

УДК 618-19-006

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-3-17-26>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИННОВАЦИИ В СКРИНИНГЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОТ МАММОГРАФИИ ДО ИИ: ОБЗОР

С. П. Жумагулова^{*}, Ф. Б. Даулетбек[®], А. М. Келдиев[®]

Медицинский университет Караганды, г. Караганда, Республика Казахстан

ВВЕДЕНИЕ: Скрининг рака молочной железы сыграл ключевую роль в раннем выявлении заболевания и снижении смертности. Современные технологии заметно изменили методы скрининга, улучшая диагностические результаты и расширяя возможности исследований.

ЦЕЛЬ: Обзор современных подходов к скринингу с акцентом на использование искусственного интеллекта (ИИ), который обещает улучшение диагностики и представляет новые вызовы в клинической практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Анализ охватывает многообразие научных публикаций и клинических данных, включая традиционные методы, такие как маммография, и новейшие разработки в ультразвуковом исследовании и магнитно-резонансной томографии, а также вклад ИИ.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Показано, что ИИ может значительно увеличить точность маммографий и других скрининговых методов, минимизируя ложноположительные результаты и повышая индивидуализацию процедур.

ОБСУЖДЕНИЕ: Подчеркнута роль ИИ в улучшении эффективности скринингов, хотя остаются вопросы, связанные с этикой и конфиденциальностью данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Внедрение ИИ в скрининг рака молочной железы открывает новые перспективы для диагностики и лечения, требуя дальнейших исследований и разработки регулятивных мер.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рак молочной железы, скрининг молочной железы, маммография, искусственный интеллект, ультразвуковое исследование, магнитно-резонансная томография

**Для корреспонденции: Жумагулова Салтанат Пернебаевна, e-mail: saltanat92@mail.ru*

Для цитирования: Жумагулова С.П., Даулетбек Ф.Б., Келдиев А.М. Современные тенденции и инновации в скрининге рака молочной железы: от маммографии до ИИ: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2025. Т. 16, № 3. С. 17–26, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-3-17-26>.

MODERN TRENDS AND INNOVATIONS IN BREAST CANCER SCREENING: FROM MAMMOGRAPHY TO AI: A REVIEW

Saltanat P. Zhumagulova^{*}, Fatima B. Dauletbek[®], Askat M. Keldiyev[®]

Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

INTRODUCTION: Breast cancer screening has played a key role in the early detection of the disease and reduction of mortality rates. Modern technologies have significantly changed screening methods, enhancing diagnostic outcomes and expanding research capabilities.

OBJECTIVE: To review contemporary approaches to screening, with a focus on the use of artificial intelligence (AI), which promises improved diagnostics and presents new challenges in clinical practice.

MATERIALS AND METHODS: The analysis covers a variety of scientific publications and clinical data, including traditional methods such as mammography, and the latest developments in ultrasound and magnetic resonance imaging, as well as the contribution of AI.

RESULTS: AI can significantly increase the accuracy of mammographies and other screening methods, minimizing false positives and enhancing the customization of procedures.

DISCUSSION: The discussion emphasizes the role of AI in improving screening efficiency, although there are still questions related to ethics and data confidentiality.

CONCLUSION: The implementation of AI in breast cancer screening opens new prospects for diagnosis and treatment, requiring further research and development of regulatory measures.

KEYWORDS: breast cancer, breast screening, mammography, artificial intelligence, ultrasound examination, magnetic resonance imaging

***For correspondence:** *Saltanat P. Zhumagulova, e-mail: saltanat92@mail.ru*
For citation: Zhumagulova S.P., Dauletbek F.B., Keldiyev A.M. Modern trends and innovations in breast cancer screening: from mammography to AI: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 3. P. 17–26, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-3-17-26>.

Введение. Скрининг молочной железы снижает смертность от рака за счет ранней диагностики. В большинстве случаев проводить маммографию начинают в среднем возрасте, но рекомендации различаются [1]. В редких случаях высокого риска рекомендуется ранний скрининг с использованием МРТ или УЗИ [2]. Общие стратегии национальных программ скрининга (табл. 1): в России — с 39 лет, в США — для 40–49 лет решение принимается индивидуально, с 50 до 74 лет рекомендуется маммография, после 75 лет — индивидуально; в Канаде — с 50 до 74 лет, маммография каждые 2–3 года; в Австралии — с 50 до 74 лет, маммография каждые 2 года; в Китае — с 40 до 69 лет. Мета-анализ подтверждает снижение смертности от рака молочной железы благодаря скринингу, но есть

Таблица 1

Обобщение стратегий национальных программ скрининга или рекомендаций национальных органов для скрининга женщин, которые не имеют повышенного риска рака молочной железы (например, те, у кого нет известной семейной/генетической предрасположенности или истории радиотерапии грудной клетки)

Table 1

Summary of strategies employed in national screening programs or recommendations issued by national authorities for breast cancer screening in women without elevated risk (e.g., those without known familial/genetic predisposition or a history of chest radiotherapy)

Страна	Возраст	Стратегия скрининга
Российская Федерация (Клинические рекомендации РООМ по скринингу РМЖ)	Женщины 40 лет и старше	Приглашение на маммографию каждые 2 года
Республика Казахстан (Приказ и.о. МЗ РК от 30.10.2020 г. № КР 174)	40–70 лет	Приглашение на маммографию каждые 2 года
Великобритания (NHS Breast Screening Programme)	50–70 лет 71 год	Приглашение на маммографию каждые 3 года Не приглашаются — могут обратиться самостоятельно
Соединенные Штаты Америки (United States Preventive Service Task Force)	40–49 лет 50–74 года 75 лет и старше	Решение принимается индивидуально Двухлетняя маммография Нет рекомендации: недостаточно данных для оценки вреда и пользы
Канада (Canadian Task Force on Preventive Health Care)	40–49 лет 50–69 лет 70–74 года	Не рекомендуется; совместное принятие решения при желании Маммография каждые 2–3 года Маммография каждые 2–3 года
Нидерланды (National Breast Cancer Screening Programme)	50–75 лет	Приглашение на маммографию каждые 2 года
Австралия (BreastScreen Australia)	40–49 лет 50–74 года 74 лет и старше	Не приглашаются, но могут пройти скрининг по желанию («opt-in») Приглашение на маммографию каждые 2 года Не приглашаются, но могут пройти скрининг по желанию («opt-in»)
Китай (National Health Commission of the People’s Republic of China)	20–39 лет 40–69 лет Старше 70 лет	Ежемесячное самообследование груди, клинический осмотр груди 1 раз в 1–3 года Маммография каждые 1–2 года с ультразвуком для женщин с плотными молочными железами; ежемесячное самообследование и ежегодный клинический осмотр груди Ежемесячное самообследование груди, ежегодный клинический осмотр груди

