

**РЕЗЮМЕ**

**ОБУЧЕНИЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕНТГЕНОГРАММ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ  
КЛЕТКИ ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

<sup>1</sup> О.И. Бобоходжаев, <sup>2</sup> Н.Н. Абдуллоев, <sup>1</sup>С.Г. Шукуров

<sup>1</sup>ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет  
им.Абуали ибни Сино»,

<sup>2</sup>ГОУ «Хатлонский государственный медицинский университет»

В статье представлены собственные данные по проведению скрининговых исследований с интерпретацией рентгенограмм органов грудной клетки с помощью искусственного интеллекта САД (computer aided diagnosis), что согласно рекомендаций ВОЗ даёт более точные клинические пороговые значения для принятия решения о том, кому необходимо провести более углубленное обследование. Использование мобильных цифровых рентген-аппаратов, оснащенных САД инструментом сокращает затраты, позволяя сортировать лиц с подозрением на туберкулёз для тестирования на GeneXpert, сокращая при этом время начала лечения туберкулеза.

**Заключение.** Наш опыт свидетельствует о том, что машинный анализ данных компьютерной томографии органов грудной клетки вследствие эффекта суммации теней, наличия «слепых» зон и т. д., находит все большее применение как в сфере диагностики, так и скрининга заболеваний органов дыхания.

**Ключевые слова.** Интерпретация рентген-снимков, искусственный интеллект, туберкулёз.

**Для цитирования:** Бобоходжаев О.И., Абдуллоев Н.Н., Шукуров С.Г. обучение интерпретации рентгенограмм органов грудной клетки применением программы искусственного интеллекта. Наука и образование. 2024;1(3):241-253. <https://doi.org/10.25005/3078-5022-2024-1-3-241-253>

**ХУЛОСА**

**ОМУЗИШИ ТАФСИРИ РЕНТГЕНОГРАФФАИ УЗВҶОИ ҚАФАСИ СИНА БО  
ИСТИФОДАИ БАРНОМАИ ЗЕҶНИ СУНЪӢ**

<sup>1</sup>Бобохочаев О.И., <sup>2</sup>Абдуллоев Н.Н., <sup>1</sup>Шукуров С.Г.

<sup>1</sup>Муассисаи давлатии таълимии «Донишгоҳи давлатии тиббии Тоҷикистон ба  
номи Абӯалӣ ибни Сино»,

## ***<sup>2</sup>Муассисаи давлатии таълимии "Донишгоҳи давлатии тиббии Хатлон"***

*Дар мақола маълумоти шахсии мо дар бораи таҳқиқоти скринингӣ бо тафсири тасвирҳои рентгении қафаси сина бо истифодаи зеҳни сунъии CAD (таиҳисии компютерӣ), ки мувофиқи тавсияҳои ТУТ барои муайян кардани кӯ ба муоинаи амиқтар ниёз дорад, ҳадди дақиқтари клиникиро пешниҳод мекунад. Истифодаи мошинҳои мобилии рентгении рақамӣ, ки бо асбоби CAD мучаҳҳаз шудааст, хароҷотро коҳиш медиҳад ва имкон медиҳад, ки шахсони гумонбаршудаи бемории сил барои санҷиши GeneXpert триозатсия карда шаванд ва ҳамзамон вақти оғози табобати бемории силро кам кунанд.*

***Хулоса.*** Таҷрибаи мо нишон медиҳад, ки таҳлили мошинии маълумотҳои томографияи компютерии сандуки сина бинобар таъсири чамъовариш соя, мавҷуд будани минтакаҳои «нобинона» ва гайра чи дар соҳаи таиҳис ва чи дар соҳаи таиҳис ва скрининги бемориҳои роҳи нафас васеъ истифода мешавад.

