

¹ Государственное
бюджетное учреждение
здравоохранения «Санкт-
Петербургский клинический
научно-практический
центр специализированных
видов медицинской помощи
(онкологический)

*им. Н.П. Напалкова»
(Санкт-Петербург, Россия)*

² Государственное
бюджетное учреждение
здравоохранения
Архангельской области
«Первая городская
клиническая больница
им. Е.Е. Волосянич
(Архангельск, Россия)

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АНАЛИЗЕ МАММОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

В.В. Чернобривцева¹, А.А. Маслова¹, А.А. Болотина²

STAGES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT IN MAMMOGRAPHIC IMAGE ANALYSIS: DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE

В.В. Чернобривцева¹

*Заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ «СПбКНПЦСВМП(о)
им. Н.П. Напалкова»,
197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, 68 А, Лит. А.
ORCID: 0000-0001-7037-177X.*

А.А. Маслова¹

*Врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики.
ORCID: 0009-0005-3733-4455.*

А.А. Болотина²

*Врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГБУЗ Архангельской области
«Первая ГКБ им. Е.Е. Волосянич»
163001 Архангельская обл., г. Архангельск, ул. Суворова, 1.
ORCID: 0009-0006-2700-4839.*

V.V. Chernobrivtseva¹

*Head of radiology department Saint Petersburg Clinical Research and Practical Centre for
Specialized Types of Medical Care (Oncological) named after N.P. Napalkov,
197758, Saint Petersburg, pos. Pesochny, Leningradskaya str., 68A, lit. A, 68A.
ORCID: 0000-0001-7037-177X.*

A.A. Maslova¹

*Radiologist of radiology department.
ORCID: 0009-0005-3733-4455.*

A.A. Bolotina²

*Radiologist of radiology department State Budgetary Healthcare Institution of the
Arkhangel'sk Region «First City Clinical Hospital named after E.E. Volosevich»
163001, Arkhangel'sk Region, Arkhangel'sk, Suvorova str. 1.
ORCID: 0009-0006-2700-4839.*

Рак молочной железы является одним из наиболее распространенных онкологических заболеваний у женщин во всем мире. Ранняя диагностика и скрининг играют ключевую роль в успешном лечении этого заболевания. В настоящее время наиболее распространенным и эффективным методом диагностики является маммография.

Однако процент ошибок при интерпретации маммографических изображений все еще остается высоким, что приводит к поздней диагностике рака молочной железы. В связи с этим уже в конце XX века начались первые разработки вспомогательных инструментов на основе искусственного интеллекта для повышения эффективности работы врачей-рентгенологов.

Первые компьютерные диагностические системы не оправдали возложенных на них ожиданий, но усовершенствование подхода к созданию искусственного интеллекта привело к первым успехам и дальнейшему развитию этой области.

В данной обзорной статье рассматриваются современные подходы к созданию диагностических систем на основе искусственного интеллекта, опыт

зарубежных и российских разработчиков и основные ИИ-системы, существующие на данный момент с указанием их показателей диагностической эффективности.

Ключевые слова: искусственный интеллект; маммография; рак молочной железы; скрининг; рентгенология; лучевая диагностика.

Breast cancer is one of the most common cancers in women worldwide. Early diagnosis and screening play a key role in the successful treatment of this disease. Currently, the most common and effective diagnostic method is mammography.

However, the percentage of errors in the interpretation of mammographic images is still high, which leads to a late diagnosis of breast cancer. In this regard, at the end of the XX century, the first developments of auxiliary tools based on artificial intelligence began to improve the efficiency of radiologists.

The first computer aided detections did not meet expectations, but the improvement of the approach to creating artificial intelligence led to the first successes and further development of this field.

This review article discusses modern approaches to creating diagnostic systems based on artificial intelligence, the experience of foreign and Russian developers, and the main AI systems that currently exist, indicating their diagnostic efficiency indicators.

Key words: Artificial intelligence; mammography; breast cancer; screening; radiology.

Актуальность

По данным Всемирной организации здравоохранения, рак молочной железы является самым распространенным онкологическим заболеванием у женщин в 157 из 185 стран мира [1]. При этом первичный диагноз в трети всех случаев ставится на поздних стадиях заболевания [2].

