

**Рецензия на книгу М. Haschke, J. Flock, M. Haller
“Laboratory Applications of X-ray Fluorescence”, Wiley.
2021, 491 pp., 263 illustrations. ISBN 9783527816606.
DOI: 10.1002/9783527816637**

**А.Г. Ревенко*

*Институт земной коры СО РАН,
Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128*

**Адрес для переписки: Ревенко Анатолий Григорьевич, E-mail: xray@crust.irk.ru*

Поступила в редакцию 7 марта 2022 г.

Применение рентгенофлуоресцентного анализа (**РФА**) в последние годы постоянно расширяется. Возрастает число пользователей без специальной подготовки. В настоящей работе представлена информация о монографии М. Haschke, J. Flock и М. Haller “Laboratory Applications of X-ray Fluorescence”. Книга опубликована издательством Wiley-VCH. Рецензируемая книга написана специалистами с большим опытом работы в области РФА. Авторы внесли существенный вклад в развитие рентгенофлуоресцентного анализа. Книга состоит из Предисловия, списка сокращений и символов, информации об авторах, Введения, 18 глав, двух приложений (А – Таблицы, В – Важная информация), списка литературы и предметного указателя. Материал книги в рецензии обсуждается по главам. В книге представлены различные процедуры подготовки проб, типичные для РФА, и обсуждено их влияние на прецизионность и правильность анализа. Рассмотрены основные типы рентгеновских спектрометров, а также устройство, назначение и особенности функционирования отдельных компонентов приборов. Обсуждены основные приёмы измерения и оценки рентгеновских спектров и сделано сравнение метрологических характеристик РФА с другими аналитическими методами. В полном соответствии с названием книги основное внимание авторы уделили обсуждению вариантов решения с помощью РФА разнообразных аналитических задач. Рассмотрены однородные и неоднородные, твёрдые и жидкие материалы, применение в геологии, экологии, биологии, на промышленных предприятиях, в исследовательских лабораториях при изучении предметов, представляющих исторические и культурные ценности. Следует отметить наличие в книге Приложения “Важная информация”. Подготовленное авторами современное справочное руководство высокого качества будет полезным как для начинающих, так и для квалифицированных специалистов. Чёткое изложение материала позволяет рекомендовать его в качестве учебного пособия для студентов и магистрантов. Представляется, что книга будет востребована в лабораториях научно-исследовательских институтов и университетов, а также в лабораториях промышленных предприятий.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, основы метода и примеры применения для различных материалов, рецензия на книгу.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2022, vol. 26, no. 1, pp. 75-81

DOI: 10.15826/analitika.2022.26.1.008

**Book review for a book by M. Haschke, J. Flock, M. Haller
“Laboratory Applications of X-ray Fluorescence”, Wiley.
2021, 464 pp., 263 illustrations. ISBN 9783527816606.
DOI: 10.1002/9783527816637**

***A.G. Revenko**

*Institute of the Earth's Crust, SB RAS, ul. Lermontova, 128, Irkutsk, 664033,
Russian Federation*

**Corresponding author: Anatoly G. Revenko, E-mail: xray@crust.irk.ru*

The use of X-ray fluorescence analysis (**XRF**) has been constantly expanding in recent years. The number of users without special training is increasing. This paper provides information on the monograph by M. Haschke, J. Flock, and M. Haller "Laboratory Applications of X-ray Fluorescence". The book was published by Wiley-VCH. The book under review was written by experts with extensive experience in XRF. The authors made a significant contribution to the development of X-ray fluorescence analysis. The book consists of a Preface, a List of abbreviations and symbols, Information about authors, an Introduction, 18 Chapters, two Appendixs (A - Tables, B - Important information), a References and an Index. The material of the book in the review is discussed chapter by chapter. The book presents various sample preparation procedures that are typical for XRF and discusses their impact on the precision and accuracy of the analysis. The main types of X-ray spectrometers, as well as the design, construction and features of the operation of individual components of the devices are considered. The main techniques for measuring and evaluating X-ray spectra are discussed, and the metrological characteristics of XRF are compared with other analytical methods. In full accordance with the title of the book, the authors paid the main attention to the discussion of options for solving various analytical problems using XRF. Homogeneous and heterogeneous, solid and liquid materials, application in geology, ecology, biology, industrial enterprises, research laboratories in the study of objects of heritage are considered. It should be noted the presence in the book of the Appendix "Important information". Prepared by the authors, a modern high quality reference guide will be useful for both beginners and qualified professionals. A clear presentation of the material allows us to recommend it as a teaching aid for students and undergraduates. It seems that the book will be in demand in the laboratories of research institutes and universities, as well as in the laboratories of industrial enterprises.

