

Профессор Пурэвийн Зузаан (80 лет со дня рождения)

А.Г. Ревенко

*ФГБУН «Институт земной коры СО РАН»,
Российская Федерация, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128*

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

Поступила в редакцию 8 мая 2024 г., после доработки – 25 мая 2024 г.

Ключевые слова: профессор П. Зузаан, рентгенофлуоресцентный анализ, разработка и внедрение методик РФА природных материалов, способы анализа.

For citation: Analitika i kontrol' [Analytics and Control], 2024, vol. 28, no. 2, pp. 126-134

DOI: 10.15826/analitika.2024.28.2.006

Professor Pureviin Zuzaan (80-th anniversary)

A.G. Revenko

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

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

Submitted 08 May 2024, received in revised form 25 May 2024

Keywords: Professor P. Zuzaan, X-ray fluorescence analysis, development and implementation of XRF techniques for natural materials, methods of analysis.

Пурев Зузаан родился 15 июля 1944 года в сомоне Завхан, Увс аймаке Монголии. П. Зузаан



Рис. 1. Профессор П. Зузаан

Fig. 1. Professor P. Zuzaan

в 1967 г. окончил Монгольский государственный университет (МонГУ) по специальности «физика и преподаватель физики». В 1967-1968 годах он был учителем физики в медицинском колледже в провинции Дорногоби. В 1968 г. он перешёл в МонГУ в организованную академиком Н. Содномом новую лабораторию ядерных исследований (ЛЯИ), где работал в должности техника-оператора (1968-1970 гг.), научного сотрудника (1972-1989 гг.), старшего научного сотрудника (1989-1991 гг.). В 1970-1972 гг. он был младшим научным сотрудником, а в 1991-1995 гг. старшим научным сотрудником Объединенного Института Ядерных Исследований (ОИЯИ) в г. Дубне. С 1995 года П. Зузаан работает в Центре ядерных исследований (ЦЯИ) МонГУ первоначально в качестве ведущего научного сотрудника, затем заведующего сектором в 1997-1999 гг., заместителя директора в 1999-2009 гг., директора в 2009-2010 гг., учёного секретаря в 2011-2012 гг., заведующего отделом ядерно-аналитических методов в 2012-2023 гг.

В период с 1968 по 1975 год научные интересы П. Зузаана были связаны с проблемами ядерной физики. Лаборатория ядерных исследований МонГУ сотрудничала с ОИЯИ, и молодой сотрудник активно осваивал возможности развивающейся



Рис. 2. Научный сотрудник П. Зузаан выполняет эксперимент на рентгенофлуоресцентном спектрометре фирмы Ортек, США, 1975

Fig. 2. Scientific researcher P. Zuzaan performs an experiment on an X-ray fluorescence spectrometer (Ortek, USA), 1975

области исследований. Однако в конце 1975 г. в его судьбе произошёл резкий поворот. В этот период в Монголии бурно развивались геологические исследования. Это требовало развития аналитической базы, освоения современных методов определения химического состава горных пород, руд и отложений. Рентгенофлуоресцентный метод анализа (РФА) потенциально соответствовал этим задачам. Инициатором применения и развития РФА в Монголии был академик Н. Содном, в тот период ректор МонГУ. В рамках проекта сотрудничества с МАГАТЭ ЛЯИ получила рентгенофлуоресцентный спектрометр с полупроводниковым детектором фирмы Ортек (США) в 1975 г.

С тех пор П. Зузаан уже почти 50 лет непрерывно работает в области РФА, и здесь представлен краткий обзор его вклада в развитие этих исследований в Монголии.

В марте 1976 г. началось сотрудничество между ЛЯИ МонГУ и научно-исследовательским институтом прикладной физики (НИИПФ) при Иркутском государственном университете (ИГУ). С 1977 г. работа выполнялась в рамках программы совместных работ ИГУ и МонГУ «Разработка методик количественного анализа для рентгеновского спектрометра с полупроводниковым детектором». П. Зузаан придавал большое значение расширению и развитию сотрудничества. Он установил контакты не только с официальными организациями, но и с отдельными учёными. В частности, это зав. лабораторией рентгеноспектрального анализа НИИПФ при ИГУ, профессор Г.В. Павлинский, заслуженный деятель науки РФ, профессор А.Н. Смагунова (химфак ИГУ), зав. лабораторией метрологического обеспечения физических методов анализа НИИПФ при ИГУ, канд. физ.-мат. наук Л.А. Берковец, заведующий Аналитическим центром Института земной коры СО РАН, д. т. н. А.Г. Ревенко, зав. лабораторией

рентгеновских методов анализа Института геохимии СО РАН А.Л. Финкельштейн и др. На рис. 3 приведено фото П. Зузаана и А.Г. Ревенко во время одного из приездов в Улан-Батор для выполнения совместных исследований.

Для успешного применения нового прибора необходима была разработка методик анализа, обеспечивающих необходимые метрологические параметры. С участием П. Зузаана разработан ряд эффективных способов определения содержаний элементов и на их основе предложены методики РФА большого числа различных материалов.

В период 1976-1985 гг. разработаны и успешно применялись в течение многих лет несколько вариантов способов РФА для оценки химического состава образцов природных материалов и полезных ископаемых. Это новый вариант способа внутреннего стандарта для одновременного определения элементов от V до Mo [1, 2, 5, 7], исследования растительных материалов [2-4, 10, 11], разработка методик определения содержаний некоторых элементов для Nb, W, Sn и Cu-Mo- руд [9-11], в пробах почв [7], природных вод [10], пищевых продуктов [11]. В ходе разработки варианта способа внутреннего стандарта выполнена теоретическая оценка влияния фундаментальных параметров, характеризующих взаимодействие рентгеновского излучения с атомами образца, на соотношение интенсивностей рентгеновской флуоресценции для линий K- и L- серий [12, 13]. Результаты исследований, выполненных в эти годы, послужили основой для кандидатской диссертации П. Зузаана (1985) [14] (научные руководители академик Н. Содном и канд. физ.-мат. наук А.Г. Ревенко).

