2020 Т. 50 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-159-166
УДК 664.951:543.42
Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Идентификация таксонов морских рыб методом линейного дискриминантного анализа спектров отражения в ближней инфракрасной области

В. Ю. Новиков*, А. В. Барышников, К. С. Рысакова, Н. В. Шумская, О. Р. Узбекова

Полярный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 183038, Россия, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6

Дата поступления в редакцию: 18.12.2019
Дата принятия в печать: 23.03.2020

**e-mail: nowitaly@yandex.ru*

© В. Ю. Новиков, А. В. Барышников, К. С. Рысакова, Н. В. Шумская, О. Р. Узбекова, 2020

Аннотация.
Введение. Спектроскопия в ближней инфракрасной (БИК) области представляет собой современный инструментальный метод количественного и качественного анализа различных объектов. Метод анализа БИК-спектров диффузионного отражения успешно использовался для идентификации, например, различных растений, животных и лекарственных препаратов. Вопрос идентификации объектов морского промысла в настоящее время является чрезвычайно важным для современного промысла, экологического мониторинга, а также для установления фальсификации готовой продукции. Цель нашего исследования – идентификация таксонов рыб с применением дискриминантного анализа спектров отражения в БИК области.
Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования использовали высушенные и обезжиренные образцы мышечной ткани 25 видов морских рыб Северного рыбопромыслового бассейна. Для измерения спектров в диапазоне от 700 до 7000 см$^{-1}$ использовали ИК-Фурье-спектрофотометр Shimadzu IRTracer-100 с приставкой для измерения диффузионного отражения. Математическую обработку спектров проводили в программе MagicPlot Pro ver. 2.9 (Magicplot Systems, LLC), для линейного дискриминантного анализа полученных спектров использовали статистическую программу IBM SPSS Statistics ver. 25 (IBM Corp., США).
Результаты и их обсуждение. Проведены измерения спектров диффузионного отражения БИК-излучения для 25 образцов морских видов рыб Северного бассейна, относящихся к разным таксонам. Для оценки близости спектров при линейном дискриминантном анализе выбран диапазон от 3700 до 6700 см$^{-1}$. В нем определено 19 спектральных пиков, вносящих значимый вклад в канонические дискриминатные функции, позволившие разделить все исследованные объекты на восемь неперекрывающихся групп, которые соответствуют каждому биологическому отряду рыб. Анализ проводили на основании сравнения расстояния Махаланобиса между центроидами групп и БИК-спектрами каждого исследуемого вида рыб. Минимальное расстояние Махаланобиса между ближайшими группами оказалось статистически значимым.
Выводы. Показана возможность таксономической идентификации морских рыб до биологического отряда на основе измерения спектральных характеристик белков их мышечной ткани в ближней инфракрасной области в диапазоне от 3700 до 6700 см$^{-1}$ и классификации методом линейного дискриминантного анализа исследованных объектов.

Ключевые слова. Рыба, спектральный анализ, ближняя инфракрасная область, таксонометрическая принадлежность, метод классификации, фальсификация

Для цитирования: Идентификация таксонов морских рыб методом линейного дискриминантного анализа спектров отражения в ближней инфракрасной области / В. Ю. Новиков, А. В. Барышников, К. С. Рысакова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 159–166. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-159-166.

Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Identification of Marine Fish Taxa by Linear Discriminant Analysis of Reflection Spectra in the Near-Infrared Region

V.Yu. Novikov*, A.V. Baryshnikov, K.S. Rysakova, N.V. Shumskaya, O.R. Uzbekova

Polar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,

Received: December 18, 2019
Accepted: March 03, 2020

6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, 183038, Russia

*e-mail: nowitaly@yandex.ru

© V.Yu. Novikov, A.V. Baryshnikov, K.S. Rysakova, N.V. Shumskaya, O.R. Uzbekova, 2020