Key words: X-ray fluorescence analysis, fundamentals of the method and examples of application for various materials, book review.

ВВЕДЕНИЕ

Рецензируемая книга (рис. 1) написана специалистами с большим опытом работы в области РФА (рис. 2). Некоторые публикации М. Haschke приведены в рецензии на его предыдущую книгу [1]. J. Flock много лет руководил центральной лабораторией ThyssenKrupp Steel AG, имеет большой объем практических знаний по проблеме анализа различных материалов. В рецензируемой книге [2] приведены 15 ссылок на публикации с его участием за период с 1987 по 2016 г. М. Haller работал с рентгеновским излучением, используя его в качестве аналитического инструмента более 30 лет. Первоначально областью его интересов была рентгеновская кристаллография, затем он принимал участие в работах по применению РФА с ПВО в группе P. Wobrauschek [3-5], а в дальнейшем в разработке и применении поликапиллярной рентгеновской оптики [6, 7]. Кроме этого, он разрабатывал методики для приборов, предназначенных для измерения толщины покрытий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Традиционно в первой главе кратко изложены физические основы РФА (23 стр., 11 рис., 2 табл.). В главе описываются основные процессы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и особенности их использования при исследовании материалов. Рассмотрены такие варианты взаимодействия как поглощение, флуоресценция, преломление, рассеяние и дифракция. Материал изложен очень кратко, так как доступны обзорные статьи и монографии, в которых очень подробно описываются эти взаимодействия. Обзор основных

компонентов рентгеновских спектрометров сделан в заключительном параграфе главы.

Во второй главе (30 стр., 18 рис., 11 табл.) представлены различные процедуры подготовки проб, типичные для РФА, и обсуждено их влияние на прецизионность и правильность анализа. Авторы подчёркивают, что, несмотря на кажущуюся простоту пробоподготовки для РФА, важно проводить её тщательно, в соответствии с ожиданиями результатов анализа.

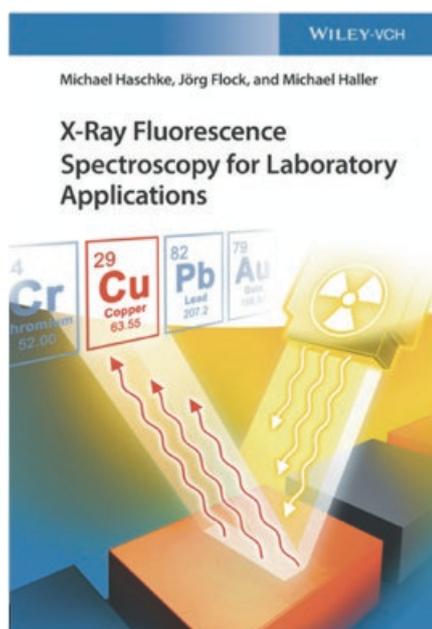


Рис. 1. Обложка монографии "Laboratory Applications of X-ray Fluorescence".

Fig. 1. Cover of the "Laboratory Applications of X-ray Fluorescence" monograph.



