

Ръчен рентгенофлуоресцентен (XRF) апарат в изкуството и археологията

Рецензия на книга: Aaron N. Shugar, Jennifer L. Mass (eds), *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Leuven: Leuven University Press, 2012. *Studies in Archaeological Sciences* 3, ISBN 978-90-5867-934-5

Ивелин Кулев^a

^a Факултет по химия и фармация, Софийски университет „Св. Кл. Охридски“, бул. Джеймс Баучър 1, София 1164; ahik@chem.uni-sofia.bg

Handheld XRF for Art and Archaeology

Book review: Aaron N. Shugar, Jennifer L. Mass (eds), *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Leuven: Leuven University Press, 2012. *Studies in Archaeological Sciences* 3, ISBN 978-90-5867-934-5

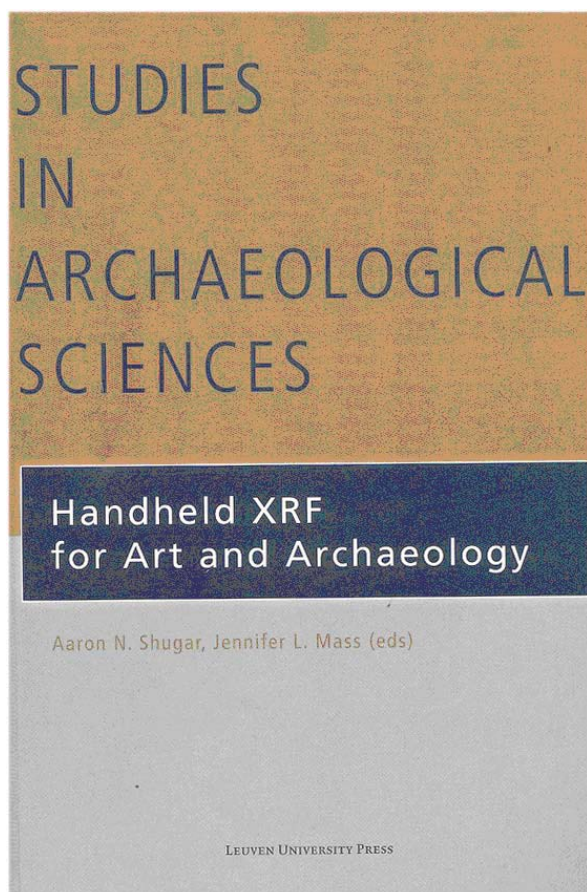
Ivelin Kuleff^a

^a Faculty of Chemistry and Pharmacy, Sofia University St. Kliment Ohridski, 1 James Bourchier Blvd., 1164 Sofia, Bulgaria; ahik@chem.uni-sofia.bg

„Ръчен XRF-апарат в изкуството и археологията“ е третата книга от научната поредица „*Studies in Archaeological Sciences*“ (издавана от Университета в Льовен),¹. Книгата е съставена от Аарон Шугър и Дженифър Маас (Aaron N. Shugar и Jennifer L. Mass) и е написана от 26 автори, специалисти в областта на работата с рентгенофлуоресцентния метод (XRF) и неговото приложение в изкуството и археологията. А. Шугър е доцент в Департамента по консервация на изкуството в Държавния колеж на Бъфало (Държавен университет в Ню Йорк), а Д. Маас работи в Департамента по консервация в музея Уинтъртър в Делауер.

Книгата представлява сбор от 14 статии и би била полезна за археолозите в България, които в последно време имат възможността да ползват преносими XRF-апарати. Идеите, които подсказва тази книга, могат да бъдат полезни за хората, които с използването на такива XRF-инструменти могат да анализират находки по време на разкопките си или в музейните експозиции. Тези XRF-апарати позволяват бърза и точна информация за елементния състав на метални, стъклени и керамични находки, а освен това за снимки, за картини и други произведения на изкуството. Същевременно сравнително разумната цена на такива апарати (от порядъка на 60 000 до 100 000 лева)

1 За първата и втората книга от поредицата вж. Кулев 2013; 2016



Обр. 1. Корица на книгата
Fig. 1. Cover of the book

позволява тяхното използване дори по време на археологически разкопки, когато е трудно да се прецени дали един предмет е само от мед или е направен от сплав между мед и калай, или мед и цинк, или пък е от сребро, съдържащо достатъчно количество мед.

