

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Российская академия наук
Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского
Научно-исследовательский институт радиационной медицины и экологии
Медицинского университета Семей Республика Казахстан
Университет Париж-Сакле, Франция
Университет Сорбона, Франция



РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

МАТЕРИАЛЫ
VI МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 1

20–24 сентября 2021 г.

Томск 2021

УДК 539.16+577.346:574(063)
ББК 22.383+28.707.1л0
P15

Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека :
P15 материалы VI Международной конференции (Томск, 20–24 сентября 2021 г.). В 2 томах.
Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического
университета, 2021. – 671 с.

ISBN 978-5-4387-1026-4 (т. 1)
ISBN 978-5-4387-1025-7

В сборнике докладов конференции обсуждаются актуальные проблемы, связанные с явлением радиоактивности, распространением естественных и техногенных радионуклидов в различных природных средах. Приводятся данные по радиоэкологическому состоянию отдельных территорий, методам анализа радионуклидов. Освещаются вопросы влияния радиоактивности и радиоактивных элементов на биоту и человека, проблемы оценки дозовых нагрузок.

Сборник представляет интерес для геологов, геохимиков, биологов, медиков, экологов и других специалистов, интересующихся проблемами радиогеологии, радиогеохимии, радиоэкологии.

УДК 539.16+577.346:574(063)
ББК 22.383+28.707.1л0

Редакционная коллегия

Е. Г. Язиков, докт. геол.-мин. наук, профессор
(главный редактор)
С. И. Арбузов, докт. геол.-мин. наук, профессор
Н. В. Барановская, докт. биол. наук, профессор
В. А. Домаренко, канд. геол.-мин. наук, профессор
А. А. Поцелуев, докт. геол.-мин. наук, профессор
О. Г. Савичев, докт. геогр. наук, профессор
Л. М. Болсуновская, канд. фил. Наук
Б. Р. Соктоев, канд. геол.-мин. наук,
В. В. Жуков, тех. секретарь

Рецензенты

А. М. Адам, докт. тех. наук, профессор
А. В. Мананков, докт. геол.-мин. наук, профессор
Н. Н. Ильинских, докт. биол. наук, профессор

Editorial Board

E. G. Yazikov, Professor (Editor-in-Chief)
S. I. Arbuzov, Professor
N. V. Baranovskaya, Professor
V. A. Domarenko, PhD
A. A. Pozeluev, Professor
O. G. Savichev, Professor
L. M. Bolsunovskaya, PhD
B. R. Soktoev, PhD
V. V. Zhukov, Secretary

Reviewers

A. M. Adam, Dr. tech. sci., professor
A. V. Manankov, Dr. geol.-mineral. sci., professor
N. N. Ilyinskikh, Dr. biol. sci., professor

ISBN 978-5-4387-1026-4 (т. 1)
ISBN 978-5-4387-1025-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2021
© Оформление. Отделение геологии ИШПР ТПУ, 2021

МИГРАЦИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЮЖНОГО УРАЛА

В. Ю. Берёзкин¹, Е. М. Коробова¹, В. С. Баранчуков¹, Д. И. Долгушин¹,
О. В. Тарасов², С. Л. Романов³, М. В. Модоров⁴, Л. Н. Михайловская⁴

¹Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН
Москва, Россия, victor76@list.ru

²ФГУП «ПО "Маяк»

Озёрск, Россия, o_tarasov@mail.ru

³УП «Геоинформационные системы»

Минск, Беларусь, Romanov_s_l@mail.ru

⁴Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН
Екатеринбург, Россия, mila_mikhaylovskaya@mail.ru

MIGRATION OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr IN ELEMENTARY LANDSCAPE-GEOCHEMICAL SYSTEMS OF THE SOUTHERN URALS

V. Yu. Berezkin¹, E. M. Korobova¹, V. S. Baranchukov¹, D. I. Dolgushin¹,
O. V. Tarasov², S. L. Romanov³, M. V. Modorov⁴, L. N. Mikhailovskaya⁴

¹Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS
Moscow, Russia, victor76@list.ru

²FGUP PO "Mayak"

Ozersk, Russia, o_tarasov@mail.ru

³Unitary Enterprise "Geoinformation Systems"

Minsk, Belarus, romanov_s_l@mail.ru

⁴Institute of Plant and Animal Ecology, UB of the RAS
Yekaterinburg, Russia, mila_mikhaylovskaya@mail.ru

A detailed study of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Chelyabinsk region was carried out to reveal patterns of their distribution in elementary landscape-geochemical systems (ELGS). Field measurements of the gamma and beta activity of the soil and vegetation cover were performed in four test sites (contaminated during the Kyshtym accident in 1957). The measurements were accompanied by a sampling of undisturbed soil cores down to a depth of 40 cm and some plant species. All samples were analyzed for ^{137}Cs and ^{90}Sr in laboratories (Moscow and Ekaterinburg). The results obtained revealed an ordered structure of ^{137}Cs and ^{90}Sr in all studied ELGS.