Abstract.
Introduction. Near-infrared (NIR) spectroscopy is a modern instrumental method for the quantitative and qualitative analysis of various objects. The method for analyzing the NIR spectra of diffuse reflection was successfully used to identify plant and animal species, drugs, etc. The issue of identifying objects of marine fishery is currently extremely important for modern fisheries, environmental monitoring, and identifying counterfeit products. The research objective was to identify the fish taxa using the discriminant analysis of reflection in the NIR region.
Study objects and methods. The research featured 25 dried and defatted muscle tissue samples taken from different species of marine fish caught in the North Fishing Basin. The spectra were measured using a Fourier IR-spectrophotometer Shimadzu IRTracer-100 with a diffuse reflection measuring instrument. Measurements were carried out in the range from 700 to 7,000 cm^{-1}. Mathematical processing of the spectra was performed using the MagicPlot Pro program ver. 2.9 (Magicplot Systems, LLC), while the statistical program IBM SPSS Statistics ver. 25 (IBM Corp., USA) was exploited to perform the linear discriminant analysis.
Results and discussion. The spectra of diffuse reflection of NIR radiation were measured for 25 samples of marine fish species of different taxa caught in the North Fishing Basin. The range of 3,700 to 6,700 cm^{-1} was selected to assess the proximity of spectra in linear discriminant analysis. In this range, the team identified 19 spectral peaks, which made a significant contribution to canonical discriminatory functions. The resulting canonical discriminatory functions made it possible to divide the objects into eight non-overlapping groups corresponding to each biological group of the fish. The analysis was based on a comparison of Mahalanobis distance between the group centroids and the NIR spectra of each studied fish species. The minimum Mahalanobis distance between the nearest groups was statistically significant.
Conclusion. The research proved the possibility of taxonomic identification of marine fish based on measuring the spectral characteristics of their muscle tissue proteins in the range of 3,700 to 6,700 cm^{-1} of near-infrared region and classification by linear discriminant analysis.

Keywords. Fish, spectra analysis, near infrared region, classification method, taxon affiliation, falsification

For citation: Novikov VYu, Baryshnikov AV, Rysakova KS, Shumskaya NV, Uzbekova OR. Identification of Marine Fish Taxa by Linear Discriminant Analysis of Reflection Spectra in the Near-Infrared Region. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):159–166. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-159-166.

Введение

В России в настоящее время возникла проблема фальсификации продукции. Причинами могут быть рыночные условия развития общества, резкое увеличение объема частного производства, а также свободная торговля продовольственными товарами, в том числе сырьем морского происхождения, полуфабрикатами и готовыми рыбными продуктам. Чаще всего продукцию из малоценного сырья реализуют как продукцию высокого качества по экономическим соображениям. Для обнаружения подделки рыбной продукции применяют органолептические методы оценки внешнего вида, консистенции, вкуса и запаха, но эти методы не очень надежны. В настоящее время арбитражным методом является генетический анализ. Популяционные исследования проводятся преимущественно генетическими методами (микросателлитный, SNP-анализ, аллозимный и др.). Видовая идентификация также может быть осуществлена стандартными методами (например, методом изоэлектрофокусирования саркоплазматических белков). Большинство методов являются весьма дорогостоящими и времязатратными, требующими дорогого оборудования и реактивов, а также специальных навыков работы.

Так как вопрос идентификации объектов промысла по свойствам отдельных тканей является чрезвычайно важным для современного промысла и экологического мониторинга, а также для установления фальсификации готовой продукции, то использование для этой цели иных, кроме генетического анализа, методов весьма актуально.

Спектроскопия в ближней инфракрасной (БИК) области представляет собой современный инструментальный метод количественного и качественного анализа различных объектов [1–3]. Спектры поглощения (а также отражения и рассеивания) молекул являются уникальными для каждого вещества. Интенсивность поглощения связана с содержанием поглощающего компонента в исследуемом объекте [1].

Методом БИК-спектроскопии возможно обнаружить «химический фингерпринт» (химические отпечатки пальцев) образцов посредством измерения количества энергии поглощения в БИК области биологических материалов на специфических длинах волн. На поглощение влияет химическое строение молекул организма, наличие и положение функциональных групп O-H, N-H и C-H [4].

БИК-спектры могут служить источником информации о структуре различных веществ – витаминов, аминокислот, сложных эфиров, сахаров, спиртов и других, поэтому широко используются

для идентификации. Например, этот метод применяют для идентификации коммерческих сортов пакетированного чая и географического происхождения вин [5, 6]. Большое распространение получили ИК-спектрофотометры с Фурье преобразованием, которые при работе используют все частоты излучения источника одновременно. Это позволяет повысить информативность метода, обеспечить существенно большую чувствительность и экспрессность анализа по сравнению с классическими ИК-спектрофотометрами.

Эффективность метода БИК-спектроскопии как простого и недорогого метода для классификации различия веществ по химическому строению была доказана многочисленными исследованиями, а также продемонстрирована для медицины и фармакологии, почвоведения, ландшафтной экологии, биотехнологии, сельского хозяйства и пищевой промышленности [4, 7–13].

Анализ научных публикаций показал, что метод анализа БИК-спектров диффузионного отражения успешно использовался для идентификации лекарственных препаратов, плодов (яблок), растений и древесины, насекомых, таких как муравьи, термиты, двукрылые, жуки-долгоносики, некоторых животных, мяса сельскохозяйственных животных [14–24]. Информация, касающаяся видовой идентификации рыб данным методом, является отрывочной.

