух (ВЧП) на начальных стадиях их развития. Заболевания околоносовых пазух (верхнечелюстной, лобной, решетчатой, клиновидной) относятся к числу наиболее распространенных патологий¹ в оториноларингологии и, согласно статистическим данным, сохраняют стабильно высокий уровень заболеваемости в мире [1]. Различными формами этих заболеваний страдают от 5 до 15% взрослого населения планеты. В Российской Федерации за последние десять лет заболеваемость возросла с 4,6 до 13,7 случая на 1000 человек². Среди всех околоносовых пазух наиболее часто поражается ВЧП – 93,3% слу-

чаев³, затем клиновидная – 4,3%, на долю остальных пазух приходится 2,4%⁴. Основная доля заболеваний ВЧП (85%) представлена двумя группами: воспалительные заболевания (синусит) составляют 58% [2], кистозные – 27% [3]. В отличие от синусита кистозные заболевания длительное время протекают бессимптомно [4]. При этом уже на первой стадии формируется полость, заполненная жидкостью [5]. Таким образом, важно диагностировать заболевание на ранней стадии [6], при этом актуальной задачей своевременной ринологии является совершенствование методов диагностики ВЧП [7].

Одним из перспективных методов диагностики патологий ВЧП является метод цифровой диафаноскопии [8] – неинвазивный оптический метод, основанный на зондировании (просвечивании) тканей ВЧП [9] и прилегающих к ним тканям излучением в красном (650 нм) [10] и ближнем инфракрасном (850 нм)

¹ Summary Health Statistics: National Health Interview Survey, 2018. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1780991152&tld=ru&lang=en&name=2018_SHS_Table_A-4.pdf&text (дата обращения: 11.03.2026).

² Заболеваемость всего населения России в 2021 году: статистические материалы / Е. Г. Котова, О. С. Кобякова, Г. А. Александрова, Н. А. Голубев, Ю. И. Оськов, А. В. Поликарпов, Е. А. Шелепова. М.: ЦНИИОИЗ Минздрава России, 2022. 146 с.

³ Отчет о результатах деятельности Федерального фонда обязательного медицинского страхования в 2021 году. М.: Правление Федерального фонда обязательного медицинского страхования, 2022. 158 с.

⁴ Петряков В. А. Оториноларингология: учебник. 2-е изд., испр. Минск: Выш. шк., 2008. 240 с.

диапазонах [11] с последующей регистрацией диафаногамм (картин рассеяния света) при помощи КМОП-камеры [12].

В работе [13] классификацию состояний тканей ВЧП, зарегистрированных на диафаногаммах, предложено осуществлять при использовании методов машинного обучения [14], что открывает новые возможности для автоматизации и повышения точности диагностики [15]. Исходя из этого, целями настоящей работы является разработка и обоснование системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР), использующей алгоритм классификации патологий ВЧП [16] в цифровой диафаноскопии на базе свёрточной нейронной сети ResNet-50 [17], для повышения точности выявления патологий (синусит и кистозное изменение) в условиях скрининга здоровья населения [18].

Материалы и методы

Структура системы поддержки принятия врачебных решений

На рисунке 1 представлена структура СППВР, включающая подсистему принятия решений, подсистему знаний и подсистему тестирования. Менеджером в схеме является лицо, принимающее решение (ЛПР) 1, а пациентом – исследуемый 2. Исследуемый 1 первоначально заполняет добровольное информированное согласие на проведение исследования (блок сбора данных 3). ЛПР осуществляет регулировку интенсивности излучения светового потока с учётом анатомических особенностей тканей ВЧП пациента, зависящих от пола и возраста (толщина костной ткани, размеры пазух), добиваясь отсутствия засвечивания и недостатка освещённости, и начинает процедуру регистрации состояния тканей ВЧП на диафаногаммах.

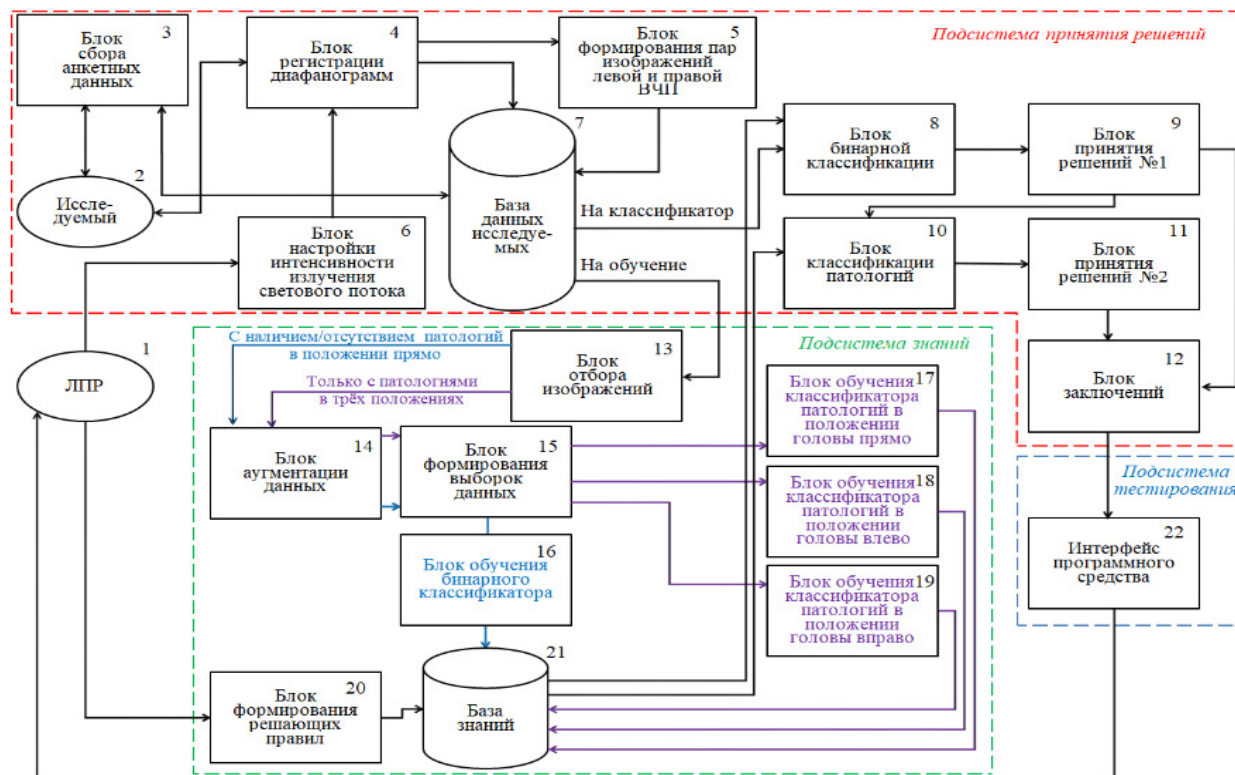


Рис. 1. Структура СППВР в цифровой диафаноскопии

Fig. 1. The structure of clinical decision support system in digital diaphanography