маммография каждые 2 года; в Казахстане — с 40 до 70 лет, маммография каждые 2 года; в Великобритании — с 50 до 70 лет, маммография каждые 3 года, после 71 года — по желанию; риск переоценки и ложноположительных/ложноотрицательных результатов [2], оценка частоты гипердиагностики варьируются [2, 3]. В Великобритании скрининг снижает смертность, но есть и переоценка: 3 слу-

чая на каждую предотвращенную смерть [3]. Большинство стран используют скрининг по возрасту, не учитывая индивидуальные риски [4]. Появилась концепция «дифференцированного скрининга», где решения о скрининге основываются на оценке индивидуального риска [4]. Это может оптимизировать пользу и сократить ненужный скрининг, но требует разработки точных моделей прогнозирования рисков, экономической оценки и ясности в балансе пользы и вреда [4].

Рак молочной железы остается главной причиной онкологической заболеваемости и смертности среди женщин [1]. В 2022 г. было 2,26 млн случаев рака молочной железы (11,7% всех случаев рака) и 680 000 смертей (6,9% всех смертей от рака) [1]. Ранняя диагностика значительно повышает выживаемость [1]. В России ежегодно умирает около 21 000 женщин от этого заболевания [5, 6]. В США в 2019 г. было диагностировано около 268 600 женщин с инвазивным раком молочной железы, 45% из них старше 65 лет [7, 8]. Хотя большинство выживает, около 5% сталкиваются с рецидивами [9]. Регулярная маммография рекомендуется для всех выживших с оставшейся молочной тканью [9, 10].

Цель. Предоставить всеобъемлющий обзор современных методов скрининга рака молочной железы и оценить потенциал искусственного интеллекта (ИИ) в этой области.

Материалы и методы. Для анализа современных подходов к скринингу рака молочной железы был проведен обзор научной литературы, опубликованной с 2019 года в базах данных Google Scholar, PubMed и Web of Science. Учитывались только англоязычные статьи из рецензируемых журналов с импакт-фактором. Отбор литературы осуществлялся по ключевым словам: «скрининг рака молочной железы», «маммо-

графия», «искусственный интеллект в диагностике». Дополнительно включались статьи с симпозиумов и конференций. Каждое исследование подвергалось критическому анализу для оценки методологии, результатов и статистических методов.

Результаты. Историческое развитие маммографии и технологий скрининга рака молочной железы прошло долгий путь (табл. 2). Начавшись с первых попыток использования рентгеновских лучей в начале XX века [11], маммография претерпела значительные изменения, включая усовершенствования методики в 1930–1940-х годах и формулирование детальных методик доктором Р. Иганом в 1956 г. [11, 12]. В 1960-х годах маммография стала широко применяться в СССР, а в 1970-х годах появилась экранно-пленочная маммография с улучшенным качеством изображений [12]. С начала 2000-х годов началось внедрение цифровой маммографии, что значительно улучшило диагностику и упростило обработку медицинских изображений [12]. В США внедрение маммографии началось в конце 1970-х годов, но страховое покрытие появилось только в 1991 г. [13]. С 2000 г. началась эра цифровой маммографии и компьютерного обнаружения [13]. В России дискуссии о раннем выявлении рака начались в 1920–1930 годах, а с середины XX века стали проводиться массовые профилактические осмотры [12]. Внедрение рентгеновской маммографии началось в 1960-х годах, а с 2006 года профилактические исследования стали проводиться женщинам старше 40 лет [12, 13]. Пилотный проект массового скрининга в Санкт-Петербурге с 2009 года показал эффективность раннего выявления рака [12].

Маммография — это специализированная радиологическая техника, являющаяся «золотым

Сравнение методов скрининга рака молочной железы в США и России

Таблица 2
Table 2

Comparison of Breast Cancer Screening Methods in the United States and Russia			
Метод	Описание	Применение в США	Применение в России
1	2	3	4
Цифровая маммография	Использует цифровые детекторы для получения изображений молочной железы	Широко используется после одобрения в 2000 году, заменила пленочную маммографию	Начала внедряться в медицинскую практику России в середине 2000-х годов, когда началось активное обновление медицинского оборудования
Компьютерное обнаружение	Программное обеспечение анализирует изображения маммограммы, выделяя подозрительные области	Введено в практику в 2001 году, используется для улучшения точности диагностики	Начало развиваться в России в конце 2000-х годов в рамках улучшения качества диагностики рака молочной железы
Цифровой томосинтез молочной железы	Создает трехмерное изображение молочной железы, улучшая обнаружение опухолей	Одобен в 2011 году, уменьшает количество повторных вызовов для дополнительных исследований	Цифровой томосинтез, как более новая технология, стал доступен в России после 2010 года. Пока не введен в широкую практику, но обсуждается как потенциальное улучшение в рамках национальных скрининговых программ

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Ультразвуковое исследование	Использует звуковые волны для создания изображений внутренних структур молочной железы	Стало широко использоваться в медицинской практике США начиная с 1970-х годов. Однако его применение для целей скрининга рака молочной железы стало более распространенным в 1990-х годах, когда было признано, что УЗИ может быть особенно полезным для женщин с плотными молочными железами, где традиционная маммография менее эффективна	Как метод исследования активно используется в России с начала 1990-х годов и с тех пор является стандартной частью многих медицинских обследований, включая скрининг рака молочной железы
Магнитно-резонансная томография	Использует магнитное поле и радиоволны для детализированного изображения внутренних структур	Начала использоваться в клинической практике США в 1980-х годах, но ее применение в контексте скрининга и диагностики рака молочной железы стало более активным с 1990-х годов. МРТ особенно ценится за высокую точность в диагностике рака молочной железы, особенно у женщин с высоким риском развития заболевания	Начала использоваться в России в 1990-х годах, но широкое распространение и доступность для скрининга и диагностики различных заболеваний, включая рак молочной железы, стали возможны в 2000-х годах