M. Haschke



J. Flock



M. Haller

Рис. 2. Авторы монографии**Fig. 2.** Authors of the monograph

Основные типы рентгеновских спектрометров, устройство, назначение и особенности функционирования отдельных компонентов представлены в главе 3 (38 стр., 35 рис., 4 табл.). Рассмотрены отличия и характеристики применения спектрометров с дисперсией по длинам волн (**ВДФА**) и энергодисперсионных приборов (**ЭДФА**): разрешение линий, скорость счета, эффективность регистрации, производительность. Представлены варианты спектрометров каждого типа: портативные и настольные приборы (**ЭДФА**); сканирующие или последовательные и многоканальные спектрометры (**ВДФА**). Очень кратко охарактеризованы спектрометры специального типа: спектрометры с полным внешним отражением (**РФА с ПВО**), применение возбуждения монохроматическим или поляризованным излучением, приборы для позиционно-чувствительного анализа, микроРФА с конфокальной геометрией и др. спектрометры. В заключительном разделе этой главы можно найти информацию о фирмах-производителях и спектрометрах разного типа, доступных в настоящее время на рынке. К сожалению, в списке из 15 фирм нет ни одной из России. Более подробная информация о производителях рентгеновского оборудования приведена в одной из таблиц Приложения.

Основные приёмы измерения и оценки рентгеновских спектров обсуждены в самой объёмной четвёртой главе (49 стр., 26 рис., 5 табл.). Авторы уделяют внимание процедурным шагам для выполнения измерения, выбору условий и критериям оптимизации измерения (параметры рентгеновской трубки: материал анода, условия возбуждения, распределение энергии первичного спектра, среда измерения, время измерения, учёт наложения линий и рентгеновского фона). В этой же главе рассмотрены проблемы перевода экспериментальных интенсивностей в концентрации. В отечественной литературе

способы анализа и области их применения обычно рассматриваются в отдельных главах.

Обсуждению классификации, определения и оценки погрешностей измерения и получаемых результатов анализа посвящена глава 5 (17 стр., 8 рис., 4 табл.). Достижимая аналитическая точность РФА определяется погрешностями, возникающими на различных этапах проведения анализа. В соответствии с общепринятой практикой авторы выделяют следующие основные этапы: отбор материала, приготовление образца для анализа и измерение аналитического сигнала. Авторы приводят рекомендации по достижению главной цели любого анализа — получение максимально точного результата. Можно добавить, что существенные погрешности могут проявляться на заключительном этапе проведения анализа при переводе измеренных интенсивностей аналитических линий в концентрации определяемых элементов. Например, это получается в случае выбора некорректного способа анализа, т.е. при использовании способа, не учитывающего всю гамму взаимных влияний элементов. Следует отметить, что различные аспекты этой проблематики достаточно подробно обсуждены в работах профессора А.Н. Смагуновой с соавторами [8, 9].

В шестой главе представлены данные о сравнении аналитических характеристик РФА с другими аналитическими методами (9 стр., 6 рис., 1 табл.). В первую очередь авторы перечисляют такие методы, как атомно-абсорбционная спектрометрия (**ААС**), атомная эмиссионная спектрометрия (**АЭС**). Для металлических образцов используется искровое возбуждение (оптическая эмиссионная спектрометрия), а в случае жидких образцов — индуктивно-связанная плазма (**АЭС ИСП**). ААС и АЭС ИСП приобрели большое значение, поскольку они в основном работают с жидкими образцами и, таким образом, напрямую заменяют методы мокрой химии, обеспечивая более

высокую точность и чувствительность, а также значительно большую производительность анализа. Однако для оптических спектров характерно наличие существенно большего числа линий, чем в рентгеновских спектрах; при этом разности энергий значительно меньше, и соответственно подходящий выбор аналитических линий для некоторых аналитических задач затруднён и требуются спектрометры высокого разрешения, чтобы разделять желательные линии. Кратко рассмотрены основные современные аналитические методы: масс-спектрометрия с индуктивной-связанной плазмой, рентгеновская фотоэлектронная спектрометрия, оже-электронная спектрометрия, масс-спектрометрия вторичных ионов, нейтронно-активационный анализ, спектроскопия лазерно-индуцированного пробоя.