Регистрация диафанограмм производится с помощью программно-аппаратного комплекса цифровой диафаноскопии [19]. При этом реги-

страцию диафанограмм осуществляют с разрешением 2544×1920 пикселей в 8-битном формате и монохромном виде (рис. 2, а).

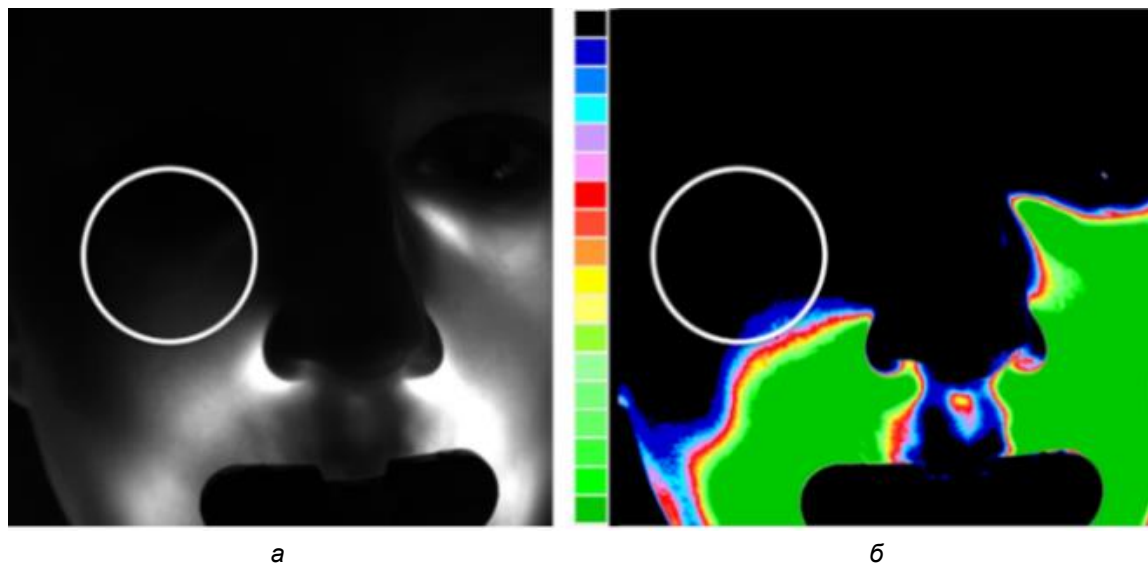


Рис. 2. Пример зарегистрированной диафанограммы (а) и результат псевдоокрашивания (б)

Fig. 2. An example of a registered diaphanogram (a) and the result of pseudo-coloring (б)

ЛПР проводит регистрацию диафанограмм при положениях головы пациента прямо и с поворотами на $30\text{--}40^\circ$ в левую и правую стороны относительно КМОП-камеры. При этом осуществляется как минимум по 3 регистрации для каждого положения головы. В результате формируется по 9 диафанограмм на каждой из двух длин волн (всего 18 диафанограмм на каждого пациента). Все диафанограммы используются для установления диагноза. При необходимости допускается формирование большего количества диафанограмм (как правило, при неоднократных попытках формирования более чётких незасвеченных диафанограмм). Сформированные диафанограммы добавляются в базу данных 7 (см. рис. 1) к информа-

ции пациента и используются для определения диагноза.

В процессе определения диагноза в блоке 5 из каждой диафанограммы вырезается область интереса средствами разработанного ПО (ЛПР указывает на диафанограмме центры левой и правой интересующих областей, вокруг которых отображаются два квадрата размерностью 448×448 пикселей). При этом из каждой диафанограммы формируется пара изображений левой и правой ВЧП, для которых осуществляется псевдоокрашивание (рис. 2, б) – замена каждого монохромного пикселя изображения соответствующей цветовой составляющей, выбираемой в соответствии с выражениями:

$$ind_{(w,h)} = (b_{(w,h)} - Mean) / Step + 1, \quad (1)$$

$$n = \begin{cases} 17 & \text{при } ind_{(w,h)} \geq 17, \\ \max(0, ind_{(w,h)}) & \text{при } ind_{(w,h)} < 17, \end{cases} \quad (2)$$

$$px_{(w,h)} = c_n, \quad \text{где } c_n \in C, \quad (3)$$

где W , H – ширина и высота диафаногаммы соответственно; $Mean$ – значение, устанавливаемое в диапазоне $[0, 255]$; $Step$ – значение, устанавливаемое в диапазоне $[0.1, 10]$; b_{wh} – значение пикселя диафаногаммы в точке (w, h) , $w \in W$, $h \in H$; c_n – значения цвета из палитры C ($c_n \in C$); $px_{(w,h)}$ – значение пикселя в точке (w, h) , $w \in W$, $h \in H$; C – цветовая палитра, состоящая из 18 уникальных цветовых оттенков.

Для определения патологий используются два классификатора, реализующие алгоритм СНС ResNet-50: бинарный классификатор 8, классификатор патологий 10 (см. рис. 1). Классификаторы подключаются к базе знаний 21 для загрузки и использования модели классификации, обученной ранее на собранных данных.

Подсистема знаний

На этапе обучения из базы данных 7 (см. рис. 1) извлекаются пары изображений левой и правой ВЧП пациентов. Формируются две выборки: первая состоит из изображений в прямой проекции с наличием и отсутствием патологий, используемая для обучения бинарного классификатора; вторая включает изображения с верифицированными синуситом и кистозными изменениями, зафиксированными в трёх пространственных положениях головы, и используется для обучения классификатора патологий.

