

**СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ (La, Ce, Pr, Nd, Sm и Eu) В
ПОЧВАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

**КОНСЕНТРАТСИЯ И УНСУРҲОИ
НОДИРЗАМИНӢ (La, Ce, Pr, Nd, Sm и Eu)
ДАР ҲОКИ ҚИСМИ ҶАНУБУ ШАРҚИ
ВИЛОЯТИ СУҒД**

**CONTENTS OF RARE EARTH ELEMENTS
(La, Ce, Pr, Nd, Sm and Eu) IN THE SOILS
OF THE SOUTH-EASTERN PART OF
SOGHDIAN REGION**

Раҳматзода Мухаммади Нуридин (Раҳматов Мухаммади Нуридинович, к.ф.-м.н., доцент; Исмоилов Комрон Алишерович, соискатель кафедры; Умаров Насимдҷон Негматович - к.ф.-м.н., заведующий кафедрой общей физики и твёрдого тела ГОУ «ХГУ им. акад. Б.Гафурова» (Таджикистан, Худжанд)

Раҳматзода Муҳаммадӣ Нуридин (Раҳматов Муҳаммадӣ Нуридинович), н.и.ф.-м., дотсент; Исмоилов Комрон Алишерович, унвонҷӯи кафедра; Умаров Насимҷон Негматович, н.и.ф.-м., мудири кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои сахти МДТ «ДДХ ба номи акад. Б.Гафуров» (Тоҷикистон, Хуҷанд)

Rahmatzoda Muhammadi Nuridin (Rahmatov Muhamadi Nuridinovich), Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; Ismoilov Komron Alisherovich, Applicant of the Department; Umarov Nasimjon Negmatovich, Candidate of Physico Mathematical Sciences, Head of the Department of General Physics and Solid body, SEI «KhSU named after acad. B.Gafurov» (Tajikistan, Khujand)

E-mail: nasimchon-74@mail.ru

Ключевые слова. почва, редкоземельные элементы, метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, статистический анализ, фактор обогащения, корреляционный анализ.

В статье приводятся результаты исследования, получены оригинальные данные по содержанию и распределению редкоземельных элементов в почвах юго-восточной части Согдийской области. Концентрации редкоземельных элементов были определены с помощью высокочувствительного масс-спектрометрического анализа, индуктивно связанного с плазменным методом. Всего собрано и проанализировано 30 проб. Выявлены особенности накопления редкоземельных элементов в зависимости от региональных особенностей. Концентрации редкоземельных элементов в почвах юго-восточной части Согдийской области изменяются в узких интервалах. При этом распределение РЗЭ носит равномерный характер на исследуемой территории (2,44 – 9,72%). Распределение всех исследуемых редкоземельных элементов близко по показателям асимметрии и эксцесса, что наблюдается для некоторых элементов. Нами была установлена значимая корреляционная связь между содержанием в пробах почв Ce и La ($r = 0,98$), Pr и La ($r = 0,97$), Pr и Ce ($r = 0,95$), Nd и La ($r = 0,94$), Nd и Ce ($r = 0,91$), Nd и Pr ($r = 0,99$), что указывает на их литогенное происхождение.

Калидвоҷаҳо: хок, элементҳои нодирзаминӣ, усули масс-спектрометрии индуктиви ба плазма робитадошта, таҳлили омори, омилҳои ғанишавӣ, таҳлили коррелясионӣ.

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқот, маълумоти аслии ба даст омадашуда оид ба консентратсия ва паҳншавии унсурҳои нодирзаминӣ дар ҳоки қисми ҷанубу шарқи вилояти Суғд оварда шудаанд. Консентратсияи унсурҳои нодирзаминӣ бо истифода аз усули масс-спектрометрии индуктивӣ ба плазма робитадоштаи ҳассосияташ баланд муайян карда шуд. Ҳамагӣ 30-то намуна ҷамъоварӣ ва таҳлил карда шуданд. Хусусияти захирашавии унсурҳои нодирзаминӣ вобаста ба хусусиятҳои минтақавӣ ошкор карда шуданд. Консентратсияи миёнаи унсурҳои нодирзаминии таҳқиқшуда дар доираи нишондоди Кларк ва аз он камтар воқеъ мебошад. Тағйирёбии консентратсияи унсурҳои нодирзаминӣ дар ҳоки қисми ҷанубу шарқи вилояти Суғд дар фосилаҳои кам ба назар мерасад. Дар ин ҳол, дар минтақаҳои таҳқиқотӣ паҳншавии унсурҳои нодирзаминӣ якхела аст (2,44–9,72%). Паҳншавии ҳамаи унсурҳои нодирзаминии омӯхташуда аз ҷиҳати асимметрия ва эксцесс наздик мебошанд, бинобар ҳамин барои баъзе элементҳо ба мушоҳида расид. Аз ҷониби мо робитаи коррелясионии назаррас дар

байни консентратсияи унсурҳои таҳлилушуда дар намунаҳои хок Ce ва La ($r = 0,98$), Pr ва La ($r = 0,97$), Pr ва Ce ($r = 0,95$), Nd ва La ($r = 0,94$), Nd ва Ce ($r = 0,91$), Nd ва Pr ($r = 0,99$), ки манбаъи пайдоиши литогеники унсурҳои нишон медиҳад.

Keywords: soil, rare earth elements, inductively coupled plasma mass spectrometry method, statistical analysis, factor of enrichment, correlation analysis.