Многие разработки, выполненные в последующие годы в ходе совместных исследований, нашли применение в практике научно-исследовательской работы учёных Монголии и России. Практическая



Рис. 3. П. Зузаан и А.Г. Ревенко на площади Сухэбатора, Улан-Батор, 1 мая 1978 г.

Fig. 3. P. Zuzaan and A.G. Revenko on Sukhebaator Square, Ulaanbaatar, May 1, 1978

направленность этих исследований просматривается в тематике статей, опубликованных в эти годы. Продолжались исследования методик РФА растительных материалов [15], почв и горных пород (оценка метрологических характеристик) [16, 17], руд (определение содержаний редкоземельных элементов) [18-21], фосфатов [22]. Были разработаны методики РФА для других природных материалов: для каменного угля [22-26], разнообразных биологических материалов (растительные материалы, пищевые продукты, человеческие волосы в медико-санитарных и судебно-медицинских экспертизах, анализ крови и сыворотки крови, оценка загрязнения крови животных и т. д.) [27-30]. Дополнительную информацию о книге по применению РФА в биологии, в подготовке трёх глав для которой приняли участие проф. П. Зузаан с коллегами [28-30], можно найти в рецензии [31].

В работе [32] представлены результаты исследования возможности оценки элементного состава автомобильных лакокрасочных покрытий и определения химического состава остатков после выстрела из пистолета для энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра Elvax EDXRF. Следует особо отметить большой объём работ, выполненных сотрудниками ЦЯИ МонГУ, по усовершенствованию и разработке новых методик и программного обеспечения рентгенофлуоресцентного определения содержаний некоторых элементов в продуктах обогащения Монголо-Российского совместного предприятия горнообогатительного комбината “Эрдэнэт”, Монголия [33, 34].

Я считаю своим долгом отметить отношение монгольских специалистов к коллегам из России, принимавшим участие в выполнении программы совместных работ. П. Зузаан и монгольские кол-

леги старались познакомить нас с национальным искусством и историей своего народа. Запомнились концерты исполнителей народных песен и танцев. Несколько раз слушали известную оперу “Учиртай гурван толгой” (“Три печальных холма”) в театре оперы и балета Монголии. Мы побывали во многих музеях г. Улан-Батора. В государственном центральном музее особое место занимал скелет динозавра. В музее изобразительных искусств – работы М. Шаравы, Д. Амгалан и других известных художников. Наиболее заметной картиной М. Шаравы в музее была «День в Монголии». Много интересного мы узнали при посещении музея истории религии АН МНР – Чойжин-ламайн-сумэ, а также музея Богдогэгэна.

Нельзя не упомянуть также о музее Г.К. Жукова. Стоит отметить, что дом-музей Г.К. Жукова в Улан-Баторе является первым в мире музеем, посвящённым памяти великого полководца за границей. Монголы гордятся также тем, что один из первых памятников самому прославленному советскому полководцу был установлен в Монголии. Имя Георгия Жукова окружено здесь уважением, не зависящим от перепадов политической конъюнктуры.

В ходе разработки теории рентгенофлуоресцентного метода анализа создана детальная математическая модель взаимодействия испускаемого источником рентгеновского излучения с атомами образца, детектора и других частей спектрометра и получено уравнение, выражающее их взаимосвязь. Эта работа выполнена по инициативе и идее доцента П. Зузаана и под руководством профессора Г.В. Павлинского. Это позволило объяснить физическую природу возникновения фона в низкоэнергетической области рентгеновского спектра [35-39]. В результате многолетних исследований



Рис. 4. Проф. П. Зузаан даёт пояснения на стендовой сессии 15-й Междунар. конференции по TXRF (TXRF2013), Осака, Япония, октябрь 2013 г.

Fig. 4. Prof. P. Zuzaan gives explanations at the poster session of the 15th Intern. TXRF Conference (TXRF2013), Osaka, Japan, October 2013

сотрудниками МонГУ (руководитель П. Зузаан), ИГУ (научные руководители проф. Г.В. Павлинский и проф. А.Н. Смагунова) и Института земной коры СО РАН (руководитель д. т. н. А.Г. Ревенко) разработано и успешно применяется несколько вариантов способов РФА для оценки химического состава образцов природных биологических материалов и горных пород. В качестве примера можно привести вариант способа внутреннего стандарта для одновременного определения элементов от V до Mo, а также методики определения Ag в Cu-конcentратах, определение Nb, W и Sn в геологических пробах, определения основных и микроэлементов в пробах полиметаллических руд, методику определения РЗЭ и их суммы, варианты способов фундаментальных параметров с использованием рассеянного излучения [40] и стандарта-фона [41, 42]. Краткая история сотрудничества рентгенофизиков Монголии и Иркутска (Россия) изложена в работе [43].

В 2008 г. П. Зузаан защитил докторскую диссертацию на тему «Развитие рентгенофлуоресцентного и активационного методов анализа природных материалов» в Монгольской академии наук (физико-математические науки) [44].

Доктор П. Зузаан занимался разработкой приборов для физических исследований, проводил фундаментальные исследования в области строения ядра и взаимодействия с ядерным излучением, а также работал над развитием и внедрением ядерных методов и технологий в Монголии. С 1999 по 2023 год он был научным руководителем ЦЯИ Национального университета Монголии (НУМ) по направлению «Прикладная ядерная физика». В этот период он руководил 6 отечественными, 2 зарубежными и 5 контрактными научно-исследовательскими проектами. Информацию о некоторых аспектах исследований П. Зузаана в области ядерной физики можно найти в публикациях [45-52].

