УДК 550.835: 004.032.26

О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОБ ПРИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ю.Г. Смирнов

Ухтинский государственный технический университет

ysmirnov@ugtu.net

 В работе рассмотрены вопросы применения искусственных нейронных сетей для обработки результатов лабораторных исследований проб с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра. Представлен обзор состояния проблемы на современном этапе. Отмечены преимущества применения глубоких сверточных нейронных сетей в обработке спектрометрической информации при радиоэкологических исследованиях.

 Ключевые слова: искусственные нейронные сети, гамма-спектрометрия, радиоэкология.

Качественный и количественный анализ радиоактивных изотопов требуется при описании и оценке радиационной обстановки для контроля окружающей среды в радиоэкологии, радиационной медицине и других смежных областях [1]. При радиоэкологических исследованиях местности широко используются гамма-спектрометрические методы исследований отобранных проб с использованием лабораторных спектрометров со сцинтилляционными детекторами. При этом обычно определяется содержание естественных радионуклидов U-238, Th-232 и K-40. В частности, такие исследования актуальны для Ухтинского района, где с 1929 по 1956 годы добывался практически весь советский радий из подземных вод Ухтинского нефтяного месторождения [2].

Существует множество способов и уже реализованных программных продуктов с классическими подходами для обработки спектров излучения, однако актуальным и активно развивающимся на сегодняшний день является вопрос о применении с этой целью искусственных нейронных сетей.  Нейронные сети успешно зарекомендовали себя в различных сферах науки и техники, связанных с классификацией, прогнозированием и управлением [3]. Преимущества применения нейронных сетей заключаются в существенном увеличении скорости обработки информации, поскольку массовые с самые трудоемкие вычисления приходятся на момент обучения нейросети, а также в автоматизации процесса со значительным исключением человеческого фактора.

Целью данной работы является рассмотрение возможностей нейронных сетей для обработки гамма-спектрометрической информации при измерении активности естественных радиоактивных изотопов при радиоэкологическом мониторинге загрязненных территорий.

Активное изучение вопроса возможности применения нейронных сетей для обработки спектрометрической информации началось после публикации в 1995 г. американскими исследователями работы [4]. В этой статье авторы рассматривали возможность идентификации изотопов в радиоактивных отходах по данным альфа-спектрометрии с использованием полносвязной трехслойной нейросети. Для обучения нейронной сети использовали стандартный алгоритм обратного распространения ошибки. Сеть обучали в течение трех тысяч эпох до начала постоянного увеличения ошибки валидации. Получены очень неплохие результаты.

Авторы работы [5] предлагают использовать метод идентификации радионуклидов по реконструированному физическому спектру гамма-излучения с использованием трехслойной нейронной сети прямого распространения. В терминологии нейронных сетей данная задача относится к классу классификационных, для решения которой применимы многослойные полносвязные сети прямого распространения. В результате исследования были сделаны выводы, что метод идентификации нейронными сетями радиоактивных изотопов по гамма-спектру достаточно трудоемок на предварительном этапе и чувствителен к качеству и количеству информации в обучающей выборке. При этом оказалось, что обученная нейронная сеть показала результаты близкие к 100 % для идентификации единичных нуклидов с простым линейчатым спектром, но при идентификации нуклидов, обладающих сложным линейчатым спектром, получились неоднозначные результаты. Тем не менее ввиду несомненного преимущества благодаря однопроходной процедуре идентификации, метод является перспективным и нуждающемся в дальнейшем развитии.

В работе [3] рассмотрены проблемы не только качественного определения изотопов, но и оценки их активностей в источниках естественного происхождения. Автор рекомендует использовать трехслойные модели искусственных нейронных сетей с одним скрытым слоем. В своей работе он уменьшил разрешение спектра гамма-излучения урана-238, тория-232 и калия-40 до двадцати четырех каналов и использовал эти данные для нейронов входа. Опытным путем подбиралось число нейронов в скрытом слое, а также проводился поиск оптимального количества эпох при обучении. В заключении автор отмечает, что наилучшие результаты показала нейронная сеть с архитектурой, в которой число нейронов в скрытом слое равно восьми. Оптимальное количество эпох для обучения составило двадцать тысяч, при превышении этого значения начинает расти среднеквадратическая ошибка. Построенная искусственная нейронная сеть показала хорошие результаты для определения активности естественных радиоактивных изотопов.

