

УДК 614.254.1:616.9:616-079:004.9
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-1-136-141

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ
КОМПЬЮТЕРНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НА РЕНТГЕНОГРАММАХ ЛЕГКИХ
ПРИ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ (COVID-19),
ОСЛОЖНЕННОЙ ПНЕВМОНИЕЙ**

***Б.Э. Эмилов, А.А. Сорокин, Л.С. Исакова, Б.Д. Бурабаев,
М.А. Штраус, О.В. Беленкова, Е.Г. Сумбаева, О.А. Салибаев, Т.Ч. Чубаков***

Аннотация. Для укрепления стратегий сдерживания COVID-19 необходимо дополнение к полимеразной цепной реакции, признанной золотым стандартом диагностики, но ограниченной высокой стоимостью и сложной эксплуатацией. Рентгенография органов грудной клетки широко применяется для скрининга благодаря доступности, однако трудности интерпретации из-за слабых рентгенологических признаков ограничивают её точность. Искусственный интеллект предлагает решение для автоматизированного, точного и быстрого анализа рентгенограмм. Оцениваются экономические и диагностические аспекты применения искусственного интеллекта для обнаружения пневмонии при COVID-19. Исследование проводилось в рентгенологических кабинетах с использованием специально разработанных шаблонов описания рентгенограмм. В исследовании сравнили точность диагностики пневмонии при COVID-19 у трех врачей-рентгенологов и искусственного интеллекта: врачи показали точность 92–94 %, искусственный интеллект – 91 %. Искусственный интеллект ускоряет процесс, анализируя снимок за 7–12 секунд, тогда как у врачей время варьировалось от 302 до 840 секунд (медиана 452 секунды). Опрос пациентов показал, что 42 % поддерживают использование искусственного интеллекта, 30 % – не согласны, 28 % затруднились с ответом. В исследовании с 167 участниками применение искусственного интеллекта снизило затраты на диагностику с 48 096 до 11 506 сомов, обеспечив экономию в 36 589 сомов. Технология повышает точность диагностики, снижает нагрузку на персонал и улучшает доступность медицинской помощи. Для успешного внедрения искусственного интеллекта необходимы обученные специалисты, доступное оборудование, информационные кампании и укрепление доверия среди пациентов и медицинских организаций.

Ключевые слова: COVID-19; компьютерное обнаружение; искусственный интеллект; пневмония; рентген-диагностика; машинное обучение.

**КОРОНАВИРУС ИНФЕКЦИЯСЫНАН (COVID-19) УЛАМ ПАЙДА
БОЛГОН ӨПКӨ СЕЗГЕНҮҮСҮН РЕНТГЕН СҮРӨТТӨРҮ АРКЫЛУУ
АНЫКТООДО КОМПЬЮТЕРДИК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ
ЭКОНОМИКАЛЫК БААЛОО ЖАНА ДИАГНОСТИКАЛЫК ТАКТЫК**

***Б.Э. Эмилов, А.А. Сорокин, Л.С. Исакова, Б.Д. Бурабаев,
М.А. Штраус, О.В. Беленкова, Е.Г. Сумбаева, О.А. Салибаев, Т.Ч. Чубаков***