Введение

Многочисленные аварийные выбросы на объектах атомной промышленности, начиная с аварии в Чок-Риверской лаборатории (12 декабря 1952, Канада, International Nuclear Event Scale, INES 5) и заканчивая аварией на Фукусиме (11 марта 2011, Япония, INES 7), делают радиационное загрязнение одной из актуальнейших проблем нашего времени. Радиоактивное загрязнение различных компонентов биогеоценозов (почв, растительности, поверхностных и грунтовых вод, донных отложений) – это одно из наиболее серьезных последствий аварий, связанных с выбросами радионуклидов в окружающую среду.

В России, при аварии на «ПО Маяк» в 1957 г. радиоактивному загрязнению подверглась территория площадью около 20 тыс. км² [1], получившая название Восточно-уральский радиоактивный след (ВУРС). Ось загрязнения прошла через населённые пункты Бердениш, Салтыкова, Галикаева, Русская Караболка и далее в направлении на г. Тюмень [5]. Кроме того,

в апреле 1967 г. на этих же территориях отмечали выпадения радиоактивной пыли из донных отложений озера Карачай [4].

Цель настоящего исследования – проверка гипотезы о закономерном характере перераспределения техногенных радионуклидов на примере ^{137}Cs и ^{90}Sr в элементарных ландшафтно-геохимических системах (вершина – склон – замыкающее понижение) Челябинской области (в зоне ВУРС), поступивших в окружающую среду в результате Кыштымской аварии 1957.

Хотя опыт ранее проведенных исследований показал, что радионуклиды в биоклиматических условиях Среднего и Южного Урала малоподвижны, и основное снижение их содержания с 1957 г. обусловлено главным образом их физическим распадом [3], исследование характера их перераспределения представляет собой весьма актуальную задачу. В новых условиях проверялась гипотеза о том, что выявленный ранее на территории Брянской области характер перераспределения ^{137}Cs в почвах ЭЛГС зоны воздействия аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.)

универсален. Предполагалось, что закономерно циклический характер, выявленный для данного изотопа [6–8], свойственен не только ^{137}Cs , но и ^{90}Sr , и способен проявлять себя в других метео-климатических условиях, на иных почвах и при наличии иных форм первичного выпадения радионуклидов.

Работы на ВУРС ведутся с 2019 г по настоящее время авторским коллективом лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН (Москва, РФ), при участии коллег из ФГУП «ПО Маяк» (Озёрск, РФ), Института экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург, РФ) и УП «Геоинформационные системы» (Минск, РБ).

Материалы и методы

Работа основана на фактическом материале, полученном в результате полевых исследований 2019–2020 годов в Челябинской области (в районе г. Озёрск).

В летний полевой период проводились полевые измерения гамма- и бета-активности почвенно-растительного покрова ЭЛГС по секущим профилям и регулярной сети с шагом 1–5 м. Измерение активности ^{137}Cs в поверхностном слое почвы выполнялась с помощью полевого гамма-спектрометра Violinist-III, снабжённого сцинтилляционным (кристалл NaI[Tl] диаметром 2,5 дюйма) коллимированным детектором [2]. На территории ВУРСа, измерения в полевых условиях с помощью прибора VIOLINIST-III впервые проводились в 2019 г. (рис. 1).

Полевое измерение бета-активности осуществлялось в тех же точках регулярной сети с помощью

дозиметров-радиометров Radascan-801 и ДРБП-03, предназначенных для измерения плотности потока бета-частиц от загрязнённых поверхностей.

Все измерения осуществлялись в пределах четырёх заранее выбранных площадок: 1) «Бердениш-1» (бывшее поле, примыкающее к отселенному посёлку Бердениш, перепаханное после аварии, заложена в 2019 г.), 2) «Бердениш-2» (крутой северный берег озера Бердениш, заложена в 2019 г.), 3) «Лежнёвка» (пологий склон, под естественным лесом, в районе наиболее высокого загрязнения почвы, заложена в 2019 г.) и 4) «Бердениш-3» (к юго-востоку от оз. Бердениш, в районе горы Каменной (244 м), заложена в 2020 г.) (рис. 1).