Следует признать, что основное направление его исследований — рентгенофлуоресцентный анализ. П. Зузаан является известным специалистом Монголии в области РФА. Он основал и развил это направление в своей стране. П. Зузаан является автором более 240 научных работ, 4 патентов и авторских свидетельств, а также 4 сертифицированных методик. Он участвовал в работе ряда международных конференций. На рис 4 представлен эпизод обсуждения доклада на 15-й Международной конференции по TXRF (TXRF2013) в г. Осака, Япония (2013 г.). П. Зузаан инициировал и успешно организовал несколько национальных и международных научных конференций и семинаров. Например, с 2006 г. международная конференция «Рентгеноспектральный анализ» проводилась 6 раз. Информация о некоторых из этих конференций публиковалась в ведущих журналах — «Аналитика и контроль» и «X-Ray Spectrometry» [53-58]. Информация о 6-й конференции (август 2023 г.), а также тексты некоторых докладов будут опубликованы в Special Issue журнала «X-Ray Spectrometry».

На рис. 5 представлено общее фото участников 5-й Международной конференции по рентгеновскому анализу в Монголии, Улан-Батор, 12–14 сентября 2018 г.

П. Зузаан совмещает научно-организационную работу с педагогической деятельностью. В течение многих лет он читал курсы «Методы рентгенофлуоресцентного анализа», «Ядерно-физические методы анализа», «Радиационная экология» и «Атомная энергия» для студентов в университетах Монголии. Он разработал несколько учебных лабораторных работ, проводил академические семинары на тему «Аналитические методы атомной и ядерной физики». Под его руководством защищено 3 кандидатские диссертации и более 70 дипломных и магистерских работ. П. Зузаан руководил кафедрой ядерной физики Монгольского национального университета и был



Рис. 5. 5-я Международная конференция по рентгеновскому анализу в Монголии, Улан-Батор, 12–14 сентября 2018 г. В первом ряду крайний слева проф. П. Зузаан

Fig 5. 5th International Conference on X-ray Analysis in Mongolia, Ulaanbaatar, 12–14 September 2018. Prof. P. Zuzaan is in the first row on the far left

профессором, ответственным за обучение. В 2013 году П. Зузаану присвоено звание профессора МонГУ, а в 2023 г. заслуженного деятеля науки Монголии.

Доктор наук, профессор П. Зузаан был членом научно-технического совета Лаборатории Ядерных Реакций ОИЯИ, членом Учёного совета физико-математического факультета МонГУ, членом диссертационного Совета по присуждению учёных степеней по физике и математике Монголии, членом Технического совета Государственного комитета по стандартизации и метрологии, а также членом Редакционной коллегии научного журнала «Физическое образование» и журнала «Физика» МонГУ, а также Российского журнала «Аналитика и контроль». За успехи в научно-исследовательской и творческий подход к преподавательской работе доктор физико-математических наук, профессор П. Зузаан награждён орденами и медалями Монголии, в т. ч. орденами «Трудового Красного Знамени» и «Полярная звезда». В качестве признания вклада в реализацию научно-технических инноваций в Монголии ему присвоено звание и вручён нагрудный знак «Заслуженный работник науки и народного образования», а также высшая награда Монгольской академии наук — золотая медаль «Хубилай-хаан».

В заключение я хочу рассказать о следующем эпизоде. Мы встречались с будущим профессором П. Зузааном в марте 1995 г. в Москве и Дубне. 1 марта П. Зузаан первым прибыл на процедуру защиты моей докторской диссертации и ассистировал мне

при развешивании плакатов. Потом в гостинице мы обсуждали отдельные моменты, связанные с дискуссией на защите. Он пригласил меня в Дубну, где в тот период работал и где, помимо творческих планов, мы делились своими планами о будущем наших детей. Тогда П. Зузаан обозначил, сколь много он ещё должен «по жизни» успеть. Главное, поставить на ноги младшего четырёхлетнего сына З. Батсурена. Я тогда сказал, что это у тебя, Зузаан, очень хорошая цель. Прошло много лет, сын вырос, закончил в 2012 г. Национальный университет Монголии по специальности «ядерные технологии». Он получил степень магистра в Политехническом



Рис. 6. Проф. П. Зузаан в рабочем кабинете

Fig. 6. Prof. P. Zuzaan in his office

университете Бухареста, Румыния в 2015 г. (Master of Nuclear Engineering). В настоящее время З. Батсурен работает в Объединенном институте ядерных исследований в г. Дубне, Россия. Вот пример того, как реализуются качественные жизненные планы!!!

Профессор П. Зузаан также успел реализовать многое из задуманного.

Коллеги и друзья сердечно поздравляют уважаемого профессора П. Зузаана с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия и оптимизма!

