

## ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОМИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ АДЕНОКАРЦИНОМЫ ЛЕГКОГО

Нуднов Н.В.<sup>1,2,3</sup>, \*Карелидзе Д.Г.<sup>1</sup>, Султанова П.Н.<sup>1</sup>, Борисов А.А.<sup>1</sup>, Шахвалиева Э.С.-А.<sup>1</sup>, Иванников М.Е.<sup>1</sup>, Бит-Юнан Е.В.<sup>1</sup>

3.1.6 - Онкология, лучевая терапия (медицинские науки)  
3.1.25 - Лучевая диагностика (медицинские науки)

<sup>1</sup>ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ)  
<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» МЗ РФ (ФГБОУ ДПО «РМАНПО» МЗ РФ)  
<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- радиомика
- КТ
- аденокарцинома легкого
- периферический рак
- прогнозирование

### АННОТАЦИЯ:

**Введение:** по заболеваемости рак легкого занимает 1-е место среди других злокачественных опухолей у мужчин в России, а по смертности - 1-е место среди мужчин и женщин как в России, так и во всем мире. Выявление пациентов с наиболее вероятным неблагоприятным прогнозом на этапе диагностики может значительно улучшить результаты лечения и выживаемость таких пациентов в дальнейшем. Для этого может быть использован текстурный анализ КТ-изображений и выявление биомаркеров худшего течения заболевания.

**Цель:** спрогнозировать прогрессирование периферической аденокарциномы легкого по данным первичного КТ-исследования с помощью показателей радиомики и клинико-анамнестических данных.

**Материал и методы:** в исследование были включены данные 53 пациентов с раком легкого, с гистологически подтвержденными периферическими аденокарциномами легких. Сегментация областей интереса проводилась в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией загрузки показателей радиомики из областей интереса. Для каждого образования было рассчитано 107 радиомических показателей. Также в качестве предикторов использовались клинико-анамнестические данные. Выходной переменной было выбрано наличие данных за прогрессирование заболевания (метастазирование и/или рецидив). Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек. Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23.

**Результаты:** для модели основанной исключительно на клинических признаках наиболее эффективной моделью стал случайный лес. Наиболее значимыми признаками, включенными в итоговую модель стали факты прохождения химиотерапевтического и лучевого лечения новообразования. Метрики, полученные для данной модели: precision - 0,80 [0,66;0,89], recall - 0,80 [0,66;0,89], accuracy - 0,87 [0,74;0,94], f1-score - 0,80 [0,66;0,89], ROC-AUC - 0,89 [0,77;0,96]. Для модели, основанной только на радиомических признаках, наиболее эффективный результат показал случайный лес, включающий два прогностических признака: firstorder Median и firstorder Entropy. Метрики, полученные для лучшей модели: precision - 0,83 [0,70;0,92], recall - 1,0 [0,93;1,0], accuracy - 0,94 [0,84;0,99], f1-score - 0,91 [0,79;0,97], ROC-AUC - 0,98 [0,90;0,99]. Добавление различных клинических признаков к радиомической модели не повысили метрики машинного обучения.

**Выводы:** нами показаны высокие прогностические возможности радиомических признаков для прогнозирования прогрессирования периферической аденокарциномы легкого. Удалось построить высокоэффективную модель машинного обучения. Планируется продолжить исследование с расширением обучающей и тестовой выборки.

**Для цитирования.** Нуднов Н.В., Карелидзе Д.Г., Султанова П.Н., Борисов А.А., Шахвалиева Э.С.-А., Иванников М.Е., Бит-Юнан Е.В. «ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОМИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ АДЕНОКАРЦИНОМЫ ЛЕГКОГО». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2024; 18(2.1): 40–46.

# APPLICATION OF RADIOMICS TO THE PREDICT PROGRESSION OF PERIPHERAL LUNG ADENOCARCINOMA

Nudnov N.V.<sup>1,2,3</sup>, \*Karelidze D.G.<sup>1</sup>, Sultanova P.N.<sup>1</sup>, Borisov A.A.<sup>1</sup>, Shahvalieva E.S.-A.<sup>1</sup>, Ivannikov M.E.<sup>1</sup>, Bit-Yunan E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FSBI Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Russian Scientific Center of Roentgenoradiology)

<sup>2</sup>FSBEI of FPE «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

<sup>3</sup>Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia

## KEY-WORDS:

- radiomics
- CT
- lung adenocarcinoma
- peripheral cancer
- prognosis

## ABSTRACT:

**Introduction:** lung cancer ranks 1st among other malignant tumors in men in Russia in terms of morbidity, and 1st among men and women in terms of mortality, both in Russia and worldwide. Identifying patients with the most likely adverse prognosis at the diagnostic stage can significantly improve treatment outcomes and the survival of such patients in the future. For this purpose, textural analysis of CT images and identification of biomarkers of the worst course of the disease can be used.