***Калимаҳои калидӣ.*** Тафсири рентген, зеҳни сунъӣ, бемории сил.

### **ABSTRACT**

#### **TRAINING IN THE INTERPRETATION OF CHEST RADIOGRAPHS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE PROGRAM**

***<sup>1</sup>Bobokhodjaev O.I., <sup>2</sup>Abdulloev N.N., <sup>1</sup>Shukurov S.G.***

***<sup>1</sup>State Educational Institution "Avicenna Tajik State Medical University",***

***<sup>2</sup>State Educational Institution "Khatlon State Medical University"***

*The article presents our own data on conducting screening studies with the interpretation of chest radiographs using artificial intelligence CAD (computer aided diagnosis), which, according to WHO recommendations, provides more accurate clinical threshold values for deciding who needs a more in-depth examination. The use of mobile digital X-ray machines equipped with a CAD tool reduces costs by allowing the triage of suspected tuberculosis cases for GeneXpert testing, while reducing the time to start tuberculosis treatment.*

***Conclusion.*** Our experience shows that machine analysis of chest CT data, due to the effect of shadow summation, the presence of "blind" zones, etc., is increasingly used in both diagnostics and screening of respiratory diseases.

***Keywords.*** X-ray interpretation, artificial intelligence, tuberculosis.

По данным ВОЗ Республика Таджикистан входит в число 30 стран мира с высоким бременем туберкулёза, в особенности его лекарственно устойчивых форм. Данные официальной статистики по зарегистрированным случаям туберкулёза сильно отличаются от оценочных данных ВОЗ по заболеваемости туберкулёзом. Так, если в 2021 году оценочные данные ВОЗ указывали на уровень заболеваемости равный 88 на 100 тыс. населения (8600 случаев), в стране показатель зарегистрированных случаев в 2021 году составил лишь 40,3 на 100 тыс. населения или 4158 случаев [1]. Несмотря на то, что лаборатории противотуберкулёзной службы во всех регионах страны достаточно оснащены оборудованием для проведения экспресс методов молекулярно-генетической диагностики туберкулёза и его лекарственно устойчивых форм (Xpert), ситуация по выявлению новых случаев заболевания, в особенности после его резкого спада в период пандемии COVID-19, всё ещё не достигла доковидного уровня [2, 3].

В связи с этим, вполне были оправданы рекомендации ВОЗ в марте 2021 года об активном применении в клинической практике инновационных подходов, основанных на цифровых технологиях. Одним из таких методов инструмент CAD (computer aid diagnosis), инсталлированный в портативные цифровые рентген-установки [4].

Рентген-установки с искусственным интеллектом имеют также преимущества перед обычными рентгенологическими исследованиями органов грудной клетки в том, что могут применяться врачами общей практики, не имеющими специальных навыков чётки рентген-снимков, повышают качество интерпретации рентгенограмм органов грудной клетки путём её автоматизации и стандартизации, обладают меньшей лучевой нагрузкой, сокращают время для интерпретации, могут обеспечить проведение диагностики фтизио-онко-пульмонологических заболеваний и распознать патологии расположенные в “слепых” зонах, позволяют проводить динамический сравнительный мониторинг эффективности лечения [5].

Конечно же CAD не может заменить комплексного подхода и клинического мышления врача, однако является эффективным помощником для врача при проведении скрининговых исследований [6].

Развитие первых систем искусственного интеллекта для определения патологии легких на основе CAD пришлось на период пандемии COVID-19 [7]. Системы CAD используют предварительную обработку изображений (повышение контрастности, определение границ легких, уменьшение теней костных структур) для того, чтобы объекты, отражающие патологические изменения, стали более заметными [8]. Сложность применения CAD в скрининге туберкулёза лёгких напрямую связана с большим разнообразием рентгенологических форм данного заболевания [9]. В настоящее время разработан CAD-алгоритм для определения на рентгенограммах полостей распада, которые зачастую свидетельствуют о бактериовыделении у пациента и опасности возникновения тяжелых осложнений [10].

Развитие искусственного интеллекта в области диагностики туберкулеза достигло высоких результатов, некоторые алгоритмы не уступают показателям врачей и могут использоваться для первичного прочтения, однако для этого требуется соответствующая нормативно-правовая основа и специальное обучение [11].

В литературе по CAD часто упоминаются два разных «сценария использования» рентгенографии для выявления туберкулеза. Одним из них является «сортировка», когда исследуемая популяция состоит из лиц, обращающихся за помощью по поводу симптомов туберкулеза. Другой метод – «скрининг», при котором исследуемая популяция не отбиралась заранее по симптомам туберкулеза, а проходила тестирование, поскольку они принадлежат к группе риска по туберкулезу [12].

