

DOI: 10.17650/1994-4098-2023-19-2-54-60



# Результаты научно-исследовательской работы Российского общества онкомаммологов «Использование искусственного интеллекта для раннего выявления рака молочной железы»

В.И. Павлова<sup>1</sup>, Ю.А. Белая<sup>2</sup>, А.Ю. Воронцов<sup>3</sup>, А.А. Прищепов<sup>1</sup>, С.М. Князев<sup>2</sup>, А.А. Михайлов<sup>3</sup>,  
А.В. Ковалева<sup>2</sup>, Э.Г. Аревшатян<sup>3</sup>, Р.М. Палтуев<sup>4</sup>, А.В. Чёрная<sup>4</sup>, Н.А. Захарова<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, 625023 Тюмень, ул. Одесская, 54;

<sup>2</sup>БУ ХМАО – Югра «Окружная клиническая больница»; Россия, 628011 Ханты-Мансийск, ул. Калинина, 40;

<sup>3</sup>ГБУЗ НО «Нижегородский областной клинический онкологический диспансер»; Россия, 603093 Нижний Новгород, ул. Деловая, 11/1;

<sup>4</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Петрова» Минздрава России; Россия, 197758 Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, 68;

<sup>5</sup>Luton and Dunstable University Hospital; Lewsey Road, Luton, LU4 0DZ, United Kingdom

**Контакты:** Валерия Игоревна Павлова [pavlova.valeria@mail.ru](mailto:pavlova.valeria@mail.ru); Юлия Алексеевна Белая [juliyabelaya86@gmail.com](mailto:juliyabelaya86@gmail.com)

Рак молочной железы (РМЖ) является основной онкологической патологией среди женщин и одной из ведущих причин смертности от онкологических заболеваний в России и большинстве стран мира. В странах с маммографическим скринингом отмечается снижение смертности от РМЖ. Внедрение в практику рентгенолога платформ оценки маммографических изображений, основанных на работе искусственного интеллекта, позволяет не только увеличить охват женского населения, снизить затраты на проведение скрининга, но и повысить чувствительность и специфичность маммографии как метода скрининга РМЖ.

В статье приведены результаты исследования по оценке маммографических снимков у женщин, прошедших профилактическое исследование с использованием программы искусственного интеллекта.

В рамках настоящего проекта у 8030 пациенток были проанализированы маммографические снимки с помощью сервиса для просмотра медицинских изображений «Цельс». В исследовании проведена оценка по возрастным группам 40–49 лет, 50–59 лет, 60 лет и старше. Средний возраст пациенток с подозрением на РМЖ составил 54,8 года. РМЖ выявлен у 13 (1,2 %) женщин, при этом наибольшая доля РМЖ была выявлена в группе с маммографической плотностью D.

**Ключевые слова:** рак молочной железы, маммография, искусственный интеллект

**Для цитирования:** Павлова В.И., Белая Ю.А., Воронцов А.Ю. и др. Результаты научно-исследовательской работы Российского общества онкомаммологов «Использование искусственного интеллекта для раннего выявления рака молочной железы». Опухоли женской репродуктивной системы 2023;19(2):54–60. DOI: 10.17650/1994-4098-2023-19-2-54-60

## Results of research work Russian society of oncomammologists “The use of artificial intelligence for early detection of breast cancer”

V.I. Pavlova<sup>1</sup>, Yu.A. Belaya<sup>2</sup>, A.Yu. Vorontsov<sup>3</sup>, A.A. Prishchepov<sup>1</sup>, S.M. Knyazev<sup>2</sup>, A.A. Mikhaylov<sup>3</sup>, A.V. Kovaleva<sup>2</sup>,  
E.G. Arevshatyan<sup>3</sup>, R.M. Paltuev<sup>4</sup>, A.V. Chernaya<sup>4</sup>, N.A. Zakharova<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Tyumen State Medical University, Ministry of Health of the Russia; 54 Odesskaya St., Tyumen 625023, Russia;

<sup>2</sup>Khanty-Mansiysk Regional Clinical Hospital; 40 Kalinina St., Khanty-Mansiysk 628011, Russia;

