

УДК 343.98

DOI: 10.34670/AR.2026.77.79.075

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) в обеспечении экологической безопасности

Волчкова Елена Васильевна

Кандидат химических наук,
доцент кафедры криминалистической техники
учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности,
Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации,
400089, Российская Федерация, Волгоград, ул. Историческая, 130;
e-mail: erina-elena.82@mail.ru

Дусева Нина Юрьевна

Кандидат юридических наук,
начальник кафедры криминалистической техники
учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности,
Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации,
400089, Российская Федерация, Волгоград, ул. Историческая, 130;
e-mail: erina-elena.82@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается применение метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в решении задач экологического мониторинга и обеспечения экологической безопасности. Актуальность исследования обусловлена возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду в результате интенсивного промышленного развития, что приводит к загрязнению почв, водных объектов и атмосферного воздуха токсичными веществами, создавая прямые угрозы здоровью населения и устойчивости экосистем. Авторами показано, что РФА, как высокочувствительный, экспрессный и неразрушающий метод элементного анализа, позволяет оперативно выявлять и количественно определять содержание тяжёлых металлов и других опасных элементов в различных объектах без длительной пробоподготовки, что критически важно для своевременного реагирования на экологические инциденты. В работе детально рассмотрены функциональные возможности современных портативных РФА-анализаторов, включая проведение мониторинга загрязнений непосредственно в полевых условиях с немедленной передачей данных, использование приборов в криминалистике для расследования экологических преступлений (незаконные сбросы отходов, загрязнение водных объектов), определение состава материалов и сплавов, а также контроль качества продукции и проведение научных исследований. Проведён сравнительный анализ наиболее распространённых моделей портативных РФА-анализаторов (Niton XL3t, Niton XL2, Bruker S1 TITAN, Olympus Vanta, а также отечественного прибора «МетЭксперт») с выделением их ключевых характеристик — диапазона измеряемых элементов, точности, погрешности и эксплуатационных особенностей. Отдельное внимание уделено преимуществам портативных РФА-

спектрометров (мобильность, быстрота, простота использования, неразрушающий контроль) и их ограничениям, включая высокую стоимость зарубежных приборов, которая частично компенсируется появлением отечественных и китайских аналогов в условиях санкционных ограничений. На основе анализа научных публикаций, в том числе исследований по оценке экологического состояния почв методом РФА и применению данных анализа в криминалистической практике, сделан вывод о ключевой роли рентгенофлуоресцентного анализа как неотъемлемого элемента комплексного подхода к решению экологических проблем, обеспечивающего оперативный контроль, соблюдение нормативных требований, сохранение биоразнообразия и защиту здоровья населения.

Для цитирования в научных исследованиях

Волчкова Е.В., Дусева Н.Ю. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) в обеспечении экологической безопасности // Вопросы российского и международного права. 2026. Том 16. № 5А. С. 617-624. DOI: 10.34670/AR.2026.77.79.075

Ключевые слова

Рентгенофлуоресцентный анализ, РФА, экологическая безопасность, мониторинг окружающей среды, тяжёлые металлы, портативные анализаторы, криминалистика, экологические преступления.

Введение

Рентгено-флуоресцентный анализ (РФА) представляет собой мощный инструмент для определения содержания токсичных элементов в различных образцах, включая почву, воду и воздух. Этот метод становится все более важным в контексте обеспечения экологической безопасности, так как позволяет быстро и точно выявлять загрязнения, что критично для защиты здоровья человека и экосистем. В условиях современного мира, где уровень загрязнения окружающей среды продолжает расти в связи с растущим уровнем промышленного производства и, соответственно все возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду, потребность в эффективных и экспрессных методах становится неоспоримой.

Основное содержание

В России, как и в большинстве стран мира, большие территории подвержены воздействию различных видов загрязнений, а, следовательно, контроль состояния окружающей среды становится особенно актуальным. В России основным нормативно-правовым актом, регламентирующим экологическую безопасность является Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [«Об охране окружающей среды»: федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ], который постоянно редактируется и дорабатывается, откликаясь на вызовы современного мира.