стандартом» в раннем обнаружении рака молочной железы благодаря высокой чувствительности и специфичности, низкой стоимости и низкой дозе облучения [14]. Принципы работы маммографии включают использование моторизованной сжимающей пластины для уменьшения толщины груди и улучшения качества изображения, снижая дозу облучения [15]. Два филамента создают фокусные пятна разного размера для стандартной и магнификационной маммографии [15]. Вращающиеся аноды увеличивают ток трубки и обеспечивают хорошую термическую нагрузку [15]. Эффект пятна пятки учитывается при размещении пациента для равномерного облучения [15]. Сжатие молочной железы повышает контрастность изображения, позволяя лучше различать ткани [15]. Однако маммография имеет ряд ограничений, включая снижение чувствительности у женщин с высокой плотностью молочной железы, что затрудняет интерпретацию маммограмм [14, 15]. Также возможны ложноположительные и ложноотрицательные результаты, ведущие к дополнительным обследованиям и повышению стоимости диагностики [14]. Еще одним ограничением является низкая чувствительность при определении точного размера и расположения опухоли, что важно для планирования лечения [14].

МРТ превосходит маммографию по нескольким аспектам: она обнаруживает рак на более ранних стадиях (средний размер опухолей 9 мм против 17 мм при маммографии) и опухоли, обнаруженные с помощью МРТ, реже имеют положительный статус узла (17% против 63%) [14]. Однако МРТ имеет и недостатки: она склонна к большему количеству ложноположительных результатов, что может привести к ненужным биопсиям и тревоге у пациенток

[14]. Кроме того, МРТ является более дорогостоящим и менее доступным методом по сравнению с маммографией, что ограничивает ее широкое применение [14]. В случаях, когда маммография может быть менее эффективной, например, у женщин с плотной тканью молочной железы, рекомендуется использовать УЗИ или МРТ в качестве дополнения или альтернативы [14].

Ультразвуковое исследование молочной железы (УЗИ) особенно предпочтительно в случаях высокой плотности молочной железы, у молодых пациенток, для оценки конкретных областей и внутренней структуры образований, а также для повторного обследования и мониторинга [16]. УЗИ эффективно обнаруживает образования, невидимые на маммограммах из-за высокой плотности железистой ткани, и является предпочтительным методом для молодых женщин с более плотными молочными железами [16]. Оно позволяет детально изучать конкретные области и внутреннюю структуру образований, помогая определить их природу [16]. УЗИ также используется для наблюдения за изменениями в молочных железах, особенно при мониторинге кист или других неопухолевых изменений [16].

Однако УЗИ имеет ограничения: операторозависимость, ограниченное поле зрения, высокую чувствительность, приводящую к ложноположительным результатам, и неспособность обнаруживать микрокальцинаты [16, 17].

Томосинтез молочной железы — это метод получения трехмерного изображения груди путем приема рентгеновских лучей под разными углами [18]. Это позволяет уменьшить эффекты наложения тканей, что часто затрудняет диагностику при традиционной маммографии [19]. Ключевые параметры томосинте-

за, такие как геометрия системы, движение рентгеновской трубки, угол сканирования и количество проекций, могут быть оптимизированы для улучшения качества изображения [19]. Синтезированная 2D-маммография (С2М), разработанная для использования с данными томосинтеза, также показала эффективность, сравнимую с полнопольной цифровой маммографией, что способствует более широкому применению томосинтеза вместе с С2М [20].

Цифровая томосинтезная маммография (ЦТМ) предлагает ряд преимуществ по сравнению с традиционной маммографией, включая улучшенное различение структур груди, особенно у женщин с плотной грудью, что способствует более точному выявлению потенциально злокачественных образований [21]. Кроме того, ЦТМ снижает количество ложноположительных результатов, уменьшая необходимость в дополнительных обследованиях и связанный с этим стресс для пациенток, а также сокращая медицинские расходы [21]. Исследования подтверждают высокую чувствительность и специфичность ЦТМ в диагностике заболеваний груди, что позволяет выявлять рак на более ранних стадиях по сравнению с традиционной маммографией [21]. Для сравнения эффективности этих методов можно обратиться к табл. 3 из исследования С. Canelo-Aybar и соавт.,

и улучшить визуализацию аномальных участков [21]. Систематический обзор и мета-анализ 38 исследований показали, что ЦТМ, как отдельно, так и в комбинации с ЦММ, обладает более высокой чувствительностью к обнаружению рака молочной железы [19]. При этом специфичность методов сопоставима.

Однако решение о включении ЦТМ в протоколы скрининга должно учитывать не только диагностическую точность, но и доступность, стоимость, комфорт пациента и дозу облучения, а также локальные рекомендации и национальные протоколы здравоохранения. Для более точных рекомендаций необходимо учитывать индивидуальные факторы риска и данные о влиянии ЦТМ на выживаемость пациентов.

Магнитно-резонансная маммография (МРМ) — высокочувствительный метод диагностики рака молочной железы [23, 24]. Стандартный протокол МРМ — динамическое контрастное усиление (ДКУ), но его широкое применение ограничено из-за использования контрастных агентов, высокой стоимости и длительности исследования. Диффузионно-взвешенная МРТ (ДВ МРТ) — быстрый и неконтрастный метод, оценивающий движение молекул воды в тканях и предоставляющий информацию о клеточной плотности [25]. ДВ МРТ может повысить специфичность МРМ, облегчить оценку ответа опу-

Таблица 3

Краткое изложение результатов (GRADE) цифрового томосинтеза молочной железы в сравнении с диагностической маммографией

Table 3

GRADE Summary of Digital Breast Tomosynthesis Compared to Diagnostic Mammography

Результат теста	Цифровой томосинтез молочной железы	Диагностическая маммография	Количество участников (исследований)	Уверенность в доказательствах (GRADE)
Истинно положительные	197 (191–204)	193 (187–199)	1584 (10)	Умеренная
Ложноотрицательные	13 (6–19)	17 (11–23)		
Истинно отрицательные	585 (545–616)	529 (490–577)	6096 (10)	
Ложноположительные	205 (174–245)	261 (213–300)		

где представлены данные о количестве истинно положительных, ложноотрицательных, истинно отрицательных и ложноположительных результатов на 1000 пациентов, прошедших скрининг [19].