Първата глава на книгата е озаглавена „Въведение“. Тя е написана от А. Шугър и Дж. Маас, които на 20 стр., с цитирани 22 заглавия, правят преглед на останалите 13 статии, информират за броя на публикациите, посветени на използване на XRF-анализа в археологията чрез ръчни и преносими XRF-инструменти от 1970 до 2010 година, а от друга страна – отговарят на въпроси като: приложение на закупени от търговската мрежа XRF-инструменти в археологията; различни аналитични въпроси, възникващи при анализа на обекти от културно-историческото наследство; микроструктурни слоеве; традиционни методи за количествен анализ при работа с обекти от културно-историческото наследство; оценка на XRF-спектрите. В последния раздел на тази статия се посочват различни ситуации, в които могат да се появят линии на местата, на които обикновено се появяват линиите на определени елементи, които се припокриват от линии на сумарни пикове, на пикове на ‘изтичане’ на други елементи, присъстващи в анализирания обект. Същевременно при анализа на обекти на културно-историческото наследство, а и не само при него, следва да се използва правилно калибриране на уреда за XRF. Авторите привеждат кратко описание на начините за калибриране на XRF-уредите и съобщават възможни източници, от които може да се получи повече информация. Това може би не е толкова интересно за археолозите, но би представлявало полезна информация за хората, които ще

извършват анализа. С други думи тази книга е полезна и за спектрометристите, които са се наели да анализират различните археологически находки. За археолозите обаче, книгата демонстрира случаи на приложение на рентгенофлуоресцентния метод, които ще им позволят да осмислят приложението на метода в своите изследвания, както и да намерят области, в които да го използват.

Втората статия е написана от Д. Смит (*Dylan Smith*) от Националната галерия на изкуството в САЩ и е озаглавена *„Рентгенофлуоресцентен анализ с преносим апарат на ренесансов бронз: Практически подход за количествено определяне и постижение“*. Статията е написана на 38 стр. и съдържа 38 ползвани публикации. Тя представя как да се калибрира инструмента при анализ на бронзови находки, които са произведени в Италия по времето на Ренесанса. Проведени са редица изследвания за продължителността на измерването, за тъгла, под който инструментът ‘вижда’ повърхността на различни статуи, за дебелината на майлървия филм. Препоръчва се запис на всички набрани спектри, работа с лаптоп, използването на софтуейър – S1XRF, както и работата в екип. Като примери със съответните цитати са приведени случаите на изследване на бронзови предмети, намиращи се в църквата „Св. Антоний“ в Падуа, вратата в църквата „Сан Марко“ и бронзовите скулптури във Венеция, работите от бронз на флорентинския майстор Джовани Болоня, които са изложени в Музея на изкуствата във Виена и др.

Третата статия е написана от Д. Стулик (*Dusan C. Stulik*) и А. Каплан (*Art Kaplan*) от Института по консервация „Гети“ в Лос Анджелис, САЩ. Статията е озаглавена *„Приложение на ръчен XRF-спектрометър за изследване и идентификация на фотографии“*. Написана е на 56 стр., съдържа 47 литературни източника и представя различните видове фотографии и елементите, които могат да бъдат определени с помощта на XRF във фотографиите. Тъй като среброто е сред важните във фотографията елементи, авторите препоръчват подбор на анодния материал на спектрометъра като особено внимание следва да бъде отделено на правилния подбор на стандартите (еталоните). Представени са различни набори от стандарти и начини за тяхната употреба. Приведени са фигури със спектри на сребърна монета и фотография на снимка, които представят разликите в интензитетите на регистрираните елементи. Дискутирана е долната граница на определяне на различните елементи във фотографии, както и възможните трудности при анализ на снимки. Представени са възможностите за определяне на автентичността и мястото на фотографията, въз основа на съдържанието на барий или стронций. Представени са данни за различни видове фотографски хартии, както и данни за създаването на лаборатория за XRF-анализ и консервация в музеи.