**Aim:** was to predict the progression of peripheral lung adenocarcinoma according to primary CT examination using radiomics indicators and clinical anamnestic data.

**Material and methods:** the study included data from 53 lung cancer patients with histologically confirmed peripheral lung adenocarcinomas. The segmentation of areas of interest was carried out in the free 3D-Slicer software with the function of downloading radiomic indicators from areas of interest. 107 radiomic indicators were calculated for each formation. Clinical and anamnestic data were also used as predictors. The output variable was chosen to have data for disease progression (metastasis and/or relapse). Machine learning models were built in the Python 3.10 programming language using specialized libraries. The calculation of statistical indicators was performed in a computer program for statistical data processing IBM SPSS Statistics 23.

**Results:** for a model based solely on clinical signs, the most effective model was a random forest. The most significant signs included in the final model were the facts of undergoing chemotherapy and radiation treatment of the neoplasm. The metrics obtained for this model are: precision - 0,80 [0,66;0,89], recall - 0,80 [0,66;0,89], accuracy - 0,87 [0,74;0,94], f1-score - 0,80 [0,66;0,89], ROC-AUC - 0,89 [0,77;0,96]. For a model based only on radiomic features, the most effective result was shown by a random forest that includes two predictive features: firstorder\_Median and firstorder\_Entropy. Metrics obtained for the best model: precision - 0,83 [0,70;0,92], recall - 1,0 [0,93;1,0], accuracy - 0,94 [0,84;0,99], f1-score - 0,91 [0,79;0,97], ROC-AUC - 0,98 [0,90;0,99]. Adding various clinical features to the radiomic model did not increase the machine learning metrics.

**Conclusions:** we have shown high prognostic capabilities of radiomic signs for predicting the progression of peripheral lung adenocarcinoma. We managed to build a highly efficient machine learning model. It is planned to continue the research with the expansion of the training and test samples.

## Введение

Рак легкого (РЛ) - собирательное понятие, объединяющее различные по происхождению, гистологической структуре, клиническому течению и результатам лечения злокачественные эпителиальные опухоли. Развиваются они из покровного эпителия слизистой оболочки бронхов, бронхиальных слизистых желез, бронхиол и легочных альвеол [1-3].

По заболеваемости рак легкого занимает 1-е место среди других злокачественных опухолей у мужчин в России, а по смертности - 1-е место среди мужчин и женщин как в России, так и во всем мире [4]. Ежегодно от рака легкого в России умирает примерно столько же больных, сколько умирает от рака предстательной, поджелудочной, молочной железы и рака ободочной кишки в совокупности [5].

Клиническая картина заболевания определяется по большей части клинико-анатомической формой опухоли. Наиболее характерные симптомы - кашель, одышка, боль в груди, кровохарканье [6,7]. Также выделяют паранеопластические симптомы (синдромы) - остеопатия, синдром Кушинга, мигрирующий тромбоз, нейро- и миопатии [8].

Учитывая многообразие клинических проявлений опухолей легких и их зависимость от клинико-анатомической формы роста, необходимы различные алгоритмы обследования пациентов. Клинические и лабораторные данные имеют важное значение в диагностике данной патологии [9].

По клинико-анатомической классификации выделяют центральный и периферический рак легкого [4].

Гистологически карциномы легкого разделяют на немелкоклеточный тип (НМРЛ, англ. NSCLC) и мелкоклеточный тип (МРЛ, англ. SCLC).

Группа немелкоклеточных карцином включает в себя:

- аденокарциному;
- плоскоклеточный;
- крупноклеточный;
- железисто-плоскоклеточный;
- саркоматоидный рак.

