

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

# Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года

А.В. Гусев<sup>1, 2</sup>, А.В. Владимирский<sup>3</sup>, Д.Е. Шарова<sup>3</sup>, К.М. Арзамасов<sup>3</sup>, А.Е. Храмов<sup>4, 5</sup><sup>1</sup> К-Скай, Петрозаводск, Российская Федерация<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения, Москва, Российская Федерация<sup>3</sup> Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация<sup>4</sup> Университет Иннополис, Казань, Российская Федерация<sup>5</sup> Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Применение технологий искусственного интеллекта в российском здравоохранении является одним из приоритетных направлений реализации национальной стратегии развития искусственного интеллекта в нашей стране. Внедрение цифровых решений в медицинских организациях на основе искусственного интеллекта должно способствовать повышению уровня жизни населения и качества медицинской помощи, включая профилактические обследования, диагностику, основанную на анализе изображений, прогнозирование возникновения и развития заболеваний, подбор оптимальных дозировок лекарственных препаратов, сокращение угроз пандемий, автоматизацию и повышение точности хирургических вмешательств и т.д.

Идёт развитие нормативного и технического регулирования в сфере применения искусственного интеллекта в здравоохранении. Создан отечественный рынок соответствующих решений, некоторые из них получили регистрационные удостоверения Росздравнадзора как медицинские изделия. Различными научными коллективами выполняются исследовательские работы. Вместе с этим мы пока существенно отстаём от стран-лидеров в сфере искусственного интеллекта, таких как США и Китай. Инвестиции в продукты искусственного интеллекта для здравоохранения существенно снизились по итогам 2021 г. Основные причины отставания, как минимум с точки зрения рыночных показателей, находятся в низком спросе и ограниченных возможностях государственных медицинских организаций финансировать проекты искусственного интеллекта, а также в сфере доверия к безопасности и эффективности таких решений.

**Ключевые слова:** цифровое здравоохранение; искусственный интеллект; машинное обучение; большие данные; системы поддержки принятия решений; программное обеспечение; медицинские изделия.

## Как цитировать

Гусев А.В., Владимирский А.В., Шарова Д.Е., Арзамасов К.М., Храмов А.Е. Развитие исследований и разработок в сфере технологий искусственного интеллекта для здравоохранения в Российской Федерации: итоги 2021 года // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 178–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

# Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021

Aleksander V. Gusev<sup>1, 2</sup>, Anton A. Vladzimirsky<sup>3</sup>, Dariya E. Sharova<sup>3</sup>, Kirill M. Arzamasov<sup>3</sup>, Aleksander E. Khramov<sup>4, 5</sup>

<sup>1</sup> K-Skai, Petrozavodsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Research Institute of Health, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> Innopolis University, Kazan, Russian Federation

<sup>5</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

## ABSTRACT

The use of artificial intelligence technologies in Russian healthcare is a priority area for implementing a national strategy for the development of artificial intelligence in the country. The introduction of digital solutions based on artificial intelligence in healthcare facilities should improve the standard of living of the population and the quality of medical care, including areas of preventive examinations, diagnostics based on image analysis, prediction of disease development, selection of optimal drug dosages, reducing the threat of pandemics, and automating and increasing the accuracy of surgical interventions.

Policy management and technical regulation are under development in the field of artificial intelligence in healthcare. The domestic market for relevant solutions has been created, and some products have been certified as medical devices from Roszdravnadzor (Federal Service for Surveillance in Healthcare). Various teams of scientists are conducting research. However, Russia is still behind the leading countries in the field of artificial intelligence, such as the United States and China. Investments in healthcare products based on artificial intelligence decreased significantly in 2021. The major reasons for the lag, at least in terms of market indicators, are low demand and the inability of state medical organizations to fund artificial intelligence projects. There are also other issues related to trust in the safety and effectiveness of such solutions.

**Keywords:** digital health; artificial intelligence; machine learning; big data; decision support systems; software; medical devices.

## To cite this article

Gusev AV, Vladzimirsky AV, Sharova DE, Arzamasov KM, Khramov AE. Evolution of research and development in the field of artificial intelligence technologies for healthcare in the Russian Federation: results of 2021. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):178–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

Received: 11.05.2022

Accepted: 11.08.2022

Published: 23.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

# 俄罗斯联邦医疗保健人工智能技术领域的研发发展：2021年结果

Aleksander V. Gusev<sup>1,2</sup>, Anton A. Vladzimirskyy<sup>3</sup>, Dariya E. Sharova<sup>3</sup>, Kirill M. Arzamasov<sup>3</sup>, Aleksander E. Khramov<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> K-Skai, Petrozavodsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Research Institute of Health, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> Innopolis University, Kazan, Russian Federation

<sup>5</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

## 简评

人工智能技术在俄罗斯保健事业的应用是我国人工智能发展国家战略的优先领域之一。在医疗机构中引入基于人工智能的数字解决方案应有助于提高生活水平和医疗救护质量，包括预防性检查、基于图像分析的诊断、预测疾病的发生和发展、选择最佳的药物剂量、减少流行病的威胁、自动化和提高手术干预的准确性等。

人工智能在医疗保健中的应用领域的规范和技术规定正在发展。相关解决方案的国内市场已经建立，其中一些已获得俄罗斯联邦卫生监督局的医疗器械注册证书。各个科学团队开展研究工作。与此同时，我们在人工智能领域仍显著落后于美国、中国等领先国家。2021年对医疗保健人工智能产品的投资显著下降。至少从市场指标来看，滞后的主要原因在于公共卫生组织资助人工智能项目的需求和能力较低，以及对此类解决方案的安全性和有效性的信任。

**关键词：**数字健康；人工智能；机器学习；大数据；决策支持系统；软件；医疗产品。

## To cite this article

Gusev AV, Vladzimirskyy AV, Sharova DE, Arzamasov KM, Khramov AE. 俄罗斯联邦医疗保健人工智能技术领域的研发发展：2021年结果. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):178–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD107367>

收到：11.05.2022

接受：11.08.2022

发布日期：23.08.2022

## 绪论

目前,使用基于人工智能(AI)技术的各种IT解决方案是医疗数字化转型最有前景的领域之一。对人工智能日益增长的兴趣是由几个趋势驱动的,包括硬件计算能力的提高,云计算的发展,大量数字数据的快速积累和机器学习算法的发展。这些前提条件为通过引入各种人工智能产品来提高医疗效率创造了条件,包括改进实用医学和医疗保健组织,最终旨在提高医疗质量和提高医疗资源管理效率[1]。

基于人工智能技术的软件领域的主要研发领域是疾病及其并发症发展的诊断和预测、个性化治疗的淘汰、个人医疗助理用于监测和评估患者状况的工作实时开发新药并支持其临床试验。一个独立的、但仍未充分发展的领域是为医疗保健部门开发机器人、全自动设备。

潜在地,基于人工智能的软件可以提高医生、护士和医疗机构的效率,减少医疗过程的文档支持时间,提供患者路线和过程中所有参与者的必要通信。COVID-19大流行病大大增加了人们对人工智能产品应用的兴趣。同时,最近的出版物表明,为了在实际医疗保健中广泛引入人工智能系统,需要进行额外的研究和开发,包括确保独立的临床验证和成本效益评估[2,3]。

分析数据显示,2021年全球医疗AI市场规模为81.9亿美元,2022年将增长至101.1亿美元,复合年增长率(CAGR)为23.46%,到2026年规模将进一步扩大以48.44%的复合年增长率增长至491亿美元<sup>1</sup>。

自2017年以来,用于医疗保健的人工智能投资一直在稳步增长(图1)。根据CB Insights的数据<sup>2</sup>,2021年,对提供基于人工智能技术的各种产品的公司的总投资额达到122亿美元(505笔交易)。相比之下,2020年这一数字为66.27亿美元(397笔交易),2019年为41.29亿美元(367笔交易),而2018年“仅”为27亿美元(264笔交易)<sup>3</sup>。