<sup>3</sup>Nizhny Novgorod Regional Clinical Oncological Dispensary; 11/1 Delovaya St., Nizhny Novgorod 603093, Russia;

<sup>4</sup>N.N. Petrov National Medical Research Oncology Center, Ministry of Health of Russia; 68 Leningradskaya St., Pesochnyy Settlement, Saint Petersburg 197758, Russia;

<sup>5</sup>Luton and Dunstable University Hospital; Lewsey Road, Luton, LU4 0DZ, United Kingdom

**Contacts:** Valeriya Igorevna Pavlova [pavlova.valeria@mail.ru](mailto:pavlova.valeria@mail.ru); Yuliya Alekseevna Belaya [juliyabelaya86@gmail.com](mailto:juliyabelaya86@gmail.com)

Breast cancer is the most common cancer in women and one of the leading causes of death from cancer in Russia and most countries of the world. In countries with mammographic screening, there is a decrease in mortality from breast cancer. Introduction of mammographic image evaluation platforms into radiologist practice based on the work of artificial intelligence it allows not only to increase the coverage of the female population, but also to reduce the cost of screening, but it also increases the sensitivity and specificity of mammography as a method of breast cancer screening.

The article presents the results of a study on the evaluation of mammographic images in women who have passed a preventive study using an artificial intelligence program.

Within the framework of this project, mammographic images were analyzed using the service for viewing medical images "Celsus" in 8030 patients. The study assessed the age groups of 40–49 years, 50–59 years, 60 years and older. The average age of patients with suspected breast cancer was 54.8 years. Breast cancer was detected in 13 women (1.2 %), while the highest percentage of breast cancer was detected in the group with mammographic density D.

**Keywords:** breast cancer, mammography, artificial intelligence

**For citation:** Pavlova V.I., Belaya Yu.A., Vorontsov A.Yu. et al. Results of research work Russian society of oncomammologists "The use of artificial intelligence for early detection of breast cancer". *Opukholi zhenskoy reproduktivnoy systemy = Tumors of female reproductive system* 2023;19(2):54–60. (In Russ.). DOI: 10.17650/1994-4098-2023-19-2-54-60

## Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является основной онкологической патологией среди женщин и одной из ведущих причин смертности от онкологических заболеваний в России и большинстве стран мира [1, 2]. В странах с маммографическим скринингом отмечается снижение смертности от РМЖ [3]. В России РМЖ среди всех злокачественных новообразований у женского населения занимает 1-е место, и его частота составляет 22,1 %.

Маммография – единственный метод скрининга, доказавший свою эффективность и являющийся стандартом в диагностике РМЖ для женщин старше 40 лет, выполняется в краниокаудальной и медиолатеральной проекциях [1, 4]. Благодаря этому методу за несколько десятилетий снижение смертности от РМЖ составило до 35 % [5–7]. Кроме того, ранняя диагностика и адекватное лечение РМЖ с учетом биологических особенностей опухоли позволяют сохранить высокий уровень качества жизни пациенток [8]. В настоящее время в Российской Федерации рекомендованный возраст начала маммографического скрининга также составляет 40 лет [9].

Ранняя диагностика РМЖ основана на анализе маммографических изображений с целью выявления патологических изменений. Скрининг РМЖ включает в себя интерпретацию маммографических изображений для выявления подозрительных изменений, при обнаружении которых может потребоваться дообследование [10]. Анализ маммограмм – одна из самых сложных задач во всей лучевой диагностике.

В описании скрининговых маммограмм имеют значение следующие факторы: тип структуры молочной железы, плотный маммографический фон, возраст пациенток, позиционирование, степень компрессии, количество просмотренных снимков в опыте рентгено-

лога, нагрузка на врача-рентгенолога – все эти факторы могут способствовать пропуску РМЖ [11–13]. У 8–10 % женщин, которые проходят скрининг, встречаются ложноположительные результаты. До 20–25 % очаговой патологии на маммограммах не описаны в заключении рентгенолога [14–16]. Избежать ошибки в ряде случаев помогает «двойное чтение» маммограмм, когда 2 независимых рентгенолога оценивают изображение. В России «двойное чтение» не входит в стандарт выполнения маммографии, также высокая нагрузка врачей-рентгенологов не позволяет в рутинной практике широко использовать «двойное чтение» маммографических изображений [4].