Для первичной диагностики рака легкого инструментальные методы, такие как рентгенография грудной клетки и компьютерная томография (КТ), играют ключевую роль. Рентгеноско-

пия предоставляет возможность оценить как функциональное, так и морфологическое состояние легких. Кроме того, она помогает выбрать наиболее подходящую проекцию и сделать точный снимок [10,11].

Спиральная КТ предоставляет возможность избежать пропуска участков легочной ткани при исследовании из-за разной глубины задержки дыхания больным [12,13].

Мультиспиральная КТ с внутривенным контрастированием позволяет уточнить локализацию и местную распространенность опухолевого процесса.

Современная система классификации аденокарциномы легкого выделяет несколько субтипов с гистологическими особенностями, которые связаны с разным прогнозом и требуют индивидуализированного подхода к лечению для каждого пациента. Выбор лечебной стратегии в значительной степени зависит от преобладающего субтипа аденокарциномы легкого [5]. Хирургическое лечение является методом выбора для пациентов с немелкоклеточным раком легкого на ранней стадии [14]. Терапевтические решения относительно адьювантной химиотерапии принимаются на основе стадирования AJCC TNM, которое учитывает размер опухоли и поражение лимфатических узлов [15]. Однако, несмотря на это, примерно у 40–55% больных раком легких развивается рецидив [16,17]. Следовательно, прогноз и выживаемость пациентов остаются вариабельными. Вариабельность результатов лечения может быть связана с внутриопухолевой гетерогенностью и плотностью ткани опухоли [18].

Улучшенная стратификация риска у пациентов может оправдать необходимость усиления адьювантной терапии в подгруппе пациентов с высоким риском рецидива на ранней стадии рака легких [19].

Поэтому выявление пациентов с наиболее вероятным неблагоприятным прогнозом на этапе диагностики может значительно улучшить результаты лечения таких пациентов в дальнейшем. Для этого может быть использован текстурный анализ КТ-изображений и выявление биомаркеров худшего течения заболевания.

Радиомика - это метод анализа медицинских изображений, который позволяет извлекать количественные текстурные характеристики и использовать их для решения широкого спектра клинических задач, в том числе прогнозирования прогрессирования рака легкого [20]. К примеру, M. Khorrami и соавт. в своей работе, используя данные 610 пациентов из четырех независимых когорт, показали возможность прогнозирования рецидива немелкоклеточного рака (AUC 0,74-0,76) [21]. H. Zhou и соавт., основываясь на данных 348 пациентов, использовали для построения модели прогнозирования отдаленного метастазирования, как показатели радиомики, так и клинические данные. Созданная исследователями модель показала высокую прогностическую способность с площадью под характеристической кривой 0,89 [22]. Данные исследования указывают на реальную возможность использования радиомики в прогнозировании прогрессирования рака легкого.

Целью исследования являлось прогнозирование прогрессирования периферической аденокарциномы легкого по данным первичного КТ-исследования с помощью показателей радиомики и клинико-анамнестических данных.

## Материал и методы

В исследование были включены данные 350 пациентов с раком легкого, из которых было отобрано 53 пациента, с гистологически подтвержденными периферическими аденокарциномами легких.

Критериями включения являлись:

1. Наличие гистологической верификации опухоли;

2. Наличие КТ-исследования органов грудной клетки до хирургического, химио- и лучевого лечения.

Критериями исключения были:

1. Отсутствие гистологической верификации опухоли;
2. Некачественно выполненное КТ-исследование;
3. Отсутствие КТ-исследования до лечения.

Сегментация областей интереса проводилась вручную врачами-рентгенологами на нативной фазе исследования в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией выгрузки показателей радиомики из областей интереса.

Для каждого образования было рассчитано 107 радиомических показателей. Также в качестве предикторов использовались клинико-анамнестические данные: наличие сопутствующих заболеваний, первично-множественного рака, вид проведенного лечения и др. (14 предикторов). Выходной переменной было выбрано наличие данных за прогрессирование заболевания (метастазирование и/или рецидив). Средний возраст пациентов составлял 67 [61; 75] лет. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки с процентным соотношением 70:30%. Для сокращения признакового пространства использовались статистический критерий Манна-Уитни, корреляционный анализ с применением критерия Пирсона, а также проводилась оценка значимости каждого признака мерой `feature_importances` на основе лесов решений. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек. Подбор гиперпараметров модели производился с помощью кроссвалидации с количеством фолдов 5. Для выбора наиболее эффективных моделей использовались стандартные метрики машинного обучения: precision, recall, accuracy, f1-мера и площадь под характеристической кривой ROC-AUC. Для расчета 95% доверительных интервалов метрик классификации использовался метод Клоппера-Пирсона. Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23.