Аннотация. COVID-19 инфекциясынын жайылышын токтотуу стратегияларын бекемдөө үчүн полимераздык чынжыр реакциясын толуктоо зарыл. ПЧР COVID-19 диагнозун коюуда "алтын стандарт" деп эсептелгени менен, анын баасы кымбат жана иштетүү талаптары татаал. Рентген сүрөттөрү өпкө ооруларын скрининг кылууда кеңири колдонулат, бирок сүрөттөрдүн алсыз белгилери аныктаманы татаалдандат. Бул маселени чечүү үчүн жасалма интеллект (ЖИ) рентген сүрөттөрүн автоматташтырылган, так жана тез талдоону сунуштайт. COVID-19 инфекциясынан улам пайда болгон өпкө сезгенүүсүн аныктоодо ЖИ колдонуу менен экономикалык жана диагностикалык аспекти баалайт. Изилдөө рентген кабинеттеринде жүргүзүлүп, Королюк И.П. жана www.radiologymasterclass.co.uk сайтындагы сунуштардын негизинде иштелип чыккан шаблондор колдонулган. Төмөн сапаттагы сүрөттөр интерпретациядагы каталарды азайтуу үчүн чыгарылып салынган. Изилдөөдө COVID-19 инфекциясынан улам пайда болгон өпкө сезгенүүсүн аныктоодо үч рентгенологдун жана ЖИдин тактыгы салыштырылды: дарыгерлер 92–94 % тактыкты көрсөтсө, ЖИ 91 % тактыкка жетти. ЖИ сүрөттөрдү 7–12 секундда талдай алса, рентгенологдордун анализге кеткен убактысы 302ден 840 секундга чейин өзгөрүп, медианасы 452 секундду түздү. Сурамжылоого ылайык, бейтаптардын 42 % ЖИди диагнозду бекитүү үчүн

колдонууга макул болсо, 30 % каршы, 28 % жооп берүүгө кыйылган. 167 катышуучуну камтыган изилдөөдө ЖИ колдонуу менен диагностиканын чыгымы 48 096 сомдон 11 506 сомго кыскартылып, 36 589 сом үнөмдөлгөн. ЖИ технологиясы диагностика тактыгын жогорулатат, персоналдын жүгүн жеңилдетет жана медициналык кызматтардын жеткиликтүүлүгүн жакшыртат. Технологияны ийгиликтүү киргизүү үчүн окутулган адистер, жеткиликтүү жабдуулар, маалыматтык кампаниялар жана бейтаптар менен медициналык мекемелердин арасында ишенимди бекемдөө зарыл.

Түйүндүү сөздөр: COVID-19; компьютердик аныктоо; жасалма интеллект; пневмония; рентген-диагностикасы; машинаны үйрөнүү.

ECONOMIC EVALUATION AND DIAGNOSTIC ACCURACY OF COMPUTERIZED DETECTION ON LUNG RADIOGRAPHS IN CORONAVIRUS INFECTION (COVID-19) COMPLICATED BY PNEUMONIA

*B.E. Emilov, A.A. Sorokin, L.S. Isakova, B.D. Burabaev,
M.A. Strauss, O.V. Belenkova, E.G. Sumbaeva, O.A. Salibaev, T.Ch. Chubakov*

Abstract. To strengthen COVID-19 containment strategies, an addition to the polymerase chain reaction, recognized as the gold standard for diagnosis, but limited by high cost and complex operation, is needed. Chest X-ray is widely used for screening due to its accessibility, but interpretation difficulties due to weak radiological features limit its accuracy. Artificial intelligence offers a solution for automated, accurate and fast X-ray analysis. The economic and diagnostic aspects of using artificial intelligence to detect pneumonia in COVID-19 are being evaluated. The study was conducted in X-ray rooms using specially designed X-ray description templates. The study compared the accuracy of the diagnosis of pneumonia in COVID-19 among three radiologists and artificial intelligence: doctors showed an accuracy of 92-94%, artificial intelligence – 91%. Artificial intelligence accelerates the process by analyzing the image in 7-12 seconds, whereas doctors' time ranged from 302 to 840 seconds (median 452 seconds). A survey of patients showed that 42% support the use of artificial intelligence, 30% disagree, and 28% found it difficult to answer. In a study with 167 participants, the use of artificial intelligence reduced diagnostic costs from 48,096 to 11,506 soms, providing savings of 36,589 soms. The technology improves diagnostic accuracy, reduces staff workload, and improves access to medical care. The successful implementation of artificial intelligence requires trained specialists, affordable equipment, information campaigns, and building trust among patients and medical organizations.

Keywords: COVID-19; computer-aided detection; artificial intelligence; pneumonia; X-ray diagnostics; machine learning.