The article presents the results of the study, obtained original data on the content and distribution of rare earth elements in the soils of the south-eastern part of Sughd region. The concentrations of rare earth elements were determined by using a highly sensitive inductively coupled plasma mass spectrometry method. A total of 30 samples were collected and analyzed. Peculiarities of accumulation of rare earth elements depending on regional characteristics have been revealed. Concentrations of rare earth elements in the soils of the southeastern part of the Soghd region vary within narrow intervals. At the same time, the distribution of REE bears a regular character in the areas (2.44–9.72%) under study. The distribution of all studied rare earth elements is close in terms of asymmetry and kurtosis, and is observed for some elements. We have established a significant correlation between the content of Ce and La ($r = 0,98$), Pr and La ($r = 0,97$), Pr and Ce ($r = 0,95$), Nd and La ($r = 0,94$), Nd and Ce ($r = 0,91$), Nd and Pr ($r = 0,99$), which indicates to their lithogenic origin.

В настоящее время существует общее представление о том, что в качестве индикаторов техногенного загрязнения почв исследуемых территорий и эколого-геохимического районирования все чаще стали исследовать редкоземельные элементы (РЗЭ). По мнению ряда исследователей [1, с.102; 2, с.18; 3, с.17], это прежде всего связано с тем, что РЗЭ в данный момент во всем мире активно добываются и находят широкое применение в микроэлектронике, промышленности, электротехнике, энергетике, средствах связи и других отраслях народного хозяйства [1, с. 6]. Как отмечают специалисты-экологи [4, с.57,58; 5, с.69] в Средней Азии, России и других регионах планеты загрязнение почвы редкоземельными элементами от антропогенных источников приводит к загрязнению важнейших жизнеобеспечивающих природных сред [6, с.1-11; 7, с.107047; 13, с.1285-1303].

Для большинства регионов Средней Азии недостаточно данных по элементному составу почв, в особенности, по редкоземельным элементам. Однако сведения по содержанию и распределению в поверхностных горизонтах почв в юго-восточной части Согдийской области не исследованы, хотя эти данные необходимы для оценки влияния природы РЗЭ на особенности распределения их в поверхностных горизонтах почв.

Итак, **целью и основной задачей настоящей работы** является установление закономерностей накопления и обобщения данных о содержании и распределении редкоземельных элементов (La , Ce , Pr , Nd , Sm , Eu) в различных эколого-геохимических наслоениях территорий юго-восточной части Согдийской области.

Материалы и методы: Полевые работы проведены в период 2020–2022 гг., методом конверта из верхних горизонтов с глубины 0–5 см были отобраны почвенные образцы в точках, соответствующих разным районам юго-восточной части Согдийской области. Всего собрано и проанализировано 30 проб. После отбора пробы высушивали до абсолютно-сухого состояния, измельчали и анализировали на содержание РЗЭ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Математическую обработку полученных результатов проводили в соответствии с требованиями методик количественного элементного анализа. Статистическая обработка выполнена при помощи программы Microsoft Excel 2019. Связи между элементами рассчитывали с помощью коэффициента парной корреляция, их значения считались значимыми при доверительной вероятности $P = 0.95$. Для редкоземельных элементов ПДК в почвах не разработаны. В этом случае при нормировании содержания РЗЭ обычно за норму принимается концентрация, не превышающая удвоенный кларк.

Фактор обогащения (Enrichment Factor – EF) широко используется для оценки антропогенного воздействия на почву. EF основан на нормализации, измеряемой РЗЭ по эталонному, элементу и определяется по следующей формуле

$$EF = \frac{C_i(\text{проба})/C_{\text{норм}}(\text{проба})}{C_i(\text{кларк})/C_{\text{норм}}(\text{кларк})}$$

где: EF – фактор обогащения, (C_i и $C_{\text{норм (проба)}}$) – концентрации рассматриваемого РЗЭ и нормирующего элемента, соответственно либо в пробе, либо в земной коре.

Если значения EF более 1, это указывает на антропогенные источники редкоземельных элементов, а менее 1 – на литогенную природу РЗЭ. Также EF может дать понимание отделения антропогенного источника от природного. Кроме того, EF также помогает определить степень загрязнения почвы элементом [8, с. 4-8; 9, с.52-59].

Коэффициент концентрации (Contamination Factor - CF) - редкоземельного элемента CF, рассчитывался по отношению реального содержания РЗЭ в пробах почв ($C_{\text{РЗЭ}}$) к его фоновому уровню ($C_{\text{ф}}$) в аналогичном объекте:

$$CF = \frac{C_{\text{РЗЭ}}}{C_{\text{ф}}},$$

где $C_{\text{РЗЭ}}$ – концентрация редкоземельного элемента, а $C_{\text{фон}}$ – фоновое значение для исследуемого редкоземельного элемента. В качестве фоновых значений РЗЭ используется среднее значение геохимического фона в земной коре для металлов-примесей. CF был разделён на четыре группы: (1) $CF < 1$ означает отсутствие загрязнения, (2) $1 \leq CF < 2$ – слабое загрязнение, (3) $2 \leq CF < 3$ среднее загрязнение, (4) $3 < CF < 5$ – сильное загрязнение, $CF > 5$ – очень высокое загрязнение [9, с.52-59]. Коэффициент загрязнения является основным для вычисления комплексных показателей загрязнения.

Для характеристики накопления РЗЭ в поверхностных горизонтах почв оценивались с помощью Кларка концентрации (КК) по формуле:

$$KK = \frac{C_{\text{элемент}}}{K_{\text{ЗК}}},$$

где $C_{\text{элемент}}$ – РЗЭ в почве, $K_{\text{ЗК}}$ – Кларк этого элемента в земной коре [10, с. 6-8].