Существует несколько аргументов использования БИК-спектроскопии для исследования рыб. Во-первых, одновременно можно анализировать множество компонентов с помощью единого спектра. Во-вторых, проведение данного анализа довольно дешево и не требует сложной пробоподготовки и дорогостоящих реактивов. В-третьих, продолжительность анализа составляет менее суток. В-четвертых, технически сам анализ не очень сложен и не требует особых навыков.

Цель исследования – идентификация таксонов рыб с применением дискриминантного анализа спектров отражения в БИК области.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

1) выбор объектов, относящихся к разным таксонам;
2) получение БИК-спектров диффузионного отражения и их математическая обработка для представления в виде матрицы, которая пригодна для дискриминантного анализа;
3) проведение дискриминантного анализа БИК-спектров отражения белков рыб, принадлежащих разным таксонам.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали 25 видов рыб из 8 отрядов, обитающих в Северном рыбопромысловом бассейне: пинагор (*Cyclopterus lumpus*), ликод сетчатый (*Lycodes reticulatus*), коттункул Томсона (*Cottunculus thomsonii*), менек (*Brosme brosme*), путассу северная (*Micromesistius poutassou*), пикша (*Melanogrammus aeglefinus*), тресочка Эсмарка (*Trisopterus esmarkii*), налим северный морской (*Ciliata septentrionalis*), лиманда (*Limanda limanda*), окунь золотистый (*Sebastes marinus*), окунь морской гигантский (*Stereolepis gigas*), окунь морской клюворылый (*Sebastes mentella*), окунь синеротый (*Helicolenus dactylopterus*), исландский шедоф (*Schedophilus medusophagus*), хаулиод (*Chauliodus sloani*), европейская химера (*Chimaera monstrosa*), аргентина (*Argentina sphyraena*), скат звездчатый (*Raja radiata*), акула черная (*Dalatias licha*), акула большая черная (*Etmopterus princeps*), акула полярная (*Somniosus microcephalus*), акула длиннорылая (*Rhizoprionodon terraenovae*), акула белоглазая длинноносая (*Centroselachus crepidater*), чёрная собачья акула Фабрициуса (*Centroscyllium fabricii*), гладкоголов Агассица (*Alepocephalus agassizii*). Отбор проб проводили в Баренцевом и Карском морях и в Северо-Восточной Атлантике в рейсах на научно-исследовательских судах Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н. М. Книповича) в 2014–2018 гг.

Подготовка проб осуществлялась в лаборатории технологии переработки водных биоресурсов ПИНРО. Образцы мышечной ткани измельчали на мясорубке с диаметром отверстий 3 мм. Затем их обезвоживали высушиванием при 105 °С и удаляли липиды экстракцией диэтиловым эфиром в аппарате Сокслета. Высушенные и обезжиренные образцы измельчали на шаровой мельнице Pulverisette 7 (FRITSCH GmbH, Германия) в стаканах из нержавеющей стали при 500 об/мин в течение 10 мин. Содержание белков и минеральных веществ в мышечной ткани объектов определяли стандартными методами[1].

Спектры диффузионного отражения для подготовленных образцов получали с использованием ИК-спектрофотометра IRTracer-100 (Shimadzu, Япония) с приставкой для измерения диффузионного отражения DRS-8000A. Измерения проводили в диапазоне от 700 до 7000 см$^{-1}$. Кратность измерения одного образца составляла от 3 до 5 повторов.

Обработку спектров и построения графиков осуществляли в программах Excel (Microsoft, США) и MagicPlot Pro ver. 2.9.0.0 (Magicplot Systems, LLC, Россия).

Многомерный дискриминантный анализ результатов, расчет расстояния Махаланобиса и построение графиков распределения проводили с помощью статистической программы IBM SPSS Statistics ver. 25 (IBM Corp., США). Каноническая корреляция составила 0,999.

[1] ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – М. : Стандартинформ, 2010. – 90 с.