Скрининговая маммография является наиболее эффективным методом для диагностики рака молочной железы на ранних стадиях. Но несмотря на всю ее эффективность, 20% первично выявленного рака диагностируется ретроспективно по предыдущим маммографическим исследованиям [3]. Основными причинами диагностических ошибок являются неправильная интерпретация маммографической картины, особенно у пациентов с высокой плотностью ткани молочной железы, и пропущенные патологические изменения [4]. В настоящее время ведется множество разработок по созданию и внедрению диагностических систем на основе искусственного интеллекта в помощь врачу-рентгенологу.

Первые шаги

Уже в 1980–1990 гг. началось создание так называемых систем компьютерного распознавания (Computer aided detection, CAD) для поиска патологических изменений на маммографических снимках в качестве помощи врачу-рентгенологу в интерпретации изображения и в принятии решения [5]. Первые из таких систем не показали желаемого результата и не были внедрены в практическое здравоохранение [6]. Так, C.D. Lehman et al. в своем исследовании оценивали точность диагностики при использовании компьютерных систем по маммографическим снимкам женщин с 2006 по 2009 гг. Результат был неутешителен: эффективность скрининга с использованием CAD не улучшилась ни по одному показателю. Чувствительность маммографии составила 85,3% (95% ДИ 83,6–86,9) при использовании компьютерной

системы и 87,3% (95% ДИ 84,5–89,7) без нее, специфичность составила 91,6% (95% ДИ 91,0–92,2) и 91,4% (95% ДИ 90,6–92,0) соответственно [7]. Другое исследование, проведенное в 2007 г. J.J. Fenton et al., продемонстрировало, что использование CAD ассоциируется с уменьшением показателя эффективности маммографического исследования Area Under Curve (AUC) с 0,92 до 0,87 ($p=0,005$) и со снижением специфичности с 90,2% до 87,2% ($p<0,001$) [8].

Машинное обучение vs глубокое обучение

В дальнейшем был кардинально изменен подход к алгоритмам, лежащим в основе компьютерных диагностических систем. Если раньше такие системы были основаны на алгоритмах машинного обучения, которые хоть и были способны обнаружить на маммограмме, к примеру, сгруппированные микрокальцинаты, но не могли интерпретировать их в сторону добро- либо злокачественности, то с внедрением искусственного интеллекта, основанного на алгоритмах глубокого обучения, системы в процессе своего обучения самостоятельно распознают особенности конкретного изображения, выявляют признаки и группы признаков, и выстраивают закономерности для последующей диагностической интерпретации [9, 10]. Такие системы способны самосовершенствоваться в процессе поступления в них новых данных и могут анализировать как цифровые маммограммы, так и томосинтез. Именно использование глубокого обучения привело разработчиков к первым успехам.

Искусственный интеллект: зарубежные разработки

Ведущие направления в применении ИИ для оценки маммографических изображений – стратификация риска и анализ структуры опухоли для определения эффективной индивидуальной тактики ведения

пациента, а также использование искусственного интеллекта в качестве «контрольного» или же «вспомогательного» инструмента для маммографических изображений [11, 12].

В своем ретроспективном исследовании A. Rodríguez-Ruiz et al. сравнивали результаты интерпретации маммограмм 240 женщин четырнадцатью рентгенологами с поддержкой ИИ и без нее. При этом использовали систему «Transpara» («ScreenPoint Medical BV», Netherlands). Она выявляет области, подозрительные на рак молочной железы и оценивает вероятность злокачественности, выводя результаты в балльной системе, характеризующей уровень подозрения, от 0 до 100, но окончательное решение принимается все же рентгенологом [13]. При использовании ИИ AUC был выше, нежели без такового: 0,89 против 0,87 соответственно ($p=0,002$). Чувствительность при поддержке искусственного интеллекта также была выше: 86% против 83% ($p=0,046$). Специфичность не показала статистически значимых различий, но все равно имела тенденцию к увеличению при использовании ИИ: 79% против 77% ($p=0,06$) [14].

Система Genius AI Detection («Hologic», USA), основанная на алгоритмах глубокого обучения, способна определять плотность ткани молочной железы, маркировать местоположение для каждого из обнаруженных патологических участков, обозначать его контур и давать вероятностную оценку злокачественности [15]. Оценка системы была выполнена на 390 маммограммах с участием 17 врачей-рентгенологов. AUC с поддержкой ИИ составила 0,825 (95% ДИ 0,783–0,867) против 0,794 (95% ДИ 0,748–0,840) без поддержки. Чувствительность при использовании ИИ также была выше: 75,9% против 66,8% [10, 14].

