

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕОДИМА В РАСТВОРАХ С ПОМОЩЬЮ УФ-ВИДИМОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Пшуков А.М., Кокоева А.А.*

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

*al-aneta@mail.ru

Создана серия образцов водных растворов с различным содержанием $NdCl_3$ в диапазоне от 10 г/л до 50 г/л. Установлено, что площадь под пиком при длине волны 576 нм пропорциональна концентрации $NdCl_3$ в растворе. Для определения концентрации $NdCl_3$ в неизвестных образцах была построена калибровочная кривая. Метод будет полезен для анализа содержания неодима в сцинтилляторах, используемых в экспериментах по обнаружению двойного бета-распада неодима-150.

Ключевые слова: содержание неодима, спектрофотометрия, аналитический метод, количественный анализ, спектры поглощения, сцинтиллятор.

A QUANTITATIVE METHOD FOR DETERMINING THE CONTENT OF NEODYMIUM IN SOLUTIONS USING UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETRY

Pshukov A.M., Kokoeva A.A.

Kabardino-Balkarian State University

A series of samples of aqueous solutions with different $NdCl_3$ content in the range from 10 g/l to 50 g/l was created. It was found that the area under the peak at a wavelength of 576 nm is proportional to the concentration of $NdCl_3$ in solution. A calibration curve was constructed to determine the concentration of $NdCl_3$ in unknown samples. The method will be useful for analyzing the content of neodymium in scintillators used in experiments to detect double beta decay of neodymium-150.

Keywords: neodymium content, spectrophotometry, analytical method, quantitative analysis, absorption spectra, scintillator.

Введение

Точное определение содержания неодима в сцинтилляторах имеет важное значение для точных измерений скорости двойного бета-распада. Об этом свидетельствует ряд российских и зарубежных работ [1–4].

УФ-спектрофотометрия широко применяется для количественного определения микроэлементов в различных образцах, включая водные растворы. В данной работе, которая является продолжением предыдущих исследований [5], представлен метод определения содержания неодима в жидкости путем измерения спектров поглощения водного раствора $NdCl_3$ с использованием УФ-спектрофотометра. Цель данного исследования заключается в разработке сцинтиллятора с добавкой неодима для обнаружения процесса безнейтринного двойного бета-распада изотопа неодима-150.

Однако добавка неодима может вызвать снижение световыхода органического жидкого сцинтиллятора на базе синтина из-за значительного поглощения в спектре линий 319 и 354 нм, которые совпадают с спектром излучения сцинтиллятора. Это имеет важное значение для определения содержания неодима в сцинтилляторах и точности измерения скорости двойного бета-распада.

Экспериментальная часть

Приготовление растворов $NdCl_3$ в воде. Исследуемые растворы хлорида неодима (III) готовили путем растворения известного количества соли в дистиллированной воде. Для приготовления растворов на аналитических весах отмеряли массу навески $NdCl_3$, полученную из расчетов, навеску соли переносили в колбу, объемом 25 мл, затем в колбу вливали некоторое количество дистиллированной воды, растворяли при перемешивании и доводили до метки, периодически перемешивая раствор. Растворы готовили согласно табл. 1.

Таблица 1

Концентрации растворов хлорида неодима (III) в воде

Концентрация (г/л)	Масса навески $NdCl_3$ (г)
10 г/л	0,25
12 г/л	0,30
14 г/л	0,35
16 г/л	0,40
18 г/л	0,45
20 г/л	0,50
25 г/л	0,625
30 г/л	0,75
35 г/л	0,875
40 г/л	1,0
45 г/л	1,125
50 г/л	1,25

Материалы и методы

Материалы, использованные в данном анализе, включают стандартный раствор неодима, водный раствор $NdCl_3$ и УФ-спектрофотометр. Чтобы приготовить стандартный раствор неодима, известное количество неодима растворяется в дистиллированной воде. Затем с помощью УФ-спектрофотометра измеряется поглощение раствора образца при той же длине волны. Концентрация неодима в образце рассчитывается с использованием закона Бугера–Ламберта–Бэра. Затем с помощью УФ-спектрофотометра на длине волны, где наблюдается максимум (576 нм), измеряются спектры УФ-видимости для каждого образца. Спектры поглощения записываются для каждого образца с разрешением 1 нм.

