

Разработка и верификация метода разложения β -спектра смеси радионуклидов на основе кусочно-комбинированных функций с полиномиальной или кусочно-линейной аппроксимацией их параметров

DOI: 10.37414/2075-1338-2023-114-3-26-44

УДК 543.08:539.165

В.В. Востротин (к.б.н., с.н.с., зав.лаб.), В.Э. Введенский (вед.прогр.) – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Южно-Уральский институт биофизики» Федерального медико-биологического агентства (ФГБУН ЮУрИБФ ФМБА России), Челябинская область, г. Озерск.

Контакты: e-mail – vostrotin@subi.su.

Цели. Создание и верификация собственного метода обработки β -спектра ультранизкофонового радиометра-спектрометра Quantulus-1220 при минимальной пробоподготовке или ее полном отсутствии, при наличии в жидкой пробе H-3, K-40 и Sr-90+Y-90 в различном соотношении по активности с учетом гашения. Разработка компьютерной программы Aspect-SUBI, реализующей метод.

Материалы и методы. Метод основан на деконволюции измеряемого β -спектра в виде суперпозиции модельных спектров нескольких радионуклидов. Используются β -спектры, полученные от образцовых радиоактивных растворов H-3, K-40 и Sr-90+Y-90 в смеси с жидким сцинтиллятором Optiphase Hisafe 3 в соотношении объемов 8 мл : 12 мл. В качестве гасителя использовался метилоранж. Для построения библиотек радионуклидов использовалась сумма кусочно-комбинированных функций. Для определения активностей радионуклидов в пробе использовался метод наименьших квадратов. Для статистической обработки полученных материалов, их визуализации, а также верификации разработанного метода использовалось программное обеспечение: Microsoft Excel, Sigma Plot 2000 и R версии 4.0.2.

Результаты. Построены библиотеки модельных β -спектров в виде суммы кусочно-комбинированных функций с полиномиальной аппроксимацией (библиотека «P») или аппроксимацией кусочно-линейными функциями их параметров

(библиотека «L») в зависимости от параметра гашения SQP(E). Верификация метода интерпретации на парных пробах подтвердила возможность одновременного измерения активности:

1) H-3 (библиотека «P», с относительной ошибкой $\pm 9\%$) и K-40 (библиотека «L», с относительной ошибкой $\pm 20\%$);

2) H-3 (библиотека «P», с относительной ошибкой $\pm 11\%$) и Sr-90+Y-90 (библиотека «L», с относительной ошибкой $\pm 21\%$) при ограничениях, связанных с соотношением уровней активностей и сильным гашением. При одновременном измерении активности K-40 (библиотека «L») и Sr-90+Y-90 (библиотека «L») возможно только корректное измерение активности Sr-90+Y-90 на уровне ошибки $\pm 10\%$ при параметре гашения SQP(E) от 600 до 706.

Выводы. Разработанный метод может быть использован для одновременного измерения объемной активности H-3 и K-40 в пробах мочи населения г.Озерск и профессиональных работников Производственного Объединения «Маяк», объемной активности H-3 и Sr-90+Y-90 в пробах оз.Кызылташ, находящегося в зоне влияния данного предприятия. Разработанная компьютерная программа Aspect-SUBI может быть использована не только с Quantulus-1220, но и с любым другим жидкостно-сцинтилляционным спектрометром с логарифмическим типом усиления и автоматическим определением гашения.

Ключевые слова: бета-спектрометрия, метод обработки спектров, объемная активность, тритий, калий-40, стронций-90, пробы воды, пробы мочи, программное обеспечение.

Development and Verification of the Method for β -Spectrum Decomposition of Radionuclides' Mixtures Based on Piecewise-Combined Functions with Polynomial or Piecewise-Linear Approximation of their Parameters

Vostrotin Vadim, Vvedensky Vladimir

(Federal State Budgetary Institution of Science «Southern Urals Biophysics Institute»
of the Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk region, Ozyorsk, Russia)

Abstract.

Objective. Development and verification of own method of β -spectrum processing of ultra-low background radiometer-spectrometer Quantulus-1220 with minimal or no sample preparation, with H-3, K-40 and Sr-90+Y-90 presence in liquid sample at various ratio by activity considering quenching. Development of software Aspect-SUBI which implements the method.

Materials and Methods. The method is based on deconvolution of the measured β -spectrum in the form of a superposition of model spectra of several radionuclides. β -spectra, obtained from standard radioactive solutions H-3, K-40 and Sr-90+Y-90 mixed with liquid scintillator Optiphase Hisafe 3 in volume ratio 8 ml : 12 ml were used. Methyl orange was used as a quencher. A sum of piecewise-combined functions was used for radionuclide libraries building. The least squares method was used to determine radionuclide activities in the sample. Computer software Microsoft Excel, Sigma Plot 2000 and R version 4.0.2 was used for statistical processing of findings, their visualization as well as verification of the developed method.

Results. Libraries of model β -spectra were built as a sum of piecewise-combined functions with polynomial approximation (library «P») or approximation by piecewise linear functions of their parameters (library «L») depending on quench parameter SQP(E). Verification of interpretation method on paired samples proved its capacity for simultaneous measurement of activity: 1) H-3 (library «P», with relative error $\pm 9\%$) and K-40 (library «L», with relative error $\pm 20\%$); 2) H-3 (library «P», with relative error $\pm 11\%$) and Sr-90+Y-90 (library «L», with relative error $\pm 21\%$) with limitations due to the levels of activities ratio and strong quenching. At simultaneous measurement of activity K-40 (library «L») and Sr-90+Y-90 (library «L») only correct measurement of activity Sr-90+Y-90 is possible with the error level $\pm 10\%$ taken quench parameter SQP(E) is in the range from 600 to 706.

Conclusion. The developed method can be used for simultaneous measurement of volume activity of H-3 and K-40 in urine samples of Ozyorsk population and Mayak PA workers, as well as volume activity of H-3 and Sr-90+Y-90 in samples from Lake Kyzyltash located in the Mayak PA affected area. The developed software Aspect-SUBI can be used not only with Quantulus-1220 but also with any other liquid scintillation spectrometer with logarithmic type of intensification and automatic quench detection.

Key words: *beta-spectrometry, method of spectra processing, volume activity, tritium, K-40, Sr-90, water samples, urine samples, software.*