Измерения сопровождались отбором ненарушенных почвенных кернов до глубины 40 см и укосов местных растений (рис. 2). Отобранные образцы проанализированы на содержание ^{90}Sr в полевой лаборатории, а ^{137}Cs и ^{90}Sr (в избранных пробах) – в лабораторных условиях (на гамма-спектрометрах с ППД из высокочистого германия и радиохимическим методом соответственно) в ГЕОХИ РАН и ИЭРИЖ УрО РАН.

Результаты и их обсуждение

Измерения показали, что при явной упорядоченной дифференциации полей загрязнения, как радиостронция, так и радиоцезия, закономерно однонаправленного их перераспределения в системе водораздел – склон – подножье склона, от вершины к понижению, не наблюдалось (рис. 3 и 4).

В пределах наиболее загрязнённой площадки «Лежнёвка» наблюдался резко изменчивый, полицентрический характер структуры поля загрязнения,

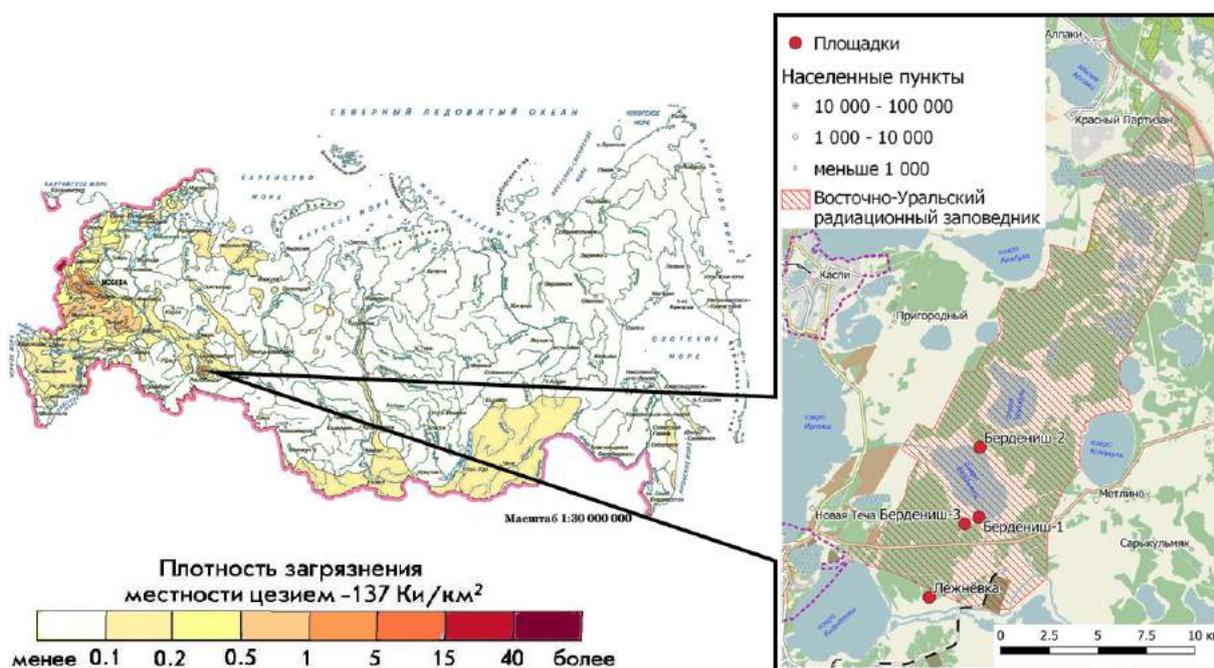


Рис. 1. Карта фактического материала: отбор проб почв и растительности 2019–2020 гг.

прослеживающийся как в отношении ^{137}Cs , так и ^{90}Sr (рис. 2). При этом выраженная полицентричность структуры поля загрязнения в почвенно-растительном покрове сохраняется и при увеличении уровня детальности съемки до шага 1×1 м.

Относительное обогащение верхних горизонтов почв радионуклидами, наблюдается в самых разнообразных элементарных ландшафтах во всех тестовых

участках и, по-видимому, может быть объяснено сочетанием различных факторов: от притока грунтовых вод в нижней части склона до эрозии.