В предыдущей работе [5] было обнаружено, что площадь под пиком 576 нм прямо пропорциональна концентрации $NdCl_3$ в растворе в диапазоне от 10 г/л до 50 г/л.

Спектры поглощения этих растворов были измерены с помощью УФ-видимого спектрофотометра в области от 190 до 900 нм.

В процессе выбора интервала концентраций стандартных растворов мы руководствовались следующими принципами:

- первоначально интервал должен охватывать область возможных изменений концентрации исследуемого раствора; желательно, чтобы оптическая плотность исследуемого раствора соответствовала примерно середине градуированного графика;

- необходимо учитывать основной закон светопоглощения при выбранной толщине кюветы и аналитической длине волны.

На основе соблюдения этих условий оптические плотности стандартных растворов измерялись относительно растворителя, а также строился график зависимости оптической плотности от концентрации (градуированный график).

Этот метод применяют при многократном фотометрировании однотипных по химическому составу растворов, при выполнении серийных фотометрических анализов. В нашем случае при подготовке детекторов для поиска безнейтринного двойного бета распада необходимо определять содержание неодима в сцинтилляторе на основе органических растворителей синтина, Лаба, псевдокумола и др.

Обсуждение результатов

Результаты, полученные в ходе данного анализа, показывают, что метод является точным, прецизионным и воспроизводимым в области концентрации от 10 г/л до 50 г/л. Спектры поглощения стандартного раствора неодима показаны на *рис. 1*.