В ретроспективном исследовании, проведенном H.E. Kim et al., алгоритм ИИ был разработан при помощи глубокого обучения и проверен на 170 230 маммографических изображениях, отобранных из нескольких медицинских учреждений разных стран. Авторы выявили значительное улучшение эффективности диагностики. ИИ показал более высокие результаты в выявлении рака молочной железы стадии T1: 91% против 74% ($p=0,0039$) и в выявлении рака на стадии онкологического процесса без пораженных лимфатических узлов: 87% против 74% ($p=0,0025$) у врачей-рентгенологов. Также авторы отметили, что определение достоверной степени «полезности» применения разработанного алгоритма для оценки маммограмм требует проведения дальнейших проспективных исследований, однако исходя из уже полученных данных, можно предположить, что качество интерпретации исследований врачами-рентгенологами с использованием ИИ как вспомогательного инструмента будет только повышаться [11].

Системы «HealthMammo» («Zebra Medical Vision», Israel) и аналогичная ей по функциям «cmTriage» («CureMetrix», USA) используют алгоритм искусствен-

ного интеллекта и на основе анализа маммографических изображений определяют приоритетность описания пациентов, отмечая снимки, на которых обнаруживают хотя бы одно подозрительное изменение [15, 16]. Данные системы ограничены только категоризацией и ранжированием пациентов, не несут никакой дополнительной диагностической информации и созданы для того, чтобы привлечь внимание врача-рентгенолога к пациентам с подозрительными изменениями и оптимизировать рабочий процесс. Разработчики программного продукта «HealthMammo» предоставляют значения AUC 0,9661 (95% ДИ 0,9552–0,9769), полученные при анализе 835 маммограмм [10, 15]. Разработчики «cmTriage» предоставляют значения AUC 0,951 (95% ДИ 0,937–0,964), полученные по выборке из 1255 пациентов [10, 16, 17]. В общедоступных источниках нет данных о воспроизведении полученных значений независимыми исследователями.

Отечественные сервисы ИИ

В 2020 г. Н.И. Рожкова и соавт. разработали систему, представленную сегментационной моделью на основе нейросетевой архитектуры. Она позволяет локализовать рентгенологические находки, важные для определения вероятности злокачественного процесса: образования, микрокальцинаты, локальную асимметрию и т.д. При сравнении сегментации, выполненной данной системой, с разметкой изображений врачом-рентгенологом, выяснилось, что данная модель не уступает врачу в точности определения образований. По данным авторов, AUC этой модели составляет 0,8176 [18].

Следующий пример – компания «Интеллоджик», которая занимается осуществлением различных проектов с использованием ИИ с 2015 г. На сегодняшний день с помощью системы «Botkin.AI» (ООО «Интеллоджик», г. Москва, Российская Федерация) реализовано более 25 проектов в РФ, странах СНГ, Латинской Америке и на Ближнем Востоке. Основные направления развития платформы – применение ИИ для анализа КТ-изображений органов грудной клетки при опухолевых и инфекционных заболеваниях, а также анализ маммографических изображений на предмет онкологической патологии. В ретроспективном исследовании В.А. Солодкий и соавт. использовали данную систему ИИ для оценки 1000 маммографических изображений. При помощи алгоритма, разработанного компанией «Интеллоджик», были проанализированы следующие параметры: плотность железы по системе ACR, локализация патологического процесса, наличие кальцинатов и классификация по BI-RADS. В результате на примере нескольких клинических случаев авторы вынесли положительную оценку интерпретации исследований данным алгоритмом и предположили, каковы будут дальнейшие перспективы внедрения практики использования

ИИ в качестве вспомогательного метода [19]. Сами же разработчики заявляют о том, что значение AUC при применении их системы равно 0,95.

Далее, в 2018 г. состоялся релиз первой версии системы «Цельс» для анализа маммограмм (ООО «Медицинские скрининг системы», г. Калуга, Российская Федерация). На данный момент времени AI-платформа способна оценивать плотность молочной железы по ACR, а также распознавать 11 классов объектов: это злокачественные и доброкачественные образования, утолщение кожи, злокачественное скопление кальцинатов, лимфоузлы, фиброзно-кистозные изменения и пр. Также система способна анализировать все полученные данные и на их основании присвоить отдельным обнаруженным объектам категорию BI-RADS. По заявлению разработчиков, AUC их системы составляет 0,93, чувствительность 88%, специфичность 94% [20]. Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы (НПКЦ ДиТ ДЗМ) на основании эталонного набора данных оценивает эффективность этой системы несколько иначе: AUC 0,89, чувствительность 74% и специфичность 94% [20]. Однако и эти значения чрезвычайно высоки.