Схожий характер варьирования активности, также фиксирующий отсутствие однонаправленного латерального переноса, был выявлен и на участке бывшего агроценоза «Бердениш-1» (рис. 3 и 4), несмотря на глубокую вспашку участка, осуществленную непосредственно после аварии. Это косвенно свидетельствует, во-первых, о том, что в пределах

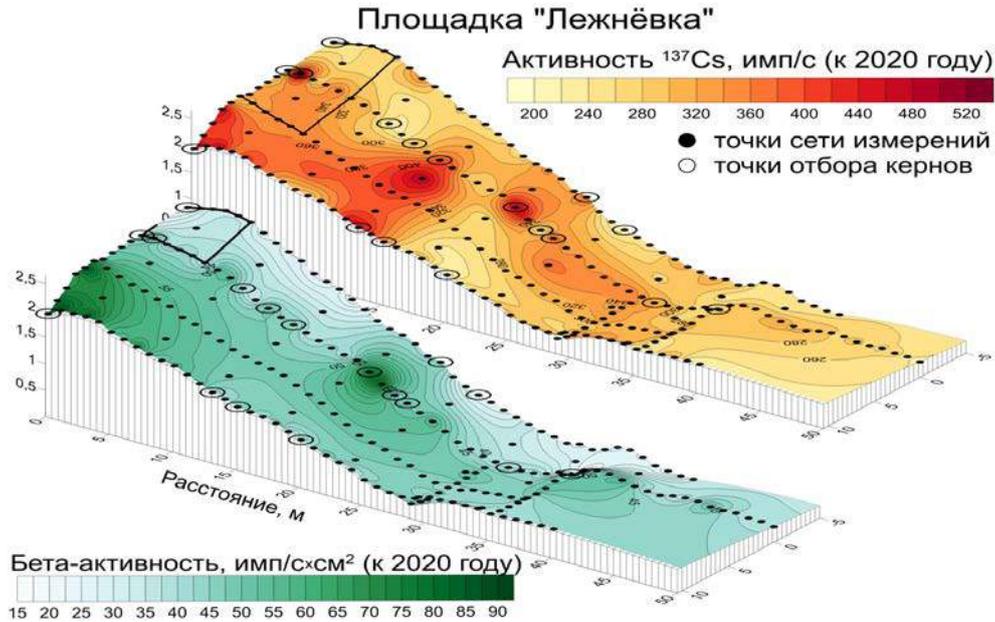


Рис. 2. Площадка «Лежневка» (зона высокого загрязнения)

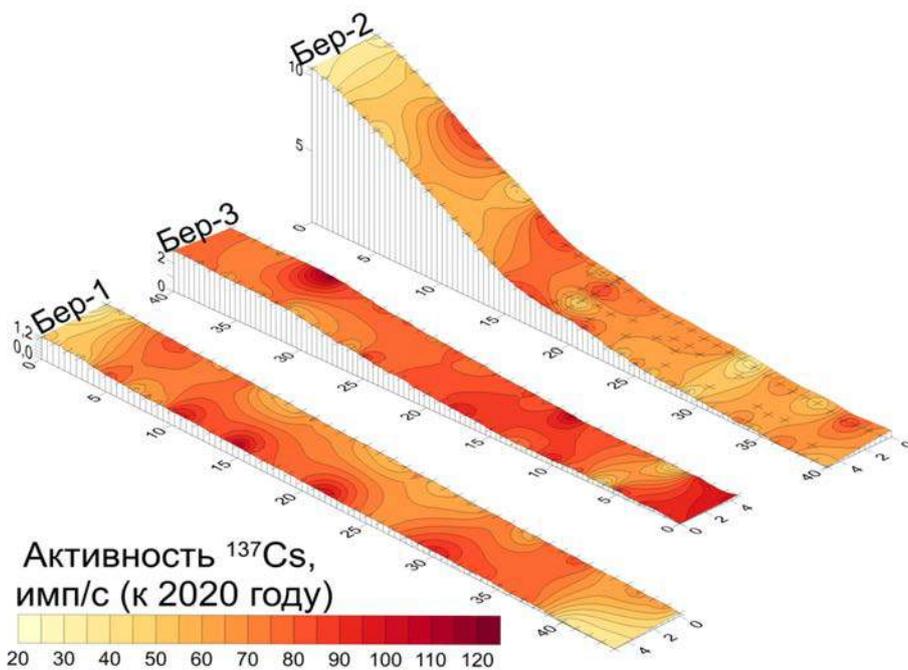


Рис. 3. Структура поля загрязнения ^{137}Cs на разных тестовых участках, характеризующих ЭЛГС

1) Бердениш-1: пологий склон, бывшая пашня; 2) Бердениш-2: крутой склон на берегу озера; 3) Бердениш-3: пологий склон горы Каменная, мощность почвы над плотными породами (серпентинитами) не превышает 40 см.