Отмеченные авторами методы имеют разные метрологические характеристики: требования к типу пробы, диапазон определяемых элементов, диапазон определяемых содержаний, трудоёмкость подготовки проб и возможность загрязнения образца при выполнении этого этапа, экспрессность, производительность, занимаемая площадь и т.д. Следовательно, оценка качества одного метода по сравнению с другим иногда проблематична. Очень часто бывает необходимо или полезно использовать несколько аналитических методов одновременно, чтобы максимально полно охарактеризовать материал. Они приводят очень верное утверждение: **один аналитический метод — это не аналитический метод**. Я согласен с таким подходом.

Наиболее важные факты о радиационной защите представлены в главе 7 (5 стр., 2 рис., 2 табл. в тексте и 1 в Приложении). Обращение к этой проблеме можно только приветствовать, так как в последние годы существенно возросло число пользователей рентгеновской аппаратуры, не имеющих специальной подготовки.

В десяти последующих главах (8-17 гл.) обсуждены варианты решения разнообразных аналитических задач. Глава 8 – “Анализ однородных твердых образцов” (29 стр., 10 рис., 13 табл.) посвящена таким материалам, как железные сплавы (передельный чугун и чугунное литьё, низколегированные и высоколегированные стали), сплавы Ni–Fe–Co, медные, алюминиевые и титановые сплавы, припои, драгоценные металлы (чистые металлы, ювелирные изделия из драгоценных металлов), стёкла и полимеры. Кратко рассмотрены возможности использования натирания исследуемых проб твёрдым (абразивным) материалом для последующего анализа. Информацию о применении РФА для исследования металлов можно найти в работах [10-12], о применении натирания в [13, 14].

В главе 9 (40 стр., 10 рис., 17 табл.) описывается исследование порошкообразных образцов, таких как геологические образцы (руды различных металлов, уголь, почвы и осадки сточных вод, кварцевый песок), глинозем и кокс, цемент и другие строительные

материалы, ферросплавы и шлаки, керамика и огнеупорные материалы, продукты питания, фураж, лекарства, вторсырьё.

В главе 10 (13 стр., 3 рис., 4 табл.) обсуждены возможности РФА жидкостей. Это примеры непосредственного анализа: горючее и масла (токсичные элементы в топливе, присадки в смазочных маслах, идентификация абразивных частиц в отработанных смазочных материалах) или с применением различных процедур концентрирования, например, с помощью обогащения за счёт абсорбции и комплексообразования. Дополнительную информацию можно найти в работах [15-19].

Применение РФА с полным внешним отражением (РФА с ПВО, TXRF) рассматривается в главе 11 (20 стр., 12 рис., 4 табл.). Особенности и типичные области применения этого варианта РФА показаны на примере определений ультра-следовых содержаний некоторых элементов в воде (анализ стандартной пробы пресной воды, обнаружение Hg в воде), а также при исследованиях очень малых (по массе) образцов (анализ пигментов, аэрозоль, наночастиц, микроэлементов в органах и тканях человека, крови и сыворотки крови, а также образцов полупроводниковой электроники). Дополнительную информацию можно найти в работах [20-22].

Анализ неоднородных материалов охватывает широкий круг аналитических задач (главы 12-14). В очень короткой главе 12 (4 стр., 1 табл.) очерчен круг этих задач, требования к спектрометрам, а также особенности измерения и оценки данных. В силу ряда причин некоторые неоднородные анализируемые образцы не могут быть гомогенизированы на этапе подготовки к измерениям. Гомогенизация образцов невозможна, если они обладают потенциально высокой стоимостью, например, для ювелирных изделий или результаты их анализа должны быть получены очень быстро. В этих случаях решением может быть позиционно-чувствительный анализ, при котором выполняется анализ только небольших участков образца. Рентгеновский анализ предлагает такую возможность, концентрируя падающий пучок на небольшой участок поверхности образца.

При исследовании характеристик слоистых материалов неоднородности имеют место по нормали к поверхности образца. Определение химического состава и толщины покрытий и слоёв рассмотрено в главе 13 (22 стр., 14 рис., 6 табл.). Дополнительный материал можно найти в книге М. Haschke [1] и обзоре Ю.А. Игнатовой и др. [23].