Введение. Дополнение к полимеразной цепной реакции (ПЦР) при скрининге COVID-19 необходимо для укрепления текущих глобальных стратегий по сдерживанию его дальнейшего распространения и возможных будущих вспышек. Несмотря на то, что тестирование ПЦР признано золотым стандартом диагностики COVID-19 благодаря своей высокой точности, его доступность и масштабируемость ограничены из-за высокой стоимости и сложных эксплуатационных требований [1–3].

В связи с этим ограничением рентгенологические методы широко используются для первичного скрининга подозрительных случаев. Ранние исследования показали, что анализ изображений рентгенографии органов грудной клетки (РОГК) может обеспечить более высокую чувствительность и специфичность по сравнению с диагностикой на основе ПЦР. К тому

же уровень ошибок при диагностике COVID-19 остается значительным, а последствия таких ошибок оказываются весьма затратными [4]. Широкая доступность рентгеновских аппаратов делает их привлекательным выбором для быстрого и массового скрининга. Однако многие рентгенологи сталкиваются с трудностями при интерпретации РОГК из-за слабовыраженных рентгенологических признаков, таких как консолидация, размытость контуров и усиление непрозрачности [5–8]. Технологическим решением является разработка системы обнаружения, основанная на искусственном интеллекте (ИИ), которая обеспечит автоматизированный, точный и оперативный скрининг пневмонии, вызванной COVID-19 на основе изображений РОГК. В последние годы использование ИИ в медицинской диагностике добилось значительного прогресса, помогая рентгенологам и клиницистам

в выявлении, анализе и мониторинге заболеваний. Способность ИИ распознавать сложные паттерны на рентгенологических изображениях и предоставлять количественную оценку обеспечивает эффективный и масштабируемый подход, который может дополнить существующие диагностические процессы в больницах и амбулаторных центрах [2].

Цель – оценить экономические и диагностические аспекты компьютерного обнаружения на рентгенограммах легких при коронавирусной инфекции (COVID-19), осложненной пневмонией.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено в нескольких государственных и частных рентген-кабинетах. Для анализа рентгенограмм тремя врачами-рентгенологами были созданы специально разработанные шаблоны описания. Также процесс описания снимков был записан в секундах. Необходимо подчеркнуть, что рентгенологи не связывались друг с другом для консультаций, т. е. обработка данных была самостоятельной. Исследовательской командой был адаптирован шаблон описания рентгенограмм органов дыхания на основе рекомендаций И.П. Королюка [9] и www.radiologymasterclass.co.uk.

Все рентгенограммы, которые не были в цифровом формате, качество которых исследователи сочли неподходящим или плохим, были исключены, чтобы избежать непредвиденных ошибок в интерпретации.

Статистический анализ. Для определения эффективности работы ИИ и врачей-рентгенологов по таблице кросс-табуляции рассчитывалась «точность». Этот параметр определяет правильность работы по диагностике как больных, так и здоровых. Расчет доверительного интервала для точности рассчитывался на сайте www.vassarstats.net.

Для визуального представления времени работы врачей-рентгенологов над описанием одного цифрового рентген-снимка использовалось графическое представление с помощью «Диаграмма размаха» [10].

«Диаграмма размаха» – это график, использующийся в описательной статистике, компактно изображающий одномерное распределение вероятностей. Такой вид диаграммы в удобной форме показывает медиану, нижний и верхний

квантили, минимальное и максимальное значения выборки и выбросы.

Результаты. Мы сравнили точность диагностики пневмонии при COVID-19 ИИ и 3-х врачей-рентгенологов (таблица 1).

Из таблицы 1 хорошо видно, что из 77 больных с пневмонией рентгенолог № 1 правильно смог определить 70, хотя с здоровыми ситуация выглядит чуть лучше, где из 90 здоровых врач смог правильно описать 87, что в итоге показало 94 % точности с доверительным интервалом от 0,893 до 0,967.

В таблице 2 рентгенолог № 2 из 77 больных с пневмонией правильно смог определить 74, а из 90 здоровых врач смог правильно определить 82, что в итоге показало 93 % точности с доверительным интервалом от 0,886 до 0,963.

У врача-рентгенолога № 3 (таблица 3) результаты оказались немного хуже, чем у других, где точность здесь составила 92% с ДИ 0,871 – 0,954.

