

распознавании нормальных участков кожи. Значение ROC AUC = 0,996 подтверждает высокую дискриминирующую способность модели на уровне пикселей. Относительно более низкая чувствительность (0,730) указывает на возможность пропуска части пикселей новообразования.

Анализ спектральных кривых выявляет характерные различия между нозологическими группами в диапазонах поглощения меланина (530–570 нм) и гемоглобина (600–606 нм), что согласуется с данными литературы [5]. Разработанная двухэтапная система обеспечивает автоматическое определение локализации, границ и нозологии новообразований, что формирует основу для неинвазивного метода ранней диагностики злокачественных новообразований кожи.

#### Список использованных источников

1. Шахзадова, А. О. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году / А. О. Шахзадова, В. В. Старинский, И. В. Лисичникова // Сибирский онкологический журнал. – 2023. – Т. 22, №. 5. – С. 5-13.
2. Еремина, Е. Н. Молекулярно-генетические маркеры пигментной меланомы кожи (обзор литературы) / Е. Н. Еремина, А. Р. Караханян, Д. А. Вахрунин [и др.] // Сибирское медицинское обозрение. – 2020. – №. 3 (123). – С. 38-46.
3. Hogervorst, M. A. Hyperspectral data analysis and visualization / M. A. Hogervorst, P. B. W. Schwing. – INTECH Open Access Publisher, 2011.
4. Ashraf, H. Melanoma segmentation using deep learning with test-time augmentations and conditional random fields / H. Ashraf, A. Waris, M. F. Ghafoor [et al.] // Scientific Reports. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 3948.
5. Нейросетевой классификатор гиперспектральных снимков кожных патологий / В. О. Винокуров, И. А. Матвеева, Ю. А. Христофорова [и др.] // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, №. 6. – С. 879-886.

Боровков Артём Андреевич, студ. гр. 6401-120304D, a.borovkov2004@ya.ru.  
Матвеева Ирина Александровна, к.т.н., доцент каф. ЛБС, matveeva.ia@ssau.ru.

УДК 543.424.2:616-71

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИЕЛОМНОЙ БОЛЕЗНИ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ КРОВИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

П.В. Горбачева, И.А. Матвеева

«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** метод разрешения многомерных кривых, рамановская спектроскопия, сыворотка крови, миеломная болезнь, машинное обучение.

В медицине все чаще используются оптические методы исследования

крови, среди которых рамановская спектроскопия. К преимуществам этого метода относятся возможность анализа небольших объемов образца, отсутствие разрушения материала и высокая скорость получения результатов [1]. В работе проведено исследование сыворотки крови у пациентов с миеломной болезнью и без нее. В качестве метода регистрации рамановского сигнала использовался метод поверхностно-усиленного рамановского рассеяния (SERS), позволяющий усилить полезный сигнал на несколько порядков путём модификации поверхности подложки. Технология подробно описана в [2].

Всего зарегистрирован 141 спектр с длиной волны 785 нм, где 72 спектра – образцы сыворотки с миеломой и 69 спектров – без. Спектры были подвергнуты предварительной обработке путем сглаживания и коррекции базовой линии для удаления шума и фона флуоресценции. Для изучения спектров сыворотки крови применялся метод разрешения многомерных кривых с применением метода частичных наименьших квадратов (MCR-ALS). Его преимуществом является возможность интерпретации компонентов, которые вносят вклад в исходные спектры рамановского рассеяния. По результатам MCR-анализа выявлены пики, характерные спектрам пациентов с миеломной болезнью, которых нет в спектрах пациентов без миеломы. В таблице 1 представлены значения спектральных линий и соответствующие им химические соединения.

Далее профили концентраций выделенных компонентов применялись в качестве признаков для построения моделей машинного обучения. Анализ проводился с использованием следующих методов: логистическая регрессия, k-ближайших соседей, дискриминантный анализ методом частичных наименьших квадратов и алгоритм случайного леса. Обучающая и тестовая выборки делились в соотношении 70:30, модели сравнивались по ROC-кривым и площадям под ними (AUC).

Таблица 1 – Метрики, полученные в результате классификации

| Рамановские пики, см <sup>-1</sup> | Химические соединения      |
|------------------------------------|----------------------------|
| 851                                | кератин                    |
| 1254                               | тимин, цитозин             |
| 1269                               | коллаген, эластин, кератин |
| 1387                               | меланин                    |

На рисунке 1 представлены ROC-кривые для каждого метода. По результатам анализа данных рамановских спектров сыворотки крови на основе методов машинного обучения можно сделать вывод о том, что модели k-means и RandomForest являются наиболее эффективными, так как их показатель AUC > 0,9. Методы PLS (AUC=0,74) и логистической регрессии (AUC=0,61) для данной выборки данных менее эффективны. Причиной может быть тот факт, что признаки не были независимыми или объем выборки был недостаточным.

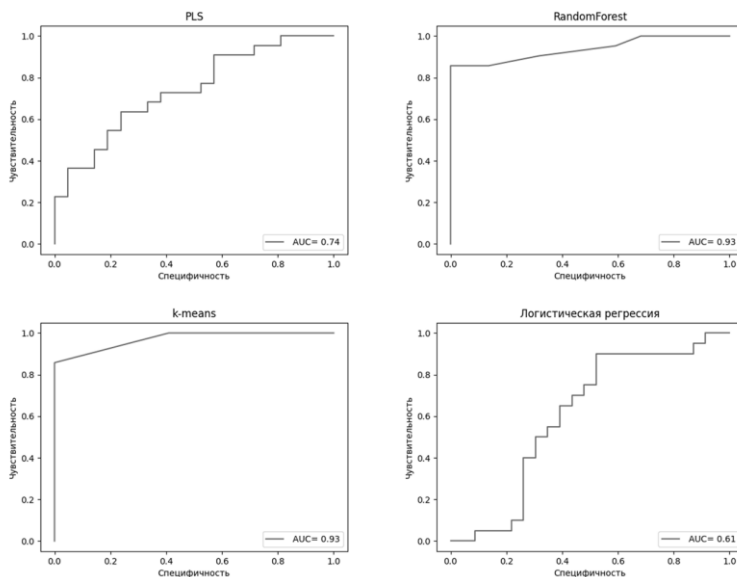


Рисунок 1 – ROC-кривые для методов, используемых в работе

Анализ рамановских спектров сыворотки крови с привлечением методов машинного обучения позволил выделить ключевые спектральные полосы, которые могут указывать на наличие определенных химических веществ в крови человека, ассоциированных с миеломной болезнью. Результаты могут быть использованы в медицине при диагностике миеломы для анализа больших объемов данных за короткое время, что позволит предсказывать вероятность наличия миеломы.

#### Список использованных источников

1. Горская, Н.И. Оптические исследования крови в видимом спектральном диапазоне / Н. И. Горская // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 12–1. – С. 48.
2. Silver nanoparticles-based substrate for blood serum analysis under 785 nm laser excitation / S. Z. Al-Sammarraie, L. A. Bratchenko, E. N. Tyrikova [et al.] // Journal of Biomedical Photonics & Engineering. – 2022. – Vol. 8, № 1. – P. 010301.

Горбачева Полина Владимировна, студ. гр. 6231-120404D, polinag63@mail.ru.  
Матвеева Ирина Александровна, к.т.н., доцент каф. ЛБС, matveeva.ia@ssau.ru.

УДК 543.424.2:616-71

## АУГМЕНТАЦИЯ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К.М. Гуськова

«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», г. Самара