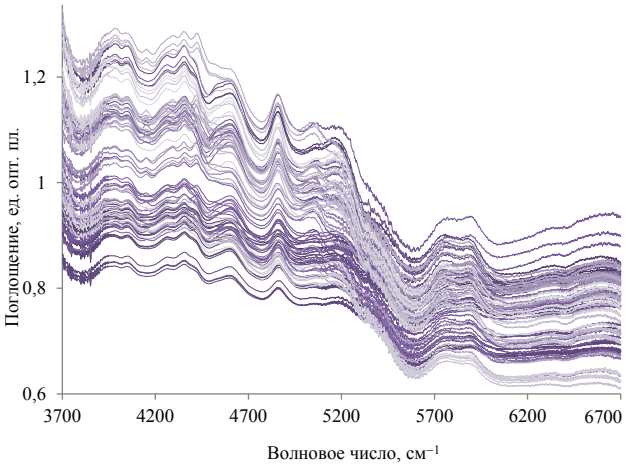
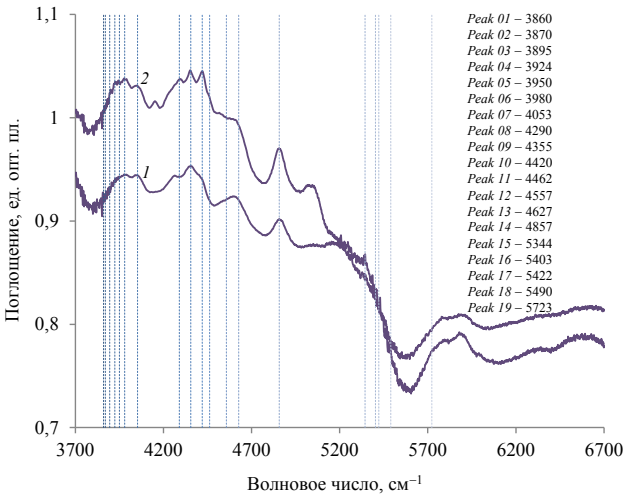


Рисунок 1. Пример массива необработанных спектров БИК поглощения образцов исследуемых видов рыб

Figure 1. Example of an array of unprocessed absorption spectra of NIR absorption of the fish samples



1 – белки пинагора, *2* – белки акулы полярной
Peak 01–19 – пики, используемые в дискриминантном анализе

Рисунок 2. Положение пиков поглощения, участвующих в дискриминантном анализе БИК-спектров

Figure 2. Absorption peaks involved in the discriminant analysis of the NIR spectra

Результаты и их обсуждение

Подготовленные образцы мышечной ткани после высушивания и обезжиривания содержали белки и минеральные вещества (зола).

Для образцов каждого исследуемого вида было определено содержание минеральных веществ и белка. Массовая доля золы в обезжиренном сухом образце составила менее 9 %.

С целью исключения возможного влияния различного содержания минеральных веществ в образцах в начале исследований была проведена статистическая обработка данных химического состава, которая не выявила корреляцию массовой доли золы и белков с видовой или отрядной принадлежностью исследованных рыб.

Для белков подготовленных образцов были измерены спектры диффузионного отражения в области, которая визуально показала существенные различия в интенсивности пиков отражения для разных видов рыб.

Спектры отражения были преобразованы в спектры поглощения. На рисунке 1 приведен пример массива экспериментальных спектров, которые были использованы для последующей математической и статистической обработки. Полученные спектры представляют сложную комбинацию нескольких пиков, которые отличаются интенсивностью и соотношением высоты пиков для различных рыб.

В результате дискриминантного анализа были выявлены основные волновые числа в БИК-спектре белков, которые связаны с видовой принадлежностью морских рыб.

Из 28 пиков, выбранных на исследуемом диапазоне БИК-спектра после разложения спектра на составляющие гауссианы, были выбраны 19 пиков. Они вносили главный вклад в значения дискриминантных функций и обеспечивали получение максимального разделения рыб по классам, соответствующим биологическим отрядам. На рисунке 2 представлены БИК-спектры мышечных белков пинагора и акулы полярной как представителей разных отрядов.

Спектры поглощения были математически обработаны в программе MagicPlot. Для каждого спектра была вручную проведена базовая линия с использованием кубической сплайн-функции. После вычитания базовой линии из спектра поглощения *A* был получен спектр поглощения *B*, представляющий сумму индивидуальных и перекрывающихся пиков (на рисунке 3 приведен пример обработки спектра белков мышечной ткани пинагора). Полученный спектр был разложен на составляющие пики, используя распределение Гаусса (рис. 3, кривые *1–14*). Каждый пик характеризовался волновым числом и высотой (величиной поглощения).

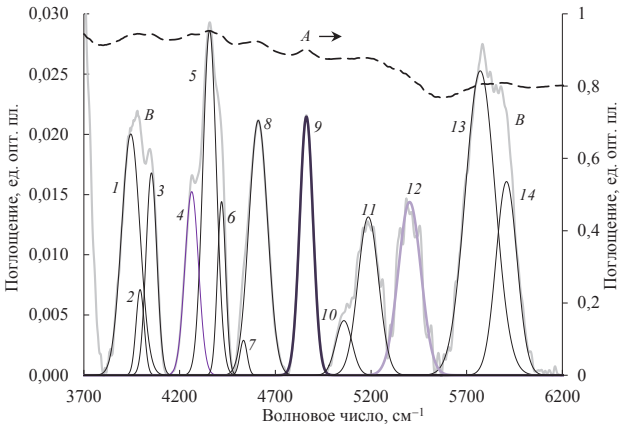
По полученным данным была составлена матрица, в которой столбцы соответствовали номерам пиков, а строки – отрядам исследованных рыб. Все исследуемые рыбы были разделены на классификационные группы по их принадлежности к отрядам:

– скорпенообразные (*Scorpaeniformes*): пинагор, ликод, коттункул;

– корюшкообразные (*Osmeriformes*): гладкоголов Агассиса;

– трескообразные (*Gadiformes*): менек, путассу северная, пикша, тресочка Эсмарка, налим северный морской;

– камбалообразные (*Pleuronectiformes*): лиманда;



A – исходный спектр поглощения
B – спектр после вычитания базовой линии
1–14 – пики, рассчитанные по функции распределения Гаусса

Рисунок 3. Разложение БИК-спектра поглощения образца мышечной ткани пинагора на составляющие гауссианы

Figure 3. Decomposition of the NIR absorption spectrum of a pinagor muscle tissue sample into constituent Gaussians

– окунеобразные (*Perciformes*): окунь золотистый, окунь морской гигантский, окунь морской клюворылый, окунь синеротый, шедоф;
– стомиевые (*Stomiidae*): хаулиод;
– хрящевые (*Chondrichthyes*): химера, звездчатый скат, акула черная, большая черная акула, акула полярная, акула длиннорылая, акула белоглазая длинноносая, акула фабрициуса;
– сельдеобразные (*Clupeiformes*): аргентина.

Для оценки близости спектров рассчитывали расстояние Махаланобиса БИК-спектров каждого исследуемого вида рыб от аналогичных спектров остальных рыб. Полученные канонические дискриминантные функции 1 и 2 позволили разделить все объекты по выбранным группам (рис. 4). На рисунке 4 представлены неперекрывающиеся группы, отвечающие каждому отряду рыб.

Примененный подход к обработке данных позволил получить практически неперекрывающиеся кластеры, в каждый из которых попали значения, соответствующие только одному отряду исследованных рыб. Различие между группами считается достоверным, если расстояние Махаланобиса превышает значение критерия Фишера (F) при уровне значимости *P* (*P* = 0,05). Минимальное расстояние Махаланобиса между ближайшими кластерами составило 7,27 (кластеры 1 и 3, F = 2,86) и 7,94 (кластеры 2 и 5, F = 3,88), т. е является статистически значимым. Результат классификации показал, что классифицированы правильно 100,0 % исходных и 96,6 % перекрестно проверенных сгруппированных наблюдений.

Таким образом, проведенные исследования доказали возможность применения БИК-анализа для

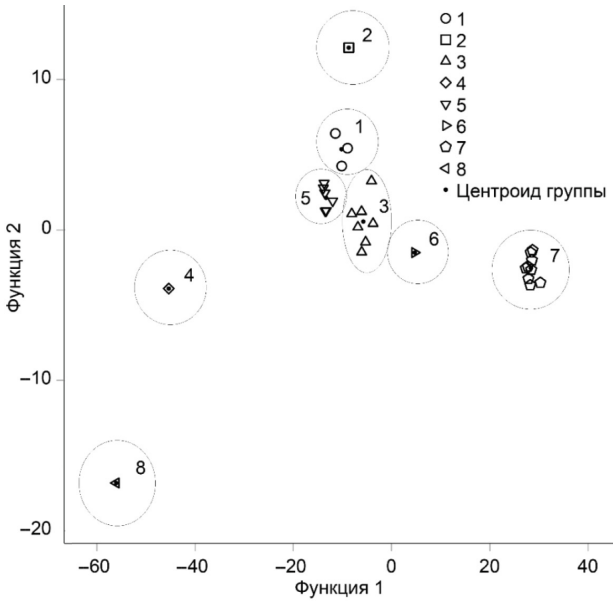


Рисунок 4. Канонические дискриминантные функции (номера групп соответствуют номерам выбранных отрядов рыб)

Figure 4. Canonical discriminant functions (group numbers correspond to numbers of the selected fish orders)

идентификации рыб по образцам их мышечной ткани до отдельных отрядов.

Исследование структуры БИК-спектров (например, в области волновых чисел 5000–5500 см$^{-1}$) показало наличие дополнительных пиков, которые могут использоваться для более детальной классификации рыб по группам, соответствующим семействам и даже видам рыб. В этом случае необходимо изучение организмов, ограниченных одним отрядом или семейством.

Выводы

Проведены измерения спектров диффузионного отражения БИК-излучения для 25 образцов морских видов рыб Северного бассейна. Подтверждена возможность идентификации рыб до отряда на основе измерения спектральных характеристик белков в ИК диапазоне, соответствующей ближней области (от 3700 до 6700 см$^{-1}$) и статистической обработки полученных спектров методом линейного дискриминантного анализа. Таким образом, метод спектроскопии в ближней инфракрасной области может быть использован для обнаружения фальсификатов готовой продукции аквакультуры и рыбного промысла.