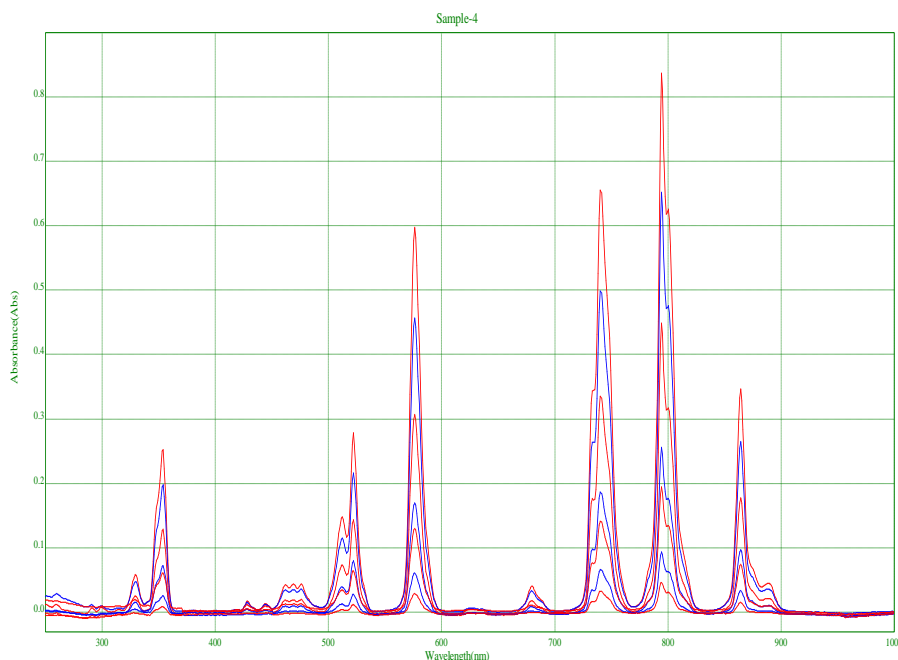


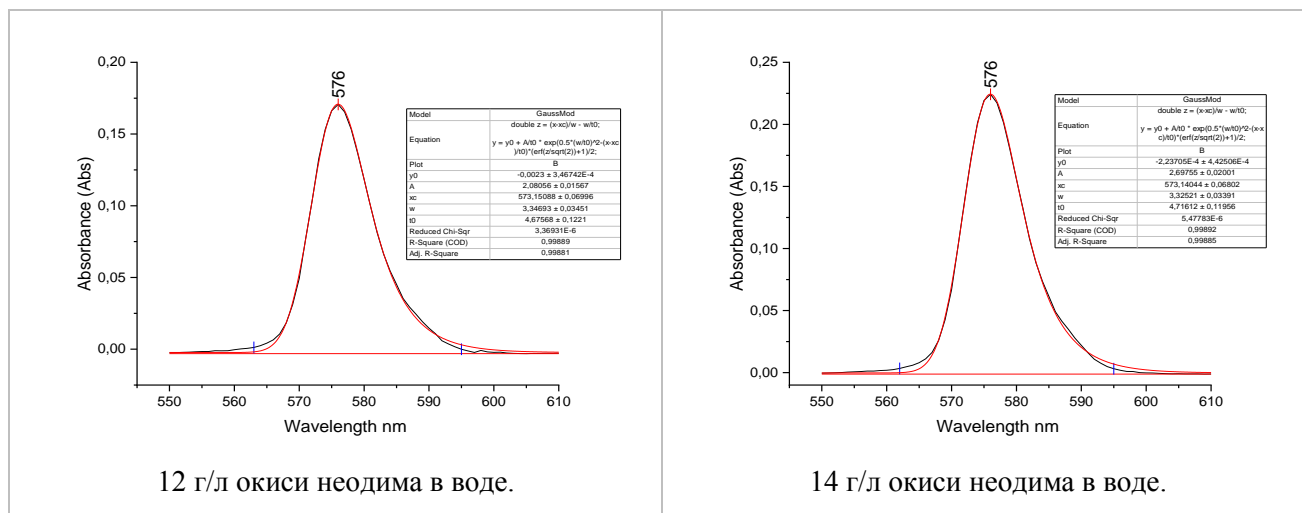
Рис. 1. Спектры поглощения исследуемых растворов при различных концентрациях неодима 2 г/л, 4 г/л, 8 г/л, 12 г/л, 20 г/л, 30 г/л, 40 г/л

Результаты, полученные из спектров растворов NdCl_3 в воде при различных концентрациях, были использованы для построения калибровочной кривой. Зависимость концентрации NdCl_3 в воде от площади под пиком 562 нм оказалась линейной в исследованном диапазоне концентраций (10-50 г/л).

После измерений спектров поглощения и их обработки с использованием программного обеспечения Origin 2021b для анализа данных и построения графиков (*рис. 2*), была построена калибровочная кривая (*рис. 3*), которая показывает зависимость концентрации NdCl_3 в воде от площади под пиком с длиной волны 576 нм. Уравнение калибровочной кривой имеет следующий вид:

$$y = 0,1667x + 0,289,$$

где y – площадь под пиком 576 нм, x – концентрация NdCl_3 в воде.