В мире уже введено несколько алгоритмов, которые применяют с целью помощи врачу-рентгенологу в описании маммографических снимков, учитывая активный спрос к применению систем искусственного интеллекта (ИИ) в области медицинской визуализации [17]. Данные, опубликованные S.M. McKinney и соавт. в журнале *Nature* в 2020 г., показали, что эффективность диагностики РМЖ по маммограммам с применением ИИ была не хуже в сравнении с точностью диагностики РМЖ при двойном просмотре рентгенологами [3]. По результатам этого исследования сделан вывод о том, что ИИ выявляет РМЖ на маммографических снимках, за счет чего отмечается снижение числа ложноположительных результатов при первом чтении маммограмм врачом-рентгенологом: на 1,2 % в Великобритании и на 5,7 % в США, а числа ложноотрицательных результатов – на 2,7 % в Великобритании и на 9,4 % в США. Более чем в 80 % случаев зафиксировано снижение необходимости «двойного чтения», что снижает рабочую нагрузку на врачей-рентгенологов [13]. Внедрение в практику ИИ повышает специфичность и чувствительность маммографических обследований, а также эффективность работы врача-рентгенолога.

Приводим результаты исследования анализа маммографических снимков с использованием программы ИИ «Цельс». Сервис детектирует и выделяет на снимках злокачественные и доброкачественные новообразования, кальцинаты, лимфатические узлы, фиброзно-кистозную мастопатию и присваивает снимку категорию BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System, система описания и обработки данных лучевых исследований молочной железы). Также система автоматически формирует описание снимков [18].

**Цель работы** – повысить качество программы скрининга и раннего выявления РМЖ с помощью ИИ для улучшения качества онкологической помощи российским женщинам. Задачи проекта: 1) показать роль ИИ для выявления заболеваний молочной железы; 2) сравнить эффективность маммографии с использованием ИИ у женщин в возрасте 40–49 лет против групп 50–59 лет, 60 и более лет; 3) информировать специалистов о возможности внедрения ИИ в план обследования женщин в возрасте 40 лет и старше.

### Материалы и методы

В исследование были включены женщины старше 40 лет, которым по программе скрининга была выполнена маммография в 2 проекциях.

В рамках настоящего проекта у 8030 пациенток были проанализированы маммографические снимки с помощью сервиса для анализа медицинских изобра-

жений «Цельс». В исследовании участвовало 3 медицинских центра, число снимков в каждом центре составило: ГАУЗ ТО МКМЦ «Медицинский город» (Тюмень) – 4957; БУ ХМАО – Югра «Окружная клиническая больница» (Ханты-Мансийск) – 1657; ГБУЗ НО «Нижегородский областной клинический онкологический диспансер» (Нижний Новгород) – 1492.

Пациентки были распределены по группам согласно возрасту на момент исследования, подробные данные приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Статистическая обработка результатов, полученных при выполнении исследования, проводилась в программной среде пакетов прикладных программ Statistica 10 и SAS. Отдельные виды анализа были выполнены совместно с независимым биостатистиком (Центр статистических исследований STAT Research).

Для описания числовых показателей применяли среднее значение и стандартное отклонение в формате « $M \pm S$ ». На всех графиках для количественных переменных среднее арифметическое обозначено точкой, медиана – горизонтальным отрезком, внутриквартильный размах представлен прямоугольником, минимальные и максимальные значения – вертикальными отрезками.