Критерии авторства

В. Ю. Новиков руководил проектом. А. В. Барышников, К. С. Рысакова, Н. В. Шумская, О. Р. Узбекова принимали участие в экспериментальных исследованиях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

Contribution

V.Yu. Novikov supervised the project. A.V. Baryshnikov, K.S. Rysakova, N.V. Shumskaya, and O.R. Uzbekova performed the experimental part of the research.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Крищенко, В. П. Ближняя инфракрасная спектроскопия / В. П. Крищенко. – М. : Интерагротех, 1997. – 640 с.

2. Franca, A. S. Spectroscopic methods in food analysis / A. S. Franca, L. M. L. Nollet. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – 664 p.

3. Burns, D. A. Handbook of near-infrared analysis / D. A. Burns, E. W. Ciurczak. – Boca Raton : CRC Press, 2008. – 836 p.

4. Grassi, S. Advances in NIR spectroscopy applied to process analytical technology in food industries / S. Grassi, C. Alamprese // Current Opinion in Food Science. – 2018. – Vol. 22. – P. 17–21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.12.008.

5. The quality control of tea by near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy and chemometrics / M.-Z. Zhu, B. Wen, H. Wu [et al.] // Journal of Spectroscopy. – 2019. DOI: https://doi.org/10.1155/2019/8129648.

6. Geographical origin traceability of Cabernet Sauvignon wines based on Infrared fingerprint technology combined with chemometrics / X.-Z. Hu, S.-Q. Liu, X.-H. Li [et al.] // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-44521-8.

7. Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy – a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance / W. J. Foley, A. Mcllwee, I. Lawler [et al.] // Oecologia. – 1998. – Vol. 116, № 3. – P. 293–305. DOI: https://doi.org/10.1007/s004420050591.

8. Near Infrared Spectroscopy technology for prediction of chemical composition of natural fresh pastures / S. Parrini, A. Acciaioli, O. Franci [et al.] // Journal of Applied Animal Research. – 2019. – Vol. 47, № 1. – P. 514–520. DOI: https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1675669.

9. Ciurczak, E. W. Pharmaceutical and medical applications of near-infrared spectroscopy / E. W. Ciurczak, B. Igne. – Boca Raton : CRC Press, 2019. – 172 p.

10. Reich, G. Near-infrared spectroscopy and imaging: basic principles and pharmaceutical applications / G. Reich // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2005. – Vol. 57, № 8. – P. 1109–1143. DOI: https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.01.020.

11. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties / E. S. Mohamed, A. M. Saleh, A. B. Belal [et al.] // Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. – 2018. – Vol. 21, № 1. – P. 1–14. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.02.001.

12. Counsell, K. R. Recent advances of near infrared spectroscopy in wildlife and ecology studies / K. R. Counsell, C. K. Vance // NIR News. – 2016. – Vol. 27, № 1. – P. 29–32. DOI: https://doi.org/10.1255/nirn.1581.

13. FT-NIR: a tool for rapid intracellular lipid quantification in oleaginous yeasts / M. Chmielarz, S. Sampels, J. Blomqvist [et al.] // Biotechnology for Biofuels. – 2019. – Vol. 12. DOI: https://doi.org/10.1186/s13068-019-1513-9.

14. Chen, H. Application of near-infrared spectroscopy and class-modeling to antibiotic authentication / H. Chen, Z. Lin, C. Tan // Analytical Biochemistry. – 2020. – Vol. 590. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.113514.

15. Classification of apple varieties using near infrared reflectance spectroscopy and fuzzy discriminant c-means clustering model / X. Wu, B. Wu, J. Sun [et al.] // Journal of Food Process Engineering. – 2016. – Vol. 40, № 2. DOI: https://doi.org/10.1111/jfpe.12355.

16. Rapid identification of wood species by near-infrared spatially resolved spectroscopy (NIR-SRS) based on hyperspectral imaging (HSI) / T. Ma, T. Inagaki, M. Ban [et al.] // Holzforschung. – 2019. – Vol. 73, № 4. – P. 323–330. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2018-0128.

17. Li, Y. Calibration of near infrared spectroscopy (NIRS) data of three *Eucalyptus* species with extractive contents determined by ASE extraction for rapid identification of species and high extractive contents / Y. Li, C. Altaner // Holzforschung. – 2019. – Vol. 73, № 6. – P. 537–545. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2018-0166.