Всемирная организация здравоохранения рекомендует в качестве эталонного стандарта использовать Xpert MTB/RIF или культуру мокроты. Однако использование только образца мокроты для диагностики туберкулёза

часто приводит к необъективным оценкам из-за низкой чувствительности. Это особенно важно учитывать в условиях, когда заболевание протекает с отрицательным мазком мокроты, вероятно, в условиях высокой распространенности коинфекции с ВИЧ [13].

С другой стороны, влияют на точность САД такие факторы как пол, предшествующий анамнез туберкулеза, возраст, ВИЧ-статус. В этих случаях разработчики рекомендуют калибровать САД с использованием местных данных, не используя эталонные пороговые значения и рассмотреть возможность введения разных пороговых значений для разных групп населения, особенно для людей, живущих с ВИЧ. Это одна из основных проблем при внедрении САД: разработка программы по установлению порогового балла в ходе исследования до его реализации. Без неё интерпретация подвержена ошибкам, в зависимости от того, как проводится исследование [14].

Опубликованы результаты крупных исследований, в которых коммерчески доступные САД на основе глубокого обучения сравнивались с микробиологическим стандартом исследования мокроты GeneXpert у 1196 пациентов с симптомами среди участников из Непала и Камеруна. Используя GeneXpert в качестве эталонного стандарта, продукты САД имели схожую результативность [15].

В другом исследовании, САД сравнили с результативностью применения эталонного стандарта в двух культурах мокроты у 2198 человек из городской больницы третичного уровня в Пакистане. В этом исследовании культуральный метод был более результативным, чем САД [16].

Однако, в обоих исследованиях продукты САД превзошли результаты местных рентгенологов при сопоставлении с цифровыми рентген-снимками. В то же время при сравнении чувствительности САД экспертами-рентгенологами, отчёт последних имели более низкую специфичность, чем эксперты-рентгенологи. Это подчеркивает необходимость тщательного изучения и независимой проверки эффективности всех коммерческих продуктов [17].

В отличие от традиционных диагностических тестов, часто появляются новые продукты CAD, которые регулярно обновляют версии программного обеспечения. Продукты CAD, прошедшие оценку ВОЗ, а впоследствии рекомендованные для использования в качестве альтернативы интерпретации рентген–снимков превосходят предыдущие продукты, продемонстрировав необходимость постоянной переоценки и объективной повторной проверки диагностической точности и пороговых калибровок. В настоящее время, ВОЗ всё ещё создает свою программу предварительной квалификации для адаптации к быстрым темпам развития инноваций в этой области.

Алгоритмы глубокого обучения, анализирующие цифровые рентген–снимки также разработаны для идентификации нетуберкулезных заболеваний, включая пневмонию, COVID–19 и рак легких [18].

Опубликованы результаты сравнительного анализа компьютерной томографии (КТ) с мобильными цифровыми рентген–аппаратами, оснащенными CAD инструментом. Сообщалось, что чтение CAD в цифровой рентген–установке лучше коррелирует с показаниями рентгенолога при интерпретации КТ [19].