Сравнение 2 групп по количественным шкалам осуществляли с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Сравнение 3 и более групп по числовым

Таблица 1. Распределение пациенток по возрасту

Table 1. Patient distribution by age

Показатель Parameter	Возрастная группа Age group			p (df = 2)
	40–49 лет 40–49 years (n = 2216)	50–59 лет 50–59 years (n = 2463)	60 лет и старше 60 years and older (n = 3351)	
Возраст, лет Age, years	44,52 ± 2,89	54,84 ± 2,87	66,64 ± 5,47	<0,0001

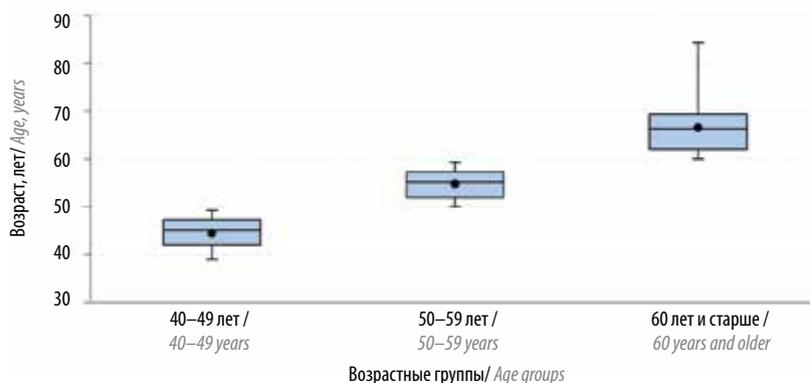


Рис. 1. Распределение пациенток по возрасту

Fig. 1. Patient distribution by age

шкалам проводили на основе непараметрического критерия Краскела—Уоллиса. Статистическую достоверность различий групп для бинарных и номинальных шкал определяли с использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона. Уровень статистической значимости был зафиксирован на уровне 0,05.

### Результаты

Рак молочной железы был верифицирован у 13 (0,2 %) пациенток из участвующих в исследовании. Данные результаты соответствовали морфологической верификации диагноза.

При использовании ИИ анализ заключений распределялся по следующей оценочной шкале:

- 0 – подозрение на РМЖ; патология выявлена у 1119 (13,9 %) пациенток;
- 1 – патология не определена – у 4141 (51,6 %) пациенток;
- 2 – определены новообразования без подозрения на онкологию – у 2847 (35,5 %) пациенток.

В табл. 2 приведен анализ распределения случаев в зависимости от выявления патологии молочной железы.

На основании данных табл. 2 можно сделать следующие выводы: категория «РМЖ» при анализе мам-

мограмм врачом-рентгенологом без использования ИИ наблюдается в 0,2 % случаев, также было затрачено время на просмотр всех 8030 случаев.

При анализе маммограмм с использованием ИИ в 51,1 % случаев патология не была выявлена, что подтвердилось оценкой врача-рентгенолога и данными канцер-регистра всех 3 медицинских центров. Таким образом, работа показывает, что при использовании ИИ не было отмечено ложноотрицательных результатов в выявлении РМЖ и примерно в половине случаев нет необходимости привлекать врача-рентгенолога. А в 1119 (13,9 %) случаях ИИ определил признаки онкологического заболевания, что в разы сократило работу врача-рентгенолога для дополнительного анализа маммографических изображений и более эффективного, с точки зрения трудозатрат, выявления РМЖ.

Таким образом, РМЖ с использованием платформы ИИ выявлен у 1,2 % пациенток против 0,2 % без применения ИИ (табл. 3).

Анализ маммограмм с помощью ИИ показывает, что наиболее часто подозрение на РМЖ ИИ выявлял в группе пациенток в возрасте 40–49 лет (17,5 %) (рис. 2).

При сравнении групп пациенток с выявленным РМЖ в группе с использованием ИИ РМЖ выявлялся достоверно чаще ввиду того, что анализ маммограмм

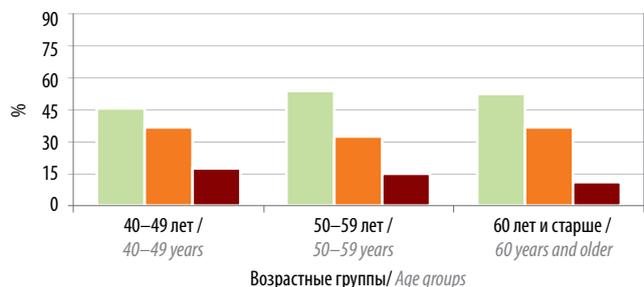
**Таблица 2.** Упорядоченный частотный анализ бинарных показателей для категорий «рак молочной железы» и «результат» (число случаев и доли),  $n = 8030$   
**Table 2.** Order-frequency analysis of binary variables for the categories “breast cancer” and “result” (number of cases and proportions),  $n = 8030$