18. A near-infrared spectroscopy routine for unambiguous identification of cryptic ant species / M.-C. Kinzner, H. C. Wagner, A. Peskoller [et al.] // PeerJ. – 2015. – Vol. 3. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.991.

19. Discrimination of termite species using near-infrared spectroscopy (NIRS) / R. A. de Azevedo, J. W. de Morais, C. Lang [et al.] // European Journal of Soil Biology. – 2019. – Vol. 93. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.04.002.

20. A novel use of infra-red spectroscopy (NIRS and ATR-FTIR) coupled with variable selection algorithms for the identification of insect species (Diptera: Sarcophagidae) of medico-legal relevance / T. M. Barbosa, L. A. S. de Lima, M. C. D. dos Santos [et al.] // Acta Tropica. – 2018. – Vol. 185. – P. 1–12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.04.025.

21. Identification of species and geographical strains of *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais* using the visible/near-infrared hyperspectral imaging technique / Y. Cao, C. J. Zhang, Q. S. Chen [et al.] // Pest Management Science. – 2015. – Vol. 71, № 8. – P. 1113–1121. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.3893.

22. Riccioli, C. Identifying animal species in NIR hyperspectral images of processed animal proteins (PAPs): Comparison of multivariate techniques / C. Riccioli, D. Perez-Marin, A. Garrido-Varo // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. – 2018. – Vol. 172. – P. 139–149. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.12.003.

23. Pieszczek, L. Identification of ground meat species using near-infrared spectroscopy and class modeling techniques – Aspects of optimization and validation using a one-class classification model / L. Pieszczek, H. Czarnik-Matusewicz, M. Daszykowski // Meat Science. – 2018. – Vol. 139. – P. 15–24. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.009.

24. Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozen-thawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics / C. Alamprese, J. M. Amigo, E. Casiraghi [et al.] // Meat Science. – 2016. – Vol. 121. – P. 175–181. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.018.

References

1. Krishchenko VP. Blizhnyaya infrakrasnaya spektroskopiya [Near infrared spectroscopy]. Moscow: Interagrotekh; 1997. 640 p. (In Russ.).

2. Franca AS, Nollet LML. Spectroscopic methods in food analysis. Boca Raton: CRC Press; 2017. 664 p.

3. Burns DA, Ciurczak EW. Handbook of near-infrared analysis. Boca Raton: CRC Press; 2008. 836 p.

4. Grassi S, Alamprese C. Advances in NIR spectroscopy applied to process analytical technology in food industries. Current Opinion in Food Science. 2018;22:17–21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.12.008.

5. Zhu MZ, Wen BB, Wu H, Li J, Lin HY, Li Q, et al. The quality control of tea by near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy and chemometrics. Journal of Spectroscopy. 2019. DOI: https://doi.org/10.1155/2019/8129648.

6. Hu XZ, Liu SQ, Li XH, Wang CX, Ni XL, Liu X, et al. Geographical origin traceability of Cabernet Sauvignon wines based on Infrared fingerprint technology combined with chemometrics. Scientific Reports. 2019;9. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-44521-8.

7. Foley WJ, McIlwee A, Lawler I, Aragones L, Woolnough AP, Berding N. Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. Oecologia. 1998;116(3):293–305. DOI: https://doi.org/10.1007/s004420050591.

8. Parrini S, Acciaioli A, Franci O, Pugliese C, Bozzi R. Near Infrared Spectroscopy technology for prediction of chemical composition of natural fresh pastures. Journal of Applied Animal Research. 2019;47(1):514–520. DOI: https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1675669.

9. Ciurczak EW, Igne B. Pharmaceutical and medical applications of near-infrared spectroscopy. Boca Raton: CRC Press; 2019. 172 p.

10. Reich G. Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications. Advanced Drug Delivery Reviews. 2005;57(8):1109–1143. DOI: https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.01.020.

11. Mohamed ES, Saleh AM, Belal AB, Gad A. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2018;21(1):1–14. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.02.001.

12. Counsell KR, Vance CK. Recent advances of near infrared spectroscopy in wildlife and ecology studies. NIR News. 2016;27(1):29–32. DOI: https://doi.org/10.1255/nirn.1581.

13. Chmielarz M, Sampels S, Blomqvist J, Brandenburg J, Wende F, Sandgren M, et al. FT-NIR: a tool for rapid intracellular lipid quantification in oleaginous yeasts. Biotechnology for Biofuels. 2019;12. DOI: https://doi.org/10.1186/s13068-019-1513-9.

14. Chen H, Lin Z, Tan C. Application of near-infrared spectroscopy and class-modeling to antibiotic authentication. Analytical Biochemistry. 2020;590. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.113514.