Искусственный интеллект был примерно на таком же уровне точности по сравнению с врачами-рентгенологами, составив 91 % с ДИ от 0,864 до 0,949 (таблица 4).

При использовании ИИ как помощника для врача-рентгенолога с целью диагностики пневмонии при COVID-19 определенно повышается точность диагностических заключений.

Кроме этого, была определена скорость обработки цифровой рентгенограммы с помощью искусственного интеллекта, который варьировался от 7 секунд до 12 секунд.

При описании скорости и составления заключения врачом-рентгенологом с помощью хронометража измерялось время от начала просмотра рентгенограммы грудной клетки до принятия решения о наличии или отсутствии патологии. Изменялось время принятия решения трех врачей с опытом работы по специальности от 5 лет до 41 года. Общее количество измерений 77. Не учитывалось время на загрузку снимков на рабочую станцию и на описание. Наибольшее значение времени принятия решения было 840 секунд, наименьшее – 302 секунд. Среднее время принятия решения составило 544 секунд, медиана – 452 секунд (рисунок 1).

В то же время работа ИИ зависит только от качества интернет-связи и компьютерной

Таблица 1 – Врач-рентгенолог № 1

Рентгенолог № 1	Правда		В общем
	группа «Здоровые»	группа «Пневмония»	
Здоров	87	7	94
Пневмония	3	70	73
В общем	90	77	167
Точность (95 % ДИ)	0,940 (0,893–0,967)		

Таблица 2 – Врач-рентгенолог № 2

Рентгенолог № 2	Правда		В общем
	группа «Здоровые»	группа «Пневмония»	
Здоров	82	3	85
Пневмония	8	74	82
В общем	90	77	167
Точность (95 % ДИ)	0,934 (0,886–0,963)		

Таблица 3 – Врач-рентгенолог № 3

Рентгенолог № 3	Правда		В общем
	группа «Здоровые»	группа «Пневмония»	
Здоров	82	5	87
Пневмония	8	72	80
В общем	90	77	167
Точность (95 % ДИ)	0,922 (0,871–0,954)		

Таблица 4 – Искусственный интеллект

Искусственный интеллект	Правда		Total
	группа «Здоровые»	группа «Пневмония»	
Здоров	87	11	98
Пневмония	3	66	69
В общем	90	77	167
Точность (95 % ДИ)	0,916 (0,864–0,949)		

мощности используемого оборудования, которой располагает пользователь. В рутинной практике, кроме времени, затрачиваемого на принятие решения, врачу-рентгенологу необходимо время на формирование полного заключения. Учитывая этот факт, интервал времени от начала просмотра снимков до окончания процесса описания может увеличиваться до 1 часа и более. Кроме того, время, затрачиваемое врачом на интерпретацию цифровых рентгенограмм пациента с пневмонией COVID-19, превышает время проведения самой процедуры рентгенографии.

В качестве подготовительного этапа перед вводом нового вида инновационной диагностической услуги в качестве тестирования рынка использовался опросный метод потенциального

потребителя (пациентов). Пациентам предлагалось ознакомиться с информацией о возможностях ИИ в диагностике пневмонии при COVID-19 и заполнить анкету. Результаты анкетирования представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, 42 % опрошенных пациентов выразили согласие на использование системы ИИ в качестве дополнительного средства для подтверждения диагноза, что демонстрирует наличие интереса и доверия к технологиям в медицинской сфере. Однако 30 % респондентов не поддерживают идею дополнительного исследования снимков с использованием ИИ, что может свидетельствовать о недостаточном понимании преимуществ таких технологий или опасениях по поводу их надежности. Всего 28 %