Хорошие результаты также были получены при решении схожей задачи, связанной с анализом рентгенограмм, с помощью глубокой свёрточной нейросети [6]. За основу для построения этой нейросети была принята конфигурация нейросети Inception ResNet. На международных соревнованиях по классификации изображений Imagenet Recognition Challange первое место последние несколько лет занимают именно глубокие нейронные свёрточные сети, построенные по данной архитектуре. Сеть была реализована в программном модуле на языке Python с использованием библиотеки машинного обучения Tensorflow от компании Google.

Аналогичный подход предлагается в работе [7]. Авторы анализируют применимость методов глубокого обучения в приложении к задачам идентификации гамма-излучающих нуклидов и обработке сложносоставных спектров. Методы глубокого обучения требуют очень большого объема данных для обучения. Однако, в области гамма-спектроскопии имеется большое количество как реально измеренных, так и синтетических данных, полученных из программ моделирования физики процесса, таких как Geant4, GADRAS-DRF и некоторых других. Немаловажно, что эти данные размечены, т.е. построено сопоставление результат измерения – нуклид. Это позволяет успешно собрать репрезентативные данные для обучения моделей. В работе показаны текущие результаты применения глубокого обучения на свёрточных архитектурах (CNN) и на архитектурах U-Net.

Заключение

Использование искусственных нейронных сетей в обработке спектрометрической информации является актуальной проблемой, решение которой позволяет повысить эффективность и точность лабораторных анализов.

Несомненным преимуществ нейронных сетей по сравнению с классическими подходами является отсутствие потребности в сложной математической модели, ускорение обработки большого количества данных, исключение человеческого фактора.

Анализ литературных данных показал, что требуется более глубокая проработка следующих вопросов: работа нейросети с полным спектром, а не с отдельными пиками излучения, использование на стадии обучения не модельных, а реальных спектров, изучение способности нейронных сетей проводить анализ образцов со слабой активностью.

Для оценки загрязнений почв радиоактивными элементами можно рассмотреть использование различных подходов, основанных на моделях машинного обучения и глубокого обучения. Выбор конкретной нейросетевой архитектуры зависит от решаемой задачи и доступных данных.

Наиболее перспективными моделями нейросетей для решения задачи обработки проб при радиоэкологических исследованиях с использованием лабораторной гамма-спектрометрии, на наш взгляд, являются глубокие предобученные нейронные сети со свёрточной архитектурой.

Литература

1. Спиров Р.К., Никитин А.В. Нейронные сети в спектрометрии радиоактивных излучений: состояние проблемы //Экологический вестник, 2016, № 1 (35). С.124-128.
2. Бекман И.Н. Радий. Учебное пособие. М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2010. 142 с. URL: <http://profbeckman.narod.ru/>Radium.files/Radium.pdf
3. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design and application / I. A. Basheer, M. Hajmeer // Journal of microbiological methods – 2000. – №. 43. – P. 3–31.
4. Nuclear Spectral Analysis via Artificial Neural Networks for Waste Handling / P. E. Keller, L. J. Kangas, G. L. Troyer, Sh. Hashem, R. T. Kouzes // IEEE Transactions on Nuclear Science –1995. – Vol. 42, № 4. – Pр. 709–715.
5. Нейронная сеть для идентификации нуклидов по гамма-спектру / А. В. Кочергин, С. C. Пивоварцев // Искусственный интеллект – 2008. – № 4. – С. 600–604.
6. Минязев Р. Ш., Румянцев А. А., Баев А. А., Баева Т. Д. Подходы к построению нейросети для бинарной классификации рентгенограмм // Известия РАН. серия физическая, 2020, том 84, № 12, с. 1758–1762.
7. Арбузов А. В., Бредихин И. С., Муравьев Р. А. 2024. Использование методов на основе глубоких нейронных сетей для идентификации и декомпозиции гамма-излучающих нуклидов в сложносоставных спектрах. PREPRINTS.RU. https://doi.org/10.24108/preprints-3113006.

ON THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR GAMMA-SPECTROMERIC ANALYSIS OF SAMPLES IN RADIOECOLOGICAL STUDIES

Yu.G. Smirnov

Ukhta State Technical University

 The paper considers the use of artificial neural networks for processing the results of laboratory studies of samples using a scintillation gamma spectrometer. An overview of the current state of the problem is presented. The advantages of using deep convolutional neural networks in the processing of spectrometric information in radioecological studies are highlighted.

 Keywords: artificial neural networks, gamma-ray spectrometry, radioecology.