Результаты показывают, что при использовании цифровой маммографии томосинтеза было зафиксировано на 4 истинно положительных результата больше и на 4 ложноотрицательных результата меньше по сравнению с традиционной диагностической маммографией. Уверенность в доказательствах (GRADE) для обоих типов результатов оценена как умеренная. Эти данные могут быть важны для клинического выбора метода скрининга рака молочной железы.

Многочисленные исследования подтверждают, что цифровая томосинтезная маммография (ЦТМ) превосходит традиционную двухмерную маммографию в обнаружении рака молочной железы [19–22]. ЦТМ, создавая трехмерное изображение груди, позволяет уменьшить влияние перекрывающихся тканей

холи на химиотерапию и использоваться в скрининге без контраста [25].

Принципы ДВ МРТ: основана на измерении диффузии молекул воды в тканях и использует специфическую последовательность, основанную на спин-эхо последовательности с добавлением диффузионно-чувствительных градиентов [25, 26].

Технические аспекты: использование сильного магнитного поля и специализированной катушки, получение изображений с высоким разрешением и уменьшением времени эха, визуализация с созданием карты коэффициента аппарентной диффузии (КАД) [27].

МРМ рекомендуется женщинам с высоким риском развития рака молочной железы, включая носителей мутаций *BRCA1/2* [27, 28]. Также МРМ полезна при оценке имплантатов и диагностике первичной опухоли при наличии метастазов в лимфоузлах [27, 29]. Чувствительность маммографии снижается с ростом биологической значимости заболевания, тогда как

чувствительность МРТ возрастает, что указывает на различия в эффективности методов в зависимости от стадии и агрессивности опухоли (рисунок) [30].

Применение МРТ в скрининге рака молочной железы остается спорным, но она рекомендуется для женщин с высоким риском, включая носителей мута-

тельностью к биологически агрессивным видам рака и низкой или отсутствующей чувствительностью к псевдозаболеваниям, таким как низкоградусная дуктальная карцинома *in situ* (DCIS).

Для применения в клинической практике было предложено сокращенное МР-исследование, кото-

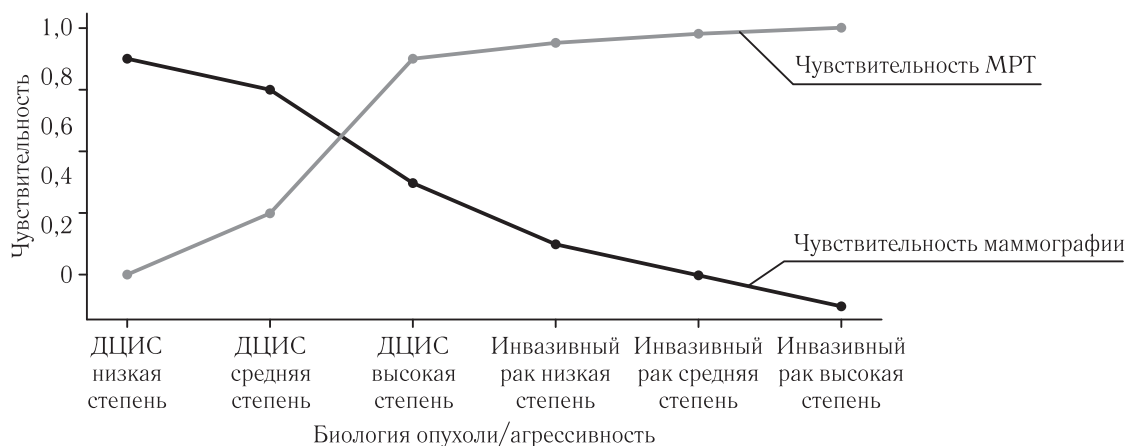


Рисунок. Профили чувствительности маммографии и МРТ. Чувствительность маммографии уменьшается с увеличением биологической значимости заболевания, в то время как чувствительность МРТ увеличивается с увеличением биологической значимости заболевания. Сокращения: ДЦИС — дуктальная карцинома *in situ*; МРТ — магнитно-резонансная томография (Kuhl C.K. et al.)

Figure. Sensitivity Profiles of Mammography and MRI. The sensitivity of mammography decreases with increasing biological significance of the disease, whereas the sensitivity of MRI increases as the biological significance of the disease rises. Abbreviations: DCIS — ductal carcinoma *in situ*; MRI — magnetic resonance imaging (Kuhl C.K. et al.)

ций *BRCA1/2*, их непроверенных родственников первой степени родства, женщин с семейной историей рака груди или яичников, прошедших лучевую терапию грудной клетки до 30 лет, имеющих атипичную гиперплазию или лобулярный рак *in situ*, а также с высокой плотностью молочных желез [29, 30].

Хотя МРМ высокочувствительна, она не гарантирует 100% обнаружение рака молочной железы, и пациентки должны учитывать риски при выборе между профилактической мастэктомией и скринингом [29]. Ограничения МРМ включают высокую стоимость и ограниченную доступность, что затрудняет массовый скрининг [31]. Длительное нахождение в МРТ-аппарате может быть неудобным для пациентов [23]. МРМ может обнаруживать низкозначимые состояния, не представляющие серьезной угрозы [23]. Современные методы скрининга должны учитывать индивидуальные риски, а не использовать подход «один для всех» [23, 24, 27]. Использование МРМ в скрининге требует строгого контроля качества, что сложно обеспечить на популяционном уровне [23, 24, 27]. МРМ может привести к увеличению числа биопсий и операций из-за обнаружения большего числа образований [29]. Эти ограничения препятствуют широкому внедрению МРМ в качестве стандартного метода скрининга и требуют дальнейших исследований.