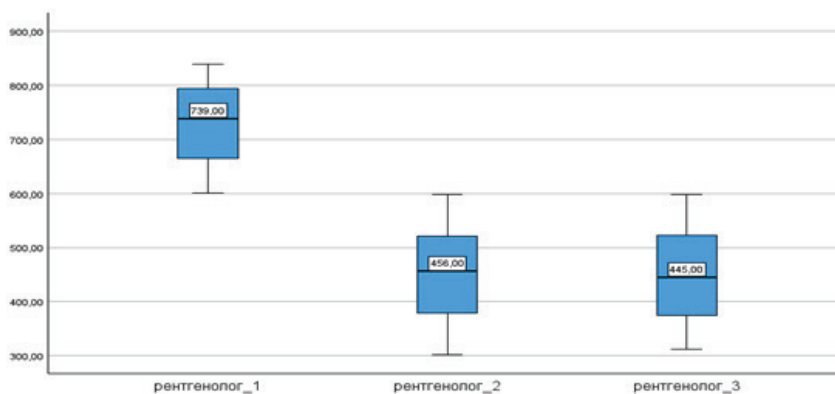


Рисунок 1 – Диапазон значений времени принятия решения врачами

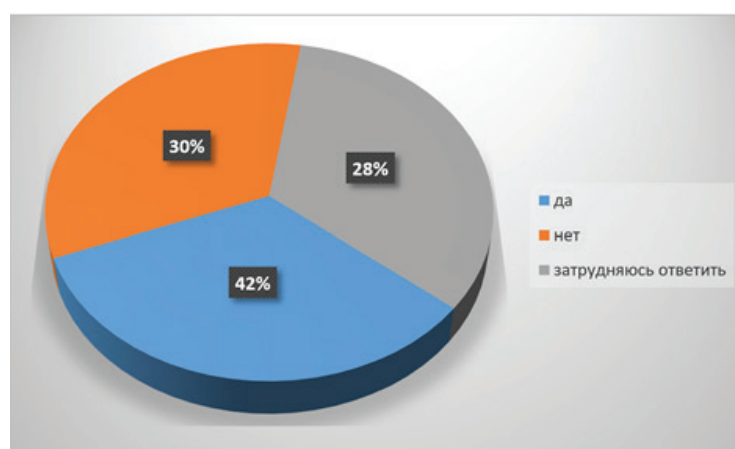


Рисунок 2 – Результаты опроса пациентов: «Считаете ли вы необходимым использовать систему искусственного интеллекта для дополнительного анализа снимков в качестве второго мнения при подтверждении диагноза, поставленного врачом?»

опрошенных затруднились ответить на этот вопрос, что может указывать на необходимость проведения разъяснительной работы и повышения осведомленности пациентов о потенциале ИИ в медицинской диагностике.

Экономическая эффективность применения ИИ в рентген-диагностике. Экономическая эффективность применения ИИ в рентген-диагностике основывается на ряде факторов, которые могут значительно улучшить качество медицинского обслуживания, снизить затраты и повысить производительность работы медицинского персонала.

В нашем исследовании мы показываем, как использование технологий ИИ в диагностике пневмонии при COVID-19 на 167 участниках (77 с пневмониями и 90 здоровых пациентов) может существенно снизить затраты на медицинские

исследования. Ниже мы приводим наглядные расчеты, как происходит экономия и как это может быть представлено.

1. Затраты без использования ИИ:

- цифровая рентген пленка: 205 сомов за каждого пациента;
- заключение врача-рентгенолога: 14 сомов 10 тыйынов за каждого пациента;
- общая стоимость одного исследования: 205 сом + 14 сом 10 тыйынов + 68 сом 90 тыйынов = 288 сом 00 тыйынов;
- для 167 пациентов:
 - $167 \times 288 \text{ сом } 00 \text{ тыйынов} = 48\,096 \text{ сомов } 00 \text{ тыйынов}$.

2. Затраты с использованием ИИ:

- вы указываете, что с применением ИИ и без учета услуг врача-рентгенолога и цифровой

рентген пленки затраты составляют 68 сомов 90 тыйынов на каждого пациента;

➤ для 167 пациентов:

- $167 \times 68 \text{ сом } 90 \text{ тыйынов} = 11\,506 \text{ сомов } 30 \text{ тыйынов}$.