## Результаты

В **таблице 1** представлены результаты сравнения двух групп пациентов по различным клинико-анамнестическим показателям.

Для выявления статистически значимых количественных показателей использовался непараметрический критерий Манна-Уитни, качественных - двусторонний точный критерий Фишера. Показатель считался статистически значимо отличающимся, если уровень значимости составлял  $<0,05$ .

По результатам сравнения статистически значимо группы отличались по различным видам проведенного лечения: химиотерапия, лучевая терапия и хирургическое лечение. Выявленным фактором риска стало наличие сопутствующих заболеваний легких ( $p = 0,043$ ). Также 65 показателей радиомики имели статистически значимые различия в двух группах пациентов, что свидетельствует о различной текстуре ткани опухоли у пациентов с разным течением заболевания.

Далее для решения поставленной задачи мы создали 3 подвыборки с различным числом признаков:

1. Выборка, содержащая только радиомические признаки (107 признаков);
2. Выборка, содержащая только клинические признаки (14 признаков);
3. Выборка, содержащая все доступные признаки (121 признак).

Для каждой из выборок был произведен отбор наиболее значимых признаков и построены модели машинного обучения для прогнозирования прогрессирования периферической аденокарциномы.

Таблица 1. Сравнение двух групп пациентов по клиничко-анамнестическим данным

| Параметры                        | Количество больных | Без прогрессирования |      | С прогрессированием |      | P-тест |       |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|------|---------------------|------|--------|-------|
|                                  |                    | n = 37               |      | n = 16              |      |        |       |
|                                  |                    | n                    | %    | n                   | %    |        |       |
| Возраст (медиана [Q1; Q3])       |                    | 66 [59; 75]          |      | 71 [62; 77]         |      | 0,455  |       |
| Курение табака                   | 12                 | 7                    | 18,9 | 5                   | 31,3 | 0,475  |       |
| Профессиональные вредности       | 4                  | 2                    | 5,4  | 2                   | 12,5 | 0,575  |       |
| Наследственность                 | 3                  | 2                    | 5,4  | 1                   | 6,3  | 0,668  |       |
| Сопутствующие заболевания легких | 15                 | 7                    | 18,9 | 8                   | 50   | 0,043  |       |
| Сопутствующие заболевания сердца | 44                 | 29                   | 78,4 | 15                  | 93,8 | 0,248  |       |
| ПМР                              | 7                  | 5                    | 13,5 | 2                   | 12,5 | 0,647  |       |
| Стадия заболевания               | G1-2               | 18                   | 16   | 43                  | 2    | 12,5   | 0,365 |
|                                  | G2-3               | 14                   | 10   | 27                  | 4    | 25     |       |
| Хирургическое лечение            | 47                 | 36                   | 97,3 | 11                  | 68,8 | 0,007  |       |
| Химиотерапия                     | 12                 | 2                    | 5,4  | 10                  | 62,5 | 0,0001 |       |
| Лучевая терапия                  | 10                 | 3                    | 8,1  | 7                   | 43,8 | 0,005  |       |
| Сахарный диабет                  | 6                  | 4                    | 10,8 | 2                   | 12,5 | 0,595  |       |
| Заболевания щитовидной железы    | 8                  | 5                    | 13,5 | 3                   | 18,8 | 0,685  |       |
| Заболевания головного мозга      | 7                  | 6                    | 16,2 | 1                   | 6,3  | 0,661  |       |

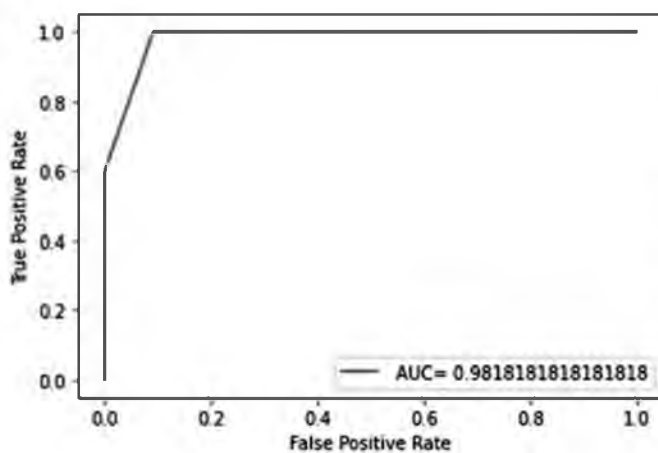


Рис. 1. ROC-кривая модели, основанной на радиомических признаках.