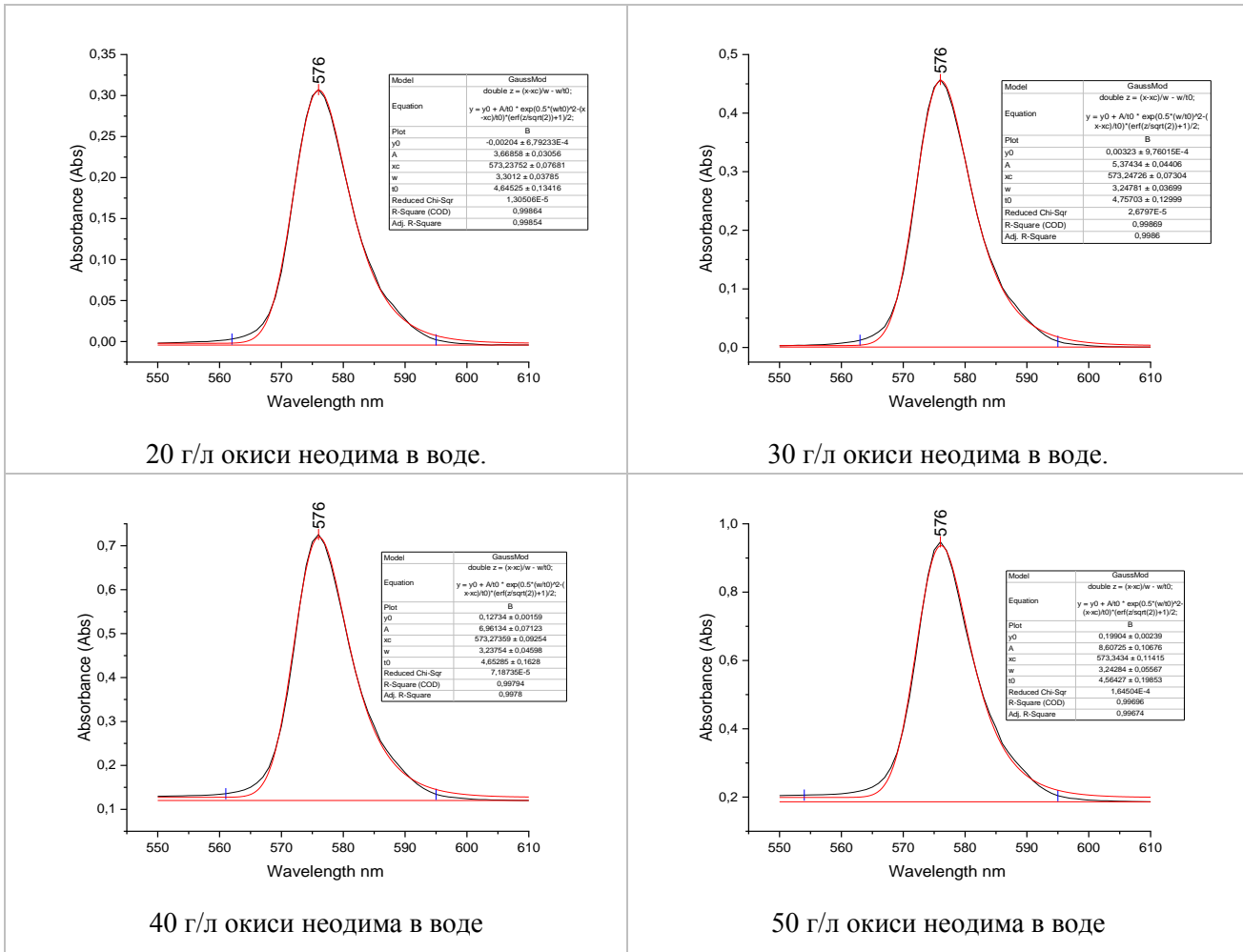


Рис. 2. Пики и их аппроксимаций соответствующие линии 576 нм при различной концентрации окиси неодима

Коэффициент корреляции калибровочной кривой составил 0,9997, что указывает на высокую степень линейности.

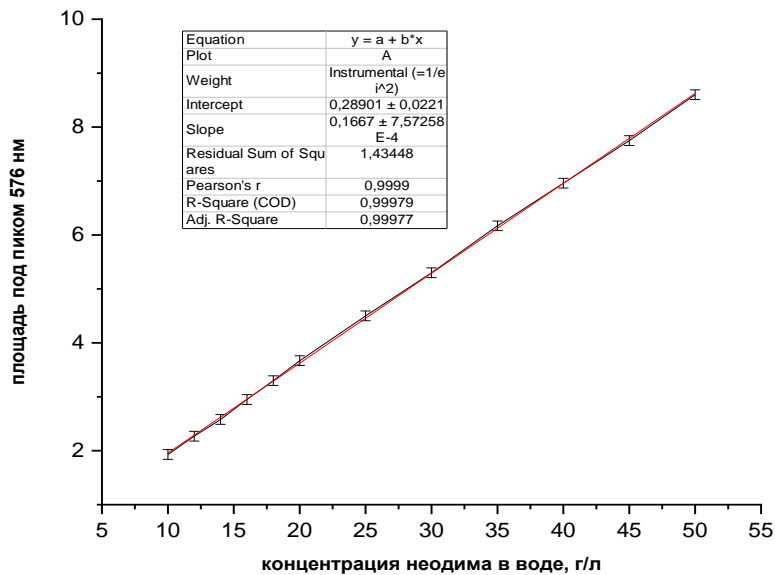


Рис. 3. График зависимости оптической плотности от концентрации (градуированный график)

Добавка неодима уменьшает световыход органического жидкого сцинтиллятора на основе синтина, для обнаружения процесса безнейтринного двойного бета-распада неодима-150.

В связи с этим проведены измерения в рабочей области спектра поглощения и излучения сцинтиллятора. Измерения проводились в интервале от 310 до 450 нм, который является рабочим спектром излучения сцинтиллятора. Измерения спектров поглощения проводились с помощью спектрофотометра.