## 俄罗斯联邦医疗保健人工智能市场发展的主要原则

俄罗斯联邦人工智能市场的法律监管基础由俄罗斯联邦总统第490号令确定<sup>4</sup>,该令批准了《2030年前国家人工智能发展战略》。

俄罗斯联邦人工智能发展的目标被定义为提高其人口的福利和生活质量、确保国家安全和法律与秩序、实现俄罗斯经济的可持续竞争力,包括在世界领先地位人工智能领域。

战略中的医疗保健被定义为实施人工智能的优先领域之一,应有助于实现国家医疗保健项目的战略目标和目标,包括降低发病率和死亡率、提高预期寿命等<sup>5</sup>。

在医疗机构中引入基于人工智能的数字解决方案应有助于提高生活水平和医疗救护质量,包括预防性检查、基于图像分析的诊断、预测疾病的发生和发展、选择最佳的药物剂量、减少流行病的威胁、自动化和提高手术干预的准确性。

人工智能发展的主要方向已被确定为刺激需求和引进国内产品、确保人工智能的安全应用、

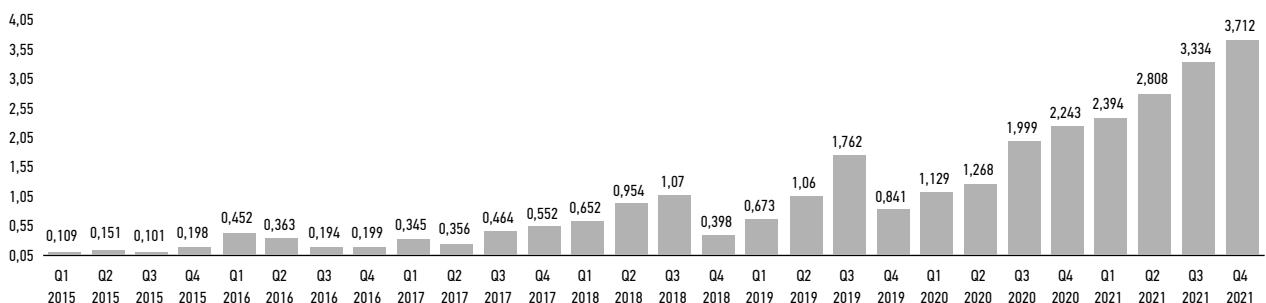


图1. 根据CB Insights的数据,用于医疗卫生的人工智能系统的风险投资动态为十亿美元。

<sup>1</sup> Companies in the artificial intelligence in healthcare market are introducing AI-powered surgical robots to improve precision as per the business research company's artificial intelligence in healthcare global market report 2022 [Internet]. 存取方式: <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/03/30/2413072/0/en/Companies-In-The-Artificial-Intelligence-In-Healthcare-Market-Are-Introducing-AI-Powered-Surgical-Robots-To-Improve-Precision-As-Per-The-Business-Research-Company-s-Artificial-Inte.html>. 访问日期: 2022年3月15日

<sup>2</sup> 一家美国私营公司,拥有商业智能平台和全球数据库,可提供有关私营公司和投资者活动的市场情报。

<sup>3</sup> State of AI 2021 Report [Internet]. 存取方式: <https://www.cbinsights.com/research/report/ai-trends-2021/>. 访问日期: 2022年3月15日

<sup>4</sup> 2019年10月10日俄罗斯联邦总统令第490号《关于在俄罗斯联邦发展人工智能》(连同《2030年前国家人工智能发展战略》)。存取方式: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_335184/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/). 访问日期: 2022年3月15日

<sup>5</sup> 2018年5月7日第204号俄罗斯联邦总统令《关于2024年前俄罗斯联邦发展的国家目标和战略目标》。存取方式: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805070038>. 访问日期: 2022年3月15日

改善监管和技术规范，以及开发优质数据集。为此，在联邦和地区行政当局层面，应确保完成一系列任务：

- 1) 对研发的长期支持；
- 2) 促进人工智能软件在公共卫生部门和医疗机构的实施；
- 3) 发展人工智能教育，包括提高公众对人工智能技术潜力的认识；
- 4) 制定规范和技术法规；
- 5) 在国际市场上支持出口及推广俄罗斯人工智能产品；
- 6) 创建激励机制，吸引对科学、研究和开发人工智能产品的投资；
- 7) 在人工智能产品的创建和使用中形成综合安全性。

根据国家人工智能发展战略，重点如下：

- 1) 制作高质量的标记数据集，并为科学组织和开发人员提供受控访问；
- 2) 促进医疗保健领域基于人工智能技术的软件产品竞争市场的创建和发展，包括创造条件为在各级医疗保健中使用此类产品付费。

这些任务的完成将确保增加科学研究和出版物的数量和质量，显著增加投资量，增加开发人员之间的竞争，从而提高基于人工智能技术的医疗保健软件解决方案的质量，增加体积并提高其应用效率。

在卫生部门实施人工智能战略的主要成功指标是增加：

- 1) 为医学和保健开发人工智能产品的公司数量；
- 2) 智力活动成果的数量（专利、在俄罗斯和国际科学同行评审期刊上的出版物等）；
- 3) 经过国家注册的产品数量，包括作为软件医疗产品；
- 4) 使用基于人工智能的产品来提高绩效的政府机构和医疗保健组织的数量；
- 5) 俄罗斯科学家在世界领先期刊上发表的有关人工智能在医疗保健方面的文章数量和引文索引；
- 6) 由合格的医疗专业人员标记和验证的可用数据集的数量。

## 标准调节发展

俄罗斯联邦政府第2129-r<sup>6</sup>号法令规定的人工智能法律监管的基本原则和目标包括创建简化使用

人工智能技术创建的软件的实施机制、确定使用这种软件的法律责任，发展保险机构，完善制度数据流通，建立国家技术监管和合格评定体系，制定一整套促进技术发展的措施。

从人工智能的实施来看，医疗保健行业是一个特例：人工智能解决方案在实际临床实践中应用的安全性、有效性和信任问题是奠基石。

医疗保健领域人工智能产品的开发、上市和使用的监管正在两个关键领域发展：

- 1) 确保人工智能产品作为软件医疗设备的安全性、质量和有效性；
- 2) 确保数据保护和隐私措施，包括网络安全和用于机器学习目的的匿名医疗数据的流通。

如果制造商基于人工智能技术创建的软件旨在用于医疗和诊断目的（提供医疗服务），它将被归类为医疗设备。其法律依据是第4-FZ号联邦法<sup>7</sup>，俄罗斯联邦根据该法批准了《欧亚经济联盟内医疗器械（医疗器械和医疗设备）流通统一原则和规则协议》。该文件规定，制定整体协调的医疗器械政策应以全称为国际医疗器械监管者论坛（IMDRF）的规则和建议为基础，该论坛是由世界各地的医疗器械监管机构自愿组成的团体，联合起来制定和协调准则[4]。IMDRF创建了AI医疗器械工作组（AIMD），旨在实现对此类医疗器械管理的一致方法。其活动涵盖基于机器学习的医疗器械统一监管和技术方法的标准化和开发。

自2019年秋季以来，俄罗斯联邦卫生监督局下属的一个特别工作组一直在努力审议修改俄罗斯联邦现行法规的建议，并根据IMDRF的建议和监管文件，创建新的文件，以规范基于人工智能的软件的开发和市场推出。

根据第323-FZ号联邦法<sup>8</sup>，仅有在按照法律规定的方式事先获得国家注册的情况下，才允许医疗设备，包括软件医疗设备的流通。

直到2022年，俄罗斯基于人工智能技术创建的软件的注册是根据国家规定进行的。为此，俄罗斯联邦卫生监督局与俄罗斯联邦卫生部一道，考虑到人工智能的特点，对现行医疗器械流通法规进行了所有必要的修改。特别是，已发布以下文件的新版本：

- 1) 2012年12月27日《关于批准国家医疗器械注册规则》的第1416号俄罗斯联邦政府令<sup>9</sup>，经2020年11月24日《关于国家医疗器械注册规则的修订》的第1906号俄罗斯联邦政府令修订<sup>10</sup>；