Как считают известные учёные, если Кларк больше единицы, это указывает на обогащение элементом, если меньше – на снижение его содержания по сравнению с Кларком в целом [28, с.6-8; 29, с. 125-127].

Кларк рассеяния есть величина, обратная Кларку концентрации, который показывает во сколько раз Кларк исследуемого элемента в земной коре (К) больше его содержания в почве или в другом природном объекте. Если нужно показать, во сколько раз содержание элемента в породе ниже его содержания в литосфере, используется показатель, обратный Кларку концентрации [10, с. 6-8; 11, с.46,47].

$$KP_i = \frac{K_i}{C_i} > 1,$$

где C_i – содержание i -го элемента в изучаемых пробах почв; K_i – Кларк i -го элемента в верхней части континентальной земной коры, мг/кг.

Коэффициент вариации (CV) концентрации редкоземельного элемента может отражать изменчивость, а также влияние деятельности человека на загрязнение; высокое значение CV предполагает большее антропогенное вмешательство. Коэффициент CV показывает, насколько велики отклонения в значениях концентрации редкоземельных элементов в почвах. Чем больше CV, тем больше разброс в значениях и тем менее точными являются данные. Рассчитывается по следующей формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\langle C \rangle},$$

где σ – среднеквадратичное отклонение РЗЭ, а $\langle C \rangle$ – среднее содержание РЗЭ в почве. По данным [12, с.135-137], $CV \leq 0,15$ указывает на низкую вариацию, $0,15 < CV < 0,35$ указывает на умеренную вариацию, а $CV > 0,35$ соответствует высокой вариации.



Рисунок 1. Карта с местом расположения отбора проб почв юго-восточной части Согдийской области (1. Айни; 2. Пенджикент; 3. Горно-Матчинский район; 4. Шахристан; 5. Истаравшан; 6. Девашич)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории юго-восточной части Согдийской области с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) определены содержание и диапазоны 6 редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) [7, с.93-95].

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли при помощи пакета программ Microsoft Excel. Вычисляли средние, минимальные и максимальные значения, медиану, стандартные отклонения, коэффициент вариации, асимметрию, эксцесс и коэффициенты корреляции Пирсона.

Статистико-вариационные параметры содержания редкоземельных элементов в почвах юго-восточной части Согдийской области представлены в таблице 1 и рис. 2-3. Концентрации редкоземельных элементов в почвах юго-восточной части Согдийской области изменяются в узких интервалах (табл. 1). При этом распределение РЗЭ носит равномерный характер на исследуемой территории (2,44 – 9,72%).

Максимальное содержание лантана выявлено в почвах Пенджикентского района, которое составляет 30,07 мг/кг. Диапазон изменений содержания La по нашим исследованиям в почвах юго-восточной части Согдийской области составлял от 18,2 до 30,7 мг/кг. Среднее содержание La в континентальной земной коре составляет 29 мг/кг [13, с.8]. Анализ средних содержаний La в изученных почвах показывает, что концентрации La имеют околоКларковые значения.

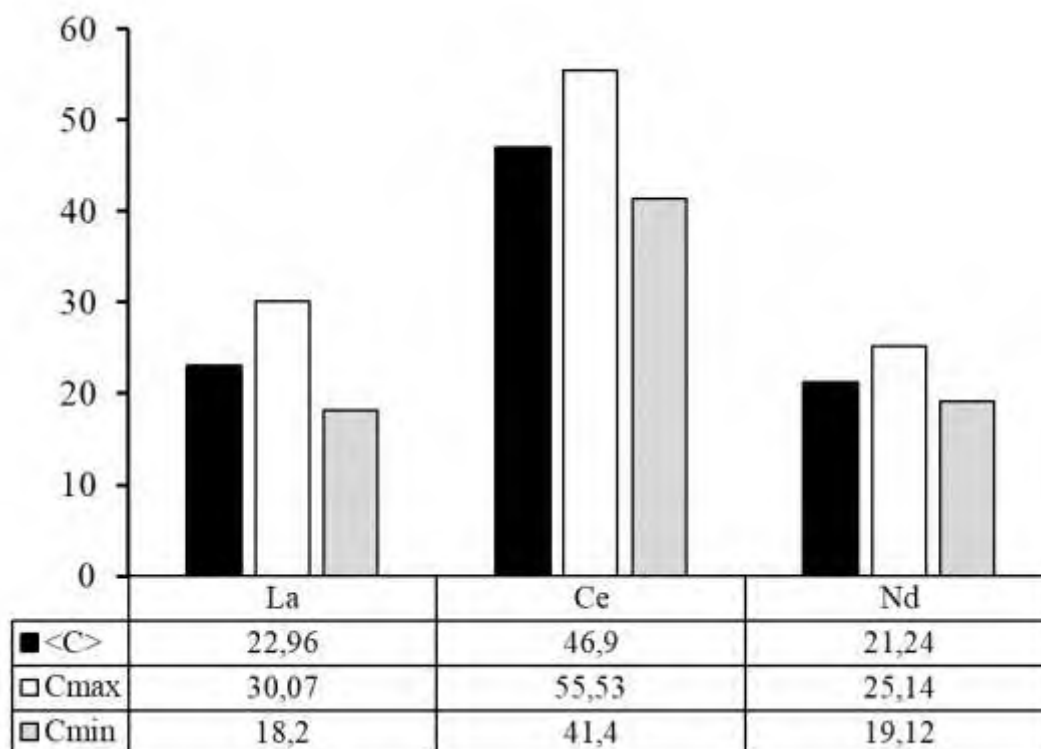


Рисунок 2. $\langle C \rangle$, $C_{\max}$, $C_{\min}$ – среднее, максимальное и минимальное содержание редкоземельных элементов в пробе

По результатам анализа проб почв установлено, что содержание РЗЭ к ряду накапливающихся элементов в исследуемых почвах не относится, т. е. не входит в него. Максимальный уровень содержания церия – 53,8 мг/кг – отмечено в Пенджикентском районе. Анализ коэффициентов вариации показал, что на территории юго-восточной части Согдийской области содержание церия однородно, значения лежат в пределах 5,5% (см. рис. 2).