Таким образом, современные методы скрининга имеют огромное значение, они должны соответствовать клиническим потребностям с высокой чувстви-

тельное может стать более доступным и менее затратным способом обследования [30–32]. Этот подход может в значительной степени увеличить доступность МРМ для более широкой популяции, включая женщин с промежуточным риском или плотными молочными железами.

Сокращенное магнитно-резонансное исследование (МРИ) молочных желез в последние годы рассматривается как перспективная альтернатива традиционному МРИ в скрининге рака молочной железы. Принципиальное отличие сокращенного МРИ заключается в сокращении времени исследования и упрощении процедуры, что позволяет уменьшить затраты и сделать процедуру доступной для большего числа женщин [32].

Основная цель сокращенного МРИ — обеспечить высокую чувствительность к биологически важным ракам, исключая обнаружение самоограничивающихся псевдораков. Стандартный протокол сокращенного МРИ включает получение максимально контрастных изображений с высоким пространственным разрешением [32]. Для достижения максимального контраста изображений используют раннюю постконтрастную фазу и методику вычитания изображений. Полученные таким образом изображения FAST (First postcontrast subtracted images) выделяют зону усиления контраста, которая может указывать на наличие опухоли [32].

По сравнению со стандартным МРИ, которое занимает от 20 до 60 минут, сокращенное МРИ может быть

выполнено всего за несколько минут. Это значительно улучшает переносимость пациентами и позволяет снизить стоимость обследования, тем самым повышая доступность МРИ для скрининга молочных желез [30].

Ожидалось, что упрощение процедуры сокращенного МРИ приведет к снижению его чувствительности по сравнению с традиционным МРИ. Однако исследования показали, что сокращенное МРИ обеспечивает такую же выявляемость рака и сопоставимую диагностическую точность [32]. Кроме того, сокращенное МРИ сохраняет преимущественную чувствительность к инвазивным ракам и относительную нечувствительность к низкоградному DCIS (ductal carcinoma *in situ* — нелобулярный рак молочной железы *in situ*), что хорошо соответствует клиническим потребностям [32].

По мере накопления опыта и дальнейшего развития технологии сокращенного МРИ, его потенциал в скрининге рака молочной железы, вероятно, будет только расти. Учитывая ограничения традиционных методов скрининга и индивидуализированный подход, основанный на риске и плотности молочной железы, сокращенное МРИ может занять свое место как эффективный и экономичный метод скрининга в будущем.

Искусственный интеллект в скрининге молочной железы. Искусственный интеллект (ИИ) значительно улучшает качество и точность диагностики рака молочной железы (РМЖ). Системы ИИ, такие как CAD и алгоритмы глубокого обучения, увеличивают чувствительность и специфичность методов визуализации, таких как МРТ, цифровая маммография и томосинтез [33]. ИИ улучшает изображения, выделяя опухолевые ткани, анализирует динамику контрастного усиления при МРТ и автоматически распознает образы, указывающие на наличие заболевания [34, 35]. Интеграция данных из различных источников позволяет индивидуализировать подход к каждому пациенту [34, 35]. ИИ также улучшает качество изображений и автоматически обрабатывает большие объемы данных, сокращая время диагностики и повышая ее точность [36]. Статистическое сравнение эффективности диагностики с использованием ИИ и радиологами показывает снижение лож-

тельной валидации алгоритмов, их сравнение с традиционными методами диагностики и скрининга, а также непрерывное обучение и адаптацию систем под конкретные клинические задачи.

В последние годы, благодаря развитию технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, появилось множество успешных проектов и платформ, которые революционизировали различные отрасли, от здравоохранения до финансовых услуг. Эти инновации не только улучшают качество услуг, но и способствуют более эффективному анализу данных и оптимизации процессов. Вот примеры нескольких выдающихся проектов и платформ, демонстрирующих потенциал искусственного интеллекта в реальных условиях.

MammoScreen — инновационная система ИИ для улучшения диагностики рака молочной железы при маммографии [38]. Она использует глубокое обучение для анализа изображений и помощи радиологам в выявлении злокачественных образований. Преимущества MammoScreen включают повышение точности диагностики, уменьшение нагрузки на радиологов, интеграцию с клиническими процессами и поддержку принятия решений [38]. Исследования показали, что MammoScreen уменьшает количество ложноположительных вызовов и повышает точность диагностики [38, 39].

Lunit INSIGHT MMG — это система ИИ для улучшения точности скрининга и диагностики рака молочной железы при помощи анализа маммографических изображений [38]. Она обладает высокой точностью, сокращает время анализа, уменьшает ложноположительные результаты, легко интегрируется в медицинские системы и поддерживает принятие решений [40–42]. Lunit INSIGHT MMG используется во многих странах и показал значительное улучшение точности диагностики в клинических исследованиях [41, 42].

AI-RAD Companion Mammo — это система ИИ от Siemens Healthineers для анализа маммографических снимков [43, 44]. Она автоматизирует выявление и квантификацию патологических изменений, повышая точность диагностики и снижая количество повторных исследований. Система предоставляет

Таблица 4
Сравнение эффективности диагностики рака молочной железы ИИ и человеком-радиологом

Table 4

Comparison of the Diagnostic Performance of Artificial Intelligence and Human Radiologists in Breast Cancer Detection		
Показатель	ИИ (США)	ИИ (Великобритания)
Снижение количества ложноположительных результатов, %	5,7	1,2
Снижение количества ложноотрицательных результатов, %	9,4	2,7
Увеличение AUC-ROC в сравнении со средним радиологом, %	11,5	Нет данных

ноположительных и ложноотрицательных результатов, а также улучшение показателя AUC-ROC при использовании ИИ (табл. 4) [37].

Важно учитывать, что применение ИИ в медицинской визуализации и диагностике требует тща-

радиологам дополнительную информацию и рекомендации, улучшая качество клинического решения [43]. AI-RAD Companion Mammo легко интегрируется с существующими системами и ускоряет процесс оценки изображений [43]. Этот продукт уже используется

в медицинских учреждениях по всему миру и получил положительные отзывы за повышение эффективности диагностики рака молочной железы [43].

Ниже представлена обобщенная таблица, в которой отражены основные функции и преимущества трех платформ искусственного интеллекта, используемых в скрининге рака молочной железы (табл. 5).