Четвъртата статия е написана от К. МакГлинчи (*Chris McGlinchey*) от Музея за модерно изкуство в Ню Йорк, САЩ и е озаглавена *„Ръчен апарат за XRF за изследване на картини: подходящо използване и ограничения“*. Написана е на 28 страници и съдържа 26 библиографски единици. Използването на XRF-инструменти при изследване на пигментите, които са използвани при изработване на картините показва, че въпросът за количествено определяне не е бил поставян. Същевременно XRF-методът намира особено място сред подходите при изследване на картините, като задачата е да бъдат идентифицирани различните пигменти, използвани от художниците за изобразяване на цветовете. Статията би позволила на работещите с апаратурата да настройат по подходящ начин инструмента, за да могат да различат бария, който съдържа титан. Същевременно това важи и за случая, когато художникът е използвал

арсенов сулфид (As_2S_3) в оловното бяло ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), или пък изолираният червен пигмент е съставен от железен оксид (Fe_2O_3), кадмиев сулфид (CdS) и селенов сулфид (SeS), или пък е от вермилион (HgS). В статията авторът посочва каква трябва да бъде настройката на апарата за XRF, за да бъдат детектирани елементите с малък пореден номер или такива с голям пореден номер. Наред с това се посочва и ролята на филтрите от мед, титан и алуминий и тяхната дебелина при детектирането на различни елементи и големината на техните пикове. Същевременно се подчертава, че за успешното решаване на проблема с използваният пигмент е необходимо в измерването да бъде включен и друг метод (XRD, LIBS, Raman spectroscopy и т.н.). Примерът е за анализа на последната палитра на Шаим Сутин (Chaïm Soutine, 1893-1943), в която са подбрани 19 точки за измерване и са дискутирани резултатите от това.

Петата статия е написана от К. Трентелман (*Karen Trentelman*) от Института по консервация „Гети“ в Лос Анджелис, К. Патерсон (*Caterine Smidt Patterson*) от същия институт и Н. Търнър (*Nancy Turner*) от Музея Пол Гети в Лос Анджелис. Тя съдържа 31 стр. и в нея са цитирани 69 заглавия. Озаглавена е „XRF анализ на цветни рисунки на манускрипти“. Тук отново се поставя въпросът за недостатъчността на информацията, получена от използването на XRF, тъй като често за оцветяването на различните книги са използвани и органични бои, които не могат да дадат сигнал, който да бъде регистриран от детектора на XRF. Подчертава се необходимостта от използването и на Раманова спектроскопия. В статията са приведени различните минерали и съответните линии на елементите, които се регистрират от апаратурата, както и на елементите, които съответстват на даден пигмент. Показано е и положението на инструмента върху страниците на книгата, дискутирани са и резултатите от измерването на многобройни примери.

Шестата статия е от Т. Барет (*Tim Barrett*) от Университета в Айова, Р. Шанън (*Robert Shannon*) от Брукер-Елементал, Дж. Уайд (*Jennifer Wade*) от Националната научна фондация и Дж. Ланг (*Joseph Lang*) от Университета в Айова. Написана е на 25 стр. и съдържа 27 цитирани заглавия. Озаглавена е: „XRF анализ на исторически листове в отворени книги“. Във въведението авторите представят технологията за производство на хартия в средновековието. По-нататък се представя използвания от авторите инструмент и начините за калибриране на уреда. Представена е връзката на точността на измерването с дебелината и плътността на хартията, в която се определят алуминий (Al), желязо (Fe), калий (K), калций (Ca), магнезий (Mg), мед (Cu) и сяра (S). Представена е фигура, отразяваща съдържанието на калций в 1578 анализирани от авторите книги, издадени между 1400 и 1900 г. Заключение на авторите гласи: ръчният уред за ED-XRF, снабден със съответните приспособления и софтуеър, представлява обещаващ метод за определяне концентрацията на елементите в интересувашите ни исторически книги.

Седмата статия е написана от Дж. Мас (*Jennifer Mass*) и К. Матсън (*Catherine Matsen*) от Уинтъртър музей в Делавър. Статията съдържа 33 стр., 40 цитирани източника и е озаглавена „Количествен неструктивен анализ на исторически сребърни сплави: Подходи с рентгенофлуоресцентен анализ и предизвикателства“. Във въведението се отбелязва, че използването на XRF-метода за анализ на археологически находки по същество е едно предизвикателство и е провокирано от следните фактори: сегрегиране на елементите в сплавите от мед-сребро; обикновено неравна повърхност; ограничения при калибрирането, поради липса на подходящи стандарти (еталони); последващо