Показатель Parameter	Число случаев, $n$ Number of cases, $n$	Доля случаев, % Proportion of cases, %
<b>Оценка маммограмм врачом-рентгенологом</b> Evaluation of mammograms by a radiologist		
Рак молочной железы Breast cancer	13	0,2
<b>Оценка маммограмм с применением искусственного интеллекта</b> Evaluation of mammograms using artificial intelligence		
Патология не определена – 1 No pathology–1	4141	51,6
Определены новообразования без подозрения на онкологию – 2 Non-cancerous tumor–2	2847	35,5
Подозрение на онкологию, патология – 0 Suspected cancer, pathology–0	1119	13,9

**Таблица 3.** Доля выявленных с применением искусственного интеллекта случаев рака молочной железы  
**Table 3.** Proportion of breast cancer cases detected using artificial intelligence

Показатель Parameter	Всего Total	Число случаев, $n$ Number of cases, $n$	Доля случаев, % Proportion of cases, %
Рак молочной железы Breast cancer	1119	13	1,2

1 – патология не определена / 1 – no pathology  
2 – определены новообразования без подозрения на онкологию / 2 – non-cancerous tumor  
0 – подозрение на онкологию, патология / 0 – suspected cancer, pathology



**Рис. 2.** Распределение патологии (%) в возрастных группах с использованием искусственного интеллекта  
**Fig. 2.** Distribution of pathology (%) in age groups using artificial intelligence

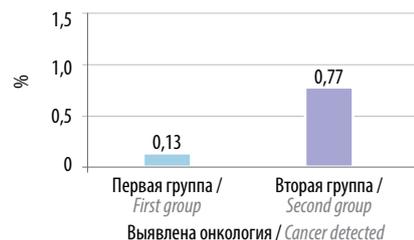
проводился на меньшей выбранной ИИ группе пациенток с подозрением на РМЖ. Наибольшие статистические различия выявлены в возрастной группе 60 лет и старше. Подробные данные представлены в табл. 4 и на рис. 3–5.

При сравнительном анализе эффективности методик на фоне различной рентгеновской плотности тканей молочной железы в общей группе из 8030 пациенток было выявлено 6077 (75,7 %) пациенток с А-типом плотности тканей молочной железы по классификации Американского колледжа радиологов (ACR), 1115 (13,9 %) с В-типом, 786 (9,8 %) с С-типом и 71 (0,9 %) пациентка с D-типом плотности тканей молочной железы. Согласно ACR рентгеновская плотность тканей молочной железы классифицируется следующим образом: А – полностью жировая, В – жировая с рассеянной фиброглангулярной тканью, С – неоднородно плотная, D – чрезвычайно плотная. В соответствии с международными рекомендациями ACR молочная железа оценивалась как плотная при С- и D-вариантах маммографической картины [19].

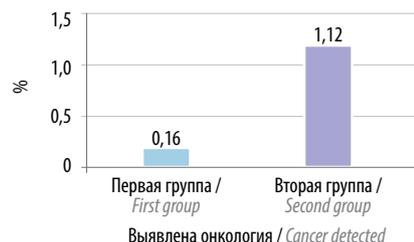
**Таблица 4.** Сравнение групп пациенток с выявленным раком молочной железы в группе с использованием искусственного интеллекта и без него  
**Table 4.** Comparison of patient groups with breast cancer detected with and without artificial intelligence

Возрастная группа Age group	Первая группа – без ИИ First group (no AI)	Вторая группа – с ИИ Second group (with AI)	<i>p</i>	С поправкой Йетса With Yates's correction
40–49 лет 40–49 years ( <i>n</i> = 2216)	3/2216 (0,13 %)	3/387 (0,77 %)	0,0155	0,0647
50–59 лет 50–59 years ( <i>n</i> = 2463)	4/2463 (0,16 %)	4/357 (1,12 %)	0,0015	0,0081
60 лет и старше 60 years and older ( <i>n</i> = 3351)	6/3351 (0,18 %)	6/365 (1,64 %)	<0,0001	<0,0001