В 2021 г. О.Э. Карпов с соавт. представили ретроспективное исследование, в котором с помощью системы «Цельс» проанализировали маммограммы 49 пациенток с гистологически подтвержденной онкологической патологией. В результате авторы отметили высокую чувствительность системы: ИИ определил злокачественное новообразование в 45 случаях из 49, что составляет 92%! При этом в 4 случаях ИИ определил злокачественное новообразование как доброкачественное с рекомендацией дальнейшего дообследования, и в 1 случае система верно интерпретировала результаты по BI-RADS – в отличие от врачей-рентгенологов, анализировавших предоставленные маммограммы [21, 22].

Е.Д. Никитин в своем исследовании сравнивал 2 методики присвоения категории BI-RADS с помощью системы «Цельс». База данных была собрана из медицинских учреждений разных регионов РФ и составила 867 пациентов. В первом методе вероятность злокачественных изменений определялась как сумма максимальных вероятностей обнаруженных злокачественных объектов (злокачественные образования и кальцинаты) по двум проекциям. Для второго метода была обучена специальная мета-модель, которая агрегирует различные результаты работы нейронной сети: не только обнаруженные патологические участки и вероятности их злокачественности, но и плотность железы, качество снимка и тд. Первый метод продемонстрировал следующие результаты: AUC 0,857 (с исключением BI-RADS 3 из патологической категории) и 0,76 (с включением). Второй метод показал результаты 0,881 и 0,794 соответственно. Из

полученных результатов автор делает вывод о том, что использование мета-модели, учитывающей множество факторов, значительно повышает точность диагностики [23].

В 2021 г. Компанией АО «МТЛ» был разработан сервис для анализа маммографических изображений «Трио ДМ». Сервис определяет исследования, содержащие признаки патологии, выделяет разными контурами на снимках разные типы находок и приоритезирует находки по вероятности обнаружения ЗНО. Разработчики предоставляют AUC, равный 0,88 с чувствительностью и специфичностью 83% [24]. Специалисты НПКЦ ДиТ ДЗМ на эталонном наборе данных получили значения для этого искусственного интеллекта AUC 0,9, чувствительность 74% и специфичность 94% [24].

Платформа «Третье мнение» (ООО «Платформа Третье Мнение», г. Москва, Российская Федерация) в настоящее время предоставляет сервисы для анализа флюорограмм, маммограмм, рентгенограмм и КТ органов грудной клетки. Данная система ИИ способна оценивать плотность молочной железы по шкале ACR, качество укладки, структурировано описывать находки и их характеристики, оценивать исследование по шкале BI-RADS [25]. Разработчики предоставляют AUC, равный 0,94; по их же данным, чувствительность и специфичность составляют 91% [27]. Специалисты НПКЦ ДиТ ДЗМ на эталонном наборе данных получили значения для этого искусственного интеллекта AUC 0,89, чувствительность 90% и специфичность 81% [27].

В 2023 г. Ю.А. Васильев и соавт. представили ретроспективное исследование технологии искусственного интеллекта, используя систему «Цельс» и платформу «Третье мнение». Целью ученых было оценить перспективы первого автономного описания маммографических изображений на примере набора данных из 100 маммографических исследований, 50 из которых включали в себя целевую патологию, а 50 оставшихся – нет. В результате были получены следующие данные: при 100% специфичности чувствительность систем ИИ составила 56% (95% ДИ 42,2–69,8), точность – 78% (95% ДИ 69,9–86,1). Также авторы предположили, что тактика применения систем ИИ выгодна и с экономической точки зрения, если применять его в качестве метода первого чтения со вторым прочтением врачом-рентгенологом [26].