Анализ *рис. 4* и *5* демонстрирует совпадения линии поглощения неодима со спектром излучения и поглощения сцинтиллятора (*рис. 4, 5*).

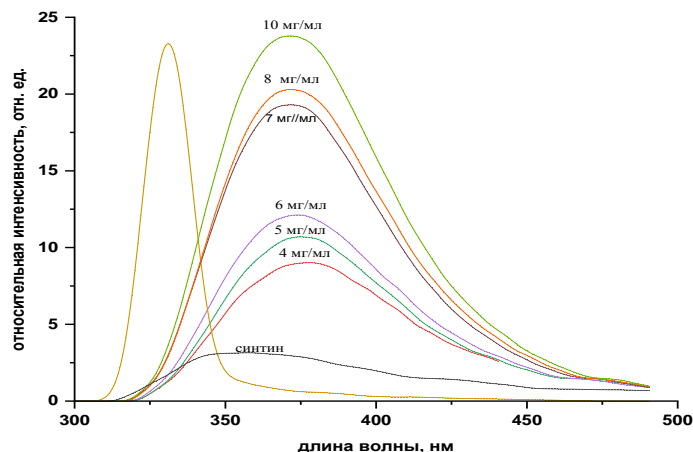


Рис. 4. Спектры излучения сцинтиллятора на основе синтина с добавкой нафталина [6]

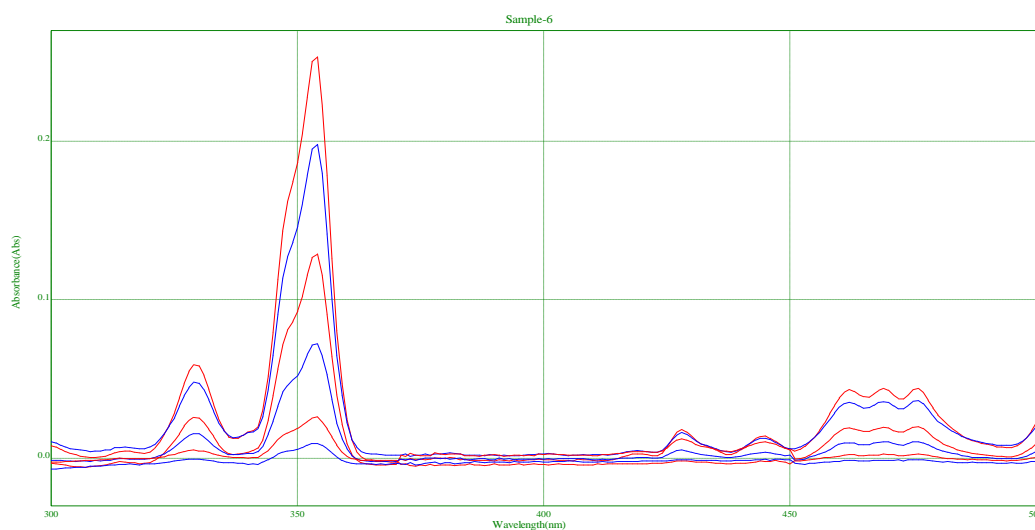


Рис. 5. Спектр поглощения в области излучения сцинтиллятора при концентрациях окиси неодима 2 г/л, 4 г/л, 12 г/л, 20 г/л, 30 г/л, 40 г/л

График на *рис. 6* показывает значительный рост поглощения (оптической плотности) с увеличением концентрации неодима в растворе в рабочей спектральной области сцинтиллятора, что уменьшает световыход.

Анализ полной области концентрации, с учетом предыдущей нашей работы (5), от 1 гр/л до 50 гр/л показывает, что концентрация от 1 до 10 гр/л по видимому можно будет использовать в реальном детекторе по поиску безнейтринного двойного бета распада неодима-150.