Промышленное производство, сельское хозяйство постоянно развиваются, чтобы обеспечивать растущие потребности современного человечества, а, следовательно, возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду, ухудшая состояние воздуха, воды и почвы. Это, в свою очередь, негативно сказывается на здоровье населения, что делает обязательным внедрение современных методов мониторинга и анализа. РФА, благодаря своей высокой

скорости и точности, предоставляет возможность оперативно реагировать на экологические угрозы и проводить мониторинг в реальном времени, что крайне важно для предотвращения экологических катастроф.

Таким образом, РФА не только отвечает на вызовы, связанные с загрязнением окружающей среды, но и способствует формированию устойчивой экологической политики в стране. В условиях глобальных экологических вызовов, таких как изменение климата, загрязнение окружающей среды и истощение природных ресурсов, применение современных методов анализа, таких как РФА, становится особенно актуальным. Это не только помогает в выявлении и оценке загрязнителей, но и способствует разработке стратегий по их устранению и предотвращению дальнейшего загрязнения.

Функциональные возможности РФА

Портативные РФА анализаторы обладают рядом функциональных возможностей, которые делают их полезными для различных направлений применения. Рассмотрим несколько основных направлений применения этих приборов.

Мониторинг загрязнений. При мониторинге загрязнения РФА анализаторы позволяют проводить анализ почвы, воды и других образцов на содержание токсичных веществ. РФА позволяет выявлять загрязнения без длительной предварительной пробоподготовки, само проведение анализа занимает не более минуты, портативные модели позволяют проводить анализ на месте с мгновенной передачей данных проведенного анализа. Это критически важно для оперативного реагирования на экологические инциденты. [Лубкова, Митоян, Яблонская, 2017]

Криминалистика. РФА анализаторы используются для анализа следов и веществ в криминалистических исследованиях. РФА играет важную роль в расследовании экологических преступлений, таких как незаконные сбросы токсичных отходов и загрязнение водоемов. Например, анализ почвы и воды на наличие тяжелых металлов и других токсичных веществ может помочь установить область загрязнения, источник загрязнения и привлечь к ответственности виновных. Быстрая и точная идентификация загрязнителей позволяет следственным органам оперативно реагировать на экологические угрозы, что крайне важно для защиты здоровья населения и сохранения экосистем. Кроме того, результаты анализа могут быть использованы в суде как доказательства в делах о нарушении экологических норм.

Определение состава материалов. РФА анализаторы позволяют быстро и точно определять содержание элементов в образцах, включая тяжелые металлы. Это особенно важно в таких областях, как геология, где требуется анализ образцов горных пород, или строительство, при проверке материалов на наличие токсичных компонентов.

Анализ сплавов. РФА анализаторы применяются для определения состава металлов и сплавов, что важно в металлургии и производстве. Применение этих анализаторов позволяет оперативно контролировать качество материалов (проверка состава сталей и сплавов на соответствие утвержденным стандартам), но и предотвращать случаи использования в производстве сплавов, содержащих опасные компоненты.

Контроль качества РФА анализаторы могут быть использованы для контроля качества продукции на производственных предприятиях, что позволяет гарантировать соответствие стандартам и требованиям безопасности.

Научные исследования. В научных исследованиях РФА применяется при изучении количественного состава различных материалов, включая биологические образцы, что помогает в понимании процессов, происходящих в природе.

Применяемые модели портативных РФА анализаторов

На сегодняшний день на рынке представлено множество моделей портативных РФА анализаторов, каждая из которых имеет свои характеристики и преимущества, позволяющие применять их в различных целях, от полевых исследований до лабораторных. Характеристики наиболее популярных моделей анализаторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики анализаторов. [Thermo Fisher Scientific, [www...](#); Bruker, [www...](#); Olympus, [www...](#)]