третиране с киселина, разтваряща повърхностно медта; присъствието на корозионен слой. Представен е методът на анилинг, както и процесът на изнасяне на медта чрез допълнително загряване и действие с киселина, което води до обогатяване на повърхностния слой на сребро. Представен е и процесът на полиране на повърхността на среброто. Следва разглеждане на фазовата диаграма сребро-мед и следващата от това микроструктура на сплавта. Сегрегацията на сплавта се установява чрез използване на линиите на среброто - $L_{\alpha} = 2,984 \text{ keV}$ и $K_{\alpha} = 22,163 \text{ keV}$, тъй като те имат значителна разлика в дълбочината на проникване – $8,5 \mu\text{m}$ и $238,4 \mu\text{m}$. Съобщава се, че ръчният спектрометър има известно предимство, когато се изследват обекти на културно-историческото наследство, тъй като притежава значително по-широк сноп от първични рентгенови лъчи. Следва раздел, отнасящ се до подбор на стандарти (еталони) за калибриране на XRF-инструмента, в които следва да има определени концентрации на сребро (Ag), мед (Cu), олово (Pb) и злато (Au). Калибрирането за сребро се извършва по неговите K_{α} - и L_{α} - линии, позволявайки установяване на сегрегацията в сплавта от сребро-мед. Разискван е и въпросът за геометрията на предмета, т.е. кривината на различните части на предмета и тяхното отражение върху точността на резултата. Примерите са от американското сребро – преди и след колонизацията от европейците – както и след въвеждане на електролитното пречистване на среброто. Представени са и данни от анализа на четири обекта, датирани преди 1800 г.

Осмата статия е написана от А. Бизур (*Anikó Bezur*) от Музея за изкуство в Хюстън и Ф. Кейсадо (*Francesca Casado*) от Института за изкуство в Чикаго. Съдържа 64 стр. и са цитирани 154 заглавия. Озаглавена е „Анализ на порцелан с използване на ръчни или портативни XRF-спектрометри“. След въвеждане на характеристиките на порцелана, както и производството му в Азия и Европа, се обосновава необходимостта от провеждане на измервания, свързани с участие на SEM-EDS. Разбира се, това е възможно само ако фрагментите на находката могат да се полират и измерят. Така могат да бъдат получени и резултати, които представят съдържанието на елементния състав в целия обем на находката, а не само от повърхността. Целите находки трудно се поддават на такова измерване. По-нататък се дискутират разликите между „твърдата“ и „меката“ паста, от която е изградено тялото на порцелана. Дискутира се и количеството на оловото в глазурата на порцелана. Представени са и данни за употребата на различно оцветяване, тъй като с помощта на XRF се регистрира присъствието на калай, антимон и олово в жълто оцветените глазури. Последните са получени чрез използването на оцветени съединения като калаен оксид (SnO_2), оловен антимонат ($\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$), или смес от неаполитанска жълта $[\text{Pb}(\text{SbO}_3)_2/\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2]$. По-късно със същата цел възниква и употребата на урана. За червено и кафяво оцветяване се използва охра (Fe_2O_3); за синьо оцветяване през вековете са използвани различни съединения на кобалта; за зелено оцветяване приложение намира медта (CuO), или пък чрез смесване на синьо-оцветените съединения на кобалта и жълто-оцветеното съединение на оловния антимонат. За черния цвят е използван манганов оксид (MnO_2), както и дискретни кристалчета от магнетит (Fe_3O_4). Използвано е и комплексното съединение от шпинелов тип $(\text{MgFeAl}[\text{CrTi}]_3\text{O}_4)$. За получаването на пурпурен цвят на порцелана е използвано колоидно злато, което е утаено върху калаен хидроксид ($\text{Sn}(\text{OH})_2$). То се появява в средата на XVII век и бележи продължителна употреба, но в Китай започва да се използва след 1725 г. Дискутирано е както позлатяването, така и посребряването на изделията от порцелан. По-нататък се обсъждат технически

аспекти на анализа на порцеланови изделия с помощта на XRF, стандартите за калибриране на инструмента, както и статистически анализ чрез използване на клъстърен анализ. Като допълнителни, необходими за изследванията методи, са посочени Рамановата спектроскопия, PIXE, LA-ICP-MS и INAA, които разширяват възможностите на проведените изследвания. Като илюстрация са представени данни от анализи на китайски порцелан, на порцелан от Англия, от Франция (Du Paquier), от Майсен (Германия), от Испания, от Италия, от Виена (Австрия).