Редколлегия и редакция журнала «Аналитика и контроль» присоединяются к этим пожеланиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение рентгенофлуоресцентного спектрометра с полупроводниковым детектором для определения содержания элементов в рудах / Н. Содном [и др.] // Геология и полезные ископаемые Восточной Монголии и сопредельной территории. Улан-Батор: МонГУ. 1977. С. 11-12.
2. Рентгеноспектральное определение содержаний элементов в растениях Прихубсугуля / А.Г. Ревенко [и др.] // Природные условия и ресурсы некоторых районов МНР. Улан-Батор. 1978. С. 34-36.
3. Исследование возможности рентгеноспектрального определения содержаний элементов в растительных материалах / А.Г. Ревенко [и др.] // Тез. докл. Всес. сов. «50 лет отеч. рентг. приборостроения» и 12 Всес. сов. по рентг. спектр.-и. Л., 1978. С. 54.
4. Химический состав растений некоторых видов в Прихубсугуле / А.А. Батраева [и др.] // Природные условия и ресурсы некоторых районов МНР. Иркутск. 1979. С. 38-40.
5. Рентгенофлуоресцентный экспрессный метод определения содержания многоэлементных руд / Н. Содном [и др.] // Вопросы геологии и металлогении Восточной Монголии. Улан-Батор: МонГУ. 1979. С. 33-47.
6. Применение рентгеноспектрального метода для анализа химического состава природных материалов Прихубсугуля / П. Зузаан [и др.] // Природные условия и ресурсы некоторых районов МНР. Улан-Батор. 1980. С. 63-64.
7. Геохимия некоторых элементов в тундровых почвах Прихубсугуля / Б. Батжаргал [и др.] // Природные условия и ресурсы некоторых районов МНР. Улан-Батор. 1980. С. 54-55.
8. Определение низких содержаний элементов от ванадия до молибдена методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием нового варианта стандартизации / А.Г. Белов [и др.] // Атомная энергия. 1980. Т. 49, № 2. С. 91-94.
9. Определение содержания ниобия в геологических образцах с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра с полупроводниковым детектором / П. Зузаан [et al.] // Ученые записки МонГУ. 1982. № 4. С. 135-144.
10. Определение некоторых элементов в природной воде с помощью радиоизотопного рентгенофлуоресцентного анализа / Б. Далхсурэн [и др.] // Природные условия и ресурсы некоторых районов МНР. Иркутск. 1981. С. 56-57.
11. Применение полупроводниковых детекторов в рентгенофлуоресцентном анализе / П. Зузаан [и др.] // Ученые записки МонГУ. 1982. № 1,2(77, 78). С. 103-117.
12. Ревенко А.Г., Паздников С.М., Зузаан П. Сопоставление интенсивностей рентгеновской флуоресценции для линий К- и L- серий // Тез. докл. 13 Всес. сов. по рентг. и электронной спектр.-и. Львов, 1981. С. 54-55.
13. Ревенко А.Г., Паздников С.М., Зузаан П. Сопоставление интенсивностей рентгеновской флуоресценции для линий К- и L- серий // Завод. лаб. 1985. Т. 51, № 12. С. 16-20.
14. Зузаан П. Исследование и разработка методик рентгенофлуоресцентного анализа природных материалов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Улан-Батор., 1985. 22 с.
15. Some information on the content of heavy metals in the ash of the Prikhuvsul plants / A.A. Batraeva [et al.] // Abstr. of the Intern. Conf. In: Natural Conditions and Resources of Some Areas in the MPR. Ulaanbaatar, 1986. P. 58-59.
16. Ревенко А.Г., Зузаан П., Содном Н. Оценка метрологических характеристик методик рентгенофлуоресцентного анализа почв и горных пород на спектрометре с полупроводниковым детектором // Деп. ВИНТИ № 1725-88. 1988. 16 с.
17. Зузаан П., Ревенко А.Г., Содном Н. Хорс, уулын чулуулгын энерго-дисперсийн рентгенофлуоресценцийн аргын хэмжил зүйн узуулэлтийн унэлгээ // Ученые записки МонГУ. 1990. № 5(103). С. 129-143.
18. Methodics of X-Ray Fluorescent Determination of Some Rare-Earth Element Content / P. Zuzaan [et al.] // Uchen. Zap. Mon. Univ. 1997. № 3(132). P. 159-170.
19. Development and Application EDXRF Analysis REE in Ore Samples / P. Zuzaan [et al.] // Proc. of the 3rd All-Russia and 6th Sib. Conf. on Spectr. Anal., Irkutsk 6-9 Oct., 1998. P. 82.
20. Zuzaan P., Gansukh N., Bolortuya D. Radionuclide induced energy dispersive X-ray fluorescence for the determination of La, Ce, Pr and Nd and their content sums in the rare-earth ores // X-Ray Spectrom. 2010. V. 39, № 1. P. 52-56.
21. Karivai A., Zuzaan P., Gustova M.V. A method for the determination of some rare earth elements and their correlation with thorium using X-ray fluorescence. Phys. Part. Nuclei Lett. 2011. V. 8, № 6. P. 576-580.
22. Development of x-ray fluorescence technique for the uranium determination in Mongolian coal, coal ash, and phosphate ore / T.Yu. Cherkashina [et al.] // Аналитика и контроль. 2014. Т. 18, № 4. С. 404-410.
23. Some results of a study to determine coal quality and elements contents / P. Zuzaan [et al.] // Proc. of the 3rd Intern. School on Contemporary Physics (ISCP3). Ulaanbaatar. 2005. P. 100-103.
24. X-Ray fluorescence technique for determination of elemental contents in Shivee-Ovoo and Baganuur Coal Mines of Mongolia / P. Zuzaan [et al.] // Phys. Sci. J. Nat. Univ. Mongolia. Ulaanbaatar. 2005. № 225(12). P. 55-57.
25. Study of the correlation between the coal calorific value and coal ash content using X-ray fluorescence analysis / D. Bolortuya [et al.] // Phys. Part. Nuclei Lett. 2013. V. 10. P. 723-726.
26. Damdinsuren Z., Zuzaan P., Damdinsuren B. Brief overview of x-ray fluorescence applications in Mongolian brown coal // X-Ray Spectrom. 2024. V. 53, № 2. P. 153 - 158.
27. Study of atomic-nuclear methodology for determination of macro and micro elements in some vegetables / G. Damdinsuren [et al.] // Sci. Trans., Natl. Univ. Mong. "PHYSICS". 2020. V. 30 (527). P. 52-56.
28. Amartaivan T., Zuzaan P. Trace Elements Analysis of Blood Samples and Serum Using Total Reflection X-Ray Fluorescence // X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications. Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi. 2022. Ch. 16. P. 265-270.
29. Bolortuya D., Zuzaan P. X-Ray Fluorescence Analysis of Human Hair // X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications. Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi. 2022. Ch. 27. P. 405-418.