Для содержания РЗЭ во всех изученных пробах почвы зафиксированы коэффициент вариации меньше 10%, это свидетельствует о незначительном рассеивании РЗЭ в почвах юго-восточной части Согдийской области. Полученные результаты показывают, что содержание редкоземельных элементов в исследованных почвах юго-восточной части Согдийской области характеризуется умеренным разбросом значений всех элементов и незначительной положительной асимметрией распределения некоторых из них.

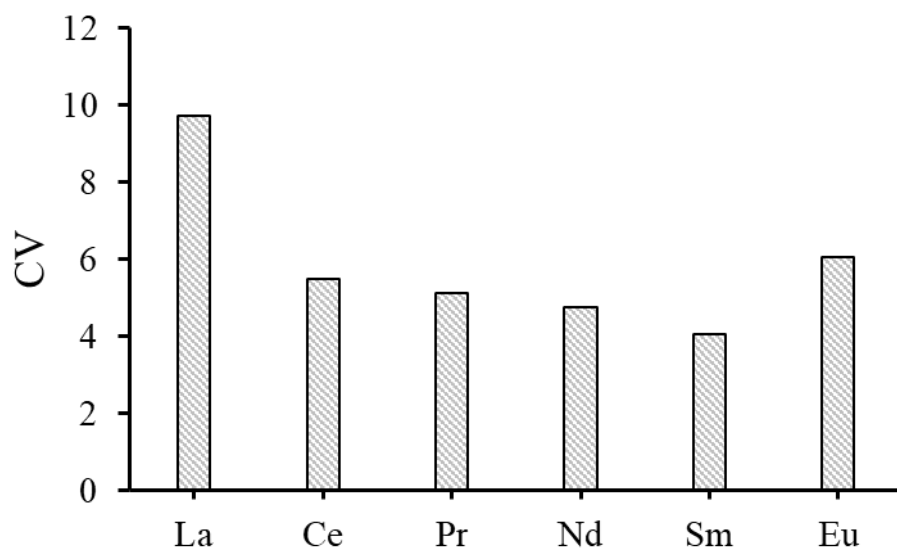


Рисунок 3. Коэффициент вариации (CV) редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) в составе проб почв

По сравнению с La, Ce и Nd в пробах почв содержание Pr, Sm, Eu, в исследованных почвах в 10 – 100 раз меньше. Коэффициенты, которые превышающие бы данные вариации, для исследуемых элементов не наблюдались.

Содержание церия в почвах юго-восточной части Согдийской области изменяется от 41,4 до 55,53 мг/кг. При общем невысоком уровне загрязнения почв церием больших концентраций этого элемента не отмечено. Установлено, что исследованные почвы характеризуются равномерным распределением Ce при среднем его содержании в почве и находятся в пределах его кларка в земной коре (см. рис 4).

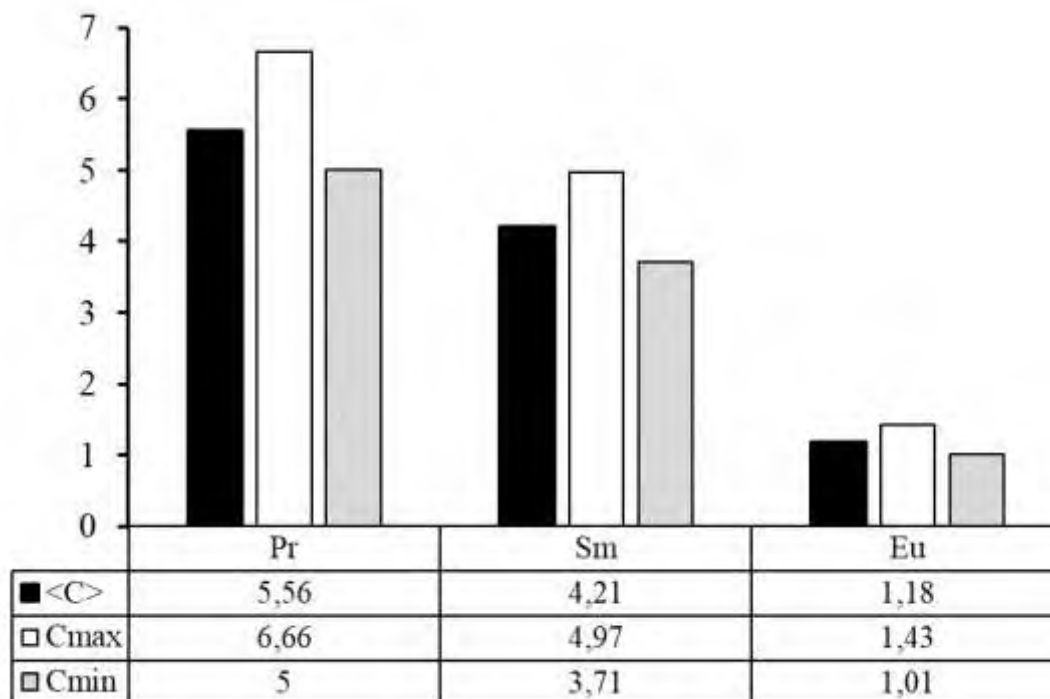


Рисунок 4. <C>, C_{max}, C_{min} – среднее, максимальное и минимальное содержание редкоземельных элементов в пробе

На основании полученных данных был составлен ряд по среднему содержанию редкоземельных элементов: $Ce_{46,9} > La_{22,96} > Nd_{21,24} > Pr_{5,56} > Sm_{4,21} > Eu_{1,18}$, при этом установлено очень близкое к кларкам земной коры содержание La и Eu, более низкое – Ce, Pr, Nd, Sm.