Деветата работа е от А. Шугър (Aaron Shugar) от Държавния университет в Бъфало и П. Сируа (P. Jane Sirois) от Канадския институт по консервация. Тя е написана на 29 стр., съдържа 47 цитирани заглавия и е под надслов: *„Използване на ръчен XRF-инструмент за идентификация на тежки метали в пестициди в етнографски сбирки“*. Статията започва с преглед на това, че в редица случаи в голям брой музеи са провеждани пръскания с пестициди, които съдържат арсен, живак и олово. Тези пръскания са с цел да бъдат предотвратени действията на различни червеи и инсекти. Те, обаче, могат да повлияят върху последващи изследвания на находките, които са поставени и съхранявани в съответните шкафове, още повече, че подобни пръскания започват от 1800 г. (!), а музейните работници не разполагат с никаква документация за това. По-нататък се представя токсичността на отделните, използвани в предишни времена неорганични пестициди, съдържащи арсен (As_2O_3 ; $(\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2)$), живак (HgCl_2) или олово [PbO , Pb_2O_3 , $(\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2)$]. Изложени са аналитичните методи, които намират приложение за регистрация на тежките метали в пестицидите, както и необходимите параметри на XRF-спектрометъра. Представена е и ползата от употреба на филтър, както и интерпретацията на спектри на различни биоциди. Дискутиран е и проблемът с еталоните (стандартите) за калибриране на инструмента. Примерите са за замърсяване на проби от кожа и дърво. Авторите се връщат отново към избора на аналитичен метод като представят как следва да се калибриране XRF-спектрометъра.

Десетата статия е написана от М. Донеис (Mary Kate Donais) и Д. Жорж (David George) от колежа Сент Анселм в Бирмингам, Ню Хемпшир, САЩ. Статията е написана на 22 стр. и съдържа 39 заглавия. Озаглавена е: *„Използване на ръчен XRF с цел изследване на образуването на фази, сравняване на мястото на изработване и оценка на хомогенността на материали в археологически разкопки“*. В началото се посочва, че ръчен XRF-спектрометър би бил от особена полза при провеждането на археологически разкопки. Без риск за увреждане могат да бъдат анализирани на място керамика, хоросан, стъкло и метали с възможността за бърз отговор на въпроса: различни ли са проба „а“ от проба „b“. Примерите са от археологическите разкопки в Корилия, и от замъка Вискардо в района на град Орвието (Италия), където е използвана XRF-спектрометрия директно на разкопките. Представен е и протоколът, който се изготвя, както и снимка на местата, където е използван XRF-методът. Анализирани са: системата за снабдяване с вода и вложените в нея оловни водопроводни тръби; системата за отопление на банята – хипокауст, като са изследвани керемидите, покриващи помещенията, които водят към нея; идентифицирани са пигментите, които са използвани за изрисуване на фреските, които са открити по време на разкопките. В последния случай е използван и портативен Раманов спектроскоп. При всички случаи са представяни и използваните за калибриране на уреда стандарти (еталони). При това е демонстрирана възможността и ефикасността на използване на ръчен XRF-спектрометър по време на провеждане на археологически разкопки.

Единадесетата работа е написана от Х. Неф (*Hector Neff*) от Калифорнийския държавен университет в Лонг Бийч, Б. Фурхайс (*Barbara Voorhies*) от Университета в Калифорния в Санта Барбара и Ф. П. Уманя (*Federico Paredes Umaña*) от Университета в Пенсилвания. Тя съдържа 23 стр., цитирани са 14 заглавия и е озаглавена: „Ръчен XRF за елементен анализ на археологически седименти: някои примери от Мезоамерика“. Представени са 2 примера от археологически разкопки, проведени в южната част на Средна Америка. Първият е от разкопките, проведени в Тлакуачеро (Tlacuachero), Мексико, разположено в мангровото устие южно от Чиapas (Chiapas) на тихоокеанското крайбрежие. Тлакуачеро се отнася към късния архаичен период, т.е. приблизително 3500-2000 г. пр. Хр. Вторият пример е от разкопките, провеждани в Атако (Ataco), в Салвадор. При двете изследвания, освен ръчен XRF-уред, е използван и LA-ICP-MS. Посочени са напрежението, анодният ток, използването на филтър, както и калибрирането на уреда. Изследван е подът на откритото при археологическите разкопки помещение в Тлакуачеро. Използван е корелационен анализ с помощта на анализ на главните компоненти (PCA) и други двукомпонентни диаграми за концентрацията на фосфора и цинка. Така, въз основа на това изследване се достига до извода, че подът в Тлакуачеро е образуван от хидроксипатит, получен от действието на калций и фосфор. Калцият е получен от мидени черупки, а фосфорът е резултат от остатъците от храна и други продукти.