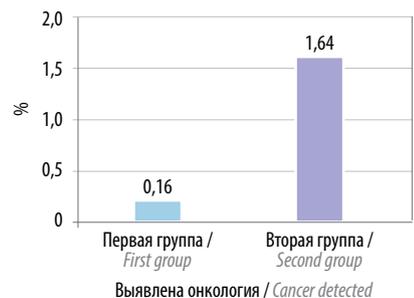
**Примечание.** ИИ – искусственный интеллект.  
**Note.** AI – artificial intelligence.



**Рис. 3.** Сравнение анализа результатов маммографии с использованием искусственного интеллекта и без него в возрастной группе 40–49 лет  
**Fig. 3.** Comparison of mammography findings obtained with and without artificial intelligence in patients aged 40–49 years



**Рис. 4.** Сравнение анализа результатов маммографии с использованием искусственного интеллекта и без него в возрастной группе 50–59 лет  
**Fig. 4.** Comparison of mammography findings obtained with and without artificial intelligence in patients aged 50–59 years



**Рис. 5.** Сравнение анализа результатов маммографии с использованием искусственного интеллекта и без него в возрастной группе 60 лет и старше  
**Fig. 5.** Comparison of mammography findings obtained with and without artificial intelligence in patients aged 60 years and older

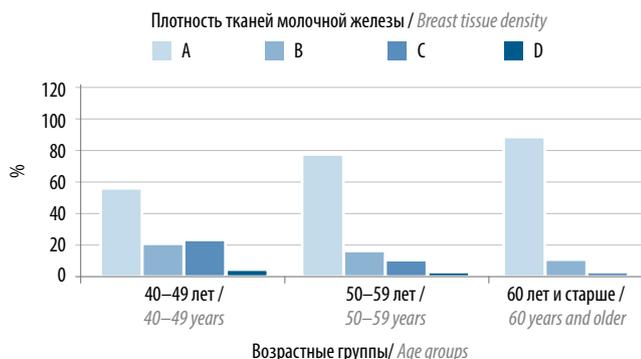


Рис. 6. Оценка плотности тканей молочной железы в зависимости от возраста пациенток

Fig. 6. Assessment of breast tissue density depending on patients' age

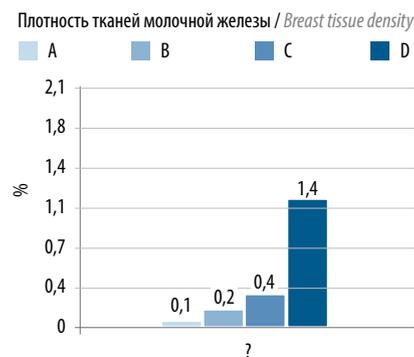


Рис. 7. Частота выявления рака молочной железы в зависимости от плотности тканей молочной железы

Fig. 7. Frequency of breast cancer detection depending on breast tissue density

При оценке маммографической плотности наибольшую плотность тканей молочной железы ИИ отмечал в группе женщин 40–49 лет, наименьшую – в группе 60+ лет (рис. 6).

В целом плотность тканей молочной железы коррелирует с оценкой выявления патологии (РМЖ) с помощью ИИ. Мы отметили, что наиболее часто ИИ выявлял патологию в группе пациенток с наибольшей плотностью тканей молочной железы (рис. 7).

## Выводы

1. Полученные результаты позволяют определить в настоящее время роль ИИ при скрининге РМЖ как

помощь врачам-рентгенологам для исключения ошибок (не было выявлено ложноотрицательных заключений при оценке маммограмм ИИ) и снижения времени при анализе маммограмм за счет уменьшения количества снимков, требующих пересмотра врачом.

2. Результаты научно-исследовательской работы убедительно демонстрируют эффективность скрининга у женщин старше 40 лет.