Таблица 1. Статистические показатели отдельных индексов в поверхностных слоях почв юго-восточной части Согдийской области

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
Минимум	18,2	41,4	5	19,1 2	3,7 1	1,01
Максимум	30,07	55,5 3	6,66	25,1 4	4,9 7	1,43
Среднее	22,96	46,9	5,56	21,2 4	4,2 1	1,18
Медиана	20,48	44,5 6	5,26	20,2 9	4,1 4	1,15
Стандартная ошибка	2,23	2,58	0,29	1,01	0,1 7	0,07
Коэффициент вариации	9,72	5,5	5,14	4,75	4,0 6	6,06
Асимметрия	0,82	0,6	0,91	1,13	1,2 5	0,39

Экссесс	-1,88	-2,06	-0,87	0,26	2,8	-1,93
---------	-------	-------	-------	------	-----	-------

В пробах почв, отобранных в юго-восточной части Согдийской области, среднее содержание лантана не достигает значения КК. Наиболее весомого обогащения La в исследуемых почвах не наблюдалось, только в двух районах отмечается аккумулярование La ($K_k > 1$).

Анализ Кларка концентрации (Кк) редкоземельных элементов в пробах почв относительно кларка земной коры показал, что во всех пробах, взятых в юго-восточной части Согдийской области, содержание La только в двух районах отмечены околоКларковые значения – в Горно-Матчинском районе – 1,02; в Пенджикентском районе – в 1,04, в остальных районах зафиксировано ниже единицы. Для Eu околоКларковые значения наблюдались тоже в двух точках отбора проб: в Горно-Матчинском районе – в 1,1 и Деваштичском районе – 1,01 в других районах отмечается ниже единицы.

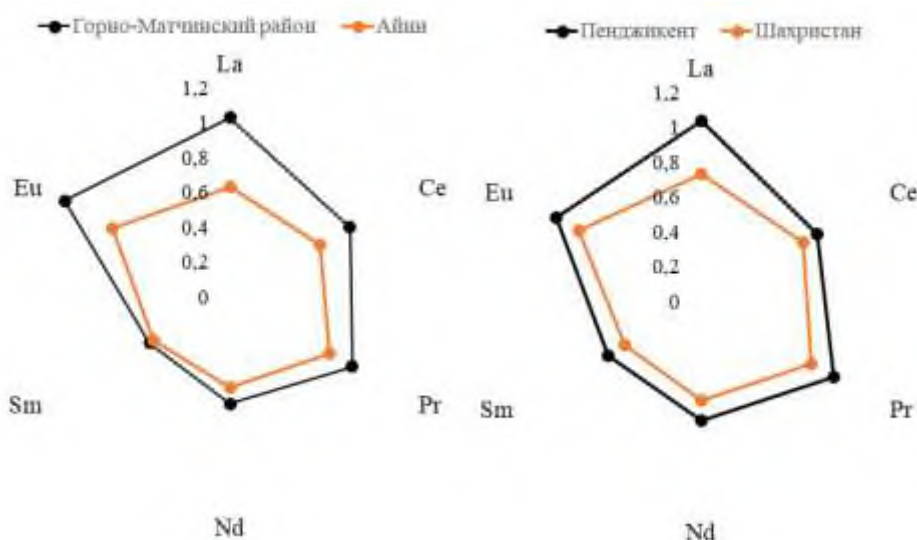


Рисунок 5. Содержания редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) относительно Кларка в земной коре (Горно-Матчинский район, Айни; Пенджикент; Шахристан)

Расчёты эколого-геохимических показателей накопления редкоземельных элементов в исследуемых почвах показали отсутствие превышения относительно Кларка земной коры, это свидетельствует о том, что рассматриваемые элементы не обогащены относительно Кларковых значений.

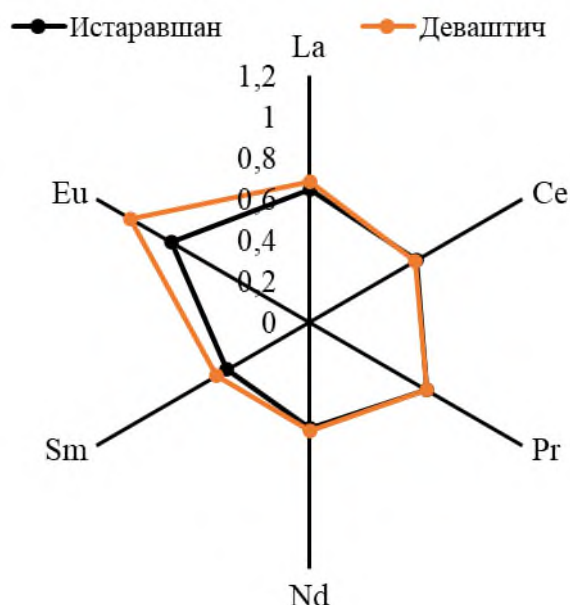


Рисунок 6. Содержания редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) относительно Кларка в земной коре (Истаравшан, Деваштич)

Содержание редкоземельных элементов в верхних слоях почвы не накапливается и не рассеивается. По мнению исследователей, в таких случаях обычно пользуются понятием «Кларк рассеяния». Значения Кларка концентрации и Кларка рассеяния позволяют выделять ряды или группы накапливающихся и рассеивающихся химических элементов.