ру, обучение и разработку доступных технологий, а также улучшение законодательства [46].

Обсуждение. Современные методы скрининга рака молочной железы имеют разную эффективность. Маммография, оставаясь доступным и специфичным методом, менее эффективна у женщин с плотной тканью груди. Цифровой томосинтез

Сравнительная таблица по ИИ для скрининга молочной железы

Таблица 5
Table 5

Платформа/Проект	Основные функции и преимущества	Источники исследований
MammoScreen	1. Повышение точности диагностики: снижение количества ложноположительных и ложноотрицательных результатов. 2. Уменьшение нагрузки на радиологов за счет автоматизации анализа маммограмм. 3. Интеграция с клиническими рабочими процессами без значительных изменений. 4. Поддержка принятия решений через дополнительные данные и аналитику	Kim H. E. et al. The Lancet Digital Health. 2020. Vol. 2, No. 3, P. e138–e148. Salim M. et al. JAMA Oncology. 2020. Vol. 6, No. 10. P. 1581–1588
Lunit INSIGHT MMG	1. Высокая точность в определении подозрительных образований, даже мелких и труднодоступных. 2. Сокращение времени анализа, обеспечивая быструю обратную связь радиологам. 3. Уменьшение ложноположительных результатов, снижая количество ненужных биопсий. 4. Легкая интеграция в существующие медицинские системы	Larsen M. et al. Radiology: Artificial Intelligence. 2024. Park E.K. et al. Radiology: Artificial Intelligence. 2024. Lee S.E. et al. Korean Journal of Radiology. 2024. Vol. 25
AI-RAD Companion Mammo	1. Автоматизация и повышение точности диагностики через продвинутые алгоритмы. 2. Поддержка клинических решений с дополнительной информацией о заболевании. 3. Совместимость с большинством медицинских визуализационных систем. 4. Улучшение рабочего процесса за счет автоматической классификации особенностей	Niehof J. H. et al. Scientific Reports. 2023. Vol. 13, No. 1. P. 3680

Использование ИИ в медицинской диагностике поднимает важные юридические и этические вопросы [43, 45]. Юридические аспекты включают определение ответственности за ошибки ИИ, обеспечение конфиденциальности данных и разработку регулирующих стандартов [43, 45]. Этические аспекты включают обеспечение справедливого доступа к технологиям, прозрачность и объяснимость ИИ, уважение автономии пациента и предотвращение предвзятости в алгоритмах [45]. Сотрудничество между различными сторонами необходимо для решения этих вопросов и обеспечения этичного использования ИИ в медицине.

Внедрение ИИ в медицинскую диагностику затруднено технологическими и экономическими барьерами, особенно в регионах с низким уровнем дохода [46]. Технологические барьеры включают отсутствие необходимой инфраструктуры и квалифицированных специалистов, а также проблемы совместимости данных [46]. Экономические препятствия связаны с высокой стоимостью разработки и поддержки систем ИИ [46]. Для преодоления этих барьеров необходимо глобальное сотрудничество и поддержка, включая инвестиции в инфраструктуру

и МРТ показывают более высокую чувствительность в выявлении рака на ранних стадиях. Искусственный интеллект улучшает точность диагностики, анализируя изображения и снижая количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Однако МРТ имеет высокую стоимость и ограниченную доступность, а также может вызывать аллергические реакции. При выборе метода скрининга необходимо учитывать индивидуальные риски и побочные эффекты. В заключение, не существует универсального метода скрининга, и дальнейшие исследования необходимы для разработки более совершенных и доступных методов диагностики.

Заключение. Обзор современных методов скрининга рака молочной железы выявил их разную эффективность. Маммография остается стандартом, но имеет ограничения при высокой плотности груди. Томосинтез и МРТ повышают чувствительность, а ИИ улучшает точность диагностики. Однако МРТ является дорогостоящей и не всегда доступной, а ИИ требует дальнейших исследований. Выбор метода скрининга должен учитывать индивидуальные особенности пациенток.

Сведения об авторах:
Жумагулова Салтанат Пернебаевна — резидент-радиолог, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский медицинский университет»; Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, д. 40; ORCID 0009–0002–2623–422X;

Даулетбек Фатима Бақытбекқызы — резидент-радиолог, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский медицинский университет»; Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, д. 40; ORCID 0009–0003–1020–0241;

Келдиев Асқат Мақсатулы — резидент-радиолог, некоммерческое акционерное общество «Карагандинский медицинский университет»; Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, д. 40; ORCID 0009–0005–5632–6020.

Information about authors:

Saltanat P. Zhumagulova — Radiology Resident; NCJSC «Karaganda Medical University»; 40 Gogol Street, Karaganda, Republic of Kazakhstan; ORCID 0009–0002–2623–422X;

Fatima B. Dauletbek — Radiology Resident; NCJSC «Karaganda Medical University»; 40 Gogol Street, Karaganda, Republic of Kazakhstan; ORCID 0009–0003–1020–0241;

Askat M. Keldiyev — Radiology Resident; NCJSC «Karaganda Medical University»; 40 Gogol Street, Karaganda, Republic of Kazakhstan; ORCID 0009–0005–5632–6020.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — С.П. Жумагулова, Ф.Б. Даулетбек; сбор и анализ данных — С.П. Жумагулова; подготовка рукописи — С.П. Жумагулова, Ф.Б. Даулетбек, А.М. Келдиев.

Contribution. All authors met the ICMJE authorship criteria and study design — SPZh, FBD; data collection and analysis — SPZh; manuscript preparation — SPZh, FBD, AMK.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declare that they have no competing interests.