<sup>6</sup> 俄罗斯联邦政府2020年8月19日第2129-r号《关于批准2024年前人工智能和机器人技术领域关系管理的发展概念》的法令。存取方式：<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74460628/>。访问日期：2022年3月15日

<sup>7</sup> 2016年1月31日第4-FZ号联邦法《关于批准欧亚经济联盟内医疗器械（医疗器械和医疗设备）流通统一原则和规则协议》。存取方式：<https://ipbd.ru/doc/0001201601310008/>。访问日期：2022年3月15日

<sup>8</sup> 2011年11月21日第323-FZ号联邦法《关于俄罗斯联邦健康保护的基本原则》（最新修订）。存取方式：[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_121895/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/)。访问日期：2022年3月15日

<sup>9</sup> 存取方式：<https://base.garant.ru/70291692/>。访问日期：2022年3月15日

<sup>10</sup> 存取方式：[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_368970/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368970/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/)。访问日期：2022年3月15日

2) 俄罗斯联邦卫生部2017年1月19日第11n号令《关于批准医疗器械制造商（胜场商）技术和操作文件内容要求》<sup>11</sup>；

3) 俄罗斯联邦卫生部2021年8月30日《关于批准以技术试验、毒理学研究和临床试验形式对医疗器械进行符合性评估的程序》的第885n号命令<sup>12</sup>；

4) 2012年6月6日第4n号《关于批准医疗器械名称分类》的俄罗斯卫生部命令<sup>13</sup>，以及2020年7月7日第686n号《关于对2012年6月6日第4n号《关于批准医疗器械名称分类》的俄罗斯卫生部命令附件1和2的修正》的命令<sup>14</sup>。

自2026年1月1日起，医疗器械注册将仅按照欧亚经济联盟（EAEU）的规则进行。为此，对欧亚经济委员会（EEC）的监管法律行为进行了必要的修订，特别是对欧亚经济委员会理事会于2018年11月12日第25号提出的建议<sup>15</sup>，其中规定了单独的第7节“软件”。

## 技术法规的发展

目前，在俄罗斯，与世界上所有在人工智能实施方面领先的国家（美国、中国、加拿大、韩国、欧盟国家）一起，已经通过了国家战略或其他文件，确立了国家目标、任务和人工智能发展规划[5]。这些文件巩固了人工智能技术监管的基本原则和方法。基于国家战略，正在制定法律法规和技术标准。

自2019年以来，俄罗斯启动了自己的医疗和保健人工智能领域国家技术标准的制定和批准程序。这项工作的主要目标是促进我国的社会经济发展，融入世界经济和国际标准化体系，提高解决方案和服务的质量，提高竞争力。

2019年7月，根据联邦计量和技术管理局（Rosstandart）第1732号命令<sup>16</sup>，成立了“人工智能”标准化技术委员会（TC 164），负责处理人工智能问题，提高该领域标准化工作的效率[6]。在TC 164的框架内，成立了一个单独的特别小组委员会01“医疗领域人工智能”（SC 01），负责制定国家和国际标准，协调医疗领域人工智能系统开发、测试和运行要求的统一和标准化工作，并制定使用人工智能技术的医疗设备的认证要求（俄罗斯标准2019年12月31日第3471号令<sup>17</sup>）。小组委员会01在莫斯科国家医疗保健预算机构“莫斯科市卫生局诊断和远程医疗技术科学和实用临床中心”的基础上运作。该小组委员会由24个专业组织和独立的外部专家组成。小组委员会01的SC 01成员按照TC 164的经营计划，不断致力于国家标准的制定。2021年，开发了《临床医学中的人工智能系统》系列的前6个文件，包括《临床试验》、《技术测试的程序和方法》、《具有自适应算法的人工智能系统的变更管理》、《性能参数的评估和控制》、《训练和测试算法的数据集结构和应用顺序要求》、《操作的一般要求》（表1）[7]。

表1 俄罗斯联邦医学人工智能领域现行国家标准清单

序号	标准名称和详细信息
1	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.1-2022 《临床医学中的人工智能系统。第1部分。临床评估》
2	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.2-2021 《临床医学中的人工智能系统。第2部分。技术测试方案与方法》
3	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.3-2021 《临床医学中的人工智能系统。第3部分。持续学习的人工智能系统中的变更管理》
4	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.4-2021 《临床医学中的人工智能系统。第4部分。使用参数的评价与控制》
5	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.5-2022 《临床医学中的人工智能系统。第5部分。对训练和测试算法的数据集结构和应用的要求》
6	俄罗斯联邦国家标准 GOST R 59921.6-2021 《临床医学中的人工智能系统。第6部分。操作的一般要求》

<sup>11</sup> 存取方式：<https://base.garant.ru/71626748/>。访问日期：2022年3月15日

<sup>12</sup> 存取方式：<https://docs.cntd.ru/document/608935477>。访问日期：2022年3月15日

<sup>13</sup> 存取方式：<https://docs.cntd.ru/document/902353334>。访问日期：2022年3月15日

<sup>14</sup> 存取方式：<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008100015>。访问日期：2022年3月15日

<sup>15</sup> 欧亚经济委员会董事会。2018年11月12日第25号建议《关于在欧亚经济联盟框架内将产品归类为医疗器械的标准（2021年6月29日修订）》。存取方式：<https://docs.cntd.ru/document/551663485>。访问日期：2022年3月15日

<sup>16</sup> 俄罗斯联邦工业贸易部、联邦计量和技术管理局于2019年7月25日第1732号《关于建立标准化“人工智能”技术委员会》的命令。存取方式：<https://docs.cntd.ru/document/560916332>。访问日期：2022年3月15日

<sup>17</sup> 俄罗斯联邦工业贸易部、联邦计量和技术管理局2019年12月31日第3471号令《关于修订联邦技术监管和计量局2019年7月25日第1732号《关于建立标准化“人工智能”技术委员会》的命令》。存取方式：<https://docs.cntd.ru/document/564243465>。访问日期：2022年3月15日

表2关于医疗保健人工智能系统主题的准则清单

序号	文件名称及详细信息
1	数据集准备条例，包括对形成代表性数据样本的方法的描述。第1部分：方法建议 / 编者 S.P. Morozov, A.V. Vladzimirskiy, A.E. Andreichenko等。“放射和仪器诊断的最佳实践”系列。第103期莫斯科：莫斯科卫生部诊断和远程医疗技术科学与实践中心，2021年，40页
2	基于智能技术（放射学）的软件临床试验。K-49 Morozov S.P.、Vladzimirsky A.V.、Klyashtorny V.G.等。基于智能技术（放射学）的软件临床试验。“放射和仪器诊断的最佳实践”系列。第57期莫斯科，2019年，51页
3	关于在国家系统内进行国家注册的医疗器械（在软件方面）的质量、有效性和安全性检查程序的方法学建议。莫斯科：俄罗斯联邦卫生监督局联邦国家预算机构全俄医疗设备研究和测试研究所，2021年，33页。

所发布的标准在世界范围内是无与伦比的。根据到2025年的长期工作计划，TC 164应协调制定医疗保健AI领域的约50项标准。此外，还发布了一些单独的方法学建议，也可以作为技术监管工具（表2）。

## 俄罗斯医疗人工智能解决方案概述

根据S曲线发展的概念，俄罗斯医疗保健人工智能市场目前正在从形成阶段进入快速增长阶段。这种转变发生的速度不仅取决于人工智能技术的开发者，还取决于法规更新和机制到位的速度，以资助人工智能软件提供的医疗服务。

P. A. Komar和合著者[8]根据多因素评估方法，包括市场前景、投资者兴趣指标、知识产权数据等，对提供各种医药和保健产品的俄罗斯人工智能初创企业进行了排名。根据该评级，俄罗斯医疗保健人工智能解决方案市场上有30多家不同的公司。其中60%以上的公司在医学图像分析领域营业，包括Third Opinion、Botkin.Ai和Celsus等产品。相比之下，全球约有2.8千家公司在医疗和保健中的人工智能领域营业，因此，就公司数量而言，俄罗斯部分在全球市场的份额约为1.25%。