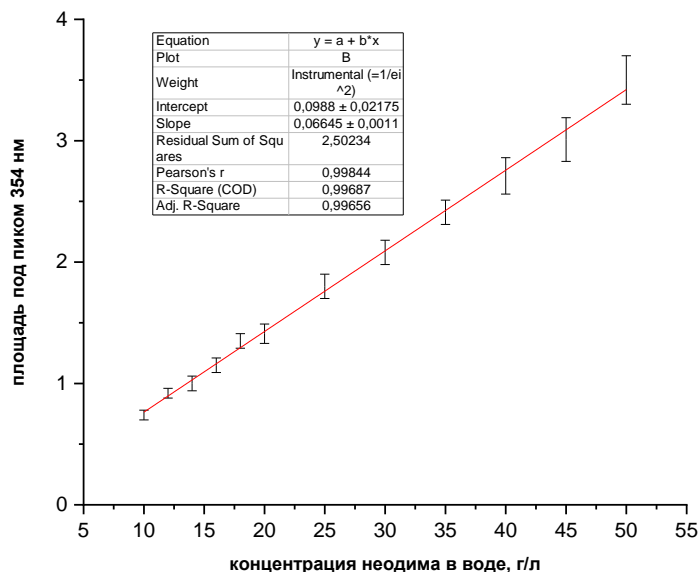


Рис. 6. График зависимости оптической плотности от концентрации (градуированный график) для линий 354 нм

Указанный интервал охватывает область возможных изменений концентрации исследуемого раствора с учетом того, что оптическая плотность исследуемого раствора соответствовала примерно середине градуированного графика.

Для определения неизвестной концентрации окиси неодима в растворе необходимо измерить оптическую плотность исследуемого раствора, найти соответствующее значение на оси ординат, а затем на оси абсцисс определить соответствующую ей концентрацию.

Разработанный метод имеет высокую точность и достоверность с низкими значениями стандартного отклонения. Результаты показали, что метод может быть использован как в водных, так и в органических растворах для количественного определения содержания неодима.

Заключение

Следует отметить, что был разработан количественный метод определения содержания неодима в растворах с помощью спектрофотометра. Метод был основан на законе Бугера–Ламберта–Бэра и калибровочных кривых стандартных растворов неодима. Метод обладает высокой точностью и достоверностью и может быть использован для количественного анализа содержания неодима в различных жидкостях.

Кроме того, результаты показывают, что добавка неодима в органический жидкий сцинтиллятор на основе синтина вызывает увеличение поглощения света в области рабочего спектра сцинтиллятора. Присутствие поглощающих линий неодима в спектре коррелирует с увеличением концентрации неодима. Это свидетельствует о том, что введение неодима приводит к поглощению части излучения, что снижает световыход сцинтиллятора. Это представляет проблему для обнаружения процесса безнейтринного двойного бета-распада неодима-150. Для улучшения световыхода необходимо продолжить исследования и разработать методы минимизации поглощения света, возникающего в результате добавки неодима.

Метод полезен для анализа содержания неодима в сцинтилляторах, используемых в экспериментах по обнаружению двойного бета-распада неодима-150.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, мнемокод FZZR-2022-0004.

Благодарности

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность к физ.-мат.наук, старшему научному сотруднику ИЯИ РАН ОЛВЭНА Игорю Романовичу Барабанову за советы и ценные замечания при работе над данной статьей.

Библиография

1. An F.P., Bai J.Z., Balantekin A.B., Band H.R., Beavis D., Beriguete W., Bishai M., Blyth S., Boddy K., Brown R.L. Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay // *Phys. Rev. Lett.* 2012. V. 51, N 7. P. 108.
2. Adam T., An F., An G., An Q., Anfimov N., Antonelli V., Baccolo G., Baldoncini M., Baussan E., Bellato M., Bezrukov L., Djurcic D.Z. JUNO Conceptual Design Report // *Phys. Rev. Lett.* 2015. V. 75, N 6. P. 328.
3. An F., An G., An Q., Baussan E., Bellato M. Neutrino Physics with JUNO // *Physics*. 2016. V. 192, N 1. P. 224.
4. Пшуков А.М., Умеров Ш.И. Жидкий сцинтиллятор на основе синтина // Препринт ИЯИ РАН 1442/2019. М., 2019. 18 с.
5. Пшуков А.М., Кокоева А.А., Башиева Ф.А. Количественное определение содержания неодима в водных растворах спектрофотометрическим методом // *Известия КБГУ*. 2023. Т. 13, № 2. С. 40–45.
6. Пшуков А.М., Кокоева А.А. Исследование оптических свойств жидкого органического сцинтиллятора на основе синтина и нафталина для использования в нейтринной физике // *Известия КБГУ*. 2023. Т. 13, № 3. С. 39–44.