

2. Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования. – Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 1(115), Ч. 2. – С. 125–129.
3. Li C., Wang X. Visual Localization and Object Tracking for the NAO Robot in Dynamic Environment. – Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Automation. – 2016. – P. 1044–1049.
4. Kim S.J., Kim B.K. Dynamic Ultrasonic Hybrid Localization System for Indoor Mobile Robots. – IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – Vol. 60, No. 10. – P. 4562–4573.
5. Wong G.S.K. Speed of sound in standard dry air. – The Journal of the Acoustical Society of America. – 1986. – Vol. 79, No. 5. – P. 1359–1366.
6. Valle G., Mazzoni A., Iberite F., et al. Biomimetic intraneural sensory feedback enhances sensation naturalness, tactile sensitivity, and manual dexterity in a bidirectional prosthesis. – Neuron. – 2018. – Vol. 100, No. 1. – P. 37-45.e7.
7. Ajayi O.K., Du S., Nahri S.N.F. A review of haptic technologies for hardware-in-the-loop development. – Sensors and Actuators Reports. – 2025. – Vol. 9. – P. 100331.
8. Raspopovic S., Capogrosso M., Petrini F.M., et al. Restoring natural sensory feedback in real-time bidirectional hand prostheses. – Science Translational Medicine. – 2014. – Vol. 6, No. 222. – P. 222ra19.
9. D'Anna E., Valle G., Mazzoni A., et al. A closed-loop hand prosthesis with simultaneous intraneural tactile and position feedback. – Science Robotics. – 2019. – Vol. 4, No. 27. – P. 1-13.
10. Ramírez-García A., Leija L., Muñoz R., Active upper limb prosthesis based on natural movement trajectories. – Prosthetics and Orthotics International. – 2010. – Vol. 34, No. 1. – P. 58-72.

Науч. рук.: Бобина Е. А., к.т.н., доцент каф. ЭКСПИ, КНИТУ-КАИ.
 Мангушев Шамиль Маратович, студ. каф. ЭКСПИ, 2003mshamil1@gmail.com

УДК 543.424.2; 004.93

ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРОВ РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ОБРАЗЦОВ

А.А. Мельникова, Ю.А. Христофорова
 «Самарский национальный исследовательский университет имени
 академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: спектры рамановского рассеяния, отношение сигнал/шум, метод асимметричных наименьших квадратов, восстановление спектров.

Рамановская спектроскопия или спектроскопия комбинационного рассеяния – это метод молекулярной спектроскопии, основанный на явлении неупругого рассеяния света, который позволяет получить представление о молекулярной структуре образца или его характеристиках

[1]. Однако одним из главных ограничений метода является низкая интенсивность сигнала, а также влияние шумов на качество регистрации спектров [2]. В связи с этим исследование влияния отношения сигнал/шум (SNR) на качество получаемых данных является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является исследование влияния SNR на восстановление спектров рамановского рассеяния, а также определение оптимальных параметров для их регистрации.

Для реализации поставленной задачи были использованы спектры рамановского рассеяния кожи пальца человека и кремниевой пластинки, стимулированные лазерным источником возбуждения 785 нм. Регистрация спектров проводилась при различных параметрах работы прибора: время экспозиции составляло 1, 4 и 15 с, количество усреднений – 1 и 20, температура детектора изменялась в диапазоне от -15 до 25 °C. Варьирование параметров регистрации спектров позволяет получать данные с различным уровнем SNR. Измерения выполнялись в области волновых чисел $100\text{--}2300\text{ см}^{-1}$, для последующего анализа выбирался диапазон $200\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ и $400\text{--}2100\text{ см}^{-1}$ для кремниевой пластинки и кожи пальца соответственно. Спектры в указанных областях были подвергнуты процедуре удаления фона флуоресценции с использованием метода асимметричных наименьших квадратов (ALS). Общее количество анализируемых спектров кожи пальца и кремниевой пластинки составило 71 и 72 соответственно. На рисунке 1 представлены спектры рамановского рассеяния кремниевой пластинки и кожи пальца после удаления базовой линии с помощью метода ALS.

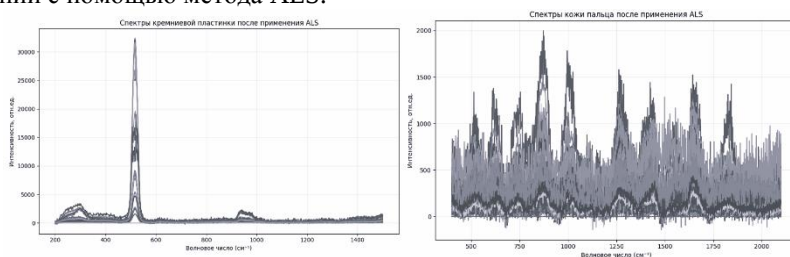


Рисунок 1 – Спектры рамановского рассеяния кремниевой пластинки и кожи пальца после применения метода ALS