3. Полученные результаты позволяют рекомендовать внедрение ИИ в российскую практическую медицину для увеличения охвата участвующего в скрининге женского населения, а также повышения экономической эффективности скрининговой маммографии.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Захарова Н.А., Семиглазов В.Ф., Duffy S.W. Скрининг рака молочной железы: проблемы и решения. М.: ГЭОТАР-МЕДИА, 2011. С. 65, 66.
- Zakharova N.A., Semiglazov V.F., Duffy S.W. Breast cancer screening: problems and solutions. Moscow: GEOTAR-MEDIA, 2011. Pp. 65, 66. (In Russ.)
- Злокачественные новообразования в России в 2021 г. (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России, 2022. 252 с.
- Situation with cancer care in Russia in 2021 (incidence and mortality). Ed. by A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, A.O. Shakhzadova. Moscow: P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute – a branch of the National Medical Research Center of Radiology, Ministry of Health of Russia, 2020. 239 p. (In Russ.)
- McKinney S.M., Sieniek M., Godbole V. et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. Nature 2020;577: 7788. DOI: 10.1038/s41586-019-1799-6
- Солодский В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В. и др. Возможности искусственного интеллекта в оценке риска рака молочной железы на маммографических изображениях (клинические примеры). Вестник Российского научного центра рентгенодиагностики 2023;(1):25–32.
- Solodskiy V.A., Kaprin A.D., Nudnov N.V. et al. Utility of artificial intelligence for assessing the risk of breast cancer on mammographic images (clinical examples). Vestnik Rossiyskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii = Bulletin of the Russian Research Center of Radiology 2023;(1):25–32. (In Russ.)
- Семиглазов В.Ф., Семиглазов В.В. Скрининг рака молочной железы. Практическая онкология 2011;(2):60–5.
- Semiglazov V.F., Semiglazov V.V. Breast cancer screening. Prakticheskaya onkologiya = Practical Oncology 2011;(2):60–5. (In Russ.)
- Хайленко В.А., Комова Д.В. Онкомаммология. М.: МЕДпресс-информ, 2015. С. 20–21.
- Khaylenko V.A., Komova D.V. Oncomammology. Moscow: MEDpress-inform, 2015. P. 20–21. (In Russ.)
- Чиссов В.И., Солодкин В.А., Пак Д.Д. и др. Скрининг рака молочной железы: история и перспективы. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена 2013;(2):46, 47.
- Chissov V.I., Solodkin V.A., Pak D.D. et al. Breast cancer screening: history and prospects. Onkologiya. Zhurnal imeni P.A. Gertsena = P.A. Herzen Journal of Oncology 2013;(2):46, 47. (In Russ.)
- Семиглазова Т.Ю., Дашян Г.А., Семиглазов В.В. Качество жизни – принципиальный критерий эффективности таргетной терапии метастатического HER2-положительного рака молочной железы. Современная онкология 2015;(1):19–24.
- Semiglazova T.Yu., Dashyan G.A., Semiglazov V.V. Quality of life as a fundamental criterion for the efficacy of targeted therapy for