30. Zuzaan P., Bolortuya D. X-Ray Fluorescence Studies of Biological Objects in Mongolia // X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications. Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi. 2022. Ch. 37. P. 591-608.
31. Ревенко А.Г. Информация о книге "X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications". Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi. Wiley. 2022, 688 pp. ISBN: 978-1-119-64554-2 // Аналитика и контроль. 2022. Т. 26, № 2. С. 159-166.
32. Bolortuya D., Zuzaan P. Application of X-ray fluorescence analysis for forensic science in Mongolia // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21, № 4. С. 332-335.
33. About an improvement of the X-ray analysis method for the process control at the ore mining and processing enterprise "Erdenet" / P. Zuzaan [et al.] // *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* 2000. V. 159, № 7. P. 168-176 (in Mongolian).
34. Zuzaan P., Erdemchimeg B. Разработка методики энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного определения содержания некоторых элементов в продуктах обогащения ГОК Эрдэнэт // Тез. докл. IV Всерос. конф. по РСА. 2002. Иркутск: ИЗК СО РАН, ин-т геохимии СО РАН, ИГУ. С. 23.
35. О формировании фона в длинноволновой области рентгеновского спектра при возбуждении флуоресценции излучением радиоизотопных источников / А.Ю. Портной [и др.] // Тез. докл. IV Всерос. конф. по РСА. 2002. Иркутск: ИЗК СО РАН, ин-т геохимии СО РАН, ИГУ. С. 40.
36. Портной А.Ю., Павлинский Г.В., Зузаан П., Эрдэмчимэг Б. Расчет тормозного спектра электронов отдачи, возникающего при возбуждении рентгеновской флуоресценции излучением радиоизотопных источников / А.Ю. Портной [и др.] // Аналитика и контроль. 2002. Т. 6, № 4. С. 390-394.
37. О формировании фона в длинноволновой области рентгеновского спектра при возбуждении флуоресценции излучением радиоизотопных источников / А.Ю. Портной [и др.] // *Proc. of ISCP-2*. 2002. Ulaanbaatar, Mongolia. P. 189-196.
38. Формирование аналитического сигнала и фона в флуоресцентном рентгенорадиометрическом анализе при использовании радиоактивного источника ^{241}Am и $\text{Si}(\text{Li})$ детектора / А.Ю. Портной [и др.] // *Ж. аналит. химии*. 2004. Т. 59, № 11. С. 1171-1180.
39. Об оптимизации соотношения аналитический сигнал/фон в энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализе при использовании $\text{Si}(\text{Li})$ детектора / А.Ю. Портной [и др.] // *Ж. аналит. химии*. 2009. Т. 64, № 5. С. 511-520.
40. Gansukh N., Dalkhsuren B., Zuzaan P. Fundamental parameter method using scattering peaks // *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* 1997. V. 3(132). P. 159-169.
41. Estimation of Applicability of Scattered Radiation for XRF / P. Zuzaan [et al.] // *Proc. of 15th Intern. Conf. on TXRF and related methods (TXRF2013)*. Osaka: Media Center, Osaka City University. 2013. P. 59-60.
42. Estimation of applicability of scattered radiation for XRF / P. Zuzaan [et al.] // Аналитика и контроль. 2013. Т. 17, № 4. С. 376-381.
43. Ревенко А.Г., Зузаан П. Опыт разработки и применения методик рентгено-флуоресцентного анализа природных материалов // Россия и Монголия: Результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международ. научн. конф. Иркутск. Институт географии СО РАН. Иркутск. 2022. С. 143-147.
44. Zuzaan P. Development of X-ray fluorescence and activation analysis techniques for natural materials. Doctoral dissertation for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Ulaanbaatar, Mongolia. 2007. 185 с.
45. Isotope separation of ^{22}Na and ^{24}Na by using the light induced drift effect / C. Hradecny [et al.] // *Appl. Radiat. Isot.* 1994. V. 45. № 2. P. 257-260.
46. Светоиндуцированный дрейф атомов радиоактивных изотопов ^{22}Na and ^{24}Na под действием лазерного излучения / Ю.П. Гангрский [и др.] // *ЖЭТФ*. 1994. Т. 106, Вып. 3(9). С. 725-734.
47. Ion-Guide источник для лазерного спектрометра / Ю.П. Гангрский [и др.] // *Изв. РАН. сер. физ.* 1996. Т. 60, № 1. С. 182-188.
48. Excitation of the high-spin ^{180}Hf isomer and deexcitation of the ^{180}Ta isomer in (γ,γ') reactions / A.G. Belov [et al.] // *Hyperfine Interactions*. 1997. V. 107. P. 167-173.
49. Изомерные отношения в реакциях (g,p) при энергиях гигантского дипольного резонанса / Ю.П. Гангрский [и др.] // *Ядерная физика*. 1999. Т. 62, № 10. С. 1733-1739.
50. Интегральные сечения фотоядерных реакций в области гигантского дипольного резонанса / А.Г. Белов [и др.] // *Атомная энергия*. 2000. Т. 88, вып. 5. С. 391-396.
51. Функции возбуждения и выходы осколков при фотоделинии ^{238}U / Ж. Бадамсамбуу // *Сообщения ОИАИ, Дубна*, 2007, P15-2007-191. 6 с.
52. Yield of fission fragments from the photofission of actinide nuclei / Y.P. Gangrskii [et al.] // *Phys. Part. Nuclei Lett.* 2013. V. 10. P. 422-423.
53. Ревенко А.Г. Конференция "X-ray Analysis", сентябрь 2006 г., Монголия, г. Улан-Батор // Аналитика и контроль. 2006. Т. 10, № 2. С. 216.
54. Ревенко А.Г. Третья Международная конференция по рентгеновскому анализу // Аналитика и контроль. 2013. Т. 17, № 2. С. 246-247.
55. Revenko A., Zuzaan P., Davaa S. Report on the Third International Conference on X-ray analysis, 20-24 August 2012, Ulaanbaatar, Mongolia (review) // *X-Ray Spectrom.* 2013. V. 42, № 6. P. 409-411.
56. Revenko A., Hoffmann P. Editorial Russian/Mongolian Special issue of XRS. Eds. by P. Hoffmann, A. Revenko // *X-Ray Spectrom.* 2010. 39. № 1. P. 1-2.
57. Purev Z., Revenko A., Damdinsuren B. Report on the Fourth International Conference on X-ray Analysis in Mongolia // *X-Ray Spectrom.* 2016. V. 45, № 4. P. 194-196.
58. Revenko A., Zuzaan P., Bolortuya D. Report on the 4th International Conference on X-ray Analysis, June 2015, Ulaanbaatar, Mongolia // *Adv. X-ray. Chem. Anal., Japan*. 2016. V. 47. P. 351-356.