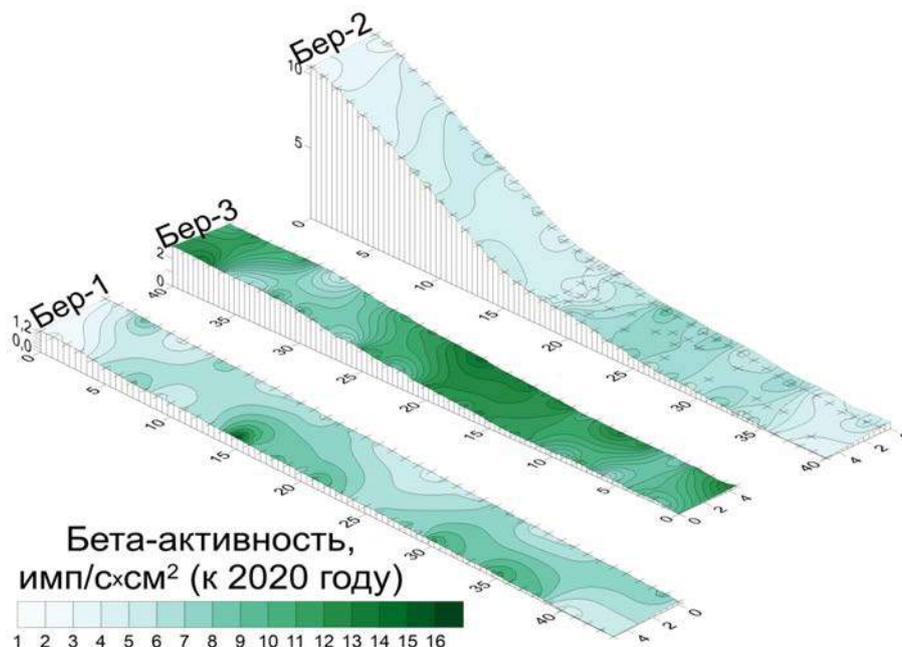


Рис. 4. Структура поля загрязнения ^{90}Sr в разных ландшафтно-геохимических условиях

- 1) Бердениш-1: пологий склон, бывшая пашня; 2) Бердениш-2: крутой склон на берегу озера; 3) Бердениш-3: пологий склон горы Каменная, мощность почвы над плотными породами (серпентинитами) не превышает 40 см.

местной ЭЛГС действует схожий механизм перераспределения вещества, а, во-вторых, о том, что действие этого механизма продолжается и в условиях антропогенно трансформированных систем.

Для растительности, в пределах обследованных площадок, в целом, наблюдалась схожая картина циклической изменчивости активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в ЭЛГС. Однако, нельзя не отметить различный вклад отдельных видов в концентрацию исследуемых радионуклидов в растительном покрове. Так, наибольшие концентрации ^{90}Sr были выявлены в крапиве двудомной (*Urtica dioica* L.) в пределах площадки «Бердениш-1» (78 ± 13 кБк/кг в.с.м.) и в землянике лесной (*Fragaria vesca* L.) в пределах площадки «Лежнёвка» (1658 ± 240 кБк/кг в.с.м.).

Выводы

1. В пределах всех обследованных ЭЛГС подтверждено наличие значительной упорядоченной дифференциации ^{137}Cs и ^{90}Sr , обусловленной процессами их вторичного перераспределения, при этом не

связанной с однонаправленным переносом от вершины к замыкающему понижению, хотя латеральная миграция также имеет место;

2. Подтверждена выявленная ранее (2019 г.) циклическая изменчивость содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в ЭЛГС в направлении от вершин к понижениям. Ранее такая циклическая изменчивость активности Cs-137 наблюдалась нами в Брянской области, в районе техногенных выпадений радионуклидов аварии ЧАЭС (1986);

3. Схожая структура полей ^{137}Cs и ^{90}Sr , имеет и несомненные различия, что отвечает их разной подвижности.

4. Циклическая изменчивость поверхностной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr имеет место и в растительном покрове ЭЛГС что, несомненно, отражает специфику функционирования единого механизма миграции в системе почва-растение, где рельеф является основным диспетчером распределения воды.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00816.