Для модели, основанной только на радиомических признаках, наиболее эффективный результат показал случайный лес, включающий два прогностических признака: `firstorder_Median` и `firstorder_Entropy`. Метрики, полученные для лучшей модели: precision - 0,83 [0,70;0,92], recall - 1,0 [0,93;1,0], accuracy - 0,94 [0,84;0,99], f1-score - 0,91 [0,79;0,97], ROC-AUC - 0,98 [0,90;0,99]. Медианные значения интенсивностей уровня серого в аденокарциномах у пациентов с прогрессированием стремятся к более высоким значениям, что характеризует рентгенологически более плотную ткань. Также для этих пациентов характерны более низкие значения энтропии, что говорит о более однородной по плотности ткани. Аденокарциномы у пациентов без прогрессирования заболевания, напротив, характеризуются более низкой и дисперсной плотностью. ROC-кривая для модели, основанной на радиомических признаках представлена на рисунке 1.

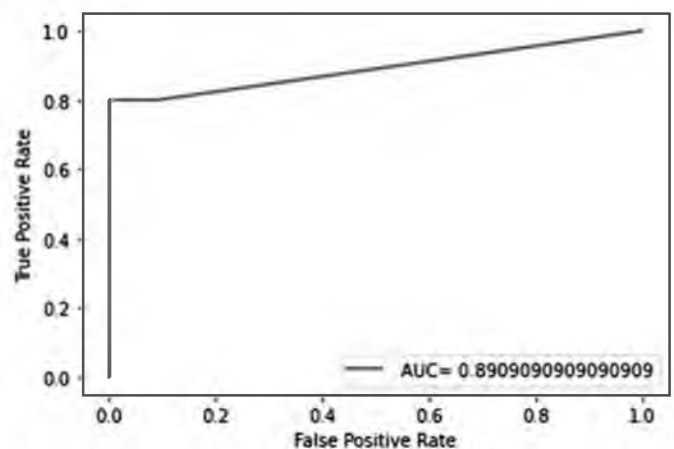


Рис. 2. ROC-кривая модели, основанной на клинических признаках.

Для модели основанной исключительно на клинических признаках наиболее эффективной моделью также стал случайный лес. Наиболее значимыми признаками, включенными в итоговую модель стали факты прохождения химиотерапевтического и лучевого лечения новообразования. Метрики, полученные для данной модели: precision - 0,80 [0,66;0,89], recall - 0,80 [0,66;0,89], accuracy - 0,87 [0,74;0,94], f1-score - 0,80 [0,66;0,89], ROC-AUC - 0,89 [0,77;0,96]. ROC-кривая представлена на рисунке 2. Прогрессирование заболевания происходило чаще у пациентов, которые подвергались химиолучевой терапии. Данная зависимость является очевидной, так как химиолучевому лечению подвергаются пациенты с заведомо более плохим прогнозом после операции, либо неоперабельные пациенты. Другие клинические и анамнестические параметры не позволяли создать более эффективные модели машинного обучения.

Также нами была проведена попытка объединения радиомических и клинических признаков для построения комплексной модели машинного обучения. Однако, добавление различных клинических признаков к радиомической модели не повысили метрики машинного обучения. Лучшие показатели были идентичны показателям модели, основанной исключительно на радиомических признаках, поэтому мы не приводим их в данной работе.

### Обсуждение

Слабой стороной нашей работы является небольшое количество пациентов, отобранных в итоговую обучающую выборку, особенно, пациентов с прогрессированием заболевания. В связи с этим, исследуемые нами признаки, особенно клинические, могут не полноценно отражать генеральную совокупность пациентов с данным заболеванием. Мы планируем продолжить наше исследование в направлении расширения выборки и обучения более эффективных прогностических моделей. При этом, выявленные нами закономерности показывают высокие возможности и перспективы использования радиомических признаков по прогнозированию прогрессирования аденокарциномы легких с выделением группы риска пациентов с неблагоприятным исходом.