В 2020 г. в Москве стартовал так называемый Московский эксперимент по внедрению технологий искусственного интеллекта. К нему подключены три из вышеописанных маммографических ИИ-сервисов: «Третье мнение», «Цельс» и «Трио ДМ» [28]. С 2023 г. Москва первой в стране ввела специальный тариф в рамках ОМС на анализ результатов профилактических маммографических исследований с помощью систем искусственного интеллекта. Существует платформа «МосМедИИ», к которой может подключиться любая государственная медицинская организация для дис-

танционного анализа исследований с помощью лучших ИИ-сервисов, прошедших полный цикл проверки в рамках Московского эксперимента [29]. Например, для сервиса «Третье мнение» платформа дает клиническую оценку 87,85 (сопоставление результатов работы ИИ-сервиса и заключения врача) за период 01.08.2025 – 31.08.2025 [30]. Платформа «МосМедИИ» активно расширяет свою географию. Согласно данным на конец июля 2025 г. к ней уже присоединилось уже 72 региона России, а в целом по стране к сервису подключено более 1200 медицинских организаций. На данный момент уже 41 медицинская организация Санкт-Петербурга подключена к платформе «МосМедИИ», и теперь маммографические снимки ежедневно анализируются ИИ в качестве «второго мнения».

Заключение

Проанализировав существующие на данный момент исследования применения ИИ в анализе маммографических изображений, можно отметить постоянное совершенствование технологий диагностики

такого широко распространенного заболевания, как рак молочной железы. Уже сейчас многие платформы способны давать свою оценку всем ключевым параметрам изображения и демонстрировать достаточно высокую диагностическую точность и чувствительность. Однако стоит отметить, что несмотря на все успехи разработчиков, на текущий момент технологии ИИ рассматриваются в первую очередь как «вспомогательный» компонент диагностики, который способствует существенному снижению нагрузки на врача-рентгенолога и повышению процента выявляемости патологии, но не может полноценно заменить врача с его клиническим мышлением. По результатам ретроспективных исследований, к настоящему времени диагностическая точность ИИ в маммографии не достигает 100% из-за многих индивидуальных особенностей человеческого организма и особенностей патологического процесса. При этом обучение ИИ продолжается, разработчики продолжают сотрудничество с врачами, тем самым кратно повышая объем данных для обучения систем ИИ и улучшая диагностическую эффективность своего продукта.

Список литературы

1. World Health Organization. Estimated number of cases in 2022, worldwide, both sexes, all ages Breast Source: Globocan 2022.
2. Аревшатян Э.Г. и др. Искусственный интеллект как фактор повышения эффективности оценки цифровых маммограмм при скрининге рака молочной железы // Вестник Росздравнадзора. – 2022. – № 5. – С. 45–50.
3. Hoff S.R., et al. Missed and true interval and screen-detected breast cancers in a population based screening program // Academic radiology. – 2011. – Vol. 18, № 4. – P. 454–460.
4. Bird R.E., Wallace T.W., Yankaskas B.C. Analysis of cancers missed at screening mammography // Radiology. – 1992. – Vol. 184, № 3. – P. 613–617.
5. Chan H.P., et al. Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography. I. Automated detection of microcalcifications in mammography // Medical physics. – 1987. – Vol. 14, № 4. – P. 538–548.
6. Giger M.L., Chan H.P., Boone J. Anniversary paper: history and status of CAD and quantitative image analysis: the role of medical physics and AAPM // Medical physics. – 2008. – Vol. 35, № 12. – P. 5799–5820.
7. Lehman C.D., et al. Diagnostic accuracy of digital screening mammography with and without computer-aided detection // JAMA internal medicine. – 2015. – Vol. 175, № 11. – P. 1828–1837.
8. Fenton J.J., et al. Influence of computer-aided detection on performance of screening mammography // New England Journal of Medicine. – 2007. – Vol. 356, № 14. – P. 1399–1409.
9. Tang A., et al. Canadian Association of Radiologists white paper on artificial intelligence in radiology // Canadian Association of Radiologists Journal. – 2018. – Vol. 69, № 2. – P. 120–135.
10. Lamb L.R., et al. Artificial intelligence (AI) for screening mammography, from the AJR special series on AI applications // American Journal of Roentgenology. – 2022. – Vol. 219, № 3. – P. 369–380.
11. Kim H.E., et al. Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study // The Lancet Digital Health. – 2020. – Vol. 2, № 3. – P. e138–e148.
12. Approval document for MammoScreen // FDA website. – [Electronic source]. – URL: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf19/K192854.pdf. Accessed at: 25.09.2024.
13. Rodriguez-Ruiz A., et al. Detection of breast cancer with mammography: effect of an artificial intelligence support system // Radiology. – 2019. – Vol. 290, № 2. – P. 305–314.
14. Approval document for Genius AI Detection // FDA website. – [Electronic source]. – URL: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf20/K201019.pdf. Accessed at: 25.09.2024.
15. Approval document for HealthMammo // FDA website. – [Electronic source]. – URL: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf20/K200905.pdf. Accessed at: 25.09.2024.
16. Approval document for cmTriage // FDA website. – [Electronic source]. – URL: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf18/K183285.pdf. Accessed at: 25.09.2024.
17. Retson T.A., et al. Multicenter, Multivendor Validation of an FDA-approved Algorithm for Mammography Triage // Journal of Breast Imaging. – 2022. – Vol. 4, № 5. – P. 488–495.