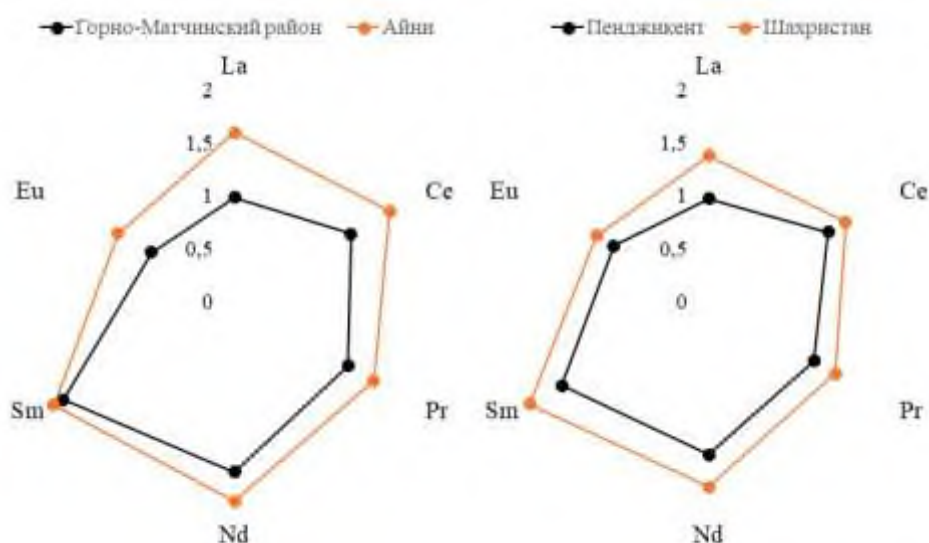


Рисунок 7. Соотношение кларка редкоземельных элементов в земной коре к его содержанию в исследуемой почве (Горно-Матчинский район, Айни; Пенджикент; Шахристан)

Определение концентрации Кларка относительно кларка в земной коре этих элементов в исследуемых почвах даёт следующие ряды элементов по тенденции накопления в почвах: $Eu_{0,91} > La_{0,79} > Pr_{0,73} > Ce_{0,67} > Nd_{0,57} > Sm_{0,53}$. Почти во всех изученных пробах почв характеризуется слабым накоплением содержания редкоземельных элементов.

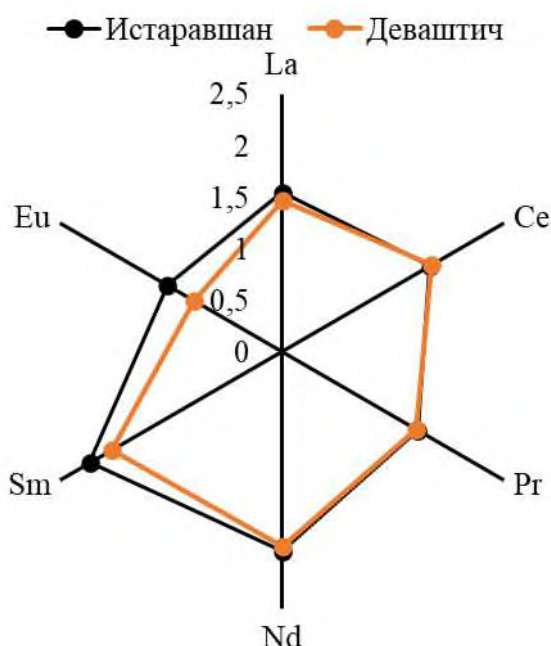


Рисунок 8. Соотношение кларка редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) в земной коре к его содержанию в исследуемой почве (Истаравшан, Деваштич)

На рис. 9 приведены коэффициенты обогащения редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) в составе проб почв, взятых в юго-восточной части Согдийской области. Рассматриваются средние за каждый район значения коэффициентов обогащения. Анализ расчёта коэффициентов обогащения в исследованных образцах показывает, что в состав проб почв на исследуемых территориях из изучаемых РЗЭ к элементам техногенного происхождения не относятся. Поскольку рассчитанные коэффициенты обогащения для РЗЭ лежат в пределах единицы или имеют значения ниже 1, то это свидетельствует об отсутствии интенсивного обогащения редкоземельных элементов в почвах рассматриваемых районов.