Данные закономерности подтверждаются и в работах зарубежных исследователей. Так, в исследовании Zhang L. и соавт., модель на основе показателей радиомики дифференцировала пациентов с аденокарциномой на группы благоприятного и неблагоприятного прогноза с площадью под ROC-кривой 0.946 и 0.888 в обучающей и тестовой выборке, соответственно [23]. При этом, важно указать, что в большинстве исследований, модели, основанные на комбинации нескольких групп показателей, обладают более высокой точностью. Так, в работе Zhang J. и соавт., посвященной прогнозированию инвазии аденокарциномы в строму, комбинированная модель, основанная на клинических данных и

показателях радиомики, показала большую эффективность, чем модель, основанная только на радиомических показателях [24]. Схожий результат демонстрирует и исследование Chen H. и соавт., где основанная на таком же наборе показателей модель наиболее эффективно прогнозировала выживаемость при аденокарциноме легкого [25]. Еще одним примером эффективности комбинированной модели по сравнению с моделями, основанными только на показателях радиомики, является работа Sun Y. и соавт. [26]. В данном исследовании авторы использовали визуальные показатели, по типу наличия или отсутствия дорожки к плевре, и радиомические показатели. Такой же набор показателей, но с добавлением клинических данных, был включен в комбинированную модель Wang Z. и соавт. [27]. Созданная исследователями комбинированная модель более эффективно дифференцировала аденокарциномы с субтипом высокого и низкого риска, чем другие модели. Но стоит отметить, что разница между площадью под ROC-кривой между комбинированной и радиомической моделью в тестовой выборке была достаточно небольшой - 0,849 и 0,853, соответственно. Подобные результаты в целом схожи с теми, что были получены в нашей работе.

### Выводы

Полученные результаты показали высокие прогностические возможности радиомических признаков для прогнозирования прогрессирования периферической аденокарциномы легкого. Это позволило построить высокоэффективную модель машинного обучения с метриками классификации: precision - 0,83 [0,70;0,92], recall - 1,0 [0,93;1,0], accuracy - 0,94 [0,84;0,99], f1-score - 0,91 [0,79;0,97], ROC-AUC - 0,98 [0,90;0,99]. Добавление клинических и анамнестических признаков в обучающую выборку не улучшило показатели классификации моделей. Планируется продолжить исследование с расширением обучающей и тестовой выборки. ■

### Список литературы/References

1. Давыдов М.И., Полоцкий Б.Е. Рак легкого. М.: Радикс, 1994; 206.  
Davydov MI, Polotskiy BE. Rak legkogo. M.: Radiks, 1994; 206 [In Russ].
2. Трахтенберг А.Х., Чиссов В.И. Клиническая онкопульмонология. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2000.  
Trakhtenberg AK, Chissov VI. Klinicheskaya onkopulmonologiya. M.: GEOTAR-Media, 2000 [In Russ].
3. Ассоциация онкологов России. Общероссийская общественная организация «Российское общество клинической онкологии». Клинические рекомендации «Злокачественное новообразование бронхов и легкого». М., 2022.  
Assotsiatsiya onkologov Rossii. Obshcherossiyskaya obshchestvennaya organizatsiya «Rossiyskoe obshchestvo klinicheskoy onkologii». Klinicheskie rekomendatsii «Zlokachestvennoe novoobrazovanie bronkhov i legkogo». M., 2022 [In Russ].
4. Состояние онкологической помощи населению России в 2019 году (Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой). М.: МНИОИ им. П.А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020; 239.  
Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2019 godu (Pod red. AD Kaprina, VV Starinskogo, AO Shakhzadovoy.). M.: MNI OI im. PA. Gertsena - filial FGBOU «NMI TS radiologii» Minzdrava Rossii, 2020; 239 [In Russ].
5. Лактионов К.К., Бредер В.В., Мочальникова В.В. и др. Рак легкого. М.: ГРАНАТ, 2020; 31-47.  
Laktionov K.K., Breder VV, Mochalnikova VV, et al Rak legkogo. M.: GRANAT, 2020; 31-47 [In Russ].
6. Аллаhverдиев А.К., Лактионов К.К., Полоцкий Б.Е. и др. Современные возможности видеоторакоскопии в практике торакальной онкологии. *Вестник Московского онкологического общества*. 2009; 5.  
Allahverdiyev AK, Laktionov KK, Polotskiy BE, et al. Sovremennye vozmozhnosti videotorakoskopii v praktike torakalnoy onkologii. *Vestnik Moskovskogo onkologicheskogo obshchestva*. 2009; 5 [In Russ].
7. Лактионов К.К. Плоскоклеточный рак легкого (значение клинико-морфологических и молекулярно-генетических характеристик опухоли в прогнозировании результатов хирургического лечения). Дисс. докт. мед. наук. М., 2004.  
Laktionov KK. Ploskokletochnyy rak legkogo (znachenie kliniko-morfologicheskikh i molekulyarno-geneticheskikh kharakteristik opukholi v prognozirovanii rezultatov khirurgicheskogo lecheniya). Diss. dokt. med. nauk. M., 2004 [In Russ].
8. Полоцкий Б.Е., Тер-Ованесов М.Д. Рак легкого - некоторые аспекты клиники, диагностики и лечения. *РМЖ*. 2005; 23: 15-20.  
Polotskiy BE, Ter-Ovanesov MD. Rak legkogo - nekotorye