18. Рожкова Н.И., и др. Сегментационная модель скрининга рака молочной железы на основе нейросетевого анализа рентгеновских изображений // Сеченовский вестник. – 2020. – Т. 11, № 3. – С. 4–14.
19. Солодкий В.А., и др. Возможности искусственного интеллекта в оценке риска рака молочной железы на маммографических изображениях (клинические примеры) // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 25–32.
20. Цельс ММГ // Центр диагностики и телемедицины. – [Electronic source]. – URL: https://mosmed.ai/service_catalog/tsels-mmg. Accessed at: 25.09.2024.
21. Солодкий В.А., и др. Современные системы поддержки принятия врачебных решений на базе искусственного интеллекта для анализа цифровых маммографических изображений // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2023. – Т. 104, № 2. – С. 151–162.
22. Карпов О.Э., и др. Компаративное исследование результатов анализа данных цифровой маммографии системы на основе искусственного интеллекта «цельс» и врачей-рентгенологов // Вестник Национального медико-хирургического центра им. НИ Пирогова. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 86–92.
23. Nikitin E.D. Does aggregating results of AI system for mammography with ML meta-model improve quality of malignancy detection? // Digital Diagnostics. – 2022. – Т. 3, № 1S. – P. 6–7.
24. Трио ДМ // Центр диагностики и телемедицины – [Electronic source]. – URL: https://mosmed.ai/service_catalog/%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BE-%D0%B4%D0%BC/ Accessed at: 25.11.2025
25. Маммография // Третье мнение. – [Electronic source]. – URL: <https://thirdopinion.ai/mmg>. Accessed at: 25.11.2025.
26. Vasilev Y.A., et al. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization // Digital Diagnostics. – 2023. – Т. 4, № 2. – С. 93–104.
27. Третье мнение ММГ // Центр диагностики и телемедицины. – [Electronic source]. – URL: https://mosmed.ai/service_catalog/trete-mnenie-mmg. Accessed at: 25.11.2025.
28. Технологии искусственного интеллекта в здравоохранении. – [Electronic source]. – URL: <https://mosmed.ai>. Accessed at: 25.11.2025.
29. МосМедИИ. – [Electronic source]. – URL: <https://xn--d1abkaqany.xn--p1ai/index.html>. Accessed at: 25.11.2025.
30. ИИ-сервисы подключенные к платформе МосМедИИ. – [Electronic source]. – URL: <https://xn--d1abkaqany.xn--p1ai/docs/directions.pdf?v=2>. Accessed at: 25.11.2025.

References

1. World Health Organization. Estimated number of cases in 2022, worldwide, both sexes, all ages Breast Source: Globocan 2022.
2. [Arevshatyan E.G. i dr. Iskusstvennyj intellekt kak faktor povysheniya effektivnosti ocenki cifrovyyh mammogramm pri skrininge raka molochnoj zhelezy. Vestnik Roszdravnadzora. 2022; 5: 45-50 (In Russ)].
3. Hoff S.R., et al. Missed and true interval and screen-detected breast cancers in a population based screening program. Academic radiology. 2011; 18(4): 454-460.
4. Bird R.E., Wallace T.W., Yankaskas B.C. Analysis of cancers missed at screening mammography. Radiology. 1992; 184(3): 613-617.
5. Chan H.P., et al. Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography. I. Automated detection of microcalcifications in mammography. Medical physics. 1987; 14(4): 538-548.
6. Giger M.L., Chan H.P., Boone J. Anniversary paper: history and status of CAD and quantitative image analysis: the role of medical physics and AAPM. Medical physics. 2008; 35(12): 5799-5820.
7. Lehman C.D., et al. Diagnostic accuracy of digital screening mammography with and without computer-aided detection. JAMA internal medicine. 2015; 175(11): 1828-1837.
8. Fenton J.J., et al. Influence of computer-aided detection on performance of screening mammography. New England Journal of Medicine. 2007; 356(14): 1399-1409.
9. Tang A., et al. Canadian Association of Radiologists white paper on artificial intelligence in radiology. Canadian Association of Radiologists Journal. 2018; 69(2): 120-135.
10. Lamb L.R., et al. Artificial intelligence (AI) for screening mammography, from the AJR special series on AI applications. American Journal of Roentgenology. 2022; 219(3): 369-380.
11. Kim H.E., et al. Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study. The Lancet Digital Health. 2020; 2(3): e138-e148.
12. Approval document for MammoScreen. FDA website. Available at: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf19/K192854.pdf. Accessed at: 25.09.2024.
13. Rodriguez-Ruiz A., et al. Detection of breast cancer with mammography: effect of an artificial intelligence support system. Radiology. 2019; 290(2): 305-314.
14. Approval document for Genius AI Detection. FDA website. Available at: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf20/K201019.pdf Accessed at: 25.09.2024.
15. Approval document for HealthMammo. FDA website. Available at: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf20/K200905.pdf Accessed at: 25.09.2024.
16. Approval document for cmTriage. FDA website. Available at: www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf18/K183285.pdf Accessed at: 25.09.2024.