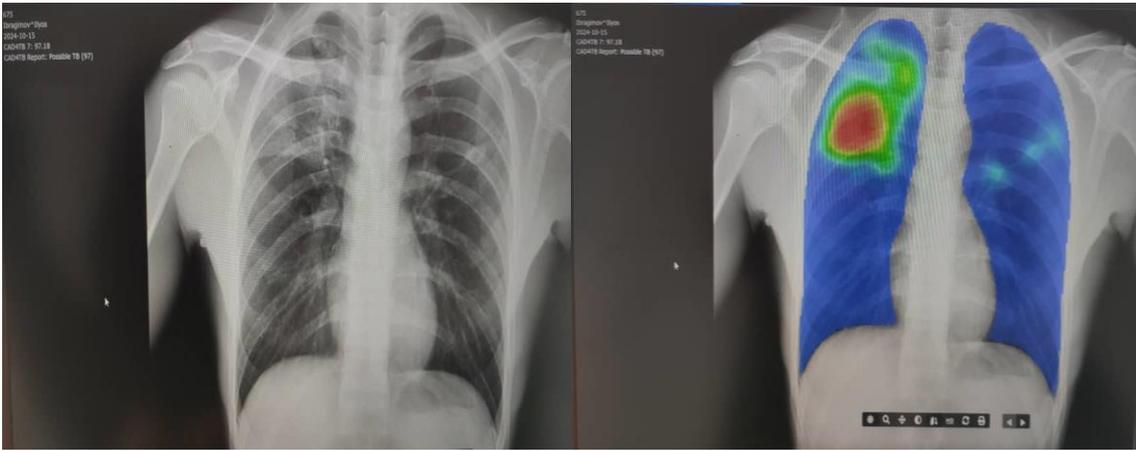
**Материал и методы исследования.** Нами изучена эффективность и возможности практического применения искусственного интеллекта при интерпретации рентгенограмм при различных фтизио–онко–пульмонологических заболеваниях легких. Первые цифровые передвижные рентгено–установки с инсталляцией в них программы искусственного интеллекта CAD (Computer aided diagnosis) были приобретены в Республике Таджикистан в 2022 году. Сегодня на таких установках работают обученные врачи в 34 регионах страны. Мы изучили эффективность применения этих установок путем осуществления мониторинговых визитов в эти регионы.

**Результаты исследования.** Таджикистан – это страна в Центральной Азии, 93% территории которой занимают горы, с населением немного более 10 млн чел., расположенная в предгорьях Памира и граничащая с Афганистаном,

Китаем, Кыргызстаном и Узбекистаном. В Республике Таджикистан в структуре общей заболеваемости четверть из них занимают болезни органов дыхания. За последнее десятилетие в Республике Таджикистан регистрируется увеличение показателей заболеваемости и смертности патологиями органов дыхания, причём различными формами с атипичными и тяжелыми формами клинического течения. Как и во многих странах патологии органов дыхания в республике занимают ведущее место в структуре инвалидности и смертности, лишая трудоспособности значительную часть населения и чаще всего людей зрелого трудоспособного возраста с большим профессиональным опытом и потенциальными возможностями к активной жизни и деятельности. В течение 2023 года всего было выполнено 146400 исследований САД инсталлированных в цифровые рентген–установки, что позволило выявить 766 дополнительных случаев туберкулеза легких, впоследствии подтвержденных молекулярно–генетическими методами исследования мокроты (0,5%). Дальнейшее проведение им микроскопического исследования мокроты выявило 309 случаев бактериовыделения (40,3%). Кроме туберкулеза нами было выявлено 49 новых случаев эхинококкоза легких, 127 новых случаев рака легкого, 244 новых случаев плевритов и 1222 новых случаев других пульмонологических заболеваний (0,8%), которые по причине отсутствия явных клинических симптомов ранее не были диагностированы.

На рисунках 1 и 2 представлены изображения рентгенограмм органов грудной клетки с САД интерпретацией патологического очага. В левых верхних углах снимков указано, что более 97% имеется вероятность наличия туберкулезного процесса в легких.

**Рисунок 1 и 2. Рентгенограмма органов грудной клетки (слева) и её интерпретация с помощью программы искусственного интеллекта (справа).**



**Обсуждение.** Преимущества CAD: портативный в футляре, относительно лёгкий, генерирует изображения высокого качества, излучает меньше радиации, работает с питанием от аккумулятора.

На рисунках 3 и 4 представлен портативный рентген аппарат в действии.

**Рисунок 3 и 4. Портативный рентген аппарат в действии.**



Выходные отчеты и интерфейсы программного продукта CAD, как правило, предоставляют [20]:

1. Тепловую карту, показывающую область грудной клетки, где присутствует патологическое изменение («обнаружение»);
2. Числовую оценку патологического изменения в диапазоне от нуля до единицы (или от 0 до 100) для патологических изменений или

заболеваний, которые они могут обнаружить («классификация»);

3. Дихотомическую (бинарную) классификацию патологических изменений, которые может обнаружить программное обеспечение CAD;

4. Автоматически сгенерированный стандартный рентгенологический отчет.