aspekty kliniki, diagnostiki i lecheniya. *RMZh*. 2005; 23: 15-20 [In Russ].

9. Grunnet M, Sorensen JB. Carcinoembryonic antigen (CEA) as tumor marker in lung cancer. *Lung cancer*. 2012; 76(2): 138-143.

<https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2011.11.012>

10. Розенштраух Л.С., Рыбакова Н.И., Виннер М.Г. Дифференциальная рентгенодиагностика заболеваний органов дыхания и средостения. М.: Медицина, 1991; 438-434.

Rozenshtraukh LS, Rybakova NI, Vinner MG. *Differentsialnaya rentgenodiagnostika zabolevaniy organov dykhaniya i sredosteniya*. М.: Meditsina, 1991; 438-434 [In Russ].

11. Webb WR, Muller NL, Naidich DP. High-resolution CT of the lung. Philadelphia, Baltimore, New-York, London, Buenos Aires, Hong Kong, Sydney, Tokyo: Lippincott Williams & Wilking, 2001; 259-355.

12. Гоцадзе И.Д. Роль позитронной эмиссионной томографии в диагностике и выборе тактики лечения немелкоклеточного рака легкого. Дисс. канд. мед. наук. М., 2007.

Gotsadze ID. *Rol' pozitronnoy emissioynoy tomografii v diagnostike i vybore taktiki lecheniya nemelkokletochnogo raka legkogo*. Diss. kand. med. nauk. М., 2007 [In Russ].

13. Schmidt-Hansen M, Baldwin DR, Hasler E, et al. PET-CT for assessing mediastinal lymph node involvement in patients with suspected resectable non-small cell lung cancer. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2014; 11: CD009519.

<https://doi.org/10.1002/14651858.CD009519.pub2>

14. Uramoto H, Tanaka F. Recurrence after surgery in patients with NSCLC. *Translational lung cancer research*. 2014; 3(4): 242-249.

<https://doi.org/10.3978/j.issn.2218-6751.2013.12.05>

15. Rami-Porta R, Asamura H, Travis WD, Rusch VW. Lung cancer - major changes in the American Joint Committee on Cancer eighth edition cancer staging manual. *CA: a cancer journal for clinicians*. 2017; 67(2): 138-155.

<https://doi.org/10.3322/caac.21390>

16. Al-Kattan K, Sepsas E, Fountain SW, Townsend ER. Disease recurrence after resection for stage I lung cancer. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 1997; 12(3): 380-384.

[https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(97\)00198-x](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(97)00198-x)

17. Carnio S, Novello S, Papotti M, et al. Prognostic and predictive biomarkers in early stage non-small cell lung cancer: tumor based approaches including gene signatures. *Translational lung cancer research*. 2013; 2(5): 372-381.

<https://doi.org/10.3978/j.issn.2218-6751.2013.10.05>

18. Sun Y, Li C, Jin L, et al. Radiomics for lung adenocarcinoma manifesting as pure ground-glass nodules: invasive prediction. *European radiology*. 2020; 30(7): 3650-3659.

<https://doi.org/10.1007/s00330-020-06776-y>

19. Liang W, Zhang L, Jiang G, et al. Development and validation of a nomogram for predicting survival in patients with resected non-small-cell lung cancer. *Journal of clinical oncology*. 2015; 33(8): 861-869.