REFERENCES

1. Sodnom N., Dalkhsuren B., Revenko A.G., Gerbish S., Zuzaan P., Davaa S. Application of an X-ray fluorescence spectrometer with a semiconductor detector for determining the content of elements in ores. *Rep. of the first Intern. Sci. the Conf. Geol. and Minerals of East. Mongolia and Adjacent Territories*, 1977, pp. 11-13. (in Russian).
2. Revenko A.G., Zuzaan P., Batraeva A.A., Dalkhsuren B. X-ray spectral determination of element contents in Prikhuvsgul plants. In: *Natural Conditions and Resources of some Regions of Mongolia*, Ulan-Bator, 1978, pp. 34-36. (in Russian).
3. Revenko A.G., Petrova G.P., Zuzaan P., Dalkhsuren B. [Study of the possibility of X-ray spectral determination of element contents in plant materials]. *Tez. dokl. Vses. sov. "50 let otech. rentg. priborostroeniia" i 12 Vses. sov. po rentg. spektr-i* [Abstract. report All ovals "50 years of domestic X-ray

- instrumentation” and 12 All-Union. owls by X-ray spectrum], St. Petersburg, 1978, p. 54. (in Russian).
4. Batraeva A.A., Ivelskaya V.I., Petrova G.P., Revenko A.G., Zuzaan P. Chemical composition of plants of certain species in Prikhuvsgul. *Rep. of the XIII Intern. Conf. on the results of the work of the Mongol-Soviet integrated Khuvsgul expedition*, Irkutsk, 1979, pp. 38–40. (in Russian).
 5. Sodnom N., Dalkhsuren B., Revenko A.G., Gerbish S., Zuzaan P., Davaa S. X-ray fluorescent express method for determining the content of multi-element ore. Labor of the Mongolo-Soviet Kerulen geological expedition. *Questions of Geology and Metallogeny of Eastern Mongolia*. NUM, 1979, pp. 33–47. (in Russian).
 6. Zuzaan P., Revenko A.G., Petrova G.P., Dalkhsuren B., Gracheva E.A., Gerbish Sh. The application of the X-ray spectral method for the analysis of the chemical composition of natural materials in the Khuvsgul region. In: *Natural Conditions and Resources of Some Areas of the MPR*, Ulan Bator, 1980, pp. 63–64. (in Russian).
 7. Batzhargal B., Zuzaan P., Gerbish Sh., Martynov V.P., Martynova A.S., Revenko A.G. [Geochemistry of some elements in tundra soils of the Khubsugul region]. *Prirodnye usloviia i resursy nekotorykh raionov MNR [Natural Conditions and Resources of Some Areas of the MPR]*, Ulan Bator, 1980, pp. 54–55. (in Russian).
 8. Belov A.G., Vyropaev V.Y., Sodnom N., Dalkhsuren B., Gerbish Sh., Zuzaan P, Davaa S. (). X-ray fluorescence determination of small contents of elements from vanadium to molybdenum by a new procedure of the calibration on a semiconductor detector spectrometer. *At. Energy*, 1980, vol. 49, no. 2, pp. 90–94. (in Russian).
 9. Zuzaan P., Dalkhsuren B., Gerbish S., Revenko A.G., Sodnom N. Determination of niobium content in geological samples using X-ray fluorescence spectrometer with semiconductor detector. *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* 1982, no. 4, pp. 135–141. (in Russian).
 10. Dalkhsuren B., Zuzaan P., Mongontsetseg A., Revenko A.G. [Determination of some elements in natural water using radioisotope X-ray fluorescence analysis]. *Prirodnye usloviia i resursy nekotorykh raionov MNR [Natural conditions and resources of some regions of the Mongolian People’s Republic]*, Irkutsk, 1981, pp. 56–57. (in Russian).
 11. Zuzaan P., Sodnom N., Dalkhsuren B., Revenko A.G. Application of semiconductor detectors in XRF. *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* 1982, no. 4, pp.103–117. (in Russian).
 12. Revenko A.G., Pazdnikov S.M., Zuzaan P. Comparison of X-ray fluorescence intensities for lines of the K- and L-series. In the book: *Abstr. Rep. 13 All owls by X-ray and electronic spectrum*. Lviv, 1981, pp. 54–55. (in Russian).
 13. Revenko A.G., Pazdnikov S.M., Zuzaan P. Comparison of X-ray fluorescence intensities for lines of the K- and L-series. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Factory laboratory. Materials diagnostic]*. no. 12, pp. 16–20. (in Russian).
 14. Zuzaan P. Research and development of procedures of X-ray fluorescence analysis of natural materials. *Abstract of Doctoral Thesis for the degree of candidate of phys. and mathem. Sci.*, Ulaanbaatar,1985, 22 p. (in Russian).