15. Wu XH, Wu B, Sun J, Yang N. Classification of apple varieties using near infrared reflectance spectroscopy and fuzzy discriminant c-means clustering model. Journal of Food Process Engineering. 2017;40(2). DOI: https://doi.org/10.1111/jfpe.12355.

16. Ma T, Inagaki T, Ban M, Tsuchikawa S. Rapid identification of wood species by near-infrared spatially resolved spectroscopy (NIR-SRS) based on hyperspectral imaging (HSI). Holzforschung. 2019;73(4):323–330. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2018-0128.

17. Li YJ, Altaner C. Calibration of near infrared spectroscopy (NIRS) data of three *Eucalyptus* species with extractive contents determined by ASE extraction for rapid identification of species and high extractive contents. Holzforschung. 2019;73(6):537–545. DOI: https://doi.org/10.1515/hf-2018-0166.

18. Kinzner M-C, Wagner HC, Peskoller A, Moder K, Dowell FE, Arthofer W, et al. A near-infrared spectroscopy routine for unambiguous identification of cryptic ant species. PeerJ. 2015;3. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.991.

19. de Azevedo RA, de Morais JW, Lang C, Dambros CD. Discrimination of termite species using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). European Journal of Soil Biology. 2019;93. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.04.002.

20. Barbosa TM, de Lima LAS, dos Santos MCD, Vasconcelos SD, Gama RA, Lima KMG. A novel use of infra-red spectroscopy (NIRS and ATR-FTIR) coupled with variable selection algorithms for the identification of insect species (Diptera: Sarcophagidae) of medico-legal relevance. Acta Tropica. 2018;185:1–12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.04.025.

21. Cao Y, Zhang CJ, Chen QS, Li YY, Qi S, Tian L, et al. Identification of species and geographical strains of *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais* using the visible/near-infrared hyperspectral imaging technique. Pest Management Science. 2015;71(8):1113–1121. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.3893.

22. Riccioli C, Perez-Marin D, Garrido-Varo A. Identifying animal species in NIR hyperspectral images of processed animal proteins (PAPs): Comparison of multivariate techniques. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2018;172:139–149. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.12.003.

23. Pieszczek L, Czarnik-Matusewicz H, Daszykowski M. Identification of ground meat species using near-infrared spectroscopy and class modeling techniques – Aspects of optimization and validation using a one-class classification model. Meat Science. 2018;139:15–24. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.009.

24. Alamprese C, Amigo JM, Casiraghi E, Engelsen SB. Identification and quantification of turkey meat adulteration in fresh, frozen-thawed and cooked minced beef by FT-NIR spectroscopy and chemometrics. Meat Science. 2016;121:175–181. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.018.

Сведения об авторах

Новиков Виталий Юрьевич
канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии переработки водных биоресурсов, Полярный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 183038, Россия, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, тел.: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: nowitaly@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-1733-5838

Барышников Андрей Владимирович
канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории технологии переработки водных биоресурсов, Полярный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 183038, Россия, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, тел.: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: baryshnikov@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0003-3267-3050

Рысакова Кира Сергеевна
канд. био. наук, научный сотрудник лаборатории технологии переработки водных биоресурсов, Полярный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 183038, Россия, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, тел.: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: rysakova@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0002-8111-0708

Шумская Надежда Владимировна
специалист лаборатории технологии переработки водных биоресурсов, Полярный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 183038, Россия, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, тел.: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: shumskaya@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0003-2758-3464

Узбекова Ольга Раиловна
специалист лаборатории технологии переработки водных биоресурсов, Полярный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 183038, Россия, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, тел.: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: uzbekova@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0002-6797-5289

Information about the authors

Vitaly Yu. Novikov
Cand.Sci.(Chem.), Leading Researcher of the Laboratory of Processing of Aquatic Bioresources, Polar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, 183038, Russia, phone: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: nowitaly@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-1733-5838

Andrey V. Baryshnikov
Cand.Sci.(Eng.), Researcher of the Laboratory of Processing of Aquatic Bioresources, Polar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, 183038, Russia, phone: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: baryshnikov@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0003-3267-3050

Kira S. Rysakova
Cand.Sci.(Bio.), Researcher of the Laboratory of Processing of Aquatic Bioresources, Polar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, 183038, Russia, phone: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: rysakova@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0002-8111-0708

Nadezhda V. Shumskaya
Specialist of the Laboratory of Processing of Aquatic Bioresources, Polar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, 183038, Russia, phone: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: shumskaya@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0003-2758-3464

Olga R. Uzbekova
Specialist of the Laboratory of Processing of Aquatic Bioresources, Polar branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 6, Akademika Knipovicha Str., Murmansk, 183038, Russia, phone: +7 (8152) 40-26-00, e-mail: uzbekova@pinro.ru
https://orcid.org/0000-0002-6797-5289