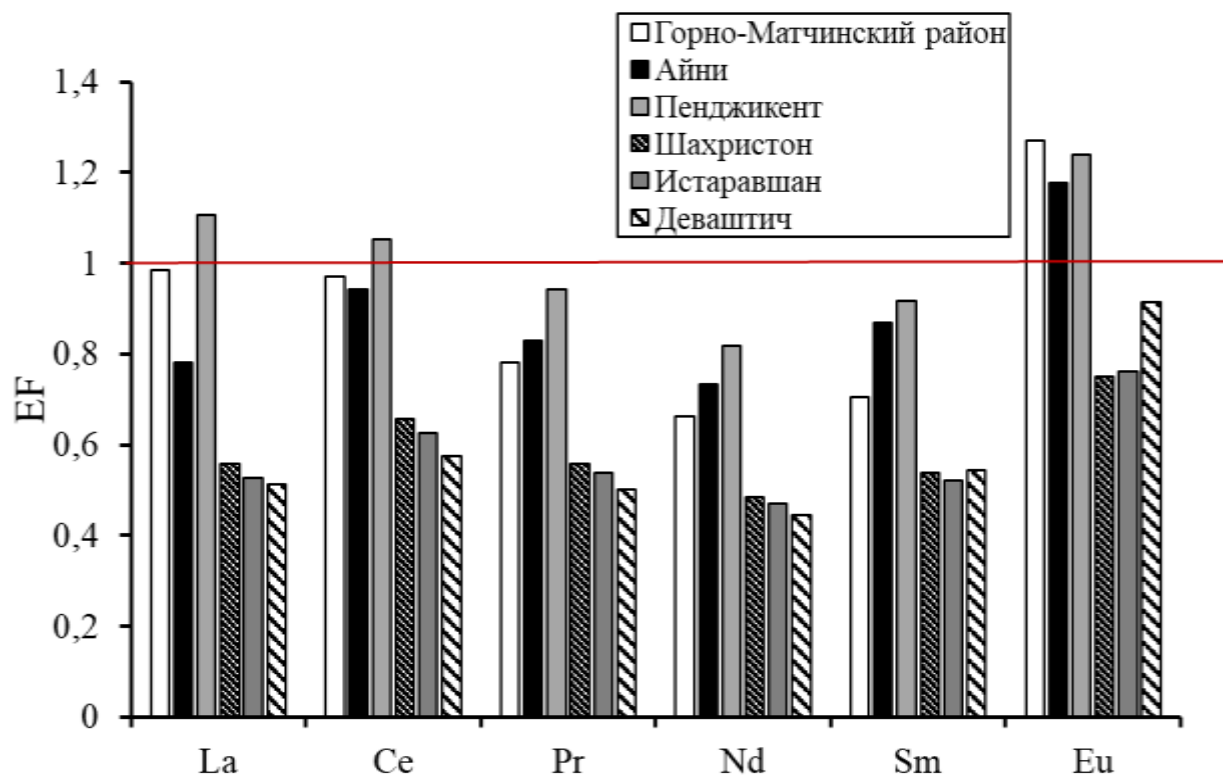


Рисунок 9. Рассчитанные величины коэффициента обогащения (EF) для редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm и Eu) в пробах почв, взятых в юго-восточной части Согдийской области

Средние значение EF для La, Ce, Pr, Nd, Sm и Eu, во всех пробах почв находятся на уровне единицы, т.е., этим элементами почвы не обогащены; это говорит о том, что источники упомянутых элементов локализованы.

В табл. 2 представлены рассчитанные коэффициенты корреляции между концентрациями исследованных редкоземельных элементов в пробах почв. Нами была установлена значимая корреляционная связь между содержанием в пробах почв Ce и La ($r = 0,98$), Pr и La ($r = 0,97$), Pr и Ce ($r = 0,95$), Nd и La ($r = 0,94$), Nd и Ce ($r = 0,91$), Nd и Pr ($r = 0,99$), что указывает на их литогенное происхождение. По результатам корреляционного анализа содержания редкоземельного элемента в изученных пробах почв можно судить о природе загрязнения территории и его источнике.

Таблица 2.

Коэффициенты корреляции содержания редкоземельного элемента в почвах юго-восточной части Согдийской области

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
La	1,00	0,98	0,97	0,94	0,79	0,72
Ce		1,00	0,95	0,91	0,70	0,65
Pr			1,00	0,99	0,86	0,56
Nd				1,00	0,91	0,53
Sm					1,00	
Eu						1,00

*достоверно при $P = 0,95$

Выводы

- представленные в работе результаты мониторингового исследования на основе полученного фактического материала впервые послужили информационной базой по элементному составу почв для многофакторной экологической оценки качества почв в юго-восточной части Согдийской области;
- в верхних горизонтах изученных почв, взятых в юго-восточной части Согдийской области, редкоземельные элементы не накапливаются, что свидетельствует об их слабом участии в биогенной миграции и аккумуляции;
- расчётные эколого-геохимических показателей свидетельствуют об отсутствии обогащения почв редкоземельными элементами по сравнению с фоном, Кларком земной коры, что подтверждается расчётами коэффициента обогащения;
- нами было установлено, что почти между всеми исследуемыми элементами имеется значимая корреляционная связь.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Артеменков, А. А. Содержание редкоземельных элементов в почвах техногеохимических аномалий / А. А. Артеменков // Экологическая химия. – 2020. – Т.29. – №2. – С.101–112.
2. Saleem, H. A. Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries / H. A. Saleem // Resources. – 2014. – Vol.3(1). – P.123-134; <https://doi.org/10.3390/resources3010123>
3. Барановская, Н.В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области / Н.В.Барановская, Е. В. Агеева, Б.Р. Соктоев, Д.В. Наркович, О.А. Денисова, Т.В. Матковская //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. -Т. 331.- №2.- С. 17-28.
4. Дорохова, Л.А. Редкоземельные элементы и формы их нахождения в пылевых выпадениях на поверхности листьев тополя как индикаторы геологической среды и техногенеза / Л.А. Дорохова, Д.В. Юсупов, Л.П. Рихванов, А.Ф. Судыко, Н.В. Барановская, В.И. Радомская, Л.М. Павлова// Разведка и охрана недр.- №12- 2020. – С. 57-66.