 15. Batraeva A.A., Baritskaya V.A., Zhamsran T.S., Zuzaan P. Some information on the content of heavy metals in the ash of the Prikhuvsul plants. In: *Abstr. of the Intern. Conf. Natural Conditions and Resources of Some Areas in the MPR*, Ulaanbaatar, 1986, pp. 58–59.
 16. Revenko A.G., Zuzaan P., Sodnom N. Evaluation of the metrological characteristics of methods for X-ray fluorescence analysis of soils and rocks using a spectrometer with a semiconductor detector. *Depon. VINITI № 1725-88*, 1988, 16 p. (in Russian).
 17. Zuzaan P., Revenko A.G., Sodnom N. Хорс, уулын чулуулгын энерго-дисперсийн рентгенофлуоресценцийн аргын хэмжил зүйн узуулэлтийн унэлгээ. *Uchen. Zap. Mon. Univ.*, 1990, no. 5(103), pp. 129–143.
 18. Zuzaan P., Gansukh N., Dalhsuren B., Jargalsaikhan D. Method of X-Ray Fluorescent Determination of Some Rare-Earth Element Content. *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* №2(125), 1996, pp.26–36.
 19. Zuzaan P., Gansukh N., Dalhsuren B., Davaa S. Development and Application EDXRF Analysis REE in Ore Samples. *Proc. of the 3rd All-Russia and 6th Siberian Conf. on Spectr. Anal. Irkutsk, 6–9 Oct., 1998*, pp. 82.
 20. Zuzaan P., Gansukh N., Bolortuya D. Radionuclide induced energy dispersive X-ray fluorescence for the determination of La, Ce, Pr and Nd and their content sums in the rare-earth ores. *X-Ray Spectrom.* 2010, vol. 39, no. 1, pp. 52–56. doi: 10.1002/xrs.1221
 21. Karivai A., Zuzaan P., Gustova M.V. A method for the determination of some rare earth elements and their correlation with thorium using X-ray fluorescence. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 2011, vol. 8, no. 6, pp. 576–580. doi: 10.1134/S1547477111060112
 22. Cherkashina T.Yu., Bolortuya D., Revenko A.G., Zuzaan P. Development of x-ray fluorescence technique for the uranium determination in Mongolian coal, coal ash, and phosphate ore. *Analitika i kontrol’[Analytiks and control]*, 2014, vol. 18, no. 4, pp. 404–410.
 23. Zuzaan P., Lodoysamba S., Damdinsuren Z., Bolortuya D., Ichinkhorloo D. Some results of a study to determine coal quality and elements contents. *Proc. of the 3rd Intern. School on Contemp. Phys. (ISCP3)*, Ulaanbaatar, 2005, pp. 100–103.
 24. Zuzaan P., Damdinsuren Z., Bolortuya D., Lodoysamba S. X-Ray fluorescence technique for determination of elemental contents in Shivee-Ovoo and Baganuur Coal Mines of Mongolia. *Phys. Sci. J. Nat. Univ. Mongolia, Ulaanbaatar*, 2005, no. 225(12), pp. 55–57.
 25. Bolortuya D., Zuzaan P., Gustova M.V., Maslov O.D. Study of the correlation between the coal calorific value and coal ash content using X-ray fluorescence analysis. *Phys. Part. Nuclei Lett.*, 2013, vol. 10, pp. 723–726. doi: 10.1134/S1547477114010099
 26. Damdinsuren Z., Zuzaan P., Damdinsuren B. Brief overview of x-ray fluorescence applications in Mongolian brown coal. *X-Ray Spectrom.*, 2024, vol. 53, no. 2, pp. 153 -158. doi: 10.1002/xrs.3399
 27. Damdinsuren G., Tsogzolmaa A., Amartaivan T., Zuzaan P., Bolortuya D., Zuzaan P. Study of atomic-nuclear methodology for determination of macro and micro elements in some vegetables. *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong. “PHYSICS”*, 2020, vol. 30 (527), pp. 52–56.
 28. Amartaivan T., Zuzaan P. Trace Elements Analysis of Blood Samples and Serum Using Total Reflection X-Ray Fluorescence. In book: *X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications*. Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi, 2022, Ch. 16, pp. 265-270.
 29. Bolortuya D., Zuzaan P. X-Ray Fluorescence Analysis of Human Hair. In book: *X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications*. Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi, 2022, Ch. 27, pp. 405-418.
 30. Zuzaan P., Bolortuya D. X-Ray Fluorescence Studies of Biological Objects in Mongolia. In book: *X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications*. Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi, 2022, Ch. 37, pp. 591-608.