Характеристика	Niton XL3t	Thermo Scientific Niton XL2	Bruker S1 TITAN	Olympus Vanta
Диапазон измерений	0 – 100% для большинства элементов	0 – 100% для большинства элементов	0 – 100% для большинства элементов	0 – 100% для большинства элементов
Точность	~ 1 – 5%	~ 1 – 5%	~ 1 – 3%	~ 1 – 4%
Погрешность	~ 2 – 3%	~ 3 – 5%	~ 2 – 4%	~ 3%
Особенности	Оснащен интуитивно понятным интерфейсом и возможностью подключения к компьютеру для анализа данных.	Легкий и компактный, идеально подходит для полевых исследований.	Высокая чувствительность и возможность работы в сложных условиях.	Устойчив к внешним воздействиям и имеет длительный срок службы батареи.

Большой популярностью среди приборов РФА пользуется портативный рентгенофлуоресцентный анализатор «МетЭксперт»

ПРФА «МетЭксперт» предназначен для измерения массовой доли химических элементов в металлах и сплавах, в том числе алюминиевых, магниевых, нержавеющей, конструкционных, специальных и изделий на их основе, в соответствии с аттестованными методиками выполнения измерений, а также для идентификации химических элементов от натрия ($Z=11$) до америция ($Z=95$) в веществах, находящихся в твердом, порошкообразном и жидком состоянии. Анализатор применяется при таможенном контроле, пробирном надзоре, в аналитических лабораториях промышленных предприятий и научно-исследовательских учреждений.

Кроме того, анализатор предназначен для использования при таможенном оформлении и таможенном контроле отходов, перемещаемых через таможенную границу Российской Федерации, реализуя требования Постановления Правительства РФ от 17.07.2003 №442 «О трансграничном перемещении отходов» и других нормативных актов Российского законодательства в части, касающейся трансграничного перемещения отходов (в т.ч. опасных). [Анализатор.ру, [www...](#)]

Преимущества и недостатки портативных РФА анализаторов

Портативные РФА анализаторы имеют множество преимуществ, которые делают их незаменимыми в современных условиях, особенно в целях экологического мониторинга для обеспечения экологической безопасности населения. Главным преимуществом, несомненно, является их мобильность, обеспечиваемая компактными размерами и небольшим весом приборов. Также огромное значение имеет быстрота проведения анализа, этот фактор приобретает огромное значение при полевых исследованиях, являющихся неотъемлемой частью экологического мониторинга. [Кузнецова, Качор, Матюхин, 2023]

Очень важным фактором является то, что анализ проводится неразрушающим методом, что позволяет сохранять образцы для дальнейших исследований. Простота в использовании,

обеспечиваемая интуитивно-понятным интерфейсом и автоматизированными функциями, позволяет быстро осваивать подобные анализаторы пользователям с минимальным опытом. Обладая этими преимуществами, подобное оборудование нашло свое применение в таких областях как научные исследования, металлургия, криминалистика и др. [Ревенко, Пашкова, 2023]

Однако подобное оборудование имеет высокую стоимость и, в связи с введением международных санкций, становится недоступным для приобретения, но эта проблема решается выходом на рынок отечественных и китайских приборов.

С.С. Шатравский из Международного государственного экологического института имени А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета провёл исследования различных почв в разных районах г. Минска методом РФА. Также провёл ряд примеров о возможности установления деталей преступления через рентгенофлуоресцентный анализ проб почв. Изучение образцов почвы, обнаруженной на месте преступления, зачастую является важным шагом к его раскрытию, это неоднократно демонстрировалось в кинематографе, и это не выдумка. Почвоведческая экспертиза в силах установить факт пребывания какого-либо объекта в каком-либо месте путем поиска и анализа следов почвы. Данный метод применим не только к почве, но и к другим похожим на почву по своим свойствам рыхлым веществам на исследуемом объекте. [Шатравский, 2022]

Рентгенофлуоресцентный анализ является незаменимым инструментом в области экологической безопасности, обеспечивая возможность быстрого, точного и неразрушающего анализа образцов. Это способствует более эффективному контролю состояния окружающей среды и защите здоровья населения. Для обеспечения оперативного реагирования на экологические инциденты, проведения мониторинга состояния экосистем и оценки рисков для здоровья населения портативные РФА анализаторы являются незаменимым инструментом. Таким образом, РФА играет ключевую роль в поддержании экологической устойчивости и соблюдении норм и стандартов.