В отдельной 14 главе рассмотрена специфика анализа образцов неправильной формы (18 стр., 6 рис., 3 табл.). В этом случае анализируются только небольшие участки образца. Авторы обозначают такой вариант исследования как “точечный анализ”. Такой вариант РФА представляет интерес при идентификации частиц или включений, а также при анализе неоднородных материалов. Более или менее детально изложены особенности его применения

при изучении частиц износа в отработанном масле, идентификации частиц стекла в криминалистике с помощью хемометрики и идентификации включений, при оценке содержания свинца в краске и определении токсичных элементов в потребительских товарах, в том числе в игрушках, проверке материалов и их сортировке, в частности металлолома, анализе драгоценных металлов, поисковых работах и скрининге в геологии, при исследовании произведений искусства.

В главе 15 (23 стр., 13 рис., 1 табл.) обращается внимание на возрастающую важность изучения распределения элементов. Для таких аналитических задач хорошо зарекомендовал себя вариант метода РФА микрорентгеновская флуоресценция (μ -РФА). Энергодисперсионные приборы с поликапиллярными линзами профессора М.А. Кумахова [24], позволяют определять элементный состав очень малых областей, а также позволяют сканировать области большей площади на образцах для определения распределения элементов. В большинстве случаев для анализа распределения используются портативные ЭД спектрометры, реже синхротронные источники рентгеновского излучения. Рассмотрены примеры применения в геологии (тонкие шлифы геологических образцов), электронике, археологии (исследования монет, красящих пигментов) и при испытаниях материала на однородность.

Небольшие по объёму заключительные главы (гл. 16 – 12 стр., 17 – 12 стр. и 18 – 8 стр.) дают читателям понимание применения РФА для некоторых специальных задач (оценка спектров с применением хемометрических методов, комбинаторный анализ при разработке лекарственных препаратов, исследование различных соединений S, Al-включений в стали, SiO₂ в SiC). Представляется, что проблеме контроля технологических процессов и автоматизации можно было бы уделить больше внимания. Можно отметить целесообразность Приложения В в рассматриваемой книге, его название “Важная информация” говорит само за себя. Вот некоторые темы:

- Адреса основных производителей приборов и вспомогательного оборудования;
- Основные поставщики стандартных материалов (геологические материалы и металлы, многослойные материалы, стандарты для полимеров и высокочистых материалов, для сплавов драгоценных металлов);
- Важные веб-сайты;
- Информация о рентгеновской аналитике и фундаментальных параметрах;
- Научные журналы;
- Законы и акты, важные для рентгеновской флуоресценции (радиационная защита; правила экологического контроля; правила проведения анализа);
- Использование рентгеновской флуоресценции для химического анализа (Общие положения; анализ минералов; анализ масел, жидкого топлива, консистентной смазки; анализ твердого топлива;

анализ покрытия; металлургия; анализ электронных компонентов).