31. Revenko A.G. Book information "X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation, and Applications". Eds: V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi. Wiley. 2022, 688 pp. ISBN: 978-1-119-64554-2. *Analitika i kontrol'* [*Analytics and control*], 2022, vol. 26, no. 2, pp. 159–166. doi: 10.15826/analitika.2022.26.2.006
32. Bolortuya D., Zuzaan P. Application of X-ray fluorescence analysis for forensic science in Mongolia. *Analitika i kontrol'* [*Analytics and control*], 2017, vol. 21, no. 4, pp. 332–335. (in Russian).
33. Zuzaan P., Gansukh N., Davaa S., Damdinsuren Z., Batjargal B., Delgerbat L., Rinchinjudger T. On the issue of improving the method of X-ray spectral analysis, which controls the technological process of the Erdenet Mining Corporation. *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* 2000, vol. 7 (159), pp. 168–176. (in Mongolian).
34. Zuzaan P., Erdemchimeg B. Development of a technique for energy-dispersive X-ray fluorescence determination of the contents of certain elements in the enrichment products of the Erdenet mining and processing plant. "Abstract of the IV All-Russian Conf. on XRF". Irkutsk: IZK SB RAS, Institute of Geochemistry SB RAS, ISU, 2002, pp. 23. (in Russian).
35. Portnoi A.Yu., Pavlinskii G.V., Zuzaan P., Erdemchimeg B. On the formation of the background in the long-wave region of the X-ray spectrum in case fluorescence is excited by radiation from radioisotope sources. In the book: "Abstract of the IV All-Russian Conf. on XRF". Irkutsk: IZK SB RAS, Institute of Geochemistry SB RAS, ISU, 2002, pp.40. (in Russian).
36. Portnoi A.Yu., Pavlinskii G.V., Zuzaan P., Erdemchimeg B. Calculation of the bremsstrahlung spectrum of recoil electrons arising when X-ray fluorescence is excited by radiation from radioisotope sources. *Analitika i kontrol'* [*Analytics and control*], 2002, vol. 6, no. 4, pp. 390–394. (in Russian).
37. Portnoi A.Yu., Pavlinskii G.V., Zuzaan P., et al. On the formation of the background in the long-wave region of the X-ray spectrum when fluorescence is excited by radiation from radioisotope sources. Proc. of ISCP-2, Ulaanbaatar, Mongolia, 2002, pp. 189–196. (in Russian).
38. Portnoi A.Yu., Pavlinskii G.V., Dukhanin, A.Yu., Zuzaan P., Erdemchimeg B., The Formation of Analytical and Background Signals in Radioisotope X-ray Fluorescence Analysis Using a ^{241}Am Radioactive Source. *J. Anal. Chem.*, 2004, vol. 59, no. 11, p. 1057–1065]. doi: 10.1023/B:JANC.0000047008.57675.5b
39. Portnoi A.Y., Pavlinskii G.V., Gorbunov M.S., Baranov E.O., Zuzaan P. Optimization of the signal-to-background ratio in energy-dispersive X-ray fluorescence analysis using a Si(Li) detector. *J. Anal. Chem.* 2009. vol. 64, no. 5, pp. 495–504. doi: 10.1134/S1061934809050116.
40. Gansukh N., Dalkhsuren B., Zuzaan P. Fundamental parameter method using scattering peaks. *Sci. Trans., Natl. Univ. Mong.* 1997, vol. 3(132), pp. 159–169.
41. Zuzaan P., Bolortuya D., Davaa S., Revenko A.G. Estimation of Applicability of Scattered Radiation for XRF. Proc. of 15th Intern. Conf. on TXRF and related methods. Osaka: Media Center, Osaka City University, 2013, pp. 59–60.
42. Zuzaan P., Bolortuya D., Davaa S., Revenko A.G. Estimation of applicability of scattered radiation for XRF. *Analitika i kontrol'* [*Analytics and control*], 2013, vol. 17, no. 4, pp. 376–381.
43. Revenko A.G., Zuzaan P. Experience in the development and application of methods for X-ray fluorescence analysis of natural materials. In the book: "Russia and Mongolia: Results and prospects of scientific cooperation". Proc. of the Intern. Sci. Conf. Irkutsk, Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, 2022, pp. 143–147.
44. Zuzaan P. Development of X-ray fluorescence and activation analysis techniques of natural materials. *Doctoral dissertation for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences*, Ulaanbaatar, Mongolia, 2007, 185 p.
45. Hradecny C., Tethal T., Yermolayev I.M., Zemlaynoi S.G., Zuzaan P. Isotope separation of ^{22}Na and ^{24}Na by using the light induced drift effect. *Appl. Radiat. Isot.* 1994, vol. 45, no. 2, pp. 257–260. doi: 10.1016/0969-8043(94)90020-5
46. Gangrsky Yu.P., Gradechny Ch., Zemlyanoy S.G., Zuzaan P., Ermolaev I.M., Markov B.N., Myshinsky G.V., Slovak J., Tetgal T., Shtekl I. Light-induced drift of atoms of radioactive isotopes ^{22}Na and ^{24}Na under the influence of laser radiation. *GETF*, 1994, vol. 106, Issue 3(9), pp. 725–734.
47. Gangrsky Yu.P., Zhemenik V.I., Zuzaan P., Kuznetsov V.D., Markov B.N., Myshinsky G.V., Valiev F.F., Gradechny Ch., Slavok Ya. [Ion -Guide source for a laser spectrometer]. *Izv. RAN. ser. fiz. [Izv. RAS, Ser. Phys.]*, 1996, vol. 60, no. 1, pp. 182–188. (in Russian).
48. Belov A.G., Gangrsky Yu.P., Tonchev A.P., Zuzaan P. Excitation of the high-spin ^{180}Hf isomer and deexcitation of the ^{180}Ta isomer in (γ,γ') reactions. *Hyperfine Interactions*, 1997, vol. 107, pp. 167–173.
49. Gangrsky Yu.P., Zuzaan P., Kolesnikov N.N., Lukashok V.G., Tonchev A.P. [Isomeric ratios in reactions (g,p) at giant dipole resonance energies]. *Iadernaia fizika [Nucl. Phys.]*, 1999, vol. 62, no. 10, pp. 1733–1739. (in Russian).
50. Belov A.G., Gangrsky Yu.P., Gudima K.K., Zuzaan P. Integral cross sections for photonuclear reactions in the region of giant dipole resonance. *Atomnaia energiiia [Atomic Energy]*, 2000, vol. 88, no. 5, pp. 391–396. (in Russian).
51. Badamsambuu J., Belov A.G., Gangrsky Yu.P., Zuzaan P., Nguyen Manh Shat. [Excitation functions and fragment yields during photofission of ^{238}U]. *Soobshcheniia Ollal [Communications of JINR]*, Dubna, 2007, P15-2007-191, 6 p. (in Russian).
52. Gangrskii Y.P., Zuzaan P., Belov A.G., Blaschak Z., Zhemenik V.I., Markov B.N., Myshinskii G.V. Yield of fission fragments from the photofission of actinide nuclei. *Phys. Part. Nuclei Lett.* 2013, vol. 10, pp. 422–423. doi: 10.1134/S1547477113050105
53. Revenko A.G. Conference "X-ray Analysis", September 2006, Mongolia, Ulaanbaatar. *Analitika i kontrol'* [*Analytics and control*], 2006, vol. 10, no. 2, pp. 216. (in Russian).
54. Revenko A.G. Third International Conference on X-ray Analysis *Analitika i kontrol'* [*Analytics and control*], 2013, vol. 17, no. 2, pp. 246–247. (in Russian).
55. Revenko A., Zuzaan P., Davaa S. Report on the Third International Conference on X-ray analysis, 20–24 August 2012, Ulaanbaatar, Mongolia (review). *X-Ray Spectrom.*, 2013, vol. 42, no. 6, pp. 409–411. doi: 10.1002/xrs.2510
56. Revenko A., Hoffmann P. Editorial Russian/Mongolian Special issue of XRS. Issue Edited by P. Hoffmann, A. Revenko. *X-Ray Spectrom.*, 2010, vol. 39, no. 1, pp. 1–2. doi: 10.1002/xrs.1240
57. Purev Z., Revenko A., Damdinsuren B. Report on the Fourth International Conference on X-ray Analysis in Mongolia. *X-Ray Spectrom.* 2016, vol. 45, no. 4, pp. 194–196. doi: 10.1002/xrs.2690
58. Revenko A., Zuzaan P., Bolortuya D. Report on the 4th International Conference on X-ray Analysis, June 2015, Ulaanbaatar, Mongolia. *Adv. X-ray Chem. Anal., Japan*, 2016, vol. 47, pp. 351–356. doi:10.57415/xshinpo.47.0_351