<https://doi.org/10.1200/JCO.2014.56.6661>

20. Choe J, Lee SM, Do KH, et al. Outcome prediction in resectable lung adenocarcinoma patients: value of CT radiomics. *European radiology*. 2020; 30(9): 4952-4963.

<https://doi.org/10.1007/s00330-020-06872-z>

21. Khorrami M, Bera K, Leo P, et al. Stable and discriminating radiomic predictor of recurrence in early stage non-small cell lung cancer: Multi-site study. *Lung cancer*. 2020; 142: 90-97.

<https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2020.02.018>

22. Zhou H, Dong D, Chen B, et al. Diagnosis of Distant Metastasis of Lung Cancer: Based on Clinical and Radiomic Features. *Translational oncology*. 2018; 11(1): 31-36.

<https://doi.org/10.1016/j.tranon.2017.10.010>

23. Zhang L, Lv L, Li L, et al. Radiomics Signature to Predict Prognosis in Early-Stage Lung Adenocarcinoma ( $\leq 3$  cm) Patients with No Lymph Node Metastasis. *Diagnostics*. 2022; 12(8): 1907.

<https://doi.org/10.3390/diagnostics12081907>

24. Zhang J, Hao L, Li M, et al. CT Radiomics Combined With Clinicopathological Features to Predict Invasive Mucinous Adenocarcinoma in Patients With Lung Adenocarcinoma. *Technology in cancer research & treatment*. 2023; 22: 15330338231174306.

<https://doi.org/10.1177/15330338231174306>

25. Chen H, Liang M, Li X, et al. An individualised radiomics composite model predicting prognosis of stage 1 solid lung adenocarcinoma. *Clinical radiology*. 2020; 75(7): 562.e11-562.e19.

<https://doi.org/10.1016/j.crad.2020.03.019>

26. Sun Y, Li C, Jin L, et al. Radiomics for lung adenocarcinoma manifesting as pure ground-glass nodules: invasive prediction. *European radiology*. 2020; 30(7): 3650-3659.

<https://doi.org/10.1007/s00330-020-06776-y>

27. Wang Z, Zhang N, Liu J, Liu J. Predicting micropapillary or solid pattern of lung adenocarcinoma with CT-based radiomics, conventional radiographic and clinical features. *Respiratory research*. 2023; 24(1): 282.

<https://doi.org/10.1186/s12931-023-02592-2>

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:**

- НУДНОВ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ** - [ORCID: 0000-0001-5994-0468]  
 заместитель директора по научной работе,  
 заведующий научно-исследовательским отделом  
 комплексной диагностики и радиотерапии,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1;  
 профессор кафедры рентгенологии и радиологии,  
 ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного  
 профессионального образования» МЗ РФ (ФГБОУ ДПО «РМАНПО» МЗ РФ),  
 125993 Российская Федерация, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1 стр. 1;  
 профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии,  
 ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,  
 117198 Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;
- КАРЕЛИДЗЕ ДАВИД ГЕОРГИЕВИЧ** - [ORCID: 0009-0002-0375-1291]  
 клинический ординатор по специальности «рентгенология»,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1;
- СУЛТАНОВА ПЕРИ НАЗИМОВНА** - [ORCID: 0009-0009-3006-8210]  
 клинический ординатор по специальности «рентгенология»,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1;
- БОРИСОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ** - [ORCID: 0000-0003-4036-5883]  
 клинический ординатор по специальности «радиология»,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1;
- ШАХВАЛИЕВА ЭЛИНА САИД-АМИНОВНА** - [ORCID: 0009-0000-7535-8523]  
 клинический ординатор по специальности «рентгенология»,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1;
- ИВАННИКОВ МИХАИЛ ЕВГЕНЬЕВИЧ** - [ORCID: 0009-0007-0407-0953]  
 клинический ординатор по специальности «рентгенология»,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1;
- БИТ-ЮНАН ЕЛИЗАВЕТА ВЛАДИМИРОВНА** - [ORCID: 0009-0009-3006-8210]  
 клинический ординатор по специальности «рентгенология»,  
 ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» МЗ РФ  
 (ФГБУ «РНЦРР» МЗ РФ),  
 117485 Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 86 стр. 1.

**Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и финансирования.

Работа выполнена на клинической базе РНЦРР.