В списке литературы можно найти много полезных ссылок на стандартные методы испытаний и разного рода правил и регламентов (ASTM, DEV, DIN, EPA, EURACHEM-Guide, EU-regulation, ICH Guideline, IPC, IEC, ISO_guide, LGC-Standards). Завершает книгу достаточно добротный предметный указатель.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Таким образом, авторы подготовили современное справочное руководство высокого качества, представляющее интерес, как для начинающих, так и для квалифицированных специалистов. Чёткое изложение материала позволяет рекомендовать её в качестве учебного пособия для студентов и магистрантов. Представляется, что книга будет востребована в лабораториях университетов, научно-исследовательских институтов, а также в лабораториях промышленных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревенко А.Г. Рецензия на книгу M. Haschke “Laboratory Micro-X-Ray Fluorescence Spectroscopy. Instrumentation and Applications”, Springer. Cham-Heidelberg-New York-Dordrecht-London. 2013, 356 pp. // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21, № 4. С. 336-340.
2. Haschke M., Flock J., Haller M. Laboratory Applications of X-ray Fluorescence. Wiley. 2021, 464 pp.
3. TXRF with synchrotron radiation Analysis of Ni on Si-wafer surfaces / P. Wobrauschek [et al.] // Nucl. Instr. Meth. In Phys. Res. A. 1995. V. 363, № 3. P. 619-620.
4. Analysis of Ni on Si-wafer surfaces using synchrotron radiation excited total reflection X-ray fluorescence analysis / P. Wobrauschek [et al.] // Spectrochim. Acta, Part B. 1997. V. 52, № 7. P. 901-906.
5. Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis Excited by Synchrotron Radiation (SR-TXRF): Variation of Excitation Conditions and Sample Geometries / R. Görgl [et al.] // X-Ray Spectrom. 1997. V. 26, № 4. P. 189-194.
6. Use of lead-glass capillaries for micro-focusing of highly-energetic (0–60 keV) synchrotron radiation / K. Janssens [et al.] // J. Anal. At. Spectr. 1998. V. 13, P. 339-350.
7. Haschke M., Haller M. Examination of poly-capillary lenses for their use in micro-XRF spectrometers // X-Ray Spectrom. 2003. V. 32, № 3, P. 239-247.
8. Смагунова А.Н., Карпукова О.М. Методы математической статистики в аналитической химии: Учебное пособие. Иркутск: Иркутский ун-т, 2008. 339 с.
9. Смагунова А.Н., Пашкова Г.В., Белых Л.И. Математическое планирование эксперимента в методических исследованиях аналитической химии: учеб. пособие. 2-е изд., испр. СПб.: Лань, 2017. 118 с.
10. Калинин Б.Д., Плотников Р.И. Подвальный Я.А. Рентгеноспектральный анализ сталей и сплавов // Завод. лаборатория. 1993. Т. 59, № 9. С. 16-20.
11. Дудик С.Л., Калинин Б.Д., Руднев А.В., Сергеев Ю.И. Анализ сталей и сплавов на рентгеновских спектрометрах серии «СПЕКТРОСКАН-МАКС» // Завод. лаборатория. 2014. Т. 80, № 1. С. 19-26.
12. Ревенко А.Г. Применение рентгенофлуоресцентного анализа для исследования металлических объектов

// Материалы IX Междун. науч.-практ. конф. "Транспортная инфраструктура Сибирского региона". 2018. Иркутск: в 2 т., Иркутск: ИРГУПС. 2018. Т. 2. С. 465-470.

13. Ильин Н.П. Рентгенофлуоресцентный анализ по относительным интенсивностям спектральных линий компонентов. Анализ произвольных массивных образцов в тонких слоях // Завод. лаборатория. 2005. Т. 71, № 8. С. 3-11.
14. Ильин Н.П. Количественный рентгенофлуоресцентный анализ по относительным интенсивностям спектральных линий компонентов // Завод. лаборатория. 2007. Т. 73, № 9. С. 8-17.
15. Лямина О.И., Куприянова Т.А., Гимельфарб Ф.А. Рентгенофлуоресцентный анализ жидких нефтепродуктов // Журн. аналит. химии. 1995. Т. 50. № 3. С. 271-276.
16. Дробышев А.И., Глебова С.М., Тихонов В.А. Рентгенофлуоресцентное определение серы и других элементов при таможенном контроле нефти и жидких нефтепродуктов // Журн. аналит. химии. 2006. Т. 61. № 8. С. 843-846.
17. Крекнин Ю.И., Сафонов Л.А. Рентгеноспектральный анализ продуктов износа газотурбинных двигателей способом фундаментальных параметров // Завод. лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. № 4. С. 12-15.
18. Павлинский Г.В., Владимиров Л.И., Дроков В.Г., Степук Т.Д. Рентгенофлуоресцентный контроль неоднородности осадков отработанного масла авиационных двигателей // Завод. лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82. № 2. С. 40-42.
19. Дроков В.Г., Павлинский Г.В., Синицкая А.В., Ходунаев А.Ю. Исследование частиц изнашивания в пробах масел авиационных газотурбинных двигателей рентгенофлуоресцентным анализатором "ФОКУС-2" // Завод. лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 4. С. 32-36.
20. Ревенко А.Г. Особенности методик анализа геологических образцов с использованием рентгенофлуоресцентных спектрометров с полным внешним отражением (TXRF) // Аналитика и контроль. 2010. Т. 14, № 2. С. 42-64.
21. Pashkova G.V., Revenko A.G. A Review of Application of Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry to Water Analysis // Appl. Spectr. Rev. 2015. V. 50, № 6. P. 443-473.
22. Ревенко А.Г. Применение рентгенофлуоресцентного анализа в биологии и медицине // Аналитика и контроль. 2020. Т. 24, № 4. С. 1-41.
23. Игнатова Ю.А., Еритенко А.Н., Ревенко А.Г., Цветянский А.Л. Рентгенофлуоресцентный анализ твердотельных пленок и покрытий // Аналитика и контроль. 2011. Т. 15. № 2. С. 126-140.
24. Ревенко А.Г. 80-летие со дня рождения профессора Мурадина Абубекировича Кумахова (1941-2014 гг.) // Аналитика и контроль. 2021. Т. 25, № 3. С. 241-250.