17. Retson T.A., et al. Multicenter, Multivendor Validation of an FDA-approved Algorithm for Mammography Triage. *Journal of Breast Imaging*. 2022; 4(5): 488-495.
18. [Rozbkova N.I., i dr. Segmentacionnaya model' skringa raka molochnoj zhelezy na osnove nejrosetevogo analiza rentgenovskih izobrazhenij. *Sechenovskij vestnik*. 2020; 11(3): 4-14 (In Russ)].
19. [Solodkij V.A., i dr. Vozmozhnosti iskusstvennogo intellekta v ocenke riska raka molochnoj zhelezy na mammograficheskikh izobrazheniyah (klinicheskie primery). *Vestnik Rossijskogo nauchnogo centra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*. 2023; 23(1): 25-32 (In Russ)].
20. Cel's MMG. Centr diagnostiki i telemeditsiny. Available at: https://mosmed.ai/service_catalog/tsels-mmg. Accessed at: 25.09.2024.
21. [Solodkij V.A., i dr. Sovremennye sistemy podderzhki prinyatiya vrachebnyh reshenij na baze iskusstvennogo intellekta dlya analiza cifrovyyh mammograficheskikh izobrazhenij. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 2023; 104(2): 151-162 (In Russ)].
22. [Karpov O.E., i dr. Komparativnoe issledovanie rezul'tatov analiza dannyh cifrovoj mammografii sistemy na osnove iskusstvennogo intellekta «cel's» i vrachej-rentgenologov. *Vestnik Nacional'nogo mediko-hirurgicheskogo centra im. NI Pirogova*. 2021; 16(2): 86-92 (In Russ)].
23. Nikitin E.D. Does aggregating results of AI system for mammography with ML meta-model improve quality of malignancy detection? *Digital Diagnostics*. 2022; 3(1S): 6-7.
24. Trio DM // Center for Diagnostics and Telemedicine – [Electronic source]. – URL: https://mosmed.ai/service_catalog/%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BE-%D0%B4%D0%BC// Accessed on: 25.11.2025
25. Mammography // Third Opinion. – [Electronic source]. – URL: <https://thirdopinion.ai/mmg>. Accessed on: 25.11.2025
26. Vasilev Y.A., et al. Double-reading mammograms using artificial intelligence technologies: A new model of mass preventive examination organization // *Digital Diagnostics*. – 2023. – Vol. 4, No. 2. – Pp. 93-104
27. Third Opinion MMG // Center for Diagnostics and Telemedicine. – [Electronic source]. – URL: https://mosmed.ai/service_catalog/trete-mnenie-mmg. Accessed on: 25.11.2025
28. Artificial Intelligence Technologies in Healthcare. – [Electronic source]. – URL: <https://mosmed.ai>. Accessed on: 25.11.2025
29. MosMedII. – [Electronic source]. – URL: <https://xn--d1abkaqany.xn--p1ai/index.html>. Accessed on: 25.11.2025
30. AI Services Connected to the MosMedII Platform. – [Electronic source]. – URL: <https://xn--d1abkaqany.xn--p1ai/docs/directions.pdf?v=2>. Accessed on: 25.11.2025