同时，对企业数量的机械计算也应严格处理。从全球的角度来看，投资的涌入往往导致创业活动的爆炸性增长——大量初创企业的出现，由于投资者的支持，只专注于“炒作浪潮”上的暂时存在，而不是创造真实的产品。通过实施其开发（而不是通过投资）监控产品进入市场的动态、其作为医疗器械的注册、使用量和收入在战略上更为正确。通过这种方式，可以确定从数量到质量的过渡过程。

截至2021年底，35家公司中的7家（20%）使用第1906号政府法令<sup>18</sup>规定的一步注册程序，获得了俄罗斯联邦卫生监督局11份医疗器械产品注册证书。第一个使用人工智能技术创建并同时获得注册证书的产品是Webiomed预测分析平台，

该平台于2020年春季通过了相应的国家注册。随后，在2020年11月和2020年12月，又有2款AI辅助医学影像分析领域的产品也分别获得了注册证：Botkin.Ai医学影像分析处理平台和Care Mentor Ai影像服务平台（表3）。

## 人工智能医疗保健领域的科学研究

俄罗斯人工智能技术发展中的一个明亮但几乎被遗忘的片断可以被视为“使用比较思想的机器进行研究的新方法的制定”一书，于1832年由拿破仑战争的老兵、内政部官员谢苗·尼古拉耶维奇·科萨科夫(1787 - 1853)出版。在此基于机械唯物主义原则的著作中，作者提出了五种“比较思想机器”的设计、穿孔卡片、使用权重系数的多标准搜索方法，以及第一种处理大数据的方法（前身现代人工智能算法）[9]。

1954年由A. A. Lyapunov院士主持的《自动机与思维》跨学科研讨会，是我国人工智能领域研究和发展的正式开始[10]。直到20世纪80年代末，苏联在人工智能领域的理论研究水平至少符合全球趋势，而在医疗数据自动分析领域的发展（特别是Y. I. Neimark和A. P. Matusova在心电信号数学处理领域的著作）明显领先于国外。1974年，苏联科学院主席团系统分析委员会成立了人工智能问题科学委员会，支持自然语言处理、知识和数据表示、机器人智能行为、等等然而，自1980年代以来，由于社会经济形势的恶化和随后的苏联解体，人工智能和机器学习的应用技术逐渐滞后。然而，在医疗保健领域，在1980-1990年代期间人工智能发展停滞不前，还应考虑另一个因素，当时有相当数量的“专家系统”（实际上是自动化的医疗决策支持系统）被提议用于心脏病学、外科、内分泌学和神经外科等。但是，它们并没有产生大规模的效果。这些发展基于结构化的“决策树”（它们可能非常广泛，但可预测且完全静态）；因此，在操作期间没有进行算法的训练和开发。对医生而言，这种软件没有实

<sup>18</sup> 俄罗斯联邦政府2020年11月24日第1906号法令《关于修订医疗器械国家注册规则》。存取方式：<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011270010>。访问日期：2022年3月15日

表3截至2021年12月，俄罗斯联邦卫生监督局为使用人工智能技术创建的软件医疗设备颁发的注册证书清单

序号	签发日期	有注册证书、产品和制造商的信息
1	2020年4月3日	“根据 TU 62.01.29-001-12860736-2019支持医疗决策的系统WEBIOMED”的软件，RU No. RZN 2020/9958，开发商：K-Sky，网站： <a href="https://webiomed.ai/">https://webiomed.ai/</a>
2	2020年11月3日	对DICOM标准的图像进行可视化和处理的Botkin.AI应用软件，符合TU 58.29.32-001-45146066-2020，RU No. RZN 2020/12028 对，开发商：Intellogic，网站： <a href="https://botkin.ai/">https://botkin.ai/</a>
3	2020年12月11日	“Care Mentor AI神经网络系统”的软件，符合TU 62.01.29-001-28263422-2019，版本：Webshow，API。RU № RZN 2020/11137，开发商：CareMentorAI，网站： <a href="https://carementor.ru/">https://carementor.ru/</a>
4	2021年5月27日	“神经网络系统Care Mentor AI用于诊断基于计算机断层扫描数据的新冠病毒感染COVID-19”的软件，符合TU 58.29.32-002-28263422-2020，版本：Webshow，API。RU № RZN 2021/14406，开发商：CareMentorAI，网站： <a href="https://carementor.ru/">https://carementor.ru/</a>
5	2021年5月27日	CELSUS® 软件，符合TU 58.29.32-001-28139219-2019，RU No. RZN 2021/14449，开发商：医学筛查系统，网站： <a href="https://celsus.ai">https://celsus.ai</a>
6	2021年6月1日	分析人体胸部的荧光图和X线照片的软件模块，符合TU 58.29.32-001-21494354-2020，RU No. RZN 2021/14506，开发商：PTM，网站： <a href="https://thirdopinion.ai/">https://thirdopinion.ai/</a>
7	2021年7月27日	“Care Mentor AI神经网络系统，用于分析X射线投影乳房X射线照相术”的软件，符合TU 58.29.32-003-28263422-2021，版本：Webshow，API。RU № RZN 2021/14869，开发商：CareMentorAI，网站： <a href="https://carementor.ru/">https://carementor.ru/</a>
8	2021年10月12日	“神经网络系统Care Mentor AI，用于根据负载下足部的横向射线照相确定纵向扁平足”的软件，符合TU 58.29.32-004-28263422-2021，版本：Webshow，API。RU № RZN 2021/15554，开发商：CareMentorAI，网站： <a href="https://carementor.ru/">https://carementor.ru/</a>
9	2021年6月22日	RADLogics平台放射学图像自动处理的软件包，符合TU 58.29.32-320-17493389-2020，RU No. 2021/14627，开发商：Radlogics Rus，网站： <a href="https://www.radlogics.com/">https://www.radlogics.com/</a>
10	2021年9月24日	分析人体计算机断层扫描研究的软件模块，符合TU 58.29.32-002-21494354-2021，RU No. RZN 2021/14651，开发商：PTM，网站： <a href="https://thirdopinion.ai/">https://thirdopinion.ai/</a>
11	2021年11月27日	用于Gamma Multivox医疗图像和数据登记、成像、处理、存档和传输的软件包，符合TU 62.01.29-001-16428326-2018，RU No. RZN 2021/13277，网站： <a href="https://www.gammamed.ru/">https://www.gammamed.ru/</a>

际意义，对医疗数据自动分析的兴趣急剧下降。

人工智能在2000年代初的复兴归功于一种新的数学设备（包括人工神经网络）、计算能力的快速增长以及数字形式的生物医学数据的大规模积累。

根据《2030年前国家人工智能发展战略》<sup>19</sup>，俄罗斯人工智能发展的优先事项之一是发展该领域的研究和开发，包括医疗保健领域。图2显示了俄罗斯作者在Scopus科学信息数据库所标引的国际科学期刊和权威科学会议上发表的科学论文数量的动态，其主题对应于人工智能技术在医学和医疗保健中的应用。自2016年以来的稳定增长是清晰可见的。2021年，根据标题中给出的要求搜到的出版物数量为227篇文章和评论。对出版物的分析表明，60%以上的著作是与外国同事共同完成的。这一事实只能受到欢迎，因为它证明了俄罗斯研究人员和医生在如此蓬勃发展的领域扩大了国际科学合作。

但需要注意的是，与该领域的领先国家相比，在医疗人工智能领域发表的世界级研究成果数量仍然相对较少。例如，Scopus中的类似查询显示，2021年，中国研究人员发表了1926篇文章，英国作者发表了1661篇，美国发表了4087篇。这表明，在俄罗斯联邦的医疗人工智能系统的研究和开发方面，有一个差距，需要通过超前发展来弥补。毫无疑问，不仅需要对开发进行投资，还需要对来自医学研究中心和临床机构的研究人员进行额外的定向资助。

这表明，2021年俄罗斯作家的大部分作品是由国家科学支持机构资助的——俄罗斯基础研究基金（38篇），俄罗斯联邦教育和科学部（20篇），以及俄罗斯科学基金会（13篇）。在资助机构中也提到了俄罗斯的大学，但几乎没有俄罗斯私人投资者或企业资助的研究成果发表。这证实了过去几年俄罗斯企业对投资人工智能医学领域研发的兴趣不高，以及政府对该领域研究