Вторият пример е от разкопките в Атако. Той се основава на резултатите от анализа на 77 проби от почва и вулканска пепел, които са резултат от изригването на разположения в близост вулкан Илопанго (Ilopango). Изригването на вулкана се датира в 429 г. сл. Хр. и предизвиква изригвания и на други вулкани, които оформят бялия пласт от тефра, простиращ се на запад през Сан Салвадор до източното тихоокеанско крайбрежие на Гватемала. Въпросите, които биха могли да бъдат разрешени чрез използването на ръчен XRF-спектрометър, са: 1) дали това и вулканска пепел, която е включена в белия пласт от тефра; 2) каква е природата или културния процес, чието обяснение би могло да допринесе за запазването на тази вулканска пепел. Използвайки анализ на главните компоненти (PCA) се показва, че подът в Атако е плод на известно разреждане на вулканската пепел. Преди 430 г. сл. Хр. липсва такава пепел в подовата замазка, но в резултат на човешката дейност тя се е размесила при обработката на почвата и е проникнала в пластове, които предхождат изригването на вулкана. Около коренищата на бамбука е установено намаление на концентрацията на фосфора, което се обяснява с изземването на фосфора от почвата и израстването на бамбука, непосредствено преди изригването на вулкана. В заключението на статията се отчита като изключителна придобивка организирането на лаборатория в близост до разкопките, която освен с ръчен XRF-спектрометър, е снабдена и с преносим уред за инфрачервена спектроскопия (FTIR), както и с други аналитични уреди и инструменти.

Дванадесетата статия е от Дж. Фъргюсън (*Jeffrey Ferguson*) от Университета в Мисури, написана е на 26 стр. и съдържа 46 цитирани заглавия. Озаглавена е: „Рентенофлуоресцентен анализ на обсидиан: Подходи за калибриране и анализът на малки проби“. Във въведението към статията е отбелязано, че от повече от десетилетие сред археолозите се установява тенденция за използване на различни аналитични техники при изследването на различните материали на придобитите находки. Ръчният XRF-спектрометър е особено удобен за провеждане на анализи на обсидиан, поради бързината на анализа, неговата ниска цена и възможността да се проведе по време

на разкопките. Тази статия представя техниката на калибриране на уреда, неговата употреба за определяне на мястото, от което произхожда съответният обект, т.е. provenance analyses, както и анализа на особено малки късчета обсидиан. Процесът на калибриране за анализ на обсидиан не е от най-простите, тъй като е необходимо да се разполага с голям брой проби от различни обсидианови местонаходища и археологически обекти, които се характеризират с разнообразен елементен състав. Елементен анализ може да се постигне и с помощта на друг количествен метод – например инструментален неутронноактивационен анализ (INAA). Същевременно се дискутира и ползата от употребата на филтър – мед-титан-алуминий, разработен специално за анализи на обсидиан с Tracer III-V. В заключение авторът заявява, че използването на ръчния XRF-спектрометър, което намира все повече привърженици сред археолозите, показва, че наред с недостатъците, съществуват определени преимущества на този метод, който дава особено добри резултати в ръцете на компетентни специалисти.

Тринадесетата статия е от Д. Еймърс (*Jim Aimers*), Д. Фартинг (*Dori Farthing*) от Държавния университет в Ню Йорк и А. Шугър (*Aaron Shugar*) от Държавния университет в Бъфало. Написана е на 22 стр. и съдържа 70 цитирани източника. Озаглавена е: „Ръчен XRF-анализ на керамика от майте: пилотно изследване, представящо резултатите, отнасящи се до количественото определяне и калибриране“. След представянето на керамиката на майте и различните аналитични техники, с които тя е изследвана, се изтъква и голямото преимущество на ръчния XRF-спектрометър. Той е използваем в трудни ситуации и преодолява затрудненията, свързани с изпращането на керамични и други археологически находки извън Белиз (една от републиките в Средна Америка). Подобни трудности съществуват не само в Белиз, но и в множество други страни! Представени са данни от проведени анализи на керамика на майте, като е определено съдържанието на 34 елемента! Дискутирана е подготовката за измерване, както и калибрирането на уреда. В заключението се казва, че е твърде рано да бъдат дискутирани данните, получени с ръчния XRF-спектрометър, както и други данни от използването на различни аналитични техники за определяне мястото на производство на керамиката.