Для повышения точности классификации за счёт кратного увеличения количества обучающей выборки используется блок аугментации данных 14. Здесь выполняется искусственное изменение цветности за счёт последовательного изменения значений каждого RGB-канала на 5–15 единиц, а также применяются функции аффинных преобразований – поворот и сдвиг. Поворот изображений осуществляется на две позиции по часовой стрелке и на две – против часовой стрелки, что позволяет четырёхкратно увеличить количество данных. Затем выполняется сдвиг «по кольцу» (вправо-вверх, вправо, вправо-вниз, вниз, влево-вниз, влево, влево-вверх, вверх), благодаря которому достигается восьмикратное увеличение уже сформированного количества данных. Аугментированные данные используются обоими классификаторами.

В блоке 15 осуществляется разделение выборки данных на обучающую, валидационную и тестовую в соотношении 70, 20, 10% соответственно, которые используются при обучении моделей классификации и участвуют в оценке их результативности. Для исключения смешивания классов данных разбиение данных осуществляется по пациентам. Затем осуществляется обучение бинарного классификатора и отдельно классификатора патологий.

Бинарный классификатор

Первым используется бинарный классификатор 8, который для каждого изображения определяет наличие / отсутствие патологии. Рассмотрим схему алгоритма бинарной классификации

(рис. 3). Для текущего классификатора используются изображения, сформированные из диафаногамм с положением головы прямо. Классификатор определяет наличие или отсутствие патологии. При наличии патологии также определяется сторона расположения патологии (левосторонняя, правосторонняя, двухсторонняя) с использованием алгоритма, реализующего условные операторы. Окончательное решение форми-

руется в блоке принятия решения бинарного классификатора 9 (рис. 1) на основе

$$y = \max \left(\sum_{n=1}^N P(x_n)_s \right), \quad (4)$$

где $P(x_n)_s$ – вероятность принадлежности n -го изображения к классу s (двухсторонняя патология, левосторонняя патология, правосторонняя патология, отсутствие патологии).

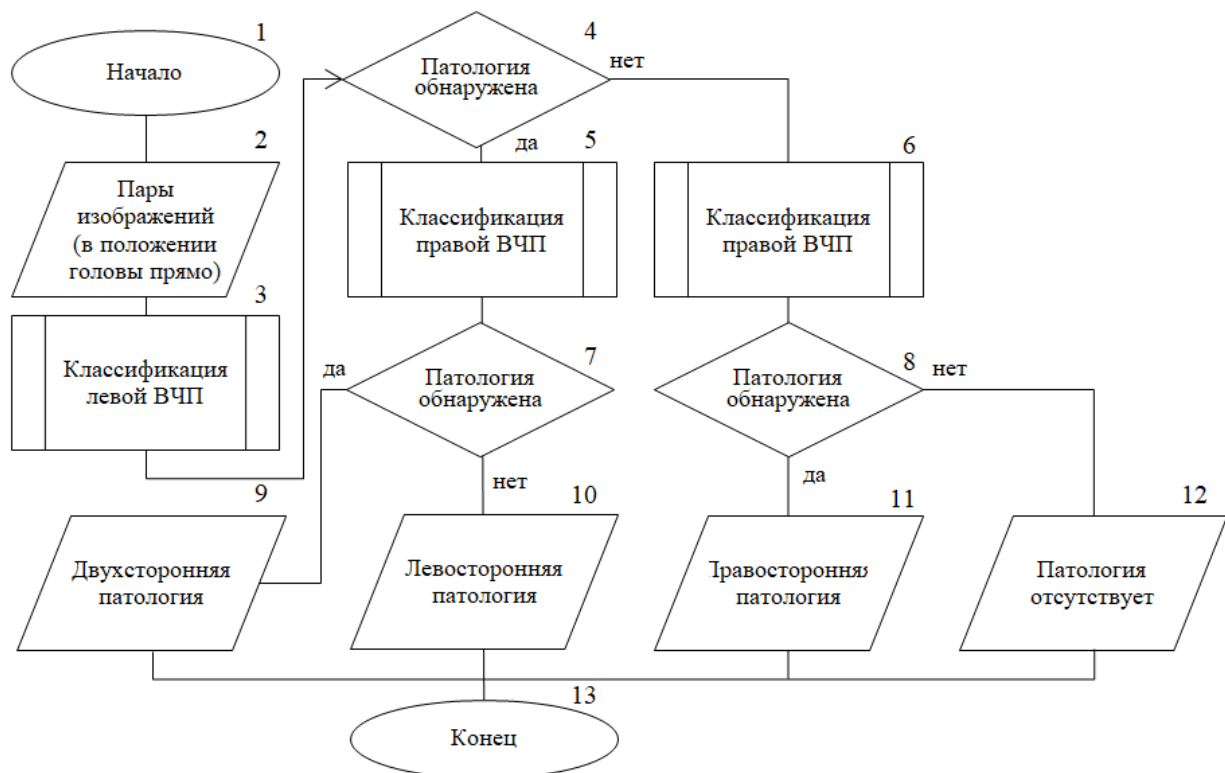


Рис. 3. Схема алгоритма бинарной классификации

Fig. 3. The scheme of the binary classification algorithm

Классификатор патологий

При выявлении патологии задействуется классификатор патологий 10 (рис. 1), который относит каждое изображение с патологией к одному из двух состояний i : синусит, кистозное изменение. Если в блоке 8 патологии не выявлены, то классификатор патологий 10

не используется. При выявлении патологии с левой стороны классификатор проводит анализ изображений левой ВЧП пациента, для правой стороны – правой ВЧП, для обеих сторон – все пары изображений, сформированные из диафаногамм пациента с обеих сторон. Результаты классификации по всем изображениям направляются в блок 11

для принятия решения, где при использовании решающего правила (5) принимается окончательное решение о при-

надлежности патологии к классу i . Схема алгоритма бинарной классификации представлена ниже (рис. 4).