<sup>19</sup> 2019年10月10日俄罗斯联邦总统令第490号《关于在俄罗斯联邦发展人工智能》（连同《2030年前国家人工智能发展战略》）。存取方式：[http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_335184/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/)。访问日期：2022年3月15日



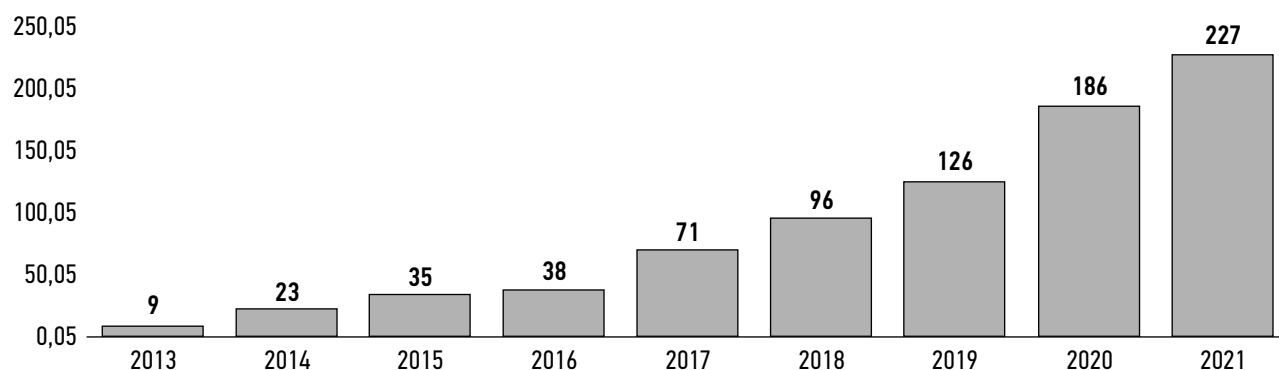


图2. 过去10年, 俄罗斯作者在医学和人工智能的交叉领域发表的Scopus科学信息数据库中的索引出版物数量。

注: 数据库查询: (TITLE-ABS-KEY (medicine OR healthcare) AND ("artificial intelligence" OR "machine learning") AND AFFILCOUNTRY (Russia OR "Russian Federation")).

的资助占主导地位(需要注意的是, 2021年主要发表的是前几年的研究成果, 主要期刊文章的准备、审阅和发表时间较长)。

俄罗斯在医疗人工智能领域的研究目标和内容在很大程度上遵循全球趋势。2021年的大量工作致力于试点项目, 以探索人工智能作为对被诊断为新型冠状病毒感染COVID-19的患者的各方面护理的潜力。在第38届国际机器学习会议(ICML, 2021)上, Sberbank的人工智能实验室展示了两项人工智能服务: 一种用于在X射线上识别肺炎病灶并进一步确定患者接受治疗的优先级的模型, 一个用于评估肺炎住院患者的严重疾病风险的模型, 包括由COVID-19引起的肺炎<sup>20</sup>。通过不断的训练和改进参数, 在X光片上识别肺炎病灶的模型已达到97.8%的准确率。

联邦国家自治高等教育机构“国立研究托木斯克理工大学”与联邦国家预算科学研究所“心血管疾病综合问题研究所”和EPAM系统(圣彼得堡)以及一些美国同事联合来自各种公司和大学, 在应用人工智能诊断肺炎方面已经取得了研制成果, 包括那些与COVID-19有关的[11]。作者表明, 大多数肺部疾病诊断工作中使用的标准深度学习不会围绕指示COVID-19或肺炎的模式激活。提出了一种基于间接观察的神经网络训练, 其准确性可与为诊断COVID-19和肺炎而创建的专门网络的准确性相媲美。作者表明, 预先训练过的VGG-16卷积网络[12], 在以受控的注意力重新训练的情况下, 在验证和测试子集上的分类准确率最高, 分别为88%和84%。

在创新城大学(喀山市), 人工智能研究所也开发了一个使用基于X射线图像的AI检测COVID-19的系统。对于AI训练, 该数据集包括了2.8万张健康人和各类肺炎患者的肺部图像, 以及94张感染冠状病毒的胸部器官的X光图像。该研究的结果是一个神经网络, 它可以通过X射线诊断冠状病毒,

准确率高达80%; 这样, 神经网络学会了识别由COVID-19引起的常见病征。

此外, 我们注意到Botkin.AI平台正在积极致力于辐射诊断解决方案领域。该解决方案可轻松与医疗信息系统集成, 使用AI确保医疗图像的自动选择、去个性化和处理。自2017年以来, 公司一直与领先的制药公司、私人 and 公共诊所合作(在俄罗斯地区、独联体国家、南美和中东有30多个成功项目)。目前, 该公司的主要解决方案与乳房X光检查、胸部和脑部CT扫描结果的自动分析有关。

当然, 俄罗斯研究人员在医学人工智能系统领域的工作不仅限于COVID-19的问题。俄罗斯卫生部(莫斯科)的亥姆霍兹国家眼病医学研究中心正在研究使用人工智能技术从眼底图像诊断糖尿病视网膜病变[13]。

在K. I. Shakhgeldian的领导下, 远东地区正在研究机器学习在预测任务中的应用, 包括心血管疾病的预防[14]。

慢性非传染性疾病预测方面的研究和开发, 以及基于人工智能技术的实际临床实践数据研究, 是作为Webiomed平台开发的一部分进行的[15]。该平台旨在自动分析匿名医疗数据, 以预测个人和人群层面的疾病及其并发症的可能发展。支持对超过2.7千种不同特征的分析, 患者的电子病历系统使用NLP技术从医疗协议和其他文档中提取这些特征。可以对40种不同的疾病进行自动分析, 包括18种预测和诊断机器学习模型, 其中一些模型的准确率超过80%。迄今为止, Webiomed平台是俄罗斯联邦唯一用于分析电子病历数据的解决方案。

俄罗斯卫生部联邦国家预算机构“N. I. Pirogov国家医疗和外科中心”(莫斯科)与伊曼纽尔康德波罗的海联邦大学(加里宁格勒)的神经技术和人工智能中心以及因诺

<sup>20</sup> SberPress [互联网]。在ICML上, Sber展示了其基于人工智能的医学发展。存取方式: <https://press.sber.ru/publications/na-icml-sber-predstavil-svoi-razrabotki-na-osnove-iskusstvennogo-intellekta-v-medicine>。访问日期: 2022年3月15日

波利斯大学（喀山）的神经科学和认知技术实验室共同处理与诊断中枢神经系统疾病相关的医学中可解释人工智能系统的构建问题。特别是在2021年，开发了一种基于无监督学习的癫痫脑电图数据标记系统，该系统基于使用极端事件理论对癫痫放电的表示[16]。由斯科尔科沃创新中心居民Immersmed有限公司开发的医生决策支持系统目前正在皮罗戈夫中心进行临床测试[17]。该团队还提出了基于AI的方法，用于根据功能性运动和认知试验来诊断与年龄相关的神经退行性变化[18]。

使用机器学习方法分析生物电信号在实施脑机接口技术以实现创伤性脑损伤和中风后患者的康复方面是必需的[19]。脑溢血后康复的一种方法是通过脑机接口电路中运动的心理表征进行训练，可以控制每次尝试想象运动的结果。