Литература

- Алексахин Р. М., Булдаков Л. А., Губанов В. А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общ. ред. Л. А. Ильина и В. А. Губанова. – М.: Изд. АТ, 2001. – 752 с.
- Романов С. Л., Коробова Е. М., Самсонов В. Л. Опыт применения модернизированного прибора VIOLINIST-III в полевых радиэкологических

исследованиях. // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2011. – № 3 (39). – С. 56–61.

- Тарасов О. В., Федорова О. В., Тананаев И. Г., Сергиенко В. И. Формы состояния и миграция радионуклидов в почвах Восточно-уральского радиоактивного следа // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2016. – № 1 (185). – С. 47–52.

4. Челябинская область: ликвидация последствий радиационных аварий / Под ред. А. В. Аклеева. – Челябинск, 2006. – 344 с.
5. Экологические и медицинские последствия радиационной аварии 1957 года на ПО «Маяк» / Под ред. А. В. Аклеева, М. Ф. Киселева. – М., 2001. – 294 с.
6. Korobova E., Romanov S. Experience of mapping spatial structure of Cs-137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil toposequence // J. Geochem. Explor., 2011. – № 109, 1–3. – P. 139–145.
7. Korobova Elena, Sergey Romanov, Vladimir Baranchukov, Victor Berezkin, Andrey Korotkov, Nikolay Dogadkin. Specificity of the ^{137}Cs distribution in arable elementary landscape-geochemical system contaminated during the accident at the Chernobyl NPP // Applied Geochemistry, 2019. – № 109. – URL <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104394> (дата обращения 2019-12-15).
8. Korobova E. M., Romanov S. L. A Chernobyl ^{137}Cs contamination study as an example for the spatial structure of geochemical fields and modeling of the geochemical field structure // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2009. – № 99. – P. 1–8.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ И УРАНА В УГЛЯХ И УГЛЕНОСНЫХ ПОРОДАХ МЕТОДОМ ИСП-МС: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В ДВГИ ДВО РАН

М. Г. Блохин, Н. В. Зарубина, И. Ю. Чекрыжов

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
Владивосток, Россия, blokhin@fegi.ru*

ICP-MS DETERMINATION OF TORIUM AND URANIUM IN COALS AND COAL-BEARING ROCKS

M. G. Blokhin, N. V. Zarubina, I. Yu. Chekryzhov

*Far East Geological Institute FEB RAS
Vladivostok, Russia, blokhin@fegi.ru*

The prospects of using the ICP-MS method for the analysis of thorium and uranium in coals and coal-bearing rocks with the accuracy required for geochemical studies were shown based on the metrological assessment and comparison of experimental data obtained in three independent laboratories. Several techniques for the quantitative determination of the mentioned chemical elements in the considered geological objects by the ICP-MS method, including certified reference materials analysis of coal fly ash (ZUK-2), brown coal ash from Azeiskoye deposit (ZUA-1), and bituminous coal CLB-1 of the US Geological Survey, were described. The used sample preparation analytical schemes allowed us to achieve detection limits below $n \cdot 10^{-3}$ ppm.

Введение

В работе рассматривается возможность количественного определения тория и урана в углях и угленосных породах с использованием метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Хотя для анализа мы используем конкретные изотопы – ^{232}Th и ^{238}U , с последующим пересчетом на общее содержание элементов, хотелось бы подчеркнуть, что говоря о количественном определении, мы подразумеваем определение химических элементов в пробах, а не их изотопных отношений.

Метод ИСП-МС в элементном анализе геологических образцов [8, 11], в том числе и при определении тория и урана в угольных материалах [12] используется уже не один десяток лет. Тем не менее мы

хотели бы обозначить аналитические аспекты применения ИСП-МС в данном направлении, основываясь на многолетнем опыте применения этого метода.

Торий в природе представлен несколькими радиоактивными изотопами, но именно ^{232}Th имеет распространенность близкую к 100 %, с периодом полураспада $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ лет [1]. Данный изотоп подвержен альфа-распаду. Родоначальник радиоактивного семейства тория.

Уран имеет три природных изотопа: ^{238}U (99,275 %), ^{235}U (0,720 %) и ^{234}U (0,005 %) [1]. Самый распространенный изотоп ^{238}U имеет период полураспада $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет. Является исходным изотопом в ряду радиоактивного семейства называемого рядом радия. Также, как и ^{232}Th , подвержен альфа-распаду.

Среднее содержание урана и тория в осадочных горных породах составляет 3,4 г/т и 7,7 г/т, соответ-