Поступила/Received: 25.04.2024

Принята к печати/Accepted: 29.05.2025

Опубликована/Published: 29.09.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Harbeck N., Penault-Llorca F., Cortes J. et al. Breast cancer // *Nature Reviews Disease Primers*. 2019. Vol. 5, No. 1. P. 66. doi: 10.1038/s41572-019-0111-2.
- Baker S.G., Prorok P.C. Breast cancer overdiagnosis in stop-screen trials: more uncertainty than previously reported // *Journal of Medical Screening*. 2020. Vol. 27, No. 4. P. 232–236. doi: 10.1177/0969141320950784.
- Bitencourt A.G., Rossi Saccarelli C., Kuhl C., Morris E.A. Breast cancer screening in average-risk women: towards personalized screening // *British Journal of Radiology*. 2019. Vol. 92, No. 1103, Art. 20190660. doi: 10.1259/bjr.20190660.
- Pashayan N., Antoniou A.C., Ivanus U. et al. Personalized early detection and prevention of breast cancer: ENVISION consensus statement // *Nature Reviews Clinical Oncology*. 2020. Vol. 17, No. 11. P. 687–705. doi: 10.1038/s41571-020-0388-9.
- Држевецкая К.С. Обзор подходов к массовому скринингу рака молочной железы в России и мире // *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2020. Т. 10, № 4. С. 225–236. [Drzhevetskaya K.S. Review of approaches to mass breast-cancer screening in Russia and worldwide. *Russian Electronic Journal of Radiology Diagnostics*, 2020, Vol. 10, No. 4, pp. 225–236 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2020-10-4-225-236>.
- Азимханова Г.К., Узакбаева Ж.У. Распространенность рака молочной железы (обзор литературы) // *Theoretical and Applied Science*. 2020. № 2 (82). С. 350–354. [Azimkhanova G.K., Uzakbaeva Zh.U. Breast-cancer prevalence: literature review. *Theoretical & Applied Science*, 2020, No. 2 (82), pp. 350–354 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15863/TAS.2020.02.82.57>.
- Chhikara B.S., Parang K. Global Cancer Statistics 2022: the trends projection analysis // *Chemical Biology Letters*. 2023. Vol. 10, No. 1. P. 451.
- Giaquinto A.N., Sung H., Newman L.A., et al. Breast cancer statistics 2024 // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2024. Vol. 74, No. 6. P. 477–495. doi: 10.3322/caac.21863.
- Harkness E.F., Astley S.M., Evans D.G. Risk-based breast cancer screening strategies in women // *Best Practice & Research Clinical Obstetrics and Gynaecology*. 2020. Vol. 65. P. 3–17. doi: 10.1016/j.bpobgyn.2019.11.005.
- Allweis T.M., Hermann N., Berenstein-Molho R., Guindy M. Personalized screening for breast cancer: rationale, present practices, and future directions // *Annals of Surgical Oncology*. 2021. Vol. 28, No. 3. P. 1204–1216. doi: 10.1245/s10434-020-09426-1.
- Cerdas M., Farhat J., Elshafie S.I., et al. Exploring the evolution of breast cancer imaging: a review of conventional and emerging modalities // *Cureus*. 2025. Vol. 17, No. 4. e82762. doi: 10.7759/cureus.82762.
- Бурдина И.И., Запирова С.Б., Лабазанова П.Г. и др. Развитие маммографии в России и мире // *Медицинский алфавит*. 2023. № 27. С. 13–20. [Burdina I.I., Zapirova S.B., Labazanova P.G. et al. Development of mammography in Russia and worldwide. *Medical Alphabet*, 2023, No. 27, pp. 13–20 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-27-13-20>.
- Nicosia L., Di Giulio G., Codari M. et al. History of mammography: analysis of breast imaging diagnostic achievements over the last century // *Healthcare (Basel)*. 2023. Vol. 11, No. 11, Art. 1596. doi: 10.3390/healthcare11111596.
- Aristokli N., Christodoulou C., Masoura K. et al. Comparison of the diagnostic performance of MRI, ultrasound and mammography for detection of breast cancer based on tumor type, breast density and patient's history: a review // *Radiography*. 2022. Vol. 28, No. 3. P. 848–856. doi: 10.1016/j.radi.2022.02.003.
- Fico N., Pizzuto D., Mencias A. et al. Breast imaging physics in mammography (Part I) // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, No. 20, 3227. doi: 10.3390/diagnostics13203227.
- Pereira R.O., Chojniak R., Bitencourt A.G.V. et al. Evaluation of the accuracy of mammography, ultrasound and magnetic resonance imaging in suspect breast lesions // *Clinics (São Paulo)*. 2020. Vol. 75. e1805. doi: 10.6061/clinics/2020/e1805.
- Boca I., Pătrașcu A., Vasile C. et al. Pros and cons for automated breast ultrasound (ABUS): a narrative review // *Journal of Personalized Medicine*. 2021. Vol. 11, No. 8, P. 703. doi: 10.3390/jpm11080703.
- Sujlana P.S., Srivastava P.N., Gopinathan A. et al. Digital breast tomosynthesis: image acquisition principles and artifacts // *Clinical Imaging*. 2019. Vol. 55. P. 188–195. doi: 10.1016/j.clinimag.2018.07.013.