3. Экономия:

➤ Экономия на применении ИИ: 48 096 сомов 00 тыйынов (затраты без ИИ) - 11 506 сомов 30 тыйынов (затраты с ИИ) = 36 589 сомов 70 тыйынов.

Использование ИИ значительно снижает затраты на диагностику, и экономия может быть значимой при массовом применении этой технологии. В вашем случае, экономия в 36 589 сомов 70 тыйынов является ощутимым результатом, который может быть использован для улучшения качества диагностики и расширения доступности медицинской помощи.

Выводы. Таким образом, использование ИИ в диагностике пневмонии при COVID-19 имеет значительный потенциал для повышения точности диагностики, снижения затрат и улучшения доступности медицинской помощи. Однако для успешного внедрения такой технологии необходимо продолжить работу по повышению доверия для организаций здравоохранения при наличии соответствующего оборудования (цифровой рентген, ПК и доступ к веб-приложению ИИ), обученных медицинских работников с объяснением преимуществ ИИ и обеспечению прозрачности процессов.

Для успешного внедрения ИИ в диагностику необходимо организовать информационные кампании, которые помогут пациентам лучше понять, что такое ИИ, как он работает и какие конкретные преимущества он может предложить в контексте их здоровья. Если технологии будут широко распространены, это поможет не только улучшить качество диагностики, но и снизить нагрузку на медицинский персонал, особенно в условиях глобальных пандемий. Важным направлением является переориентирование специалистов лучевой диагностики на новые уровни профессиональной деятельности с учетом применения ИИ, что требует коллаборации врачей и разработчиков.

Поступила: 06.12.24; рецензирована: 20.12.24;
принята: 23.12.24.

Литература

1. *Tahamtan A, Ardebili A.* Real-time RT-PCR in COVID-19 detection: issues affecting the results // Expert review of molecular diagnostics. 2020 May 3; 20 (5): 453–4. URL: <https://doi.org/10.1080/14737159.2020.1757437> PMID:32297805.
2. *Ai T, Yang Z, Hou H, Zhang C, Chen C, Lv W. et al.* Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1014 cases // Radiology. 2020. Aug; 296 (2): E32–40. URL: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200642> PMID: 32101510.
3. *Wang L., Lin Z.Q., Wong A.* COVID-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of COVID-19 cases from chest x-ray images. Scientific Reports. 2020 Nov 11; 10 (1):1–2. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76550-z> PMID: 33177550.
4. *Li T, Han Z, Wei B, Zheng Y, Hong Y, Cong J.* Robust screening of COVID-19 from chest x-ray via discriminative cost-sensitive learning. arXiv preprint arXiv:2004.12592. 2020 Apr 27.
5. *Jacobi A., Chung M., Bernheim A., Eber C.* Portable chest X-ray in coronavirus disease-19 (COVID-19): A pictorial review // Clinical imaging. 2020 Aug 1; 64: 35–42. URL: <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2020.04.001> PMID:32302927.
6. *Guo W., Wang J., Sheng M., Zhou M., Fang L.* Radiological findings in 210 paediatric patients with viral pneumonia: a retrospective case study // The British journal of radiology. 2012 Oct; 85 (1018): 1385–9. URL: <https://doi.org/10.1259/bjr/20276974> PMID: 22514104.
7. *Vilar J., Domingo M.L., Soto C., Cogollos J.* Radiology of bacterial pneumonia // European journal of radiology. 2004 Aug 1; 51 (2): 102–13. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2004.03.010> PMID: 15246516.
8. *Lomoro P., Verde F., Zerboni F., Simonetti I., Borghi C., Fachinetti C. et al.* COVID-19 pneumonia manifestations at the admission on chest ultrasound, radiographs, and CT: single-center study and comprehensive radiologic literature review // European journal of radiology open. 2020 Jan 1; 7:100231. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2020.100231> PMID: 32289051.
9. *Королюк И.П.* Лучевая диагностика: учебник для медицинских вузов / И.П. Королюк. 2020. С. 168–217.
10. *Wickham Hadley; Stryjewski Lisa.* 40 years of boxplots (PDF). Retrieved December 24, 2020.