- metastatic HER2-positive breast cancer. *Sovremennaya onkologiya = Current Oncology* 2015;(1):19–24. (In Russ.)
9. Кочергина Н.В., Иванкина О.В., Замогилина Я.А. и др. Первые результаты дистанционного маммографического скрининга рака молочной железы. *Российский онкологический журнал* 2014;(3):15–8.  
Kochergina N.V., Ivankina O.V., Zamogilnaya Ya.A. et al. The first results of remote mammographic screening of breast cancer. *Rossiyskiy onkologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Oncology* 2014;(3):15–8. (In Russ.)
  10. Houssami N., Lee C.I., Buist D.S.M. Artificial intelligence for breast cancer screening: Opportunity or hype? *Breast* 2017;(36):31–3. DOI: 10.1016/j.breast.2017.09.003
  11. Ekpo E.U., Alakhras M., Brennan P. Errors in mammography cannot be solved through technology alone. *Asian Pac J Cancer Prev* 2018;19(2):291–301. DOI: 10.22034/APJCP.2018.19.2.29
  12. Lamb L.R., Mohallem Fonseca M., Verma R., Seely J.M. Missed breast cancer: effects of subconscious bias and lesion characteristics. *Radiographics* 2020;40(4):941–60. DOI: 10.1148/rg.2020190090
  13. Seely J.M., Alhassan T. Screening for breast cancer in 2018 – what should we be doing today? *Curr Oncol* 2018;25(1):115–24. DOI: 10.3747/co.25.3770
  14. DeFrank J.T., Rimer B.K., Bowling J.M. et al. Influence of false-positive mammography results on subsequent screening: do physician recommendations buffer negative effects. *J Med Screen* 2012;19(1):35–41. DOI: 10.1258/jms.2012.01112
  15. Houssami N., Hunter K. The epidemiology, radiology and biological characteristics of interval breast cancers in population mammography screening. *NPJ Breast Cancer* 2017;3(12). DOI: 10.1038/s41523-017-0014-x
  16. Shi W., Nagler R.H., Fowler E.F. et al. Predictors of women's awareness of the benefits and harms of mammography screening and associations with confusion, ambivalence, and information seeking. *Health Commun* 2019:1–12. DOI: 10.1080/10410236.2019.1687129
  17. Морозов С.П., Говорухина В.Г., Диденко В.В. и др. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в скрининге рака молочной железы. *Вопросы онкологии* 2020;66(6):603–8.  
Morozov S.P., Govorukhina V.G., Didenko V.V. et al. Prospects of artificial intelligence (AI) technologies in breast cancer screening. *Voprosy onkologii = Problems in Oncology* 2020;66(6):603–8. (In Russ.)
  18. «Цельс». Маммография. Искусственный интеллект для выявления онкологии на ранней стадии. Доступно по: <https://celsus.ai/products-mammography/>.  
“Celsus”. Mammography. Artificial intelligence to detect cancer at an early stage. Available at: <https://celsus.ai/products-mammography/>. (In Russ.)
  19. Чёрная А.В., Ульянова Р.Х., Багненко С.С. и др. Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография – инструмент точной диагностики онкопатологии на фоне плотной ткани молочной железы. *Медицинская визуализация* 2023;27(1):25–34.  
Chernaya A.V., Ulyanova R.Kh., Bagnenko S.S. et al. Dual-energy contrast-enhanced spectral mammography: an instrument of accurate cancer diagnosis with dense breast tissue. *Meditinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization* 2023;27(1):25–34. (In Russ.)

**Вклад авторов**

Р.М. Палтуев, В.И. Павлова, Ю.А. Белая, А.Ю. Воронцов: разработка дизайна исследования, сбор данных для анализа, анализ полученных данных, написание статьи;

А.А. Прищепов, С.М. Князев, А.А. Михайлов, А.В. Ковалева, Э.Г. Аревшатян: сбор и анализ данных;  
А.В. Чёрная, Н.А. Захарова: сбор и анализ данных, обзор публикаций по теме статьи, написание статьи.

**Authors' contributions**

R.M. Paltuev, V.I. Pavlova, Yu.A. Belaya, A.Yu. Vorontsov: research design development, data collection for analysis, analysis of the data obtained, writing the article;

A.A. Prishchepov, S.M. Knyazev, A.A. Mikhaylov, A.V. Kovaleva, E.G. Arevshatyan: data collection and analysis;  
A.V. Chernaya, N.A. Zakharova: data collection and analysis, review of publications on the topic of the article, writing the article.

**ORCID авторов / ORCID of authors**

В.И. Павлова / V.I. Pavlova: <https://orcid.org/0000-0002-0899-0809>

А.А. Прищепов / A.A. Prishchepov: <https://orcid.org/0000-0002-5639-7321>

Р.М. Палтуев / R.M. Paltuev: <https://orcid.org/0000-0002-0871-9453>

А.В. Чёрная / A.V. Chernaya: <https://orcid.org/0000-0002-7975-3165>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Финансирование.** Работа выполнена без спонсорской поддержки.

**Funding.** The work was performed without external funding.

**Статья поступила:** 21.06.2023. **Принята к публикации:** 18.07.2023.

**Article submitted:** 21.06.2023. **Accepted for publication:** 18.07.2023.