Последната 14-та статия е написана от Б. Кайзер (*Bruce Kaiser*) от Брукер Елементал и А. Шугър (*Aaron Shugar*) от Държавния университет в Бъфало. Тя е представена на 24 стр., цитирани са 28 публикации и е озаглавена: „Анализ на стъкло, използващо ръчен XRF-уред“. След въведението, в което са представени различни постижения в използването на XRF-спектрометъра, се стига до раздела за качествения анализ, в който се описва какво бихме могли да научим за изследваните от нас стъкла въз основа на анализа. Последвано е от описание на леките елементи в стъклата – силиций (Si), алуминий (Al), натрий (Na), калий (K), калций (Ca), магнезий (Mg), олово (Pb), цинк (Zn), титан (Ti). Следват оцветителите: мед (Cu), манган (Mn), желязо (Fe) и замътнителите и тяхното детектиране с помощта на XRF-спектрометъра. Следващият раздел е посветен на дълбочината на проникване на различните рентгенови лъчи, т.е. на дълбочината, от която достигат до детектора различните рентгенови лъчи. Представена е енергията на рентгеновите лъчи, излъчвани от всеки един елемент и дълбочината, от която той достига до детектора, в зависимост от това дали стъклото, което се изследва, е силициево или оловно. Стандартният метод за калибриране при анализ на стъкло се основава на използването на фундаментални параметри, т.е. снемане на спектри на проби от отделни елементи като програмата след това

обработка данните. Наред с това са представени в таблици съдържанията на отделните оксиди в различни видове стандарти (еталони). Дискутирана е и продължителността на измерването като се приема измерване от 180 или 300 секунди. Като се приема, че 180 s са достатъчни, за да се получат данни, които отговарят на възможностите на метода. Все пак всичко зависи от концентрацията на елементите – при 100 импулса в пика на елемента грешката е около 10 %, докато при 10 000 импулса, грешката е едва 1 %. Препоръчва се полиране на стъклото в точката на измерване, особено при съобщаване на количествени данни. В заключение се отбелязва, че при спазване на всички предписани действия могат да бъдат получени точни данни за съдържанието на елементите в стъклото.

През последните години техниката на рентгенофлуоресцентния метод се разви и от тежките, използвани само в лабораториите инструменти, на пазара вече се предлагат ръчни и портативни уреди, които могат да бъдат използвани и за целите на изследване на културно-историческото наследство. Удобството да се използва такъв инструмент е преди всичко в това, че може да се получи необходимата информация за елементния състав на различните археологически находки както на мястото, където те са открити, така и в различни музейни сбирки. Това позволява бързо сравняване на тези находки с помощта на ръчен рентгенофлуоресцентен анализ.

Представената по-горе книга би била полезна особено за физици и химици, които чрез използване на ръчен или преносим XRF се наемат да извършат определяне на елементния състав на различни археологически находки или изобщо на обекти от културно-историческото наследство. В нея съответните специалисти биха намерили отговор на въпроси като: кои линии на съответните елементи биха им дали по-добра статистика; кои са линиите на елементите, които се припокриват с други линии; дали да бъдат използвани филтри или не; каква е най-добрата продължителност на измерването; какви стандарти (еталони) са най-подходящи за дадения случай и т.н. Всичко това, разбира се, зависи от вида на изследваните находките.

За археолозите книгата би била полезна като информация в какви случаи биха могли да използват XRF и за какви определения такъв апарат би им бил полезен.

Всички интересувачи се биха могли да намерят книгата в библиотеката на Факултета по химия и фармация на Софийския университет „Св. Кл. Охридски“.

Цитирана литература

- Кулев, И. 2013. Изотопи в археологическите стъкла. Рецензия на P. Degryse, J. Henferson, G. Hodgson (eds) *Isotopes in Vitreous Materials (Studies in Archaeological Sciences 1)*. Leuven: Leuven University Press, 2009. (ISBN 978-90-5867-690-0). *Българско е-Списание за Археология* 3.1, 189-192.
- Кулев, И. 2016. Лапис Лазули от пещта. Стъкло и стъклопроизводство през късната бронзова епоха. Рецензия на Aaron N. Shugar и Jennifer L. Mass (eds) *Lapis Lazuli from the Kiln. Glass and Glassmaking in the Late Bronze Age*. Leuven University Press, 2012. (ISBN 978 90 5867 934 5). *Българско е-Списание за Археология* 6.2, 295-303.