俄罗斯在医疗人工智能领域最大研究项目是计算机视觉技术在放射诊断中的应用莫斯科实验，该项目于2020年在莫斯科市政府的支持下以多中心前瞻性研究的形式启动，研究在实际临床实践中使用人工智能技术的可行性（www.mosmed.ai）。共有18名开发者参与了该研究；53项人工智能服务被集成到统一放射信息服务（ERIS EMIAS）中，用于分析射线照片、计算机断层扫描和乳房X光检查的结果。在两年内，已经对560多万次辐射检查进行了自动分析，其结果可供150家医疗机构的10,000多名医生使用。目前正在对用户参与、人工智能算法的技术质量和诊断准确性以及其对医生和医疗组织绩效的影响进行全面的科学分析。已经证明，由于初步的自动化分析，某些类型的放射检查结果的描述持续时间减少了。在放射诊断中使用人工智能服务来提高放射科医生的工作效率的合理性已经明确确立。为了开发人工智能市场，作为实验的一部分，与参与公司正在不断开展工作，包括研讨会和与医生会面的形式。为了履行俄罗斯联邦国家人工智能发展战略的规定，正在创建一个数据集库[20]。实验材料作为上述第一批国家标准的基础，以及在将人工智能软件注册为医疗设备过程中进行的临床试验方法。

每月对人工智能服务进行评级——实验参与者；它基于一组技术质量和诊断准确性指标。对于实验的每一个方向，都会在公共领域公布三位领先者；从此类排行榜中（leaderboard——排行榜）最固定的参与者中，可以确定下面描述的几个研制成果。

**“第三意见”人工智能服务**是最早在俄罗斯医疗保健智能技术市场上表现出自己的公司之一。正在开发用于识别数字化血液和骨髓涂片、胸部X射线和眼底图像的算法。“第三意见”是俄罗斯医疗技术市场上最早提供对医院视频流进行连续人工智能分析模块的公司之一，目的是防止褥疮、患者跌倒和其他医院事故。随后，该服务被安装在本国几家领先的私人医疗中心。第三意见平台用于自动分析胸部X射线结果的人工智能服

务在相关实验领域相当稳定地排名前三。在对诊断准确性的前瞻性评估中，该服务达到了0.84的特征曲线下的区域（95% CI 0.83 - 0.85）。

**Celsus人工智能服务**是乳房X线摄影方向实验排行榜的自信参与者。在对诊断准确性的前瞻性评估中，该服务达到了0.74的特征曲线下的区域（95% CI 0.73 - 0.74）。应该指出的是，Celsus平台支持四种模式：乳腺摄影、荧光照相术、胸部X光、胸部和大脑的计算机断层扫描。然而，在实验中，最高结果与乳腺预防性放射检查结果的自动分析精确相关。

**IraLabs人工智能服务**的特点是对放射学结果的自动处理问题进行了深入的方法学开发，及其出版活动。作为试验的一部分，该公司为慢性非传染性疾病、骨质疏松症的机会性筛查以及评估COVID-19的肺部病变体积同时提供了多项服务。该公司在实验排行榜中最稳定的参与与最后一个方向相关：在胸部器官计算机断层扫描（特征曲线下面积）上处理新型冠状病毒感染表现的算法的准确度为0.88（95% CI 0.87 - 0.88）。在骨质疏松症筛查中，该开发商的人工智能服务很快就取得了0.94（95% CI 0.88-1.00）的良好效果。

必须强调的是，所提供的数据并不是对排名领先者的完整或官方概述。这只是强调几个活跃的市场参与者同时发展几个方向。我们再次注意到：有53个人工智能服务参与了七个方向的实验，其中大部分都显示出相当令人鼓舞的结果。详细分析将在我们随后的出版物中介绍。

## 俄罗斯医疗保健人工智能市场的规模和动态评估

我们分析了媒体上关于投资俄罗斯公司为医疗提供专门的人工智能产品的出版物，相关开发公司网站上的信息，以及一些国家机构提供的关于国家通过赠款和其他工具支持的数据。基于这些信息，我们评估了俄罗斯医疗保健AI产品的动态（图3）。截至2021年底，俄罗斯在医疗领域的人工智能投资总额为539万美元，占全球水平的0.04%，与2020年相比，2021年在俄罗斯的投资减少了3.2倍，而在全球则增加了1.8倍。

俄罗斯人工智能产品投资来源结构如图4所示。可以看出，俄罗斯在人工智能产品开发方面的投资几乎70%来自公共资金来源，包括斯科尔科沃基金会、国家技术倡议（NTI）、援助创新基金会等支持机构。图5显示了按市场部门划分的投资分布。

在俄罗斯市场上的公司的收入正在系统地增加，增长动态如图6所示。尽管该指标正式增长，但应该指出的是，就市场成熟度而言，收入结构仍然存在很大风险：俄罗斯公司收入的最大份额是通过参与莫斯科实验以及其他赠款获得的支持工具，包括来自行业发展机构的支持工具。这种情况表明，俄罗斯公司迄今未能找到可扩展和可

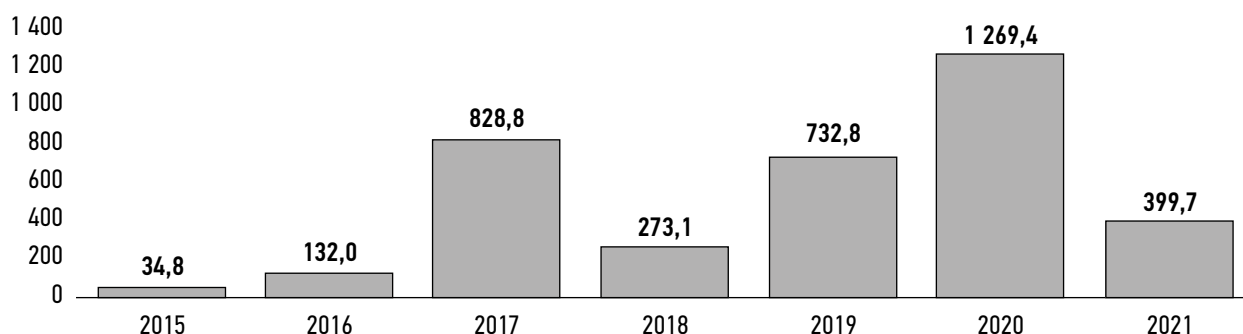


图3。2015-2021年俄罗斯对医学和医疗保健人工智能系统的投资动态（作者数据），百万卢布

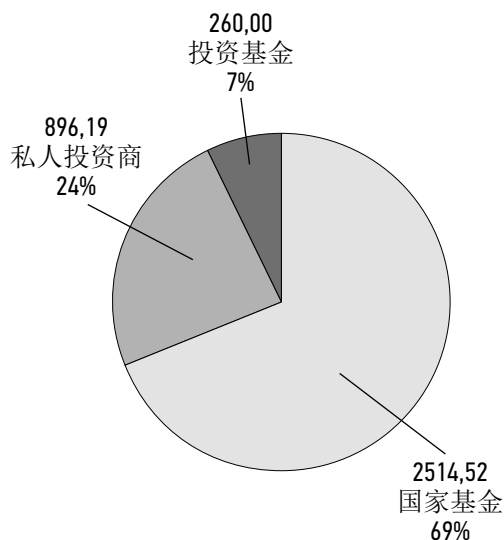


图4。俄罗斯对医学和医疗保健人工智能系统的投资来源（作者数据），百万卢布

销售的工具来推广其产品，这可能是由于政府对医疗保健市场的总体监管的具体情况。

根据披露的俄罗斯人工智能初创公司收入数据，我们估计2021年医疗人工智能市场的规模约为7亿卢布，占全球市场的0.11%。

根据平均市场乘数和收入，我们估计俄罗斯开发公司的总资本为2亿美元，全球相同指标为490亿美元。因此，我们在该指标中的份额为0.4%。

到2021年底，总共有20多个俄罗斯联邦主体启动了各种人工智能产品实施项目，包括作为试点项目或科学和实践实验实施的项目。COVID-19大流行已成为俄罗斯对人工智能越来越感兴趣的关键驱动力。