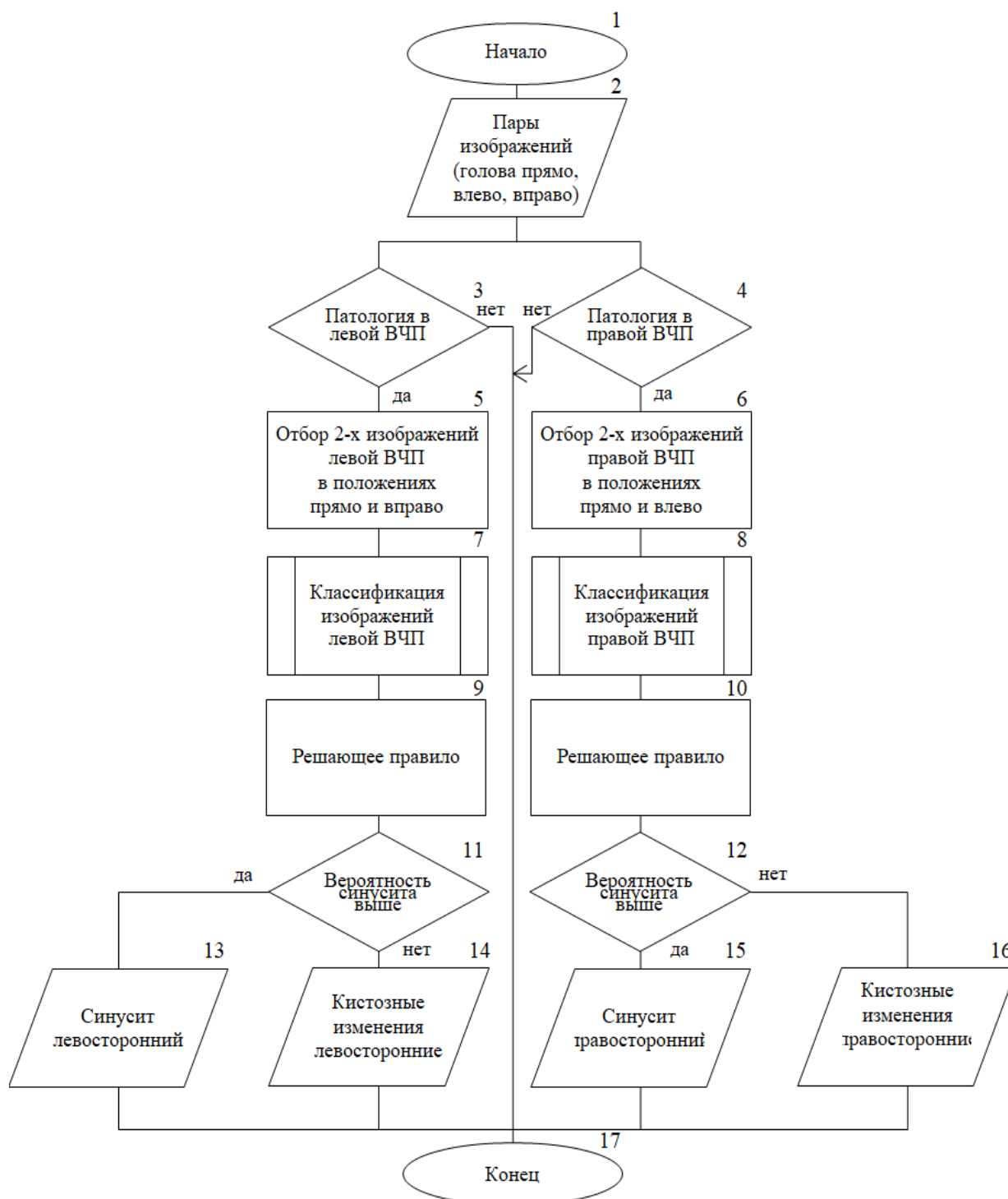


Рис. 4. Схема алгоритма классификации ВЧП на 3 класса: «патология отсутствует», «синусит», «кистозное изменение»

Fig. 4. The scheme of for classification maxillary sinuses into 3 classes: "absence of pathology", "sinusitis", "cystic change"

Окончательный результат формируется в блоке 12 и отображается ЛПР в интерфейсе программного средства 22 (см. рис. 1).

$$y = \max \left(\sum_{n=1}^N P(x_n)_i \right), \quad (5)$$

где $P(x_n)_i$ – вероятность принадлежности n -го изображения к классу i (синусит, кистозные изменения).

Таким образом, представленную СППВР предлагается использовать для определения наличия / отсутствия патологии, при наличии патологии – отнесение к одному из двух классов: синусит, кистозные изменения с указанием стороны расположения (левосторонняя, правосторонняя, двухсторонняя). Выработанные алгоритмы на основе машинного обучения [20] и предложенная СППВР позволяют ЛПР определять патологии в условиях скрининга здоровья населения [21].

Дополнительно проведена экспериментальная оценка альтернативных методов. К ним относятся: вычисление медианы вероятностей, характеризующееся повышенной робастностью к выбросам; перемножение вероятностей, а также взвешенное голосование, при котором каждому снимку присваивается индивидуальный вес, на который умножается предсказанная вероятность, после чего взвешенные значения суммируются и сравниваются между классами.

Каждый из перечисленных алгоритмов обладает недостатками, обусловившими отказ от их использования в финальной версии системы. Метод усреднения нивелирует информацию о распределении уверенности в ситуациях, когда большинство изображений

демонстрируют средние значения вероятностей. Перемножение вероятностей критически чувствительно к результатам с низкими значениями, что может приводить к неоправданному занижению итоговой оценки. Взвешенное голосование, в свою очередь, требует от ЛПР выполнения дополнительной разметки – присвоения весов каждому изображению. В условиях скрининга здоровья населения такой подход не отвечает поставленным требованиям, поскольку сопряжён с существенными временными затратами и необходимостью квалифицированной оценки качества каждой диафаногаммы. Ошибка при назначении весов может иметь серьёзные последствия, тогда как СППВР должна брать на себя рутинные задачи, а не перекладывать на ЛПР трудоёмкую ручную разметку. Следовательно, взвешенное голосование вступает в противоречие с фундаментальной концепцией разрабатываемой СППВР.