5. Дает возможность улучшить выявление патологических изменений, избежать неточностей при интерпретации рентгеновских снимков грудной клетки, автоматизируя и стандартизируя интерпретацию результатов рентгена.

В контексте рекомендаций ВОЗ по проведению скрининговых исследований с интерпретацией рентгенограмм органов грудной клетки, CAD даёт более точные клинические пороговые значения для принятия решения о том, кому необходимо сдать анализ мокроты. Другим аспектом в рекомендациях ВОЗ является экономическая эффективность CAD как инструмента сортировки пациентов с симптомами заболеваний органов дыхания в странах с низкими доходами и высоким уровнем заболеваемости туберкулезом. По сравнению с микроскопией мазков и GeneXpert, без проведения предварительной сортировки, использование мобильных цифровых рентген-аппаратов, оснащенных CAD инструментом сокращает затраты, позволяя сортировать лиц с подозрением на туберкулёз для тестирования на GeneXpert, сокращая при этом время начала лечения туберкулеза.

Таким образом, наш опыт проведения цифровых рентгенографических исследований портативными рентген-аппаратами с применением программы CAD является малозатратным и легковыполнимым методом, не требует больших средств, не нужны отдельные помещения, обладает высокой эффективностью, хорошим качеством снимков, позволяет быстро уточнить лиц с подозрением на туберкулез, дифференцируя её с другими патологическими изменениями в лёгких [21, 22].

**Заключение.** Наш опыт свидетельствует о том, что машинный анализ данных компьютерной томографии органов грудной клетки вследствие более высоких разрешающих возможностей метода и отсутствия принципиальных недостатков рентгенографии, в том числе эффекта суммации теней, наличия «слепых» зон и т. д., находит все большее применение как в сфере диагностики, так и скрининга заболеваний органов дыхания. Применение нами этого инструмента позволило в полевых условиях выявить дополнительные новые случаи фтизио–онко–пульмонологических заболеваний.

### Литература

1. WHO, Global TB Report. 2022:214. <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022>.
2. Bobokhojaev OI. Experience in optimizing the accessibility of services for tuberculosis in the Republic of Tajikistan. *J. Community Med Health Solut.* 2022; 3: 064–068. DOI: 10.29328/journal.jcmhs.1001022
3. Bobokhojaev OI. Long term results of 10 years of observation of cured cases of pulmonary tuberculosis. *J. Pulmonol Respir Res.* 2022; 6: 007–011. ISSN: 2639–9954 DOI: 10.29328/journal.jprr.1001036
4. Chest radiography in tuberculosis detection – summary of current WHO recommendations and guidance on programmatic approaches. *World Health Organization.* 2016: 39.
5. Adams SJ, Henderson RDE, Yi X, Babyn P. Artificial Intelligence Solutions for Analysis of X–ray Images. *Can. Assoc. Radiol. J.* 2021;Feb;72(1):60–72. doi: 10.1177/0846537120941671.
6. Khan AI, Shah JL, Bhat MM, et al. CoroNet: A deep neural network for detection and diagnosis of COVID–19 from chest x–ray images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine.* 2020: 196.

7. Apostolopoulos ID, Mpesiana TA. Covid-19: automatic detection from X-ray images utilizing transfer learning with convolutional neural networks. *Phys. Eng. Sci. Med.* 2020;43:635-640.
8. Ather S, Kadir T, Gleeson F. Artificial intelligence and radiomics in pulmonary nodule management: current status and future applications. *Clin. Radiol.* 2020;75(1):13-19.
9. Behzadi-Khormouji H. Deep learning, reusable and problem-based architectures for detection of consolidation on chest X-ray images. *Comput Methods Programs Biomed.* 2020;185: 105162.
10. Chassagnon G. Artificial intelligence applications for thoracic imaging. *Eur. J. Radiol.* 2020; 23: 108774.
11. CAD and X-ray training modules. 2022. – <https://www.stoptb.org/resources-implementing-cad-and-xray/cad-and-x-ray-training-modules>.
12. Bashir S, Kik SV, Ruhwald M, Khan A, Tariq M, Hussain H, Denkinge CM. Economic analysis of different throughput scenarios and implementation strategies of computer-aided detection software as a screening and triage test for pulmonary TB. *PLoS One.* 2022; Dec30;17(12): e0277393. doi: 10.1371/journal.pone.0277393.
13. Dvijotham KD, Winkens J, Barsbey M, Ghaisas S, et al. Enhancing the reliability and accuracy of AI-enabled diagnosis via complementarity-driven deferral to clinicians. *Nat Med.* 2023,Jul;29(7):1814-1820. doi: 10.1038/s41591-023-02437-x.
14. Dohal M, Porvaznik I, Solovic I, Mokry J. Advancing tuberculosis management: the role of predictive, preventive, and personalized medicine. *Front Microbiol.* 2023; Oct4;14:1225438. doi: 10.3389/fmicb.2023.1225438.
15. Hwang EJ, Goo JM, Nam JG, Park CM, Hong KJ, Kim KH. Conventional Versus Artificial Intelligence-Assisted Interpretation of Chest Radiographs in Patients With Acute Respiratory Symptoms in Emergency Department: A Pragmatic Randomized Clinical Trial. *Korean J Radiol.* 2023, Mar;24(3):259-270. doi: 10.3348/kjr.2022.0651.