5. Водяницкий, Ю.Н. Геохимическое фракционирование лантаноидов в почвах и горных породах (обзор литературы) / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. - 2012.- №1. – С. 69–81.
6. Пупышев, А. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов / А. Пупышев, В. Суриков // Изд-ва ЛАМБАРТ. 2012. – 397 с.
7. Шафигуллина, Г.Т. Геохимические характеристики техногенных почв горнопромышленных ландшафтов южного Урала / Г.Т. Шафигуллина, В.Н.Удачин, К.А.Филиппова, П.Г.Аминов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – Т.20. – №4. – С.93–101.
8. Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination / M. Barbieri // Journal of Geology & Geophysics. – 2016. – V. 5 – №1. – P. 1-14.
9. Poh, S-C. The common pitfall of using Enrichment Factor in assessing soil heavy metal pollution / S-C. Poh, N.Tahir // Malaysian Journal of Analytical Sciences. – 2017. – V. 21. – №1. – P.52–59.
10. Ковальчик, Н.В. Распространённость и виды миграции химических элементов / Н.В. Ковальчик, Л.И. Смыкович, А. А. Карпиченко // Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие. – Минск. – БГУ. – 2017. – 112 с.
11. Исаков, В.Ю. Микробиогенные элементы в системе «порода-почва-растение» на лугово-оазисных почвах западной Ферганы / В.Ю. Исаков, М.Ю. Исаков, У.В. Мукумжонов // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. – 2022. – 9(99). – С.45–50.
12. Халифаева, Ш.Х. Статистический анализ тяжёлых металлов в пыли города Душанбе и Айваджа / Ш.Х.Халифаева, С.Ф.Абдуллаев, Д.С.Шерматов, В.А. Маслов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – №1. – 2023. – С.133-148.
13. Петренко, Д.Б. Редкоземельные элементы в окружающей среде: концентрации, особенности геохимической миграции и методы определения (обзор) / Д. Б. Петренко, К. Г. Ерофеева, О. И. Окина // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. – С. 6-16.

REFERENCES:

1. Artemenkov, A. A. Content of rare earth elements in soils of technogeochemical anomalies / A. A. Artemenkov // Ecological chemistry. – 2020. – Т.29. – No. 2. – P.101–112.
2. Saleem, H. A. Social and Environmental Impact of the Rare Earth Industries / H. A. Saleem // Resources. – 2014. – Vol.3(1). – P.123-134; <https://doi.org/10.3390/resources3010123>
3. Baranovskaya, N.V. Rare earth and radioactive (Th, U) elements in the components of the natural environment in the Tomsk region / N.V. Baranovskaya, E. V. Ageeva, B.R. Soktoev, D.V. Narkovich, O.A. Denisova, T.V. Matkovskaya // News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. 2020. -Т. 331.- No. 2.- P. 17-28.
4. Dorokhova, L.A. Rare earth elements and forms of their occurrence in dust deposits on the surface of poplar leaves as indicators of the geological environment and technogenesis / L.A. Dorokhova, D.V. Yusupov, L.P. Rikhvanov, A.F. Sudyko, N.V. Baranovskaya, V.I. Radomskaya, L.M. Pavlova // Exploration and protection of subsurface resources. - No. 12 - 2020. – P. 57-66.
5. Vodyanitsky, Yu.N. Geochemical fractionation of lanthanides in soils and rocks (literature review) / Yu.N. Vodyanitsky // Soil science. - 2012.- No. 1. – P. 69–81.
6. Pupyshev, A. Mass spectrometry with inductively coupled plasma. Formation of ions / A. Pupyshev, V. Surikov // LAMBART Publishing House. 2012. – 397 p.
7. Shafigullina, G.T. Geochemical characteristics of technogenic soils in mining landscapes of the southern Urals / G.T. Shafigullina, V.N. Udachin, K.A. Filippova, P.G. Aminov // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. – 2015. – Т.20. – No. 4. – P.93–101.
8. Barbieri, M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination / M. Barbieri // Journal of Geology & Geophysics. – 2016. – V. 5 – No1. – P. 1-14.
9. Poh, S-C. The common pitfall of using Enrichment Factor in assessing soil heavy metal pollution / S-C. Poh, N.Tahir // Malaysian Journal of Analytical Sciences. – 2017. – V. 21. – No 1. – P.52–59.
10. Kovalchik, N.V. Prevalence and types of migration of chemical elements / N.V. Kovalchik, L.I. Smykovich, A. A. Karpichenko // Workshop on geochemistry: educational method. allowance. – Minsk. - BSU. – 2017. – 112 p.

11. Isakov, V.Yu. Microbiogenic elements in the «rock-soil-plant» system on meadow-oasis soils of western Fergana / V.Yu. Isakov, M.Yu. Isakov, U.V. Mukimzhonova // *Universum: chemistry and biology: electron. scientific magazine* – 2022. – 9(99). – P.45–50.
12. Khalifaeva, Sh.Kh. Statistical analysis of heavy metals in the dust of the city of Dushanbe and Ayvadzha / Sh.Kh.Khalifaeva, S.F.Abdullaev, D.S.Shermatov, V.A. Maslov // *Bulletin of the Tajik National University. Natural Sciences Series.* – No. 1. – 2023. – P.133-148.
13. Petrenko, D.B. Rare earth elements in the environment: concentrations, features of geochemical migration and methods of determination (review) / D. B. Petrenko, K. G. Erofeeva, O. I. Okina // *Theoretical and Applied Ecology.* 2022. No. 1. – P. 6-16.