Исследуемая группа

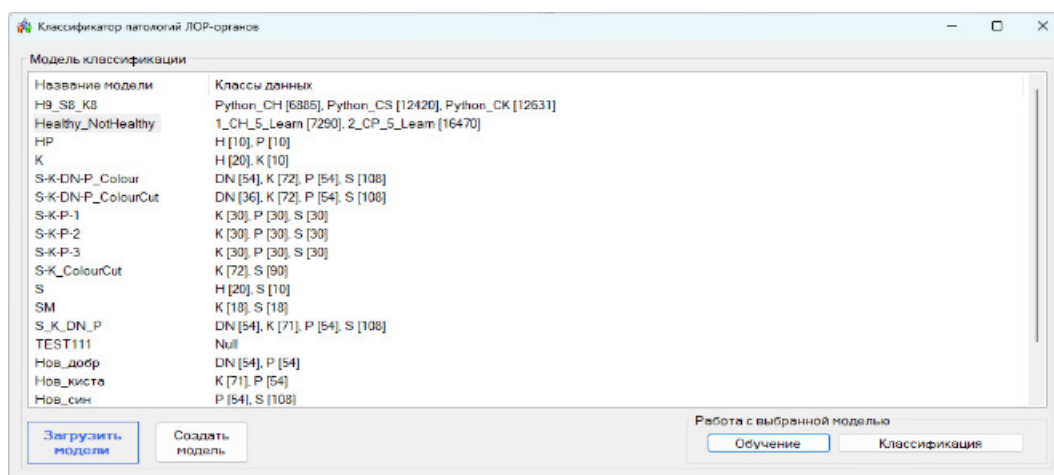
Апробация предложенного классификатора проводилась на базе Клинического центра челюстно-лицевой, реконструктивно-восстановительной и пластической хирургии Российского университета медицины Минздрава России (г. Москва), а также НТЦ биомедицинской фотоники ОГУ имени И. С. Тургенева (г. Орёл). С использованием предложенной СППВР проанализировано более 100 пациентов в возрасте 45 лет [22] и более 100 условно-здоровых добровольцев в возрасте 23 лет [23].

Результаты и их обсуждение

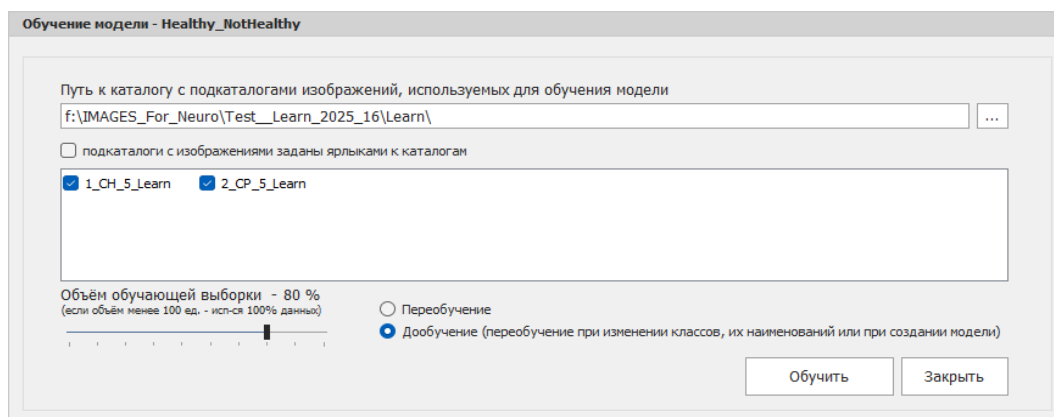
Разработано программное средство классификации состояния тканей

ВЧП на три класса (синусит, кистозные изменения, отсутствие патологии) на зарегистрированных методом цифровой диафаноскопии диафанограммах с использованием алгоритма свёрточной нейронной сети ResNet-50 (рис. 5), реализующее представленные алгоритмы обучения и классифи-

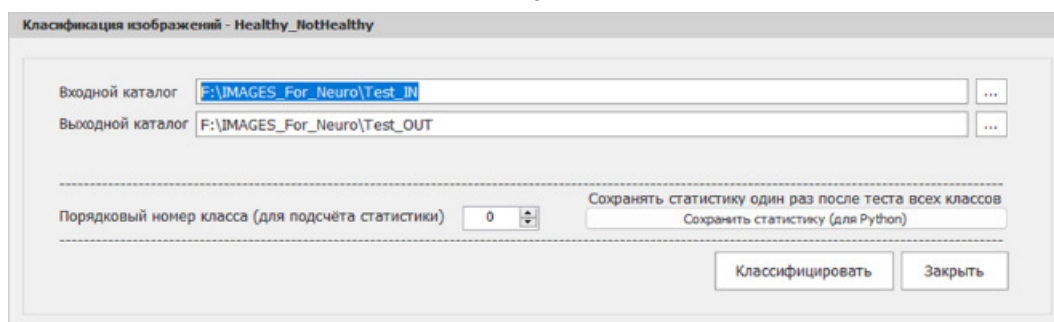
кации патологий ВЧП. Основными функциональными возможностями программы являются: создание классификаторов, обучение моделей классификаторов, классификация состояния тканей ВЧП с использованием выбранного обученного классификатора [24].



а



б



в

Рис. 5. Интерфейс программного средства классификации патологий (а), интерфейс блока обучения (б), блока классификации (в)

Fig. 5. Interface of the pathology classification software (а), interface of the training unit (б), classification unit (в)

В режиме обучения выбранного классификатора (рис. 5, б) отображается интерфейс, в котором необходимо выбрать каталог, содержащий подкаталоги с изображениями, соответствующими обучаемым классам. В программе реализована настройка для ограничения максимального количества загружаемых изображений в процентном отношении. Также реализована возможность дообучения модели. В процессе обучения формируется новая модель либо дообучается существующая, которая становится доступной в режиме классификации.

В режиме классификации (рис. 5, в) реализована функция последовательной потоковой обработки изображений. Подготовленные пары изображений, отражающих состояние тканей ВЧП пациента, поочередно загружаются и передаются классификатору. Используя обученную модель, классификатор относит каждое анализируемое изображение к одному из заданных классов, а результат фиксируется во внутреннем буфере. Цикл повторяется для всех изображений. По завершении процесса пользователь нажимает кнопку «Сравнить статистику (для Python)», после чего накопленная статистика экспортируется в файл для вынесения окончательного диагноза.