Заключение

В условиях глобальных экологических вызовов, таких как изменение климата, загрязнение окружающей среды и истощение природных ресурсов, применение современных методов анализа, таких как РФА, становится особенно актуальным. Это не только помогает в выявлении и оценке уровня загрязнителей, но и способствует разработке стратегий по их устранению и предотвращению дальнейшего загрязнения. В России, где экологические проблемы требуют неотложного решения, использование РФА может стать важным шагом в направлении устойчивого развития и сохранения природных ресурсов для будущих поколений. Внедрение таких технологий в практику экологического мониторинга позволит не только улучшить качество жизни населения, но и обеспечить сохранение биоразнообразия и здоровья экосистем, что является одной из важнейших задач нашего государства.

Учитывая вышеизложенное, рентгенофлуоресцентный анализ не просто инструмент, а важный элемент комплексного подхода к решению экологических проблем, с которыми сталкивается Россия. Внедрение и развитие этого метода анализа в различных сферах, таких как промышленность, сельское хозяйство и научные исследования, поможет создать более безопасную и устойчивую окружающую среду, что является необходимым условием для благополучия общества и будущего нашей планеты.

Библиография

1. Кузнецова О.В., Качор О.Л., Матюхин И.А. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков // Науки о Земле и недропользование. – 2023. – Т. 46, № 4 (85). – DOI 10.21285/2686-9993-2023-46-4-390-401. – EDN XMHYIB.
2. Лубкова Т.Н., Митоян Р.А., Яблонская Д.А. Геохимический мониторинг пылевых выпадений от автомагистрали с использованием портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2017. – № 5. – EDN ZSUDAN.
3. Ревенко А.Г., Пашкова Г.В. Рентгенофлуоресцентный анализ: современное состояние и перспективы развития // Журнал аналитической химии. – 2023. – Т. 78, № 11. – DOI 10.31857/S0044450223110130. – EDN MNFDQX.
4. Шатравский С.С. Оценка экологического состояния почв путём рентгенофлуоресцентного анализа и применение полученных данных в криминалистике // Трибуна молодого учёного, вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. – 2022. – № 2 (52).
5. Bruker [Электронный ресурс]: официальный сайт. – URL: <https://www.bruker.com> (дата обращения: 10.06.2025).
6. Olympus IMS [Электронный ресурс]: официальный сайт. – URL: <https://www.olympus-ims.com> (дата обращения: 10.06.2025).
7. Thermo Fisher Scientific [Электронный ресурс]: официальный сайт. – URL: <https://www.thermofisher.com> (дата обращения: 10.06.2025).
8. Анализатор [Электронный ресурс]: официальный сайт. – URL: <https://www.analizator.ru/directions/kriminalistika> (дата обращения: 10.06.2025).

X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Ensuring Environmental Safety

Elena V. Volchkova

PhD in Chemistry,
Associate Professor of the Department of Criminalistic Techniques
of the Educational and Scientific Complex of Expert-Criminalistic Activities,
Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,
400089, 130, Istoricheskaya str., Volgograd, Russian Federation;
e-mail: erina-elena.82@mail.ru

Nina Yu. Duseva

PhD in Law,
Head of the Department of Criminalistic Techniques
of the Educational and Scientific Complex of Expert-Criminalistic Activities,
Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation,
400089, 130, Istoricheskaya str., Volgograd, Russian Federation;
e-mail: erina-elena.82@mail.ru