16. Habib SS. et al. Evaluation of computer aided detection of tuberculosis on chest radiography among people with diabetes in Karachi Pakistan. *Sci. Rep.* 2020;10:6276.
17. Katende B, Bresser M, Kamele M, Chere L. Impact of a multi-disease integrated screening and diagnostic model for COVID-19, TB, and HIV in Lesotho. *PLOS Glob Public Health.* 2023, Aug 2;3(8): e0001488. doi: 10.1371/journal.pgph.0001488.
18. Klinkenberg E, Floyd S, Shanaube K, Mureithi L, et al. TREATS study team. Tuberculosis prevalence after 4 years of population-wide systematic TB symptom screening and universal testing and treatment for HIV in the HPTN 071 (PopART) community-randomised trial in Zambia and South Africa: A cross-sectional survey (TREATS). *PLoS Med.* 2023, Sep 8;20(9): e1004278. doi: 10.1371/journal.pmed.1004278.
19. Qin ZZ. Early user experience and lessons learned using ultra-portable digital X-ray with computer-aided detection (DXR-CAD) products: a qualitative study from the perspective of healthcare providers. *PLoS ONE.* 2023;18: e027784.
20. Yang Y, Xia L, Liu P, Yang F, et al. A prospective multicenter clinical research study validating the effectiveness and safety of a chest X-ray-based pulmonary tuberculosis screening software JF CXR-1 built on a convolutional neural network algorithm. *Front Med (Lausanne).* 2023, Aug 15;10: 1195451. doi: 10.3389/fmed.2023.1195451.
21. Bobokhojaev OI, Rasulov EF, Abdurakhimov AA. Detection of pulmonary tuberculosis in the Republic of Tajikistan / Hospice & Palliative Medicine International Journal. 2024; 7(3): 96-98.
22. Bobokhojaev OI, Abdulloev NN, Khushvakhtov ShD, Shukurov SG. Efficiency of Artificial Intelligence for Interpretation of Chest Radiograms in the Republic of Tajikistan. *J. Pulmonol. Respir. Res.* 2024; 8(2): 069-073. Available from: <https://dx.doi.org/10.29328/journal.jprr.1001064>.

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Бобоходжаев Октам Икрамович** – заведующий кафедрой фтизиопульмонологии ГОУ «ТГМУ им. Абуали ибни Сино», д.м.н., профессор;

**Абдуллоев Навруз Ньматуллоевич** – врач фтизиатр и рентгенолог ЦРБ Дангаринского района;

**Шукуров Санъат Гафурович** – соискатель кафедрой фтизиопульмонологии ГОУ «ТГМУ им. Абуали ибни Сино».

### **Адрес для корреспонденции:**

**Бобоходжаев Октам Икрамович** – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой фтизиопульмонологии ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино», Тел.: \_992–985868080, E–mail: [bobokhojaev@mail.ru](mailto:bobokhojaev@mail.ru)

### **Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов**

Финансовой поддержки со стороны компаний – производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

**Конфликт интересов:** отсутствует.

Поступила 01.11.2024

Принята в печать 28.12.2024