REFERENCE

1. Revenko A.G. [Book review for a book by M. Haschke "Laboratory Micro-X-Ray Fluorescence Spectroscopy. Instrumentation and Applications", Springer. Cham-Heidelberg-New York-Dordrecht-London. 2013, 356 pp.]. *Analitika i kontrol' [Analytics and Control]*. 2017, vol. 21, no. 4, pp. 336-340. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.4.003.
2. Haschke M., Flock J., Haller M. Laboratory Applications of X-ray Fluorescence. Wiley. 2021, 464 pp. DOI: 10.1002/9783527816637
3. Wobrauschek P., Kregsamer P., Ladisich W., Strelci C., Pahlke S., Fabry L., Garbe S., Haller M., Knöchel A., Radtke M. TXRF with synchrotron radiation Analysis of Ni on Si-wafer surfaces. *Nucl. Instr. Meth. In Phys.*

Res. A. 1995, vol. 363, no. 3, pp. 619-620. DOI: 10.1016/0168-9002(95)00399-1

4. Wobrauschek P., Görgl R., Kregsamer P., Strelci Ch., Pahlke S., Fabry L., Haller M., Knöchel A., Radtke M. 1997, Analysis of Ni on Si-wafer surfaces using synchrotron radiation excited total reflection X-ray fluorescence analysis. *Spectrochim. Acta, Part B: Atomic Spectroscopy*, 1997, vol. 52, no. 7, pp. 901-906. DOI: 10.1016/S0584-8547(96)01674-6
5. Görgl R., Wobrauschek P., Kregsamer P., Strelci Ch., Haller M., Knöchel A., Radtke M. Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis Excited by Synchrotron Radiation (SR-TXRF): Variation of Excitation Conditions and Sample Geometries. *X-Ray Spectrom.*, 1997, vol. 26, no. 4, pp. 189-194. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4539(199707)26:4<189::AID-XRS210>3.0.CO;2-0
6. Janssens K., Vincze L., Vekemans B., Adams F., Haller M., Knöchel A., Use of lead-glass capillaries for micro-focusing of highly-energetic (0-60 keV) synchrotron radiation. *J. Anal. At. Spectr.*, 1998, vol. 13, pp. 339-350. DOI: 10.1039/A707700I
7. Haschke M., Haller M., Examination of poly-capillary lenses for their use in micro-XRF spectrometers. *X-Ray Spectrom.*, 2003, vol. 32, no. 3, pp. 239-247. DOI: 10.1002/xrs.636
8. Smagunova A.N., Karpukova O.M. Metody matematicheskoi statistiki v analiticheskoi khimii: Uchebnoe posobie. [Methods of mathematical statistics in analytical chemistry: Textbook]. Irkutsk, Irkutsk State University, 2008. 339 p. (in Russian).
9. Smagunova A.N., Pashkova G.V., Belykh L.I. Matematicheskoe planirovanie eksperimenta v metodicheskikh issledovaniyakh analiticheskoi khimii: uchebnoe posobie. [Mathematical planning of an experiment in methodical research of analytical chemistry: Textbook]. St. Petersburg, Lan, 2017. 118 p. (in Russian).
10. Kalinin B.D., Plotnikov R.I. Podvalnyiy Ya.A. [X-ray spectral analysis of steels and alloys]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 1993. vol. 59, no. 9, pp. 16-20 (in Russian).
11. Dudik S.L., Kalinin B.D., Rudnev A.V., Sergeev J.I. [Analysis of steels and alloys on X-ray spectrometers of the spectrometer series "SPECTROSKAN-MAKS"]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 2014, vol. 80, no. 1, pp. 19-26 (in Russian).
12. Revenko A.G. Application of X-ray Fluorescence Analysis for the Study of Metal Objects. *Proc. of the IX Intern. Sci.-Practical. Conf. "Transport Infrastructure of the Siberian Region"*. 2018, Irkutsk: IrGUPS, 2018, vol. 2, pp. 465-470.
13. Ilyin N.P. [X-ray Fluorescence Analysis Based on the Relative Intensities of the spectral lines of the components. Analysis of arbitrary bulk samples in thin layers]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 2005, vol. 71, no. 8, pp. 3-11. (in Russian).
14. Ilyin N.P. Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis Based on the Relative Intensities of the Spectral Lines of the Components. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 2007, vol. 73, № 9. pp. 8-17.
15. Lyamina O.I., Kupriyanova T.A., Gimelfarb F.A. X-ray Fluorescence Analysis of Liquid Petroleum Products. *J. of Analyt. Chem.*, 1995, vol. 50, no. 3, pp. 271-276.
16. Drobyshev A.I., Glebova S.M., Tikhonov V.A. X-ray Fluorescence Determination of Sulfur and Other Elements in Customs Control of Oil and Liquid Oil Products. *J. of Analyt. Chem.*, 2006, Vol. 61, No. 8, pp. 777-780. DOI: 10.1134/S1061934806080107
17. Krekнин Yu.I., Safonov L.A. X-Ray Spectral Analysis of Wear Products of Gas Turbine Engines by the Method of