### 结论

所提供的数据清楚地表明，俄罗斯需要采取额外的系统措施来开发基于人工智能技术的医疗保健产品的研究、开发和实施。该领域是数字经

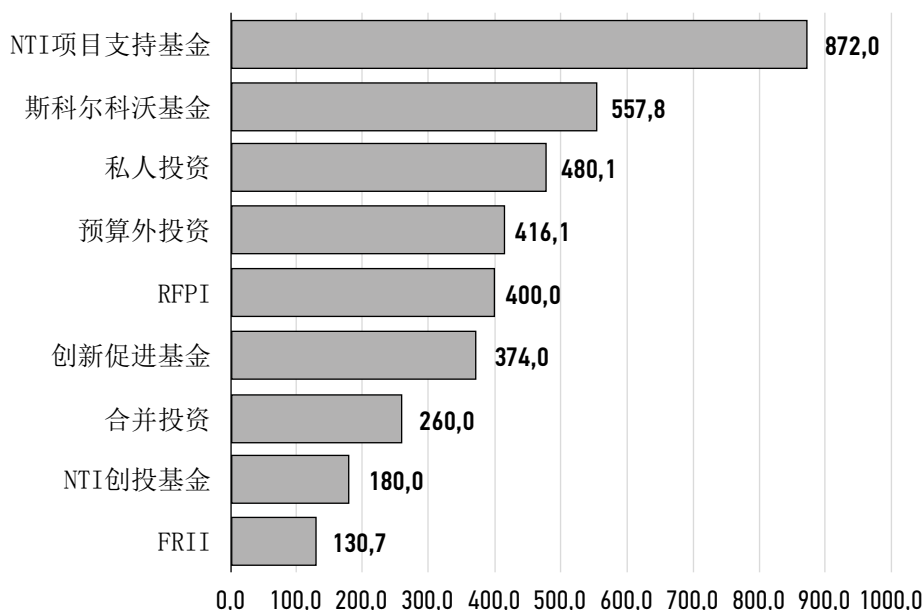


图5。投资医疗和医疗保健人工智能系统的方向（作者数据），百万卢布

注：NTI——国家技术倡议基金会；RFPI——俄罗斯直接投资基金；FRII——互联网倡议发展基金会。

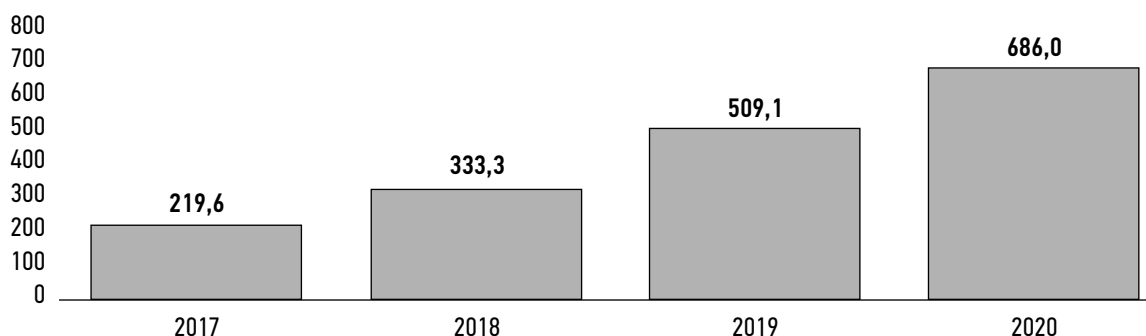


图6. 2017–2020年俄罗斯医学和医疗保健人工智能系统开发者的收入动态（作者数据），百万卢布

济中最大和最重要的部分之一，滞后可能非常危急。

至少从市场的角度来看，结果低的问题之一是俄罗斯公司在实际医疗保健中缺乏可扩展的销售和大规模实施。

我们认为这种现象可能有三个关键原因。首先，在创新的人工智能产品和服务方面，缺乏有针对性的国家资金用于医疗机构和卫生当局实施人工智能系统。当前的联邦计划和国家项目，包括在医疗保健领域创建统一数字轮廓的项目，不包含任何引入人工智能的措施或资金。在医疗服务名目中，没有可以应用人工智能技术提供的服务，这对至少在公共医疗领域购买相关产品的增长造成了障碍。第二，所提出的解决方案没有足够的价值。许多公司专注于改进其产品，提高机器学习算法的准确性，但未对科学研究给予足够的重视，并未提供令人信服的证据来证明其解决方案对国内医疗保健的有效性和价值。第三，对产品的不信任。很少有俄罗斯开发商对适当组织的临床试验和产品测试给予应有的关注。目前，俄罗斯联邦卫生监督局已为7家开发公司颁发了11个AI系统注册证书。但在医学中，对新技术的信任问题是关键的：首先此处，在决定应用任何新事物时，应以“不伤害”的原则为指导。

看来，解决在实际医疗中引进和使用人工智能产品的支付来源问题，对人工智能产品质量的可信度进行更多的研究，并加强其对

消费者的价值，是俄罗斯联邦需要解决的主要战略挑战，以确保人工智能技术在我国医疗机构的研究、开发和实际应用的增长。

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** The article has no sponsorship.

**Competing interests.** The authors declare that there is no conflict of interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.V. Gusev — the idea, the overview of products and projects, sections on regulation and data on market performance; A.V. Vladzimirskyy — the general version of the entire article, the conclusion; D.E. Sharova — a section on policy management and technical regulation; K.M. Arzamasov — the description of the Moscow experiment; A.E. Khramov — the history and current data on research in the field of AI in healthcare.

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to the Federal Service for Surveillance in Healthcare and personally to the Deputy Head of the Department of the State Control and Registration of Medical Devices M.M. Sukhanova for their assistance in writing this article. We also express our gratitude to the Presidential Program for Support of Leading Scientific Schools of the Russian Federation (grant NSh-589.2022.1.2).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again by eric topol. New York: Basic Books, 2019. 341 p.
2. Roberts M., Driggs D., Thorpe M., et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans // *Nat Mach Intel*. 2021. Vol. 3, N 3. P. 199–217. doi: 10.1038/s42256-021-00307-0
3. Wynants L., Van Calster B., Collins G.S., et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of COVID-19: systematic review and critical appraisal // *BMJ*. 2020. Vol. 369. P. m1328. doi: 10.1136/bmj.m1328
4. Гусев А.В., Морозов С.П., Кутичев В.А., Новицкий Р.Э. Нормативно-правовое регулирование программного обеспечения

- для здравоохранения, созданного с применением технологий искусственного интеллекта, в Российской Федерации // *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2021. № 1. С. 36–45. doi: 10.17116/medtech20214301136
5. Шарова Д.Е., Зинченко В.В., Ахмад Е.С., и др. К вопросу об этических аспектах внедрения систем искусственного интеллекта в здравоохранении // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 3. С. 356–368. doi: 10.17816/DD77446
6. Морозов С.П., Зинченко В.В., Хоружая А.Н., и др. Стандартизация искусственного интеллекта в здравоохранении: Россия выходит в лидеры // *Врач и информационные технологии*. 2021. № 2. С. 12–19. doi: 10.25881/18110193\_2021\_2\_12

7. Морозов С.П., Владимировский А.В., Шарова Д.Е., и др. Первые национальные стандарты Российской Федерации на системы искусственного интеллекта в медицине // Менеджмент качества в медицине. 2022. № 1. С. 58–62.
8. Комарь П.А., Дмитриев В.С., Ледяева А.М., и др. Рейтинг стартапов искусственного интеллекта: перспективы для здравоохранения России // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. Т. 7, № 3 С. 32–41. doi: 10.29188/2712-9217-2021-7-3-32-41
9. Корсаков С.Н. Начертание нового способа исследования при помощи машин, сравнивающих идеи / пер. с франц.; под ред. А.С. Михайлова. Москва: МИФИ, 2009. 44 с.
10. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебное пособие. Санкт-Петербург: Питер, 2000. 384 с.
11. Danilov V.V., Proutski A., Karpovsky A., et al. Indirect supervision applied to COVID-19 and pneumonia classification // *Informatics Medicine Unlocked*. 2022. Vol. 28. P. 100835. doi: 10.1016/j.imu.2021.100835
12. Mohammadi R., Salehi M., Ghaffari H., et al. Transfer learning-based automatic detection of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from chest X-ray images // *J Biomed Phys Eng*. 2020. Vol. 10, N 5. P. 559–568. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2008-1153
13. Нероев В.В., Брагин А.А., Зайцева О.В. Разработка прототипа сервиса для диагностики диабетической ретинопатии по снимкам глазного дна с использованием методов искусственного интеллекта // Национальное здравоохранение. 2021. Т. 2, № 2. С. 64–72. doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.2.64-7
14. Невзорова В.А., Бродская Т.А., Шахгельдян К.И., и др. Методы машинного обучения в прогнозировании рисков 5-летней