Abstract

The article examines the application of the X-ray fluorescence (XRF) analysis method in solving the tasks of environmental monitoring and ensuring environmental safety. The relevance of the research is conditioned by the increasing anthropogenic load on the environment as a result of intensive industrial development, which leads to contamination of soils, water bodies, and atmospheric air with toxic substances, creating direct threats to public health and the sustainability of ecosystems. The authors show that XRF, as a highly sensitive, rapid, and non-destructive method

of elemental analysis, allows for the prompt identification and quantitative determination of the content of heavy metals and other hazardous elements in various objects without lengthy sample preparation, which is critically important for timely response to environmental incidents. The paper examines in detail the functional capabilities of modern portable XRF analyzers, including conducting pollution monitoring directly in field conditions with immediate data transmission, the use of devices in criminalistics for investigating environmental crimes (illegal waste dumping, pollution of water bodies), determining the composition of materials and alloys, as well as product quality control and conducting scientific research. A comparative analysis of the most common models of portable XRF analyzers (Niton XL3t, Niton XL2, Bruker S1 TITAN, Olympus Vanta, as well as the domestic device "MetEkspert") has been carried out, highlighting their key characteristics — the range of measured elements, accuracy, error, and operational features. Special attention is paid to the advantages of portable XRF spectrometers (mobility, speed, ease of use, non-destructive testing) and their limitations, including the high cost of foreign devices, which is partially compensated by the emergence of domestic and Chinese analogues under the conditions of sanction restrictions. Based on the analysis of scientific publications, including research on assessing the ecological state of soils by the XRF method and the application of analysis data in criminalistic practice, a conclusion is drawn about the key role of X-ray fluorescence analysis as an integral element of a comprehensive approach to solving environmental problems, ensuring operational control, compliance with regulatory requirements, biodiversity conservation, and protection of public health.

For citation

Volchkova E.V., Duseva N.Yu. (2026) Rentgeno fluoresstsentnyy analiz (RFA) v obespechenii ekologicheskoy bezopasnosti [X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Ensuring Environmental Safety]. *Voprosy rossiiskogo i mezhdunarodnogo prava* [Matters of Russian and International Law], 16 (5A), pp. 617-624. DOI: 10.34670/AR.2026.77.79.075

Keywords

X-ray fluorescence analysis, XRF, environmental safety, environmental monitoring, heavy metals, portable analyzers, criminalistics, environmental crimes.

References

1. Kuznetsova O.V., Kachor O.L., Matyukhin I.A. (2023). Ekspressnyy rentgeno fluoresstsentnyy analiz kak sovremennaya al'ternativa traditsionnym spektral'nyim metodam pri reshenii zadach geokhimicheskikh poiskov [Express X-Ray Fluorescence Analysis as a Modern Alternative to Traditional Spectral Methods in Solving Geochemical Exploration Problems]. *Nauki o Zemle i nedropol'zovaniye*, 46(4/85). DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-4-390-401. EDN: XMXIIB
2. Lubkova T.N., Mitoyan R.A., Yablonskaya D.A. (2017). Geokhimicheskiy monitoring pylevykh vypadeniy ot avtomagistrali s ispol'zovaniyem portativnogo rentgeno fluoresstsentnogo spektrometra [Geochemical Monitoring of Dust Fallout from a Highway Using a Portable X-Ray Fluorescence Spectrometer]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*, 5. EDN: ZSUDAN
3. Revenko A.G., Pashkova G.V. (2023). Rentgeno fluoresstsentnyy analiz: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya [X-Ray Fluorescence Analysis: Current State and Development Prospects]. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 78(11). DOI: 10.31857/S0044450223110130. EDN: MNFDQX
4. Shatravskiy S.S. (2022). Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochv putyom rentgeno fluoresstsentnogo analiza i primeneniye poluchennykh dannykh v kriminalistike [Assessment of the Ecological State of Soils by X-Ray Fluorescence Analysis and Application of the Obtained Data in Forensic Science]. *Tribuna molodogo uchenogo, voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy*, 2(52).

5. Bruker. (n.d.). *Official website*. Available at: <https://www.bruker.com>
6. Olympus IMS. (n.d.). *Official website*. Available at: <https://www.olympus-ims.com>
7. Thermo Fisher Scientific. (n.d.). *Official website*. Available at: <https://www.thermofisher.com>
8. Analizator. (n.d.). *Official website*. Available at: <https://www.analizator.ru/directions/kriminalistika>