Апробация предложенного классификатора позволила получить следующие показатели точности при дифференцировании состояния ВЧП на 3 класса: «отсутствие патологии» – чувстви-

тельность 0,94, специфичность 0,96, точность 0,95; «синусит» – чувствительность 0,9, специфичность 0,95 и точность 0,88; «кистозное изменение» – чувствительность 0,86, специфичность 0,96 и точность 0,88.

Выводы

В рамках исследования предложена СППВР, предназначенная для оказания практической помощи врачу при скрининговом обследовании населения методом цифровой диафаноскопии. Данная СППВР обеспечивает высокоточное распределение диафаногамм по трём классам (синусит, кистозные изменения, отсутствие патологии) с точностью 0,88; 0,88 и 0,95 соответственно. По сравнению с существующими экономически доступными методами (назальной эндоскопией, ультразвуковой диагностикой и рентгенографией) предлагаемый подход обеспечивает более высокую точность диагностики. Кроме того, он выгодно отличается от применявшегося ранее в диафаноскопии метода линейно-дискриминантного анализа. Последний представляет собой бинарный классификатор, позволяющий лишь констатировать наличие или отсутствие патологии, тогда как предложенное решение способно дифференцировать типы патологических изменений на диафаногаммах.

Таким образом, разработанная технология оптической диагностики состояния тканей ВЧП совместно с разработанной на основе СНС моделью клас-

сификации в виде СППВР может быть применена как в рамках скрининга здоровья населения (для раннего выявления патологии), так и в рамках диагно-

стики и контроля эффективности назначаемой терапии в отоларингологии, ЛОР-онкологии и стоматологии, а также в телемедицине.

Список литературы

1. Распространенность и структура заболеваний носа и околоносовых пазух среди взрослого населения мегаполиса / А. И. Крюков, Г. Ю. Царапкин, С. Г. Романенко, А. С. Товмасын, С. А. Панасов // Российская ринология. 2017. Т. 25, № 1. С. 3–6. <https://doi.org/10.17116/ROSRINO20172513-6>.

2. Применение метода терагерцовой газовой спектроскопии высокого разрешения для анализа состава продуктов термического разложения тканей кист околоносовых пазух / А. А. Айзенштадт, В. А. Анфертьев, В. Л. Вакс, К. А. Гаврилова, Е. Г. Домрачева, Р. А. Ларин, М. Б. Черняева // Оптический журнал. 2021. Т. 88, № 3. С. 72–76. <https://doi.org/10.17586/1023-5086-2021-88-03-72-76>.

3. Острый риносинусит: терапия с акцентом на ключевые звенья патогенеза / Е. В. Носуля, И. А. Ким, Ю. В. Лучшева, Д. С. Огородников // Российская ринология. 2023. Т. 31, № 3. С. 212–218. <https://doi.org/10.17116/rosrino202331031212>.

4. Пальчун В. Т., Гуров А. В. Болезни уха, горла и носа. 3-е изд., испр. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 336 с.

5. Методы оценки функционального состояния слизистой оболочки верхнечелюстных пазух (обзор литературы) / М. М. Магомедов, Ш. Ю. Авкаева, О. Н. Рождественская, Т. Н. Жоголева // Вестник оториноларингологии. 2026. Т. 91, № 1. С. 70–75. <https://doi.org/10.17116/10.17116/otorino20269101170>.

6. Whyte A., Boeddinghaus R. The maxillary sinus: physiology, development and imaging anatomy // Dentomaxillofacial Radiology. 2019. Vol. 48, N 8. P. 20190205. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190205>.

7. Исмаилова М. Х., Салиджанов У. М. Особенности диагностики хронических воспалительных заболеваний придаточных пазух носа // European Research: Innovation in Science, Education and Technology: Collection of scientific articles XLVIII International correspondence scientific and practical conference. London: United Kingdom: Problems of Science, 2019. P. 83–86.

8. Digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses: A revival of optical diagnosis for rhinosinusitis / K. Stoezel, A. J. Szczepek, H. Olze, S. Koss, O. Minet, U. Zabarylo // American Journal of Otolaryngology. 2020. Vol. 41, N 3. P. 102444. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2020.102444>.

9. Волков А. Г., Бойко Н. В., Стагниева И. В. Заболевания носа и околоносовых пазух у беременных. Особенности диагностики (обзор литературы) // Российская оториноларингология. 2017. № 2. С. 113–119. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2017-2-113-119>.

10. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology / E. O. Bryanskaya, I. N. Novikova, V. V. Dremin, R. Y. Gneushev, O. A. Bibikova,

A. V. Dunaev, V. G. Artyushenko // *Diagnostics*. 2021. Vol. 77, N 11. P. 77. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11010077>.

11. Digital diaphanoscopy of maxillary sinus pathologies supported by machine learning / E. O. Bryanskaya, V. V. Dremine, V. V. Shupletsov, A. V. Kornae, M. Yu. Kirillin, A. V. Bakotina, D. N. Panchenkov, K. V. Podmasteryev, V. G. Artyushenko, A. V. Dunaev // *Journal of Biophotonics*. 2023. Vol. 17, is. 1. P. e202300138. <https://doi.org/10.1002/jbio.202300138>.

12. Брянская Е. О. Метод и устройство цифровой диафаноскопии для диагностики патологий верхнечелюстных пазух // *Медицинская техника*. 2023. № 3. С. 5–7.

13. The Use of Convolutional Neural Networks to Classify the States of the Maxillary Sinuses in Digital Diaphanoscopy / D. V. Gerasin, E. O. Bryanskaya, V. V. Dremine, A. V. Dunaev // *2024 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)*. Moscow: IEEE, 2024. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/TIRVED63561.2024.10769806>.

14. Erhan L., Liotta A., Cavallaro L. Comparing Training of Sparse to Classic Neural Networks for Binary Classification in Medical Data. *Advances in Mobile Computing and Multimedia Intelligence*. Cham: Springer, 2025. P. 15341. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78049-3_10.

15. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in rhinology: a systematic review / A. M. Bulfamante, F. Ferella, A. M. Miller, C. Rosso, C. Pipolo, E. Fuccillo, G. Felisati, A. M. Saibene // *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2022. Vol. 280, N 2. P. 1–14. <https://doi.org/10.1007/S00405-022-07701-3>.

16. Nibali A., He Z., Wollersheim D. Pulmonary nodule classification with deep residual networks // *Int. J. Comput. Assist. Radiol. and Surg.* 2017. Vol. 12, N 10. P. 1799–1808. <https://doi.org/10.1007/S11548-017-1605-6/FIGURES/10>.

17. Convolutional Neural Networks for Medical Image Analysis: Full Training or Fine Tuning? / N. Tajbakhsh, J. Y. Shin, S. R. Gurudu, R. T. Hurst, C. B. Kendall, M. B. Gotway // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2016. Vol. 35, N 5. P. 1299–1312. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2535302>.

18. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in rhinology: a systematic review / A. M. Bulfamante, F. Ferella, A. M. Miller, C. Rosso, C. Pipolo, E. Fuccillo, G. Felisati, A. M. Saibene // *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2023. Vol. 280. P. 529–542. <https://doi.org/10.1007/s00405-022-07701-3>.

19. Классификация состояний верхнечелюстных пазух по данным цифровой диафаноскопии с применением машинного обучения / Е. О. Брянская, Д. В. Герасин, А. В. Бакотина, Ю. О. Николаева, А. Ю. Овчинников, В. В. Дрёмин, А. В. Дунаев // *Российская ринология*. 2026. Т. 34, № 1. С. 19–26. <https://doi.org/10.17116/ROSRINO20263401119>.

20. Conigliaro J., Kapoor S. Screening. Physical Exam. Health Maintenance // *Handbook of Outpatient Medicine* / ed. by E. Sydney, E. Weinstein, L. M. Rucker. Cham: Springer, 2022. P. 3–44. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15353-2_1.

21. Screening. When is it appropriate and how can we get it right? / A. Sagan, D. McDaid, S. Rajan, J. Farrington, M. McKee. Denmark: World Health Organization, 2020. 22 p.

22. The application of ultrasound examination in the treatment of Acute Sinusitis. Comparing X-ray to ultrasound of paranasal sinuses / A. Valkov, G. Nikolov, B. Duhlenki, Tsv. Stoyanov, Tsv. Mladenov, M. Yildiz, Kr. Atanasova, St. Mirchev, Kr. Valcheva // *International Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2021. Vol. 17, N 1. P. 40–41.

23. The Role of Diagnostic Nasal Endoscopy and a Computed Tomography Scan (Nose and PNS) in the Assessment of Chronic Rhinosinusitis: A Comparative Evaluation of the Two Techniques / K. Nathan, S. K. Majhi, R. Bhardwaj, A. Gupta, S. Ponnusamy, C. Basu, A. Kaushal // *Sinusitis*. 2021. Vol. 5, N 1. P. 59–66. <https://doi.org/10.3390/SINUSITIS5010007>.

24. Hsu C. C., Sheng C., Ho C. Y. Efficacy of sinus ultrasound in diagnosis of acute and subacute maxillary sinusitis // *J. Chinese Med. Assoc.* 2018. Vol. 81, N 10. P. 898–904. <https://doi.org/10.1016/J.JCMA.2018.03.005>.

References

1. Krukov A.I., Tsarapkin G.Yu., Romanenko S.G., Tovmasian A.S., Panasov S.A. The prevalence and structure of diseases of the nose and paranasal sinuses among the adult population of a megalopolis. *Rossiiskaya rinologiya = Russian rhinology*. 2017;25(1):3-6. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/ROSRINO20172513-6>.

2. Aisenstadt A.A., Anfertiev V.A., Vaks V.L., Gavrilova K.A., Domracheva E.G., Larin R.A., Chernyaeva M.B. Application of the high resolution terahertz gas spectroscopy method for analyzing the composition of thermal decomposition products of tissues of cysts of the sinuses. *Opticheskii Zhurnal = Optical Magazine*. 2021;88(3):72–76. (In Russ.) <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2021-88-03-72-76>.

3. Nosulya E.V., Kim I.A., Luchsheva Yu.V., Ogorodnikov D.S. Acute rhinosinusitis: treatment with a focus on key elements of pathogenesis. *Rossiiskaya rinologiya = Russian Rhinology*. 2023;31(3):212-218. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/rosrino202331031212>.

4. Palchun V. T., Gurov A.V. Diseases of the ear, throat and nose. 3rd ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. 336 p. (In Russ.)

5. Magomedov M.M., Avkaeva Sh.Yu., Rozhdestvenskaya O.N., Zhogoleva T.N. Methods for assessing the functional state of the mucous membrane of the maxillary sinuses (literature review). *Vestnik otorinolaringologii = Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2026;91(1):70-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/10.17116/otorino20269101170>.

6. Whyte A., Boeddinghaus R. The maxillary sinus: physiology, development and imaging anatomy. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48(8):20190205. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190205>.

7. Ismailova M.H., Salidzhanov U.M. Features of diagnosis of chronic inflammatory diseases of the paranasal sinuses. In: *European Research: Innovation in Science, Education and Technology: Collection of scientific articles XLVIII International correspondence scientific and practical conference*. London: United Kingdom: Problems of Science; 2019. P. 83–86. (In Russ.)

8. Stoelzel K., Szczepek A.J., Olze H., Koss S., Minet O., Zabarylo U. Digital diaphanoscopy of the maxillary sinuses: A revival of optical diagnosis for rhinosinusitis. *American Journal of Otolaryngology*. 2020;41(3):102444. <https://doi.org/10.1016/J.amjoto.2020.102444>.
9. Volkov A.G., Boyko N.V., Stagnieva I.V. Diseases of the nose and paranasal sinuses in pregnant women. Diagnostic features (literature review). *Rossiiskaya otorinolaringologiya* = Russian otorhinolaryngology. 2017;(2):113-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2017-2-113-119>.
10. Bryanskaya E.O., Novikova I.N., Dremin V.V., Gneushev R.Y., Bibikova O.A., Dunaev A.V., Artyushenko V.G. Optical Diagnostics of the Maxillary Sinuses by Digital Diaphanoscopy Technology. *Diagnostics*. 2021;77(11):77. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11010077>.
11. Bryanskaya E.O., Dremin V.V., Shupletsov V.V., Kornaev A.V., Kirillin M.Yu., Bakotina A.V., Panchenkov D.N., Podmasteryev K.V., Artyushenko V.G., Dunaev A.V. Digital diaphanoscopy of maxillary sinus pathologies supported by machine learning. *Journal of Biophotonics*. 2023;17(1):e202300138. <https://doi.org/10.1002/jbio.202300138>.
12. Bryanskaya E.O. Method and device of digital diaphanoscopy for the diagnosis of maxillary sinus pathologies. *Meditsinskaya tekhnika* = Medical Technology. 2023;(3):5-7. (In Russ.)
13. Gerasin D.V., Bryanskaya E.O., Dremin V.V., Dunaev A.V. The use of convolutional neural networks to classify the states of the maxillary sinuses in digital diaphanoscopy. In: *2024 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)*. Moscow: IEEE; 2024. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/TIRVED63561.2024.10769806>.
14. Erhan L., Liotta A., Cavallaro L. Comparing Training of Sparse to Classic Neural Networks for Binary Classification in Medical Data. *Advances in Mobile Computing and Multimedia Intelligence*. Cham: Springer; 2025. P. 15341. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78049-3_10.
15. Bulfamante A.M., Ferella F., Miller A.M., Rosso K., Pipolo K., Fuccillo E., Felisati G., Saibene A.M. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in rhinology: a systematic review. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2022;280(2):1-14. <https://doi.org/10.1007/S00405-022-07701-3>.
16. Nibali A., He Z., Wollersheim D. Pulmonary nodule classification with deep residual networks. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. and Surg.* 2017;12(10):1799-1808. <https://doi.org/10.1007/S11548-017-1605-6/FIGURES/10>.
17. Taybakhsh N., Shin J.Y., Gurudu S.R., Hurst R.T., Kendall K.B., Gotway M.B. Convolutional Neural Networks for Medical Image Analysis: Full Training or Fine Tuning? *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2016;35(5):1299-1312. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2535302>.
18. Bulfamante A.M., Ferella F., Miller A.M., Rosso K., Pipolo K., Fuccillo E., Felisati G., Saibene A.M. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in rhinology: a systematic review. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2023;280:529-542. <https://doi.org/10.1007/s00405-022-07701-3>.

19. Bryanskaya E.O., Gerasin D.V., Bakotina A.V., Nikolaeva Yu.O., Ovchinnikov A.Y., Dremin V.V., Dunaev A.V. Classification of maxillary sinus conditions according to digital diaphanoscopy using machine learning. *Rossiiskaya rinologiya = Russian Rhinology*. 2026;34(1):19-26. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/ROSRINO20263401119>.
20. Conigliaro J., Kapoor S. Screening. Physical Exam. Health Maintenance. In: Sidney E., Weinstein E., Rucker L.M. (eds.). *Handbook of outpatient Medicine*. // Handbook of Outpatient Medicine / ed. by E. Sydney, E. Weinstein, L. M. Rucker. Cham: Springer; 2022. P. 3–44. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15353-2_1.
21. Sagan A., McDade D., Rajan S., Farrington J., McKee M. Screening. When is it appropriate and how can we get it right? Denmark: World Health Organization; 2020. 22 p.
22. Valkov A., Nikolov G., Duhlesky B., Stoyanov C., Mladenov C., Yildiz M., Atanasova K., Mirchev S., Valcheva K. The application of ultrasound examination in the treatment of Acute Sinusitis. Comparing X-ray to ultrasound of paranasal sinuses. *International Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2021;17(1):40-41.
23. Nathan K., S. Maji K., Bhardwaj R., Gupta A., Ponnusamy S., Basu S., Kaushal A. The Role of Diagnostic Nasal Endoscopy and a Computed Tomography Scan (Nose and PNS) in the Assessment of Chronic Rhinosinusitis: A Comparative Evaluation of the Two Techniques. *Sinusitis*. 2021;5(1):59-66. <https://doi.org/10.3390/SINUSITIS5010007>.
24. Hsu C.C., Sheng C., Ho C.Y. Efficacy of sinus ultrasound in diagnosis of acute and subacute maxillary sinusitis. *J. Chinese Med. Assoc.* 2018;81(10):898-904. <https://doi.org/10.1016/J.JCMA.2018.03.005>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Дмитрий Владимирович Герасин, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: G.D.V.1984@mail.ru, ORCID: 0009-0002-1936-8545, Author ID: 1326548

Dmitrii V. Gerasin, Research Assistant at the Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russian Federation, e-mail: G.D.V.1984@mail.ru, ORCID: 0009-0002-1936-8545, Author ID: 1326548

Екатерина Олеговна Брянская, кандидат технических научных, научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: branskayae@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2950-4443, Author ID: 1015210

Ekaterina O. Bryanskaya, Candid. Sci. (Engineering), Research Fellow at the Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russian Federation, e-mail: branskayae@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2950-4443, Author ID: 1015210

Анна Васильевна Бакотина, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры оториноларингологии, Российский университет медицины Министерства здравоохранения России, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: bakotina88@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2750-6899, Author ID: 1343762

Виктор Владимирович Дрёмин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: dremin_viktor@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6974-3505, Author ID: 787806

Андрей Валерьевич Дунаев, доктор технических, доцент, ведущий научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орёл, Российская Федерация, e-mail: dunaev@bmecenter.ru, ORCID: 0000-0003-4431-6288, Author ID: 212404

Anna V. Bakotina, Candid. Sci. (Medical), Assistant at the Department of Otorhinolaryngology, Russian University of Medicine of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russian Federation, e-mail: bakotina88@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2750-6899, Author ID: 1343762

Viktor V. Dremine, Candid. Sci. (Medical), Senior Researcher at the Biomedical Photonics Research and Technology Center, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russian Federation, e-mail: dremin_viktor@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6974-3505, Author ID: 787806

Andrey V. Dunaev, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher Fellow at the Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russian Federation, e-mail: dunaev@bmecenter.ru, ORCID: 0000-0003-4431-6288, Author ID: 212404