- Fundamental Parameters. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Industrial laboratory. Diagnostics of materials]*, 2007, vol. 73, no. 4, pp. 12-15.
18. Pavlinskiy G.V., Vladimirova L.I., Drokov V.G., Stepuk T.D. X-Ray Fluorescence Control of Heterogeneity of Waste Oil Sediments of Aircraft Engines. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Industrial laboratory. Diagnostics of materials]*, 2016, vol. 82, no. 2, pp. 40-42.
19. Drokov V.G., Pavlinskiy G.V., Sinitskaya A.V., Khodunaev A.Yu. Investigation of Wear Particles in Aircraft Gas Turbine Engine Oil Samples Using X-Ray Fluorescence Analyzer FOCUS-2. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Industrial laboratory. Diagnostics of materials]*, 2017, vol. 83, no. 4, pp. 32-36.
20. Revenko A.G. Features of Methods for Analyzing Geological Samples Using TXRF Spectrometers. *Analitika i kontrol' [Analytics and Control]*. 2010, vol. 14, no. 2, pp. 42-64.
21. Pashkova G.V., Revenko A.G. A Review of Application of Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry to Water Analysis. *Applied Spectroscopy Reviews*, 2015, vol. 50, no. 6, pp. 443-473. DOI: 10.1080/05704928.2015. 1010205
22. Revenko A.G. Application of X-ray fluorescence analysis in biology and medicine *Analitika i kontrol' [Analytics and Control]*. 2020, vol. 24, no. 4, pp. 1-41. DOI: 10.15826/analitika.2020.24.4.00
23. Ignatova Yu.A., Eritenko A.N., Revenko A.G., Tsvetyansky A.L. X-ray fluorescence analysis of solid-state films and coatings. *Analitika i kontrol' [Analytics and Control]*. 2011, vol. 15, no. 2, pp. 126-140.
24. Revenko A.G. 80th birthday anniversary of Professor Muradin Abubekirovich Kumakhov (1941-2014). *Analitika i kontrol' [Analytics and Control]*. 2021, vol. 25, no. 3, pp. 241-250.