Далее для каждого спектра было вычислено SNR. Расчёт проводился по следующей формуле: $SNR = \frac{I_{max}}{\sigma_{noise}}$, где I_{max} – максимальная интенсивность рамановских пиков 520 см^{-1} и 1665 см^{-1} для спектров кремниевой пластинки и кожи пальца соответственно, а σ_{noise} – стандартное отклонение (СКО) спектрального шума в диапазонах $700\text{--}800\text{ см}^{-1}$ и $1885\text{--}1985\text{ см}^{-1}$. Результаты расчёта SNR для части спектров, зарегистрированных при различных временах экспозиции и числе

усреднений, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта SNR для части спектров, зарегистрированных при различных временах экспозиции и числе усреднений

Спектр кремниевой пластинки	SNR (интенсивность пика 520 см^{-1} к σ_{noise})	Спектр кожи пальца	SNR (интенсивность пика 1665 см^{-1} к σ_{noise})
1с_1	113,61	1с_1	7,59
1с_20	368,74	1с_20	17,85
4с_1	235,49	4с_1	12,59
4с_20	521,50	4с_20	29,27
15с_1	403,19	15с_1	21,92
15с_20	522,99	15с_20	23,17

На основе рассчитанных значений SNR была построена зависимость SNR от температуры детектора, которая представлена на рисунке 2.

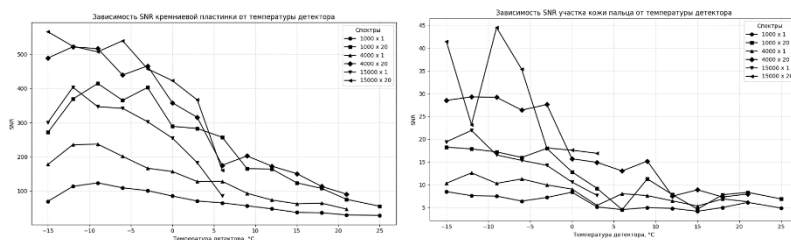


Рисунок 2 – Зависимость SNR для спектров кремниевой пластинки и кожи пальца от температуры детектора

В работе получено, что при низких значениях SNR в спектрах наблюдаются шумовые флуктуации, из-за чего сложно определить положение спектральных линий и интенсивности рамановских пиков. С ростом SNR, достигаемым увеличением времени экспозиции и числа усреднений, пики становятся хорошо различимыми. Было установлено, что увеличение SNR путем увеличения времени экспозиции и числа усреднений приводит к увеличению интенсивности рамановских пиков и выявлению ранее неразличимых дополнительных слабых пиков (например, для кремниевой пластинки пик в области волновых чисел около 920 см^{-1}), так как более длительная регистрация приводит к накоплению большего количества фотонов, а усреднение нескольких измерений позволяет снизить влияние шума. Согласно данным таблицы 1 и зависимости на рисунке 2, для качественного восстановления спектров достаточно использовать время экспозиции 4 с и не менее двух усреднений при температуре детектора около $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Список использованных источников

1.Das, R. S. Raman spectroscopy: Recent advancements, techniques and

applications [Текст] / R. S. Das, Y. K. Agrawal // *Vibrational Spectroscopy*. – 2011. – Vol. 57. – P. 163–176.

2.Chen, S. Recovery of Raman spectra with low signal-to-noise ratio using Wiener estimation [Текст] / S. Chen, X. Lin, C. Yuen [и др.] // *Optics Express*. – 2014. – Vol. 22, № 10. – P. 12102–12114. — URL: <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-22-10-12102>

Мельникова Ангелина Андреевна, студ. гр. 6402-120304D, gelik.work@mail.ru.
Христофорова Юлия Александровна, к.физ.-мат.н., доцент каф. ЛБС khristoforova.yua@ssau.ru.

УДК 543.424.2; 004.93

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ

Е.О. Сальникова, Ю.А. Христофорова

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

Ключевые слова: метод ANOVA, линейный дискриминантный анализ (LDA), метод PLS-DA, кросс-валидация (K-fold), метод ALS, *ex vivo* спектры рамановского рассеяния кожи, рак кожи.

Рак кожи является одним из наиболее распространенных онкологических заболеваний в мире, представляя серьезную медико-социальную проблему. В структуре заболеваемости преобладают немеланомные формы – базальноклеточный и плоскоклеточный рак, однако наибольшую опасность представляет меланома, характеризующаяся высокой агрессивностью и метастатическим потенциалом. Традиционным «золотым стандартом» диагностики остается инвазивная биопсия с последующим гистологическим исследованием [1]. Несмотря на высокую точность, этот метод сопряжен с рисками для пациента, такими как рубцевание, повреждение нервов и потенциальное распространение опухолевых клеток. Кроме того, низкая специфичность отбора новообразований для биопсии приводит к значительному числу неоправданных хирургических вмешательств, поскольку большинство удаляемых образований оказываются доброкачественными [2]. В связи с этим существует необходимость в разработке методов предварительной диагностики рака кожи.

Целью настоящей работы является построение бинарных классификаторов для анализа рамановских спектров кожи с помощью алгоритмов машинного обучения для установления возможности предварительного определения рака кожи.

Для реализации поставленной задачи были использованы *ex vivo* спектры кожи пациентов с гистологически подтвержденными диагнозами злокачественных и доброкачественных кожных новообразований. Спектры были сняты с помощью портативного прибора с длиной волны