19. Canelo-Aybar C., Posso M., Montero-Gutierrez N. et al. Digital breast tomosynthesis compared to diagnostic mammographic projections among women recalled at screening mammography: a systematic review for the ECIBC // *Cancer Medicine*. 2021. Vol. 10, No. 7. P. 2191–2204. doi: 10.1002/cam4.3776.
20. Hofvind S., Holen Å. S., Hovda T. et al. Two-view digital breast tomosynthesis versus digital mammography in a population-based screening programme (To-Be): a randomised, controlled trial // *The Lancet Oncology*. 2019. Vol. 20, No. 6. P. 795–805. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30161-5.
21. Alabousi M., Shahid M., Tagliati F. et al. Digital breast tomosynthesis for breast cancer detection: a diagnostic test accuracy systematic review and meta-analysis // *European Radiology*. 2020. Vol. 30, No. 3. P. 2058–2071. doi: 10.1007/s00330-019-06467-3.
22. Skaane P., Bandos A.I., Gullien R. et al. Digital mammography versus digital mammography plus tomosynthesis in breast cancer screening: the Oslo Tomosynthesis Screening Trial // *Radiology*. 2019. Vol. 291, No. 1. P. 23–30. doi: 10.1148/radiol.2019180622.
23. Saadatmand S., Lourens M., Boosman H. et al. MRI versus mammography for breast cancer screening in women with familial risk (FaMRIsc): a multicentre, randomised, controlled trial // *The Lancet Oncology*. 2019. Vol. 20, No. 8. P. 1136–1147. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30320-5.
24. Zhu X., Yao X., Zhang L., Ma L. Diagnostic performance of mammography and magnetic resonance imaging for evaluating mammographically visible breast masses // *Journal of International Medical Research*. 2021. Vol. 49, No. 9. Art. 0300060520973092. doi: 10.1177/0300060520973092.
25. Lee S.H., Shin H.J., Moon W.K. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the breast: standardization of image acquisition and interpretation // *Korean Journal of Radiology*. 2021. Vol. 22, No. 1. P. 9–33. doi: 10.3348/kjr.2020.0803.
26. Baltzer P.A., Boetes C., Fischer U. et al. Diffusion-weighted imaging of the breast — a consensus and mission statement from the EUSOBI International Breast DWI Working Group // *European Radiology*. 2020. Vol. 30, No. 3. P. 1436–1450. doi: 10.1007/s00330-019-06374-7.
27. Bruno F., Tang J., Cheng H., Tsourkas A. Advanced magnetic resonance imaging techniques: technical principles and applications in nanomedicine // *Cancers*. 2022. Vol. 14, No. 7, Art. 1626. doi: 10.3390/cancers14071626.
28. Серебрякова С.В., Шумакова Т.А., Юхно Е.А., Куцкая А.О. Возможности МР-маммографии в диагностике реконструированной молочной железы после ком-плексного лечения рака (обзор литературы с собственными клиническими наблюдениями) // *Радиология — практика*. 2021. № 3. С. 88–102. [Serebryakova S.V., Shumakova T.A., Yukhno E.A., Kutskaia A.O. MRI-mammography for diagnosing reconstructed breasts after cancer therapy: literature review with own cases. *Radiology — Practice*, 2021, No. 3, pp. 88–102 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2021-3-88-102>.
29. Newman L.A. Role of preoperative MRI in the management of newly diagnosed breast cancer patients // *Journal of the American College of Surgeons*. 2020. Vol. 230, No. 3. P. 331–339. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2019.11.012.
30. Kuhl C.K. Abbreviated magnetic resonance imaging for breast cancer screening: rationale, concept, and transfer to clinical practice // *Annual Review of Medicine*. 2019. Vol. 70. P. 501–519. doi: 10.1146/annurev-med-041217-010739.
31. Foglia E., Castorina P., Gianfredi V. et al. Budget impact analysis of breast cancer screening in Italy: the role of new technologies // *Health Services Management Research*. 2020. Vol. 33, No. 2. P. 66–75. doi: 10.1177/0951484820920491.
32. Hernández M. L., Sardanelli F., Giunta D. et al. Abbreviated magnetic resonance imaging in breast cancer: a systematic review of literature // *European Journal of Radiology Open*. 2021. Vol. 8, Art. 100307. doi: 10.1016/j.ejro.2021.100307.
33. Najjar R. Redefining radiology: a review of artificial intelligence integration in medical imaging // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, No. 17, Art. 2760. doi: 10.3390/diagnostics13172760.
34. Tan X.J., Bitencourt A.G.V., Brennan P.C., Tang J. Artificial intelligence in breast imaging: a scientometric umbrella review // *Diagnostics (Basel)*. 2022. Vol. 12, No. 12, Art. 3111. doi: 10.3390/diagnostics12123111.
35. Sheth D., Giger M. L. Artificial intelligence in the interpretation of breast cancer on MRI // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2020. Vol. 51, No. 5. P. 1310–1324. doi: 10.1002/jmri.26911.
36. Bitencourt A., Rubin D.L., Vargas H.A. AI-enhanced breast imaging: where are we and where are we heading? // *European Journal of Radiology*. 2021. Vol. 142, Art. 109882. doi: 10.1016/j.ejrad.2021.109882.
37. McKinney S.M., Sieniek M., Godbole V. et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening // *Nature*. 2020. Vol. 577, No. 7788. P. 89–94. doi: 10.1038/s41586-019-1799-6.
38. Kim H.E., Kim H.S., Moon W.K. Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study // *The Lancet Digital Health*. 2020. Vol. 2, No. 3. P. e138–e148. doi: 10.1016/S2589-7500(20)30003-0.
39. Salim M., Rodríguez-Ruiz A., Helvie M.A. et al. External evaluation of three commercial artificial intelligence algorithms for independent assessment of screening mammograms // *JAMA Oncology*. 2020. Vol. 6, No. 10. P. 1581–1588. doi: 10.1001/jamaoncol.2020.2790.
40. Larsen M., Heiberg M.L., Balleyguier C., Zahl P.H. Performance of an AI system for breast cancer detection on screening mammograms from BreastScreen Norway // *Radiology: Artificial Intelligence*. 2024. Art. e230375. doi: 10.1148/ryai.230375.
41. Park E.K., Hong H., Lee S.E., Kim E.K. Impact of AI for digital breast tomosynthesis on breast cancer detection and interpretation time // *Radiology: Artificial Intelligence*. 2024. Art. e230318. doi: 10.1148/ryai.230318.
42. Lee S.E., Hong H., Kim E.K. Positive predictive values of abnormality scores from a commercial AI-based CAD for mammography // *Korean Journal of Radiology*. 2024. Vol. 25, No. 7. P. 741–749. doi: 10.3348/kjr.2023.1133.
43. Carter S., Leslie-Mazwi T., Horvitz E., Mattick J. S. Ethical, legal and social implications of artificial intelligence systems for screening and diagnosis // *Conference paper*. 2019.
44. Niehoff J.H., Kalaitzidis J., Kroeger J.R. et al. Evaluation of the clinical performance of an AI-based application for automated analysis of chest X-rays // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13, No. 1, Art. 3680. doi: 10.1038/s41598-023-29661-3.
45. Geis J.R., Brady A.P., Wu C.C. et al. Ethics of artificial intelligence in radiology: summary of the joint European and North American multisociety statement // *Radiology*. 2019. Vol. 293, No. 2. P. 436–440. doi: 10.1148/radiol.2019191586.
46. Tachkov K., Damyanova I., Atanasova K. Barriers to use artificial intelligence methodologies in health technology assessment in Central and East European countries // *Frontiers in Public Health*. 2022. Vol. 10, Art. 921226. doi: 10.3389/fpubh.2022.921226.