- смертности (по данным исследования ЭССЕ-РФ в Приморском крае) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 21, № 1. С. 2908. doi: 10.15829/1728-8800-2022-2908
15. Гиляревский С.Р., Гаврилов Д.В., Гусев А.В. Результаты ретроспективного анализа записей электронных амбулаторных медицинских карт пациентов с хронической сердечной недостаточностью: первый российский опыт // Российский кардиологический журнал. 2021. Т. 26, № 5. С. 4502. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4502
16. Karpov O.E., Grubov V.V., Maksimenko V.A., et al. Noise amplification precedes extreme epileptic events on human EEG // *Physical Review*. 2021. Vol. 103. P. 022310. doi: 10.1103/PhysRevE.103.022310
17. Кучин А.С., Грубов В.В., Максименко В.А., Утяшев Н.П. Автоматизированное рабочее место врача-эпилептолога с возможностью автоматического поиска приступов эпилепсии // Врач и информационные технологии. 2021. № 3. P. 62–73. doi: 10.25881/18110193\_2021\_3\_62
18. Kuc A., Korchagin S., Maksimenko V.A., et al. Combining statistical analysis and machine learning for eeg scalp topograms classification // *Frontiers Systems Neuroscience*. 2021. Vol. 15. P. 716897. doi: 10.3389/fnsys.2021.716897
19. Hramov A.E., Maksimenko V.A., Pisarchik A.N. Physical principles of brain-computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states // *Physics Reports*. 2021. Vol. 918. P. 1–133. doi: 10.1016/j.physrep.2021.03.002
20. Морозов С.П., Владимировский А.В., Шулькин И.М., и др. Исследование целесообразности применения технологий искусственного интеллекта в лучевой диагностике // Врач и информационные технологии. 2022. № 1. С. 12–29.

## REFERENCES

1. Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again by eric topol. New York: Basic Books; 2019. 341 p.
2. Roberts M, Driggs D, Thorpe M, et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans. *Nat Mach Intell*. 2021;3(3):199–217. doi: 10.1038/s42256-021-00307-0
3. Wynants L, Van Calster B, Collins GS, et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of COVID-19: systematic review and critical appraisal. *BMJ*. 2020;369:m1328. doi: 10.1136/bmj.m1328
4. Gusev AV, Morozov SP, Kutischev VA, Novitsky RE. Regulatory and legal regulation of software for healthcare created using artificial intelligence technologies in the Russian Federation. *Medical Technologies. Evaluation Selection*. 2021;(1):36–45. (In Russ). doi: 10.17116/medtech20214301136
5. Sharova DE, Zinchenko VV, Akhmad ES, et al. On the question of ethical aspects of the introduction of artificial intelligence systems in healthcare. *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):356–368. (In Russ). doi: 10.17816/DD77446
6. Morozov SP, Zinchenko VV, Khoruzhaya AN, et al. Standardization of artificial intelligence in healthcare: Russia is becoming a leader. *Doctor and information technology*. 2021;(2):12–19. (In Russ). doi: 10.25881/18110193\_2021\_2\_12
7. Morozov SP, Vladimirovsky AV, Sharova DE, et al. The first national standards of the Russian Federation for artificial intelligence systems in medicine. *Quality Management Med*. 2022;(1):58–62. (In Russ).
8. Komar PA, Dmitriev VS, Ledneva AM, et al. Rating of artificial intelligence startups: prospects for Russian healthcare. *Russ J Telemedicine E-Health*. 2021;7(3):32–41. (In Russ). doi: 10.29188/2712-9217-2021-7-3-32-41
9. Korsakov SN. The outline of a new method of research using machines comparing ideas. Transl. with French. Ed. by A.S. Mikhailov. Moscow: Moscow Institute of Engineering and Physics; 2009. 44 c.
10. GavriloVA TA, Khoroshevsky VF. Knowledge bases of intelligent systems: study guide. Saint Petersburg: Piter; 2000. 384 p.
11. Danilov VV, Proutski A, Karpovsky A, et al. Indirect supervision applied to COVID-19 and pneumonia classification. *Informatics Medicine Unlocked*. 2022;28:100835. doi: 10.1016/j.imu.2021.100835
12. Mohammadi R, Salehi M, Ghaffari H, et al. Transfer learning-based automatic detection of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from chest X-ray images. *J Biomed Phys Eng*. 2020;10(5) 559–568. doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2008-1153
13. Neroev VV, Bragin AA, Zaitseva OV. Development of a prototype service for the diagnosis of diabetic retinopathy from fundus images using artificial intelligence methods. *National Healthcare*. 2021;2(2):64–72. (In Russ). doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.2.64-7
14. Nevzorova VA, Brodskaya TA, Shakhgelydyan KI, et al. Machine learning methods in predicting the risks of 5-year mortality (according to the ESSE-RF study in Primorsky Krai). *Cardiovascular Therapy Prevention*. 2022;21(1):2908. (In Russ). doi: 10.15829/1728-8800-2022-2908

- 15.** Gilyarevsky SR, Gavrilov DV, Gusev AV. The results of a retrospective analysis of records of electronic outpatient medical records of patients with chronic heart failure: the first Russian experience. *Russ J Cardiology*. 2021;26(5):4502. (In Russ). doi: 10.15829/1560-4071-2021-4502
- 16.** Karpov OE, Grubov VV, Maksimenko VA, et al. Noise amplification precedes extreme epileptic events on human EEG. *Physical Review*. 2021;103:022310. doi: 10.1103/PhysRevE.103.022310
- 17.** Kuchin AS, Grubov VV, Maksimenko VA, Utyashev NP. Automated workplace of an epileptologist with the possibility of automatic search for epilepsy attacks. *Doctor and information technology*. 2021;(3):62–73. (In Russ). doi: 1025881/18110193\_2021\_3\_62

- 18.** Kuc A, Korchagin S, Maksimenko VA, et al. Combining statistical analysis and machine learning for eeg scalp topograms classification. *Frontiers Systems Neuroscience*. 2021;15:716897. doi: 10.3389/fnsys.2021.716897
- 19.** Hramov AE, Maksimenko VA, Pisarchik AN. Physical principles of brain-computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states. *Physics Reports*. 2021;918:1–133. doi: 10.1016/j.physrep.2021.03.002
- 20.** Morozov SP, Vladzimirsky AV, Shulkin IM, et al. Investigation of the feasibility of using artificial intelligence technologies in radiation diagnostics. *Doctor and information technology*. 2022;(1):12–29. (In Russ).

## AUTHORS' INFO

\* **Aleksander V. Gusev**, Cand. Sci. (Tech);  
address: 17, Nabereznaia Varkausa str., 185031,  
Petrozavodsk, Karelia, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7380-8460>;  
eLibrary SPIN: 9160-7024; e-mail: agusev@webiomed.ai

**Anton A. Vladzimirsky**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;  
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru

**Dariya E. Sharova**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;  
eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

**Kirill M. Arzamasov**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;  
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

**Aleksander E. Khramov**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530>;  
eLibrary SPIN: 7357-7556; e-mail: a.hramov@innopolis.ru

## ОБ АВТОРАХ

\* **Гусев Александр Владимирович**, к.т.н.;  
адрес: Россия, 185031, Республика Карелия, Петрозаводск,  
набережная Варкауса, д. 17;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7380-8460>;  
eLibrary SPIN: 9160-7024; e-mail: agusev@webiomed.ai

**Владзimirский Антон Вячеславович**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;  
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru

**Шарова Дарья Евгеньевна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;  
eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

**Арзамасов Кирилл Михайлович**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7786-0349>;  
eLibrary SPIN: 3160-8062; e-mail: k.arzamasov@npcmr.ru

**Храмов Александр Евгеньевич**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530>;  
eLibrary SPIN: 7357-7556; e-mail: a.hramov@innopolis.ru

\* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку