

Геохимические особенности накопления химических элементов в тканях овец различных регионов Казахстана и Германии

Гулмира Асылбекова, Бибигуль Жумабекова*, Салтанат Кабиева, Валентина Алиясова, Айбар Нуkenов

Павлодарский педагогический университет им. Әлкей Марғұлан,
Павлодар, Казахстан; assylbekovag@mail.ru,
zhumabekovab@ppu.edu.kz, saltanatkabieva7@gmail.com,
aliyassovavn@teachers.ppu.edu.kz, Nukenovas@pspu.kz,
*Корреспонденция: zhumabekovab@ppu.edu.kz

Цитирование: Асылбекова, Г., Жумабекова, Б., Кабиева, С., Алиясова, В., Нуkenов, А. (2026). Геохимические особенности накопления химических элементов в тканях овец различных регионов Казахстана и Германии. *Journal of Ecology and Sustainability*, 156(3), 7-29.
<https://doi.org/10.32523/zh0faa50>

Академический редактор:
А. Зандыбай

Поступила: 21.03.2026
Исправлена: 17.09.2026
Принята: 22.09.2026
Опубликована: 30.09.2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Аннотация. Известно, что живые организмы являются динамичным компонентом ландшафта, которые реагируют на происходящие изменения и колебания экологических факторов в окружающей среде. Высокие концентраций химических элементов в атмосфере приводят к трансформации живых организмов, в том числе к изменениям метаболизма и структуры тканей. В статье представлены результаты сравнительного исследования особенностей накопления и распределения геохимических элементов в тканях пищеварительной системы пастбищных овец с целью использования их в качестве биоиндикаторов экологического состояния территорий Казахстана и Германии. Особое внимание уделялось выявлению различий в концентрациях элементов в зависимости от географического положения и влияния антропогенной нагрузки на окружающую среду. В качестве объектов исследования были использованы ткани желудка пастбищных животных (овец) с 10 районов Павлодарской области (Казахстан), а также для сравнения дополнительно отобраны образцы биоматериала с Абайской области (Казахстан) и г. Нордхорн (Германия). Геохимическая спецификация показала техногенный характер накопления тяжелых элементов (цинк, хром и др.) на промышленных территориях Павлодарской области. Биоматериалы с Абайской обл. имеют аномально высокие концентрации стронция, что возможно связано с историей ядерных испытаний. Нордхорн демонстрирует относительно низкие концентрации большинства элементов, за исключением цинка. Таким образом, овцы выступают эффективными биоиндикаторами локальных ландшафтно-геохимических аномалий, отражая как природные, так и антропогенные особенности территории. Максимальное накопление элементов зависит от удаленности от промышленного центра, а также от особенностей ландшафта и условий питания животных. Результаты подтверждают целесообразность использования сельскохозяйственных животных в качестве биоиндикаторов при оценке экологического состояния территорий различного уровня техногенной нагрузки и могут служить основой для дальнейшего мониторинга и экологической экспертизы.

Ключевые слова: биогеохимия; биоиндикация; геохимический анализ; оценка окружающей среды; пастбищные овцы; экологический мониторинг; экологическая токсикология

1. Введение

Антропогенную нагрузку на окружающую среду можно оценить с помощью изменений любого живого организма. Физико-химические факторы, а также воздействие химических соединений оказывают негативное воздействие на среду. А биоиндикаторы дают точную, интегральную картину, которая учитывает и те «сбросы» загрязнителей, которые могла пропустить, просмотреть контрольная экологическая служба, периодически проводящая замеры параметров среды.

Традиционные подходы к экологическому мониторингу, основанные на периодических замерах физико-химических параметров среды, не всегда позволяют получить интегральную картину загрязнения, поскольку они могут пропускать разовые или малозаметные «сбросы» поллютантов. В этой связи все большее признание получают методы биоиндикации, использующие ответные реакции живых организмов как чувствительные индикаторы суммарного антропогенного воздействия (Assylbekova et al., 2015; Baikenova et al., 2020; Baranovskaya, 2024). Согласно концепции «доза–эффект», биологические системы прямо или косвенно отражают характер и степень загрязнения, что делает их незаменимыми инструментами экологической диагностики (Ewa et al., 2023; Kabbasova et al., 2020; Wang, 2024; Yerzhanova, 2025).

Антропогенная трансформация природной среды, в т.ч. ее химическое загрязнение, неизбежно ведет к деформации этих обменных процессов, прежде всего, за счет избирательного накопления химических элементов отдельными компонентами экосистем и изменения их продуктивности (Alekseenko, 2014; Bezel, Zhuikova, 2019; Toleuova, 2025).

В связи с развитием высокочувствительных методов определения микроэлементного состава природных сред, стало возможным проанализировать и исследовать широкий спектр химических элементов (Носкова, 2025). Одним из таких методов является высокочувствительный ядерно-физический инструментальный метод нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с облучением тепловыми нейтронами. ИНАА обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами. В данном методе отсутствует химическая подготовка пробы, что исключает погрешности за счет привноса или удаления элементов вместе с реактивами (Rikhvanov et al., 2015).

Антропогенные загрязняющие вещества – токсиканты – включаются в миграционные процессы и оказывают негативное влияние на биотическую составляющую природной среды (Albertos et al., 2021; Aubakirova et al., 2023; Durkalec et al., 2022; Kalisińska et al., 2019; Satkanova et al., 2024). Одним из наиболее значимых в биосфере факторов антропогенного происхождения является загрязнение различных сред. Степень воздействия загрязняющих веществ на экосистему в значительной степени зависит от формы нахождения химических элементов, определяющей токсичность, биодоступность, миграционную способность их соединений (Ermakov, 2023; Ricki E., 2017).

Традиционные подходы к экологическому мониторингу, основанные на периодических замерах физико-химических параметров среды, не всегда позволяют получить интегральную картину загрязнения, поскольку могут пропускать разовые или малозаметные «сбросы» поллютантов. В этой связи всё большее признание получают методы биоиндикации, использующие ответные реакции живых организмов как чувствительные индикаторы суммарного антропогенного воздействия (Amirgalina et al., 2026).

В качестве объекта биоиндикации в настоящем исследовании выбраны пастбищные овцы - животные, которые на протяжении всего жизненного цикла находятся в тесной и длительной связи с почвой, растительностью, водой и атмосферным воздухом. Благодаря этому их ткани аккумулируют химические элементы, отражая как природный геохимический

фон, так и уровень техногенной нагрузки. Ткани пищеварительной системы овец представляют особый интерес, поскольку именно через них происходит первичный контакт организма с загрязнителями, поступающими с кормом и водой.

Ранее выполненные исследования в Казахстане были сосредоточены преимущественно на оценке содержания тяжёлых металлов в органах и тканях сельскохозяйственных животных. В частности, для региона Восточного Казахстана (Оскемен) были получены данные о высоких концентрациях кадмия, свинца и цинка в кормах и органах крупного рогатого скота, лошадей и овец, причём овцы демонстрировали более низкие уровни накопления по сравнению с лошадьми и крупным рогатым скотом (Alma A. et al., 2000). Для территорий, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону, изучалось накопление радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr) в организме сельскохозяйственных животных, а также аминокислотный состав мяса (Serikova et al., 2025). В Германии, в частности в Северном Пфальце, проводились биомониторинговые исследования овец на территориях с повышенным содержанием ртути, мышьяка и сурьмы, где было выявлено значимое накопление ртути в шерсти, но не обнаружено генотоксических эффектов (Thomas Gebel et al., 1996).

Целью данного исследования было изучение и оценка накопления геохимических элементов в тканях пищеварительной системы пастбищных овец для использования их в качестве биоиндикаторов экологического состояния территорий Казахстана и Германии. Ожидается, что результаты позволят выявить характерные элементы-маркеры для каждого типа антропогенной нагрузки, определить степень трансформации биогеохимических циклов в исследуемых регионах и обосновать параметры экологического нормирования с учетом региональных геохимических особенностей.

В работе впервые проводится сравнительный анализ микроэлементного состава пищеварительных органов овец из трех контрастных по генезису загрязнения территорий (промышленный, радиационный и постиндустриальный) с использованием высокочувствительного метода ИНАА. Новизна исследования заключается также в системном подходе к оценке биоиндикационной значимости не только печени или почек, но и различных отделов желудочно-кишечного тракта, что позволяет проследить пути миграции поллютантов в трофической цепи. Полученные данные расширят представления о региональных геохимических особенностях живых организмов и создадут диагностическую базу для экологического нормирования территорий с различной антропогенной трансформацией, что имеет как фундаментальное, так и прикладное значение для биогеохимической экологии и природоохранной практики.

2. Материалы и методы

В настоящем исследовании в качестве биоиндикаторов были выбраны пастбищные овцы, широко распространённые в изучаемых регионах и характеризующиеся стабильным рационом и ограниченной миграционной активностью, что позволяет рассматривать их ткани как надежный индикатор региональной геохимической обстановки.

Исследование проводилось на территории Казахстана и Германии, что позволило осуществить сравнительный анализ накопления химических элементов в условиях различного природно-климатического фона и уровня антропогенной нагрузки. В Казахстане участками исследования стали Павлодарская и Абайская области, существенно различающиеся по геолого-геохимическим условиям и истории техногенного воздействия. В Германии исследование проводилось на территории г. Нордхорн, где отсутствуют крупные промышленные предприятия и источники комплексного загрязнения атмосферы.

Отбор биоматериала осуществлялся в 29 населённых пунктах семи районов Павлодарской области – Успенского, Иртышского, Баянаульского, Майского, Щербактинского, Теренкольского и Павлодарского, включая города Павлодар, Экибастуз и Аксу. Выбор данных точек обусловлен неоднородностью техногенной нагрузки и необходимостью охвата как индустриальных, так и преимущественно сельскохозяйственных территорий.

Для расширения диапазона сравнительного анализа и выявления возможных геохимических аномалий, связанных с историческим техногенным воздействием, в исследование была включена Абайская область с. Калбатау (Казахстан), территория которой характеризуется особой экологической ситуацией, сформировавшейся под влиянием ядерных испытаний Семипалатинского полигона. В качестве контрольного и сравнительного зарубежного региона был выбран город Нордхорн (Нижняя Саксония, Германия), расположенный в зоне интенсивного сельскохозяйственного использования при относительно низком уровне промышленного загрязнения. Это позволило сопоставить уровни накопления химических элементов в тканях овец в условиях различного антропогенного давления и агроэкологических практик.

В таблице 1 приведена краткая административно-географическая характеристика районов исследования. Сводная таблица составлена на основе данных, размещённых на официальных сайтах Павлодарской и Абайской областей, а также материалов, относящихся к г. Нордхорн (Германия).

Отбор биоматериалов осуществлялся от клинически здоровых животных пастбищного содержания с соблюдением единых требований пробоотбора. С каждого пункта было отобрано не менее 5 проб биоматериала. Полученные образцы подвергались дальнейшей лабораторной обработке и анализу с применением высокочувствительного метода определения элементного состава – инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), который является весьма эффективным для определения в биоте редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, на базе исследовательского ядерного реактора. Преимущества его использования для биологических объектов отмечали различные авторы (Tjioe, 1977).

Инструментальный нейтронно-активационный анализ с облучением тепловыми нейтронами был проведен на Томском исследовательском ядерном реакторе ИРТ – Т в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры полезных ископаемых и геохимии редких элементов Национального исследовательского Томского политехнического университета (Томск, Россия). В этом методе анализа сигнал снимается с ядер химических элементов, поэтому физическое состояние пробы не влияет на результат. Это позволило определить широкий спектр элементов в золе биоматериала. Влияние изменения состава матрицы пробы определяется лишь интерферирующими и нейтронно-поглощающими элементами. Поэтому в методах нейтронно-активационного анализа с успехом применяется один СОС (стандартный образец сравнения) для различных объектов исследования.

Процессы поглощения микроэлементов из окружающей среды связаны в первую очередь с основным источником их поступления в растения – с почвой, а также с поступлением химических элементов (ХЭ) из атмосферы. Поэтому химический состав растений часто отражает химический состав среды обитания (Muhammad, 2024; Ermakov, 2023; Panichev et al., 2025).

Микроэлементный состав растительности ярко отражает особенности окружающей среды – как природной ее составляющей, так и техногенного фактора. Комплексный подход к изучению микроэлементного состава растений позволяет использовать их в экологии при оценке воздействия предприятий на окружающую среду (Baranovskaya, 2024).

Полученные данные обрабатывались с использованием программы STATISTICA 9. Рассчитывались среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD), коэффициент вариации (V, %), минимальные и максимальные значения (min...max). Для сравнения групп применялся корреляционный анализ (коэффициент Пирсона, $r_{0,05} = 0,63$). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$

Таблица 1. Административно - географическая характеристика районов исследования

Районы	Географическое положение	Направление сельского хозяйства
Иртышский	Северно-западная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация района молочное животноводство, зерновое хозяйство. Выращивается просо, гречиха, подсолнечник, производится мясо, шерсть, мелкое кожсырьё.
Майский	Юго-восточная часть Павлодарской области	Основное направление хозяйства района - животноводческое. Наличие огромных массивов ковыльно-типчаковых кормовых угодий определило ведущее значение овцеводства в животноводческом хозяйстве района.
Баянаульский	Юго-западная часть Павлодарской области	Район имеет животноводческое направление: выращивание мясных пород крупного рогатого скота, овцеводство (полугрубошерстное), коневодство (табунное, местные казахские породы). Земледелием занимаются в основном в южной части района, где почвы более плодородны. Имеется 5414 личных подворий.
Железинский	Северная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация в районе: зерновое хозяйство (пшеница), молочное животноводство, выращивается просо, гречиха, подсолнечник, производится мясо, мелкое кожсырьё.
Качирский (Теренколь)	Северная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация района: молочное и мясомолочное животноводство, зерновое хозяйство. Выращивается пшеница, просо, гречиха, подсолнечник, производится мелкое кожсырьё.
Лебяжинский (Аккулы)	Юго-восточная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация района: овцеводство, табунное коневодство, производство шерсти, бахчеводство. Выращивается пшеница, просо, гречиха, подсолнечник, производится мясо, молоко, мелкое кожсырьё. Основное направление хозяйство - животноводство.
Успенский	Северо-восточная часть Павлодарской области	Основное хозяйственное направление района - сельскохозяйственное производство, преимущественно выращивание зерновых культур
Павлодарский	Северо-восточная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация района: мясомолочное животноводство, птицеводческое. Выращивается пшеница, просо, гречиха, подсолнечник, сахарная свекла.
Актогайский	Северо-западная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация района: молочное животноводство, зерновое хозяйство. Выращивается подсолнечник, выделяется мелкое кожсырьё (овчины).
Щербактинский	Восточная часть Павлодарской области	Сельскохозяйственная специализация района молочное животноводство, зерновое хозяйство. Выращивается просо, гречиха, подсолнечник, производится мясо, шерсть, мелкое кожсырьё.
с. Георгиевка (Калбатау)	Жарминский район Абайской области	Животноводство и растениеводство. Зарегистрировано множество крестьянских хозяйств, которые занимаются смешанным сельским хозяйством - разведением скота и обработкой пашни.
г. Нордхорн, Германия	Нижняя Саксония Германии	Сельские районы фермерских полей, зеленые луга и пастбища, расположенных в пригородных зонах.

3. Результаты

Павлодарская область представляет собой классический пример региона с хроническим, масштабным и атмосферно-зависимым загрязнением. Область является одним из наиболее развитых в экономическом отношении регионов Республики Казахстан, имеющий

стратегическое значение для всей страны. Базовыми отраслями экономики Павлодарской области являются горнодобывающая, нефтеперерабатывающая и химическая промышленность, черная и цветная металлургия, энергетика. Одной из основных экологических проблем Павлодарского региона остается загрязнение атмосферного воздуха. Ведущими источниками загрязнения являются тепловые электростанции, использующие технологию сжигания высокозольных Экибастузских углей. Это приводит к повышенным выбросам золы через дымовые трубы. В области насчитывается более 7000 источников выбросов, которые загрязняют атмосферу вредными веществами (Unified Environmental Internet Resource of the Ministry of Ecology, 2022).

Расположенный в Павлодарской области Майский район, как и село Георгиевка (Калбатау) Абайской области (бывшая Семипалатинская область), входили в зону влияния Семипалатинского испытательного полигона, который функционировал с 1949 по 1990 годы. Воздействие радиационного фактора на живые организмы в этом регионе привело к значительной антропогенной трансформации, которая по степени нарушений, масштабам и длительности восстановления превосходит последствия других факторов (Sultanova, 2000).

В отличие от Павлодара, где действующие ТЭЦ и металлургические заводы постоянно выбрасывают в атмосферу широкий спектр тяжелых металлов, в Нордхорне (Германия) нет крупных промышленных источников комплексного загрязнения атмосферы. Имея историю индустриального наследия: здесь расположен бывший промышленный комплекс, в Нордхорне были применены инновационные технологии очистки почв от тяжелых металлов с использованием биоремедиации (Burdens. Environmental pollution, <https://nordhorn-range-mussweg.de/nordhorn-range/belastungen>).

В результате проведенного исследования был получен массив данных о содержании химических элементов в тканях овец, отобранных на территории Павлодарской и Абайской областей Республики Казахстан, а также в городе Нордхорн (Нижняя Саксония, Германия). Анализ позволил установить количественные показатели накопления микро- и ультрамикроэлементов, включая щелочные, щелочноземельные, редкоземельные и тяжелые металлы, а также элементы с потенциально токсичными свойствами.

На территории Павлодарской области наблюдается достаточно неравномерное распределение всех химических элементов по данным изучения ткани желудка домашних животных (пастбищных овец). В таблице 2 представлены статистические параметры распределения химических элементов в тканях желудка.

Таблица 2. Вариационно-статистические показатели содержания химических элементов в тканях желудка пастбищных овец Павлодарской области

Элементы, мг/кг	$\frac{X \pm \lambda}{\min \dots \max}$	V, %	Элементы, мг/кг	$\frac{X \pm \lambda}{\min \dots \max}$	V, %
Na, %	$\frac{0,5 \pm 0,03}{0,2 \dots 0,9}$	36	La	$\frac{0,09 \pm 0,02}{0,01 \dots 0,4}$	97
Ca, %	$\frac{0,5 \pm 0,12}{0,04 \dots 2,9}$	141	Ce	$\frac{0,3 \pm 0,03}{0,06 \dots 1}$	64
Sc	$\frac{0,02 \pm 0,004}{0,0007 \dots 0,13}$	151	Nd	$\frac{0,5 \pm 0,04}{0,1 \dots 1,3}$	41

Cr	$\frac{1,2 \pm 0,3}{0,07 \dots 6}$	113	Sm	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,001 \dots 0,09}$	109
Fe, %	$\frac{0,02 \pm 0,001}{0,01 \dots 0,05}$	46	Eu	$\frac{0,004 \pm 0,0006}{0,002 \dots 0,01}$	76
Co	$\frac{0,3 \pm 0,02}{0,2 \dots 0,5}$	34	Tb	$\frac{0,009 \pm 0,001}{0,002 \dots 0,03}$	84
Zn	$\frac{99 \pm 3,8}{59 \dots 135}$	20	Yb	$\frac{0,007 \pm 0,001}{0,002 \dots 0,03}$	78
As	$\frac{2,1 \pm 1,8}{0,25 \dots 48}$	435	Lu	$\frac{0,001 \pm 0,0003}{0,0001 \dots 0,01}$	112
Br	$\frac{23 \pm 1,8}{7,1 \dots 39,4}$	40	Hf	$\frac{0,03 \pm 0,007}{0,005 \dots 0,2}$	114
Rb	$\frac{3,1 \pm 0,9}{0,2 \dots 22,4}$	143	Ta	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,004 \dots 0,04}$	111
Sr	$\frac{47 \pm 15}{10 \dots 397}$	166	Au	$\frac{0,005 \pm 0,001}{0,002 \dots 0,02}$	118
Ag	$\frac{0,07 \pm 0,01}{0,04 \dots 0,3}$	86	Th	$\frac{0,02 \pm 0,004}{0,003 \dots 0,09}$	111
Sb	$\frac{0,02 \pm 0,002}{0,001 \dots 0,04}$	68	U	$\frac{0,1 \pm 0,02}{0,008 \dots 0,5}$	88
Cs	$\frac{0,02 \pm 0,003}{0,0001 \dots 0,07}$	98	Ba	$\frac{40 \pm 14}{1,7 \dots 353}$	181

Примечание. X – среднее арифметическое значение; λ- показатели вариации; min...max – размах выборки (минимальное и максимальное значение элемента).

На основе полученных результатов коэффициента вариации все элементы разделяются на 3 группы:

< 50 % – натрий, железо, кобальт, цинк, бром, неодим, которые будут иметь однородное поле распределения (рисунок 1);

от 50 до 100 % – серебро, сурьма, церий, европий, тербий, иттербий, уран, поле распределения дифференцированно (рисунок 2);

>100 % – кальций, скандий, мышьяк, рубидий, стронций, барий, самарий, лютеций, гафний, тантал, золото, торий, поле распределения, которых сильно дифференцированно (рисунок 3).

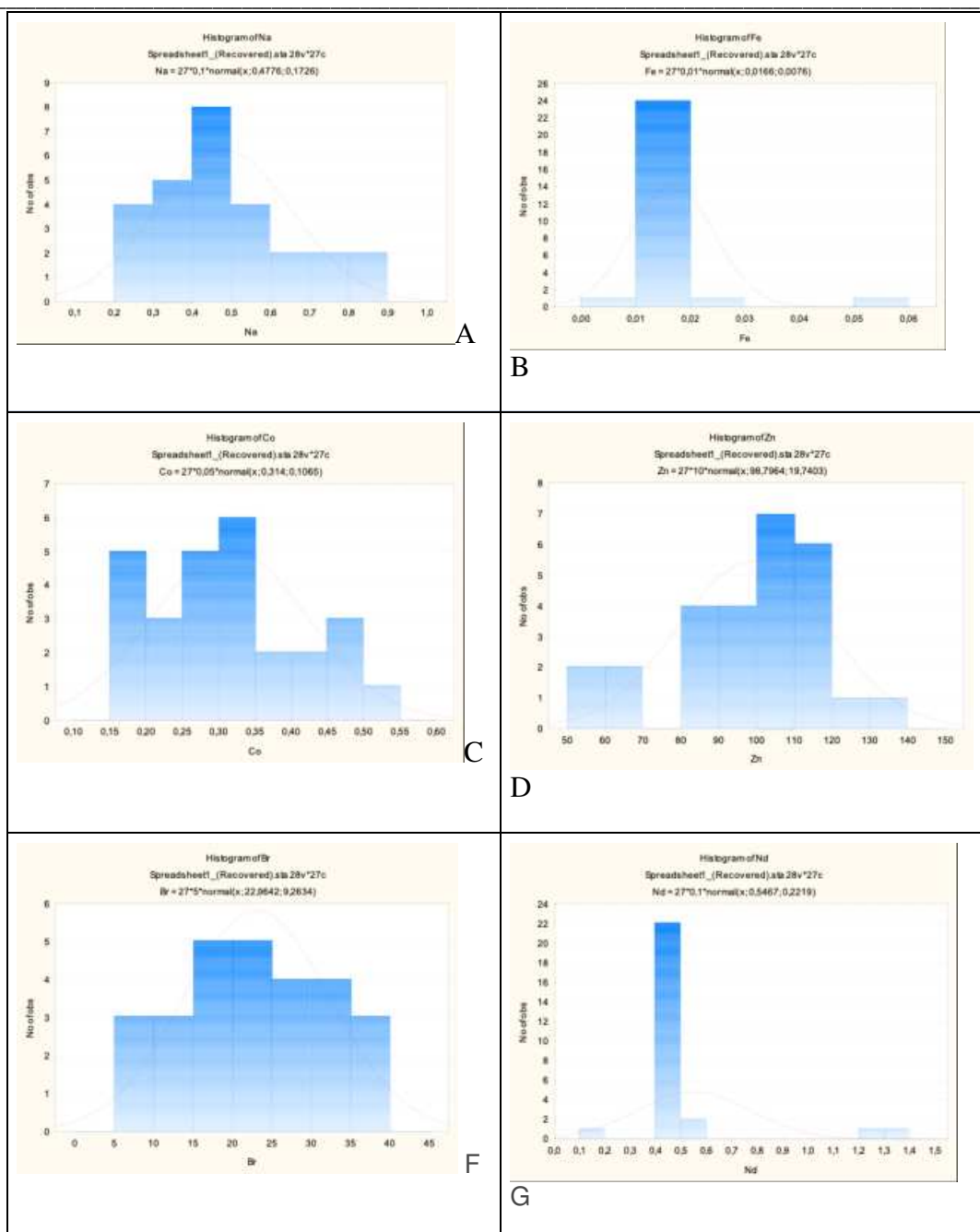
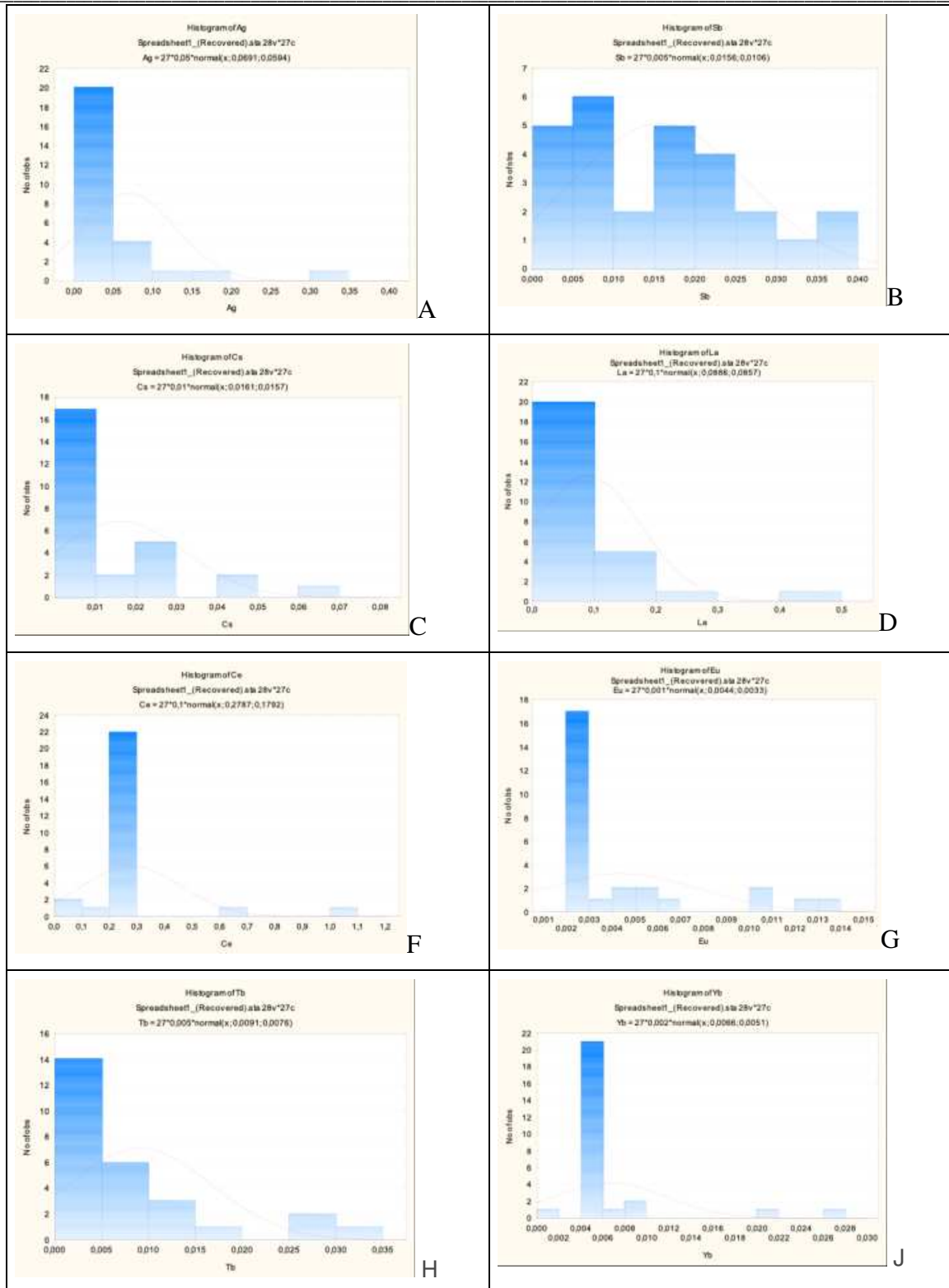


Рисунок 1. Распределение химических элементов в желудках пастбищных баранов (коэффициент вариации меньше 50) на территории Павлодарской области: А - Na, В – Fe, С- Co, D – Zn, F – Br, G – Nd



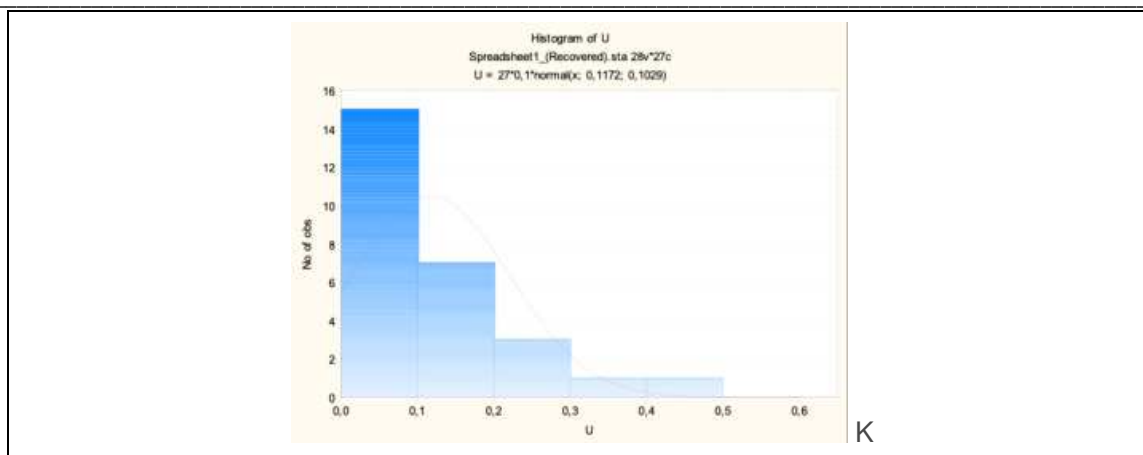
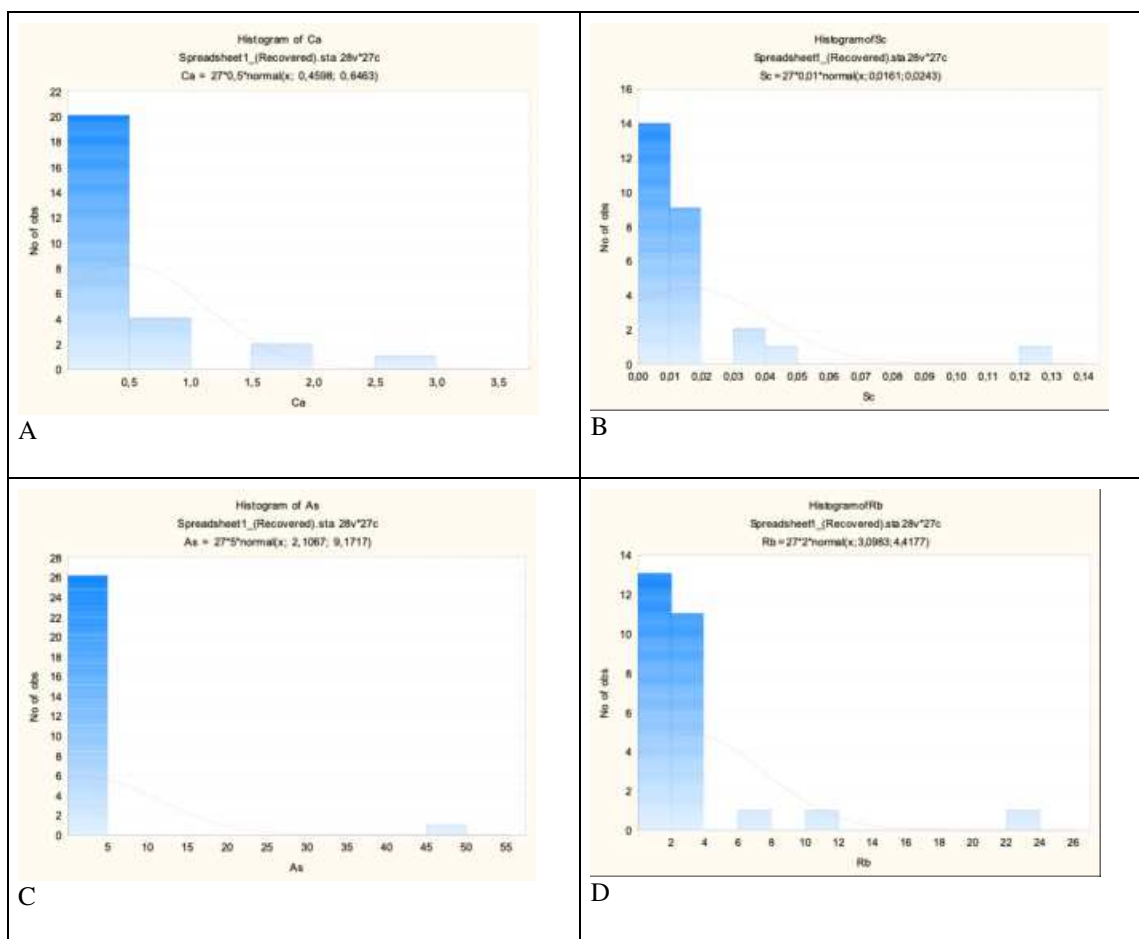


Рисунок 2. Распределение химических элементов в желудках пастбищных баранов с территории Павлодарской области (коэффициент вариации от 50 до 100), А – Ag, В – Sb, С – Cs, D- Sb, F – Ce, G –Eu, H - Tb, J - Yb, K- U.



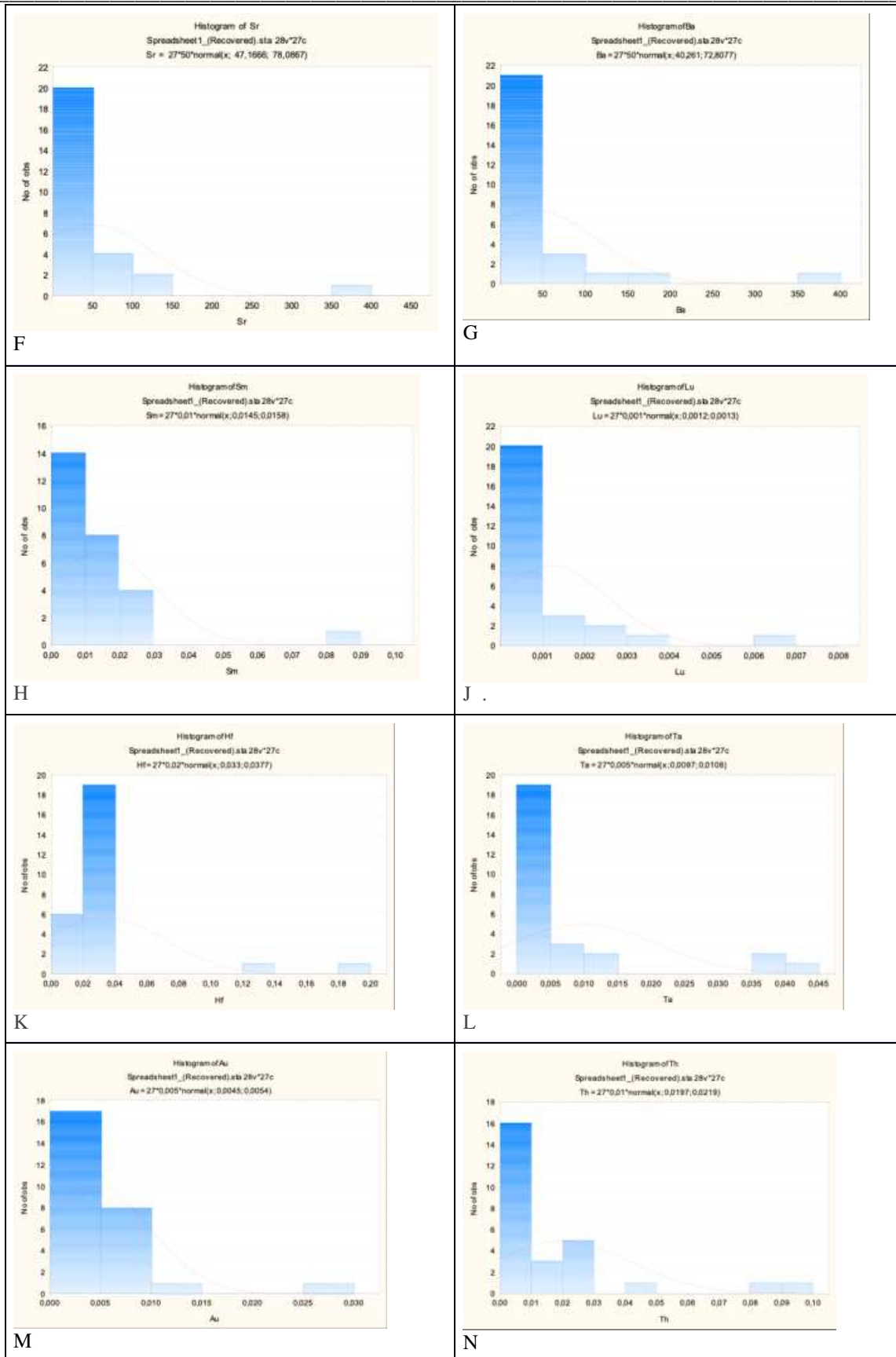


Рисунок 3. Распределение химических элементов в тканях желудках пастбищных овец с территории Павлодарской области (коэффициент вариации больше 100) А - Ca, В - Sc, С - As, D - Rb, F - Sr, G - Ba, H - Sm, J - Lu, K - Hf, L - Ta, M - Au, N - Th

Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра в тканях желудка домашних животных показало 4 группы химических элементов, образующих наиболее значимые связи (рисунки 4, 5):

- скандий с церием (0,06), самарием (0,9), иттербием (0,8), лютецием (0,8), торием (0,7);
- кальций с железом (0,7), стронцием (0,8), барием (0,9), танталом (0,6), церием (0,7);
- железо со стронцием (0,9), барием (0,9), лантаном 0,6, церием (0,9), торием (0,8);
- лантана с церием (0,7), самарием (0,8), иттербием (0,6), торием (0,8).

В основном наблюдаются сильные положительные связи и наибольшее количество с редкоземельными элементами и торием.

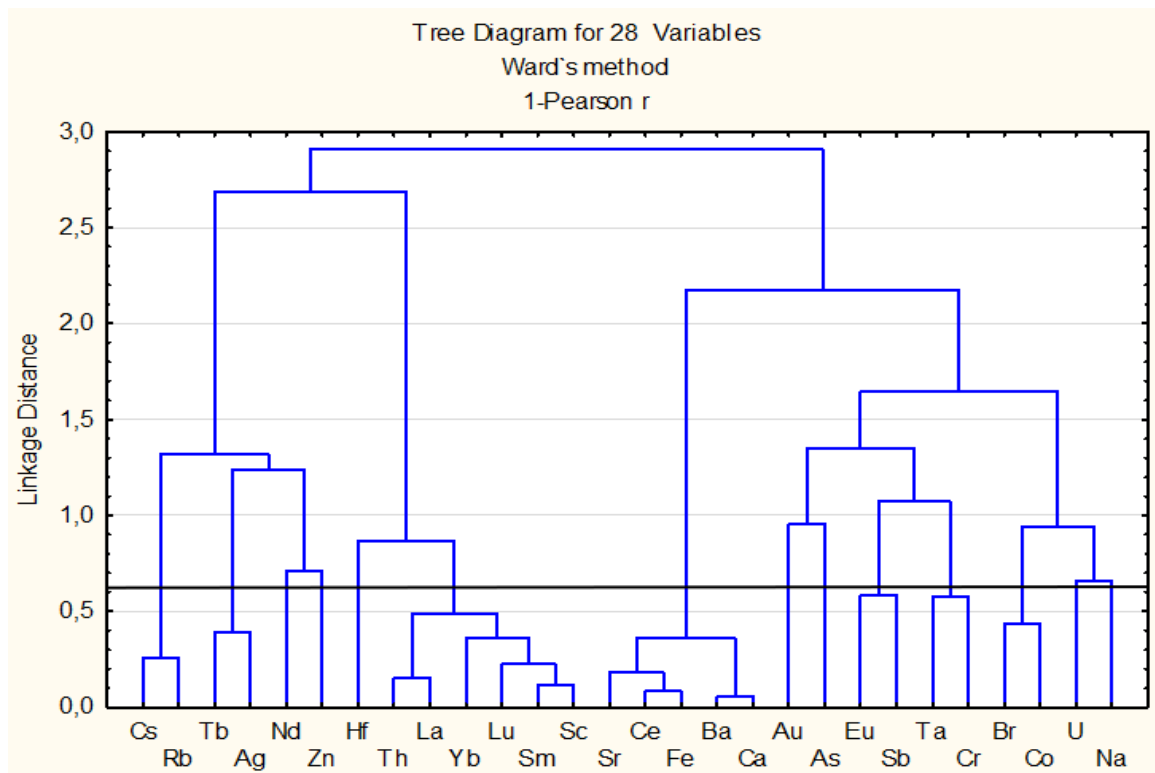
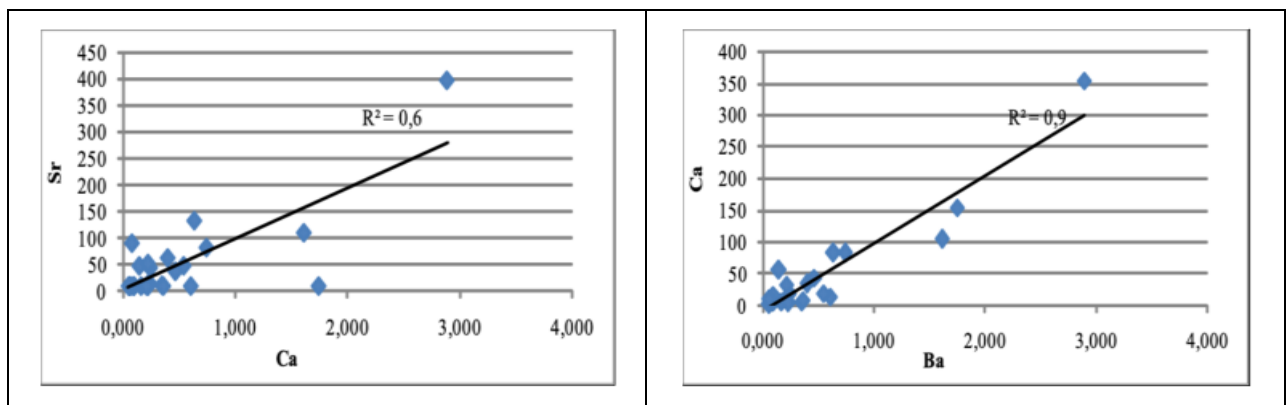


Рисунок 4. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра желудка домашних животных Павлодарской области ($1\text{-Person } r_{0,05} = 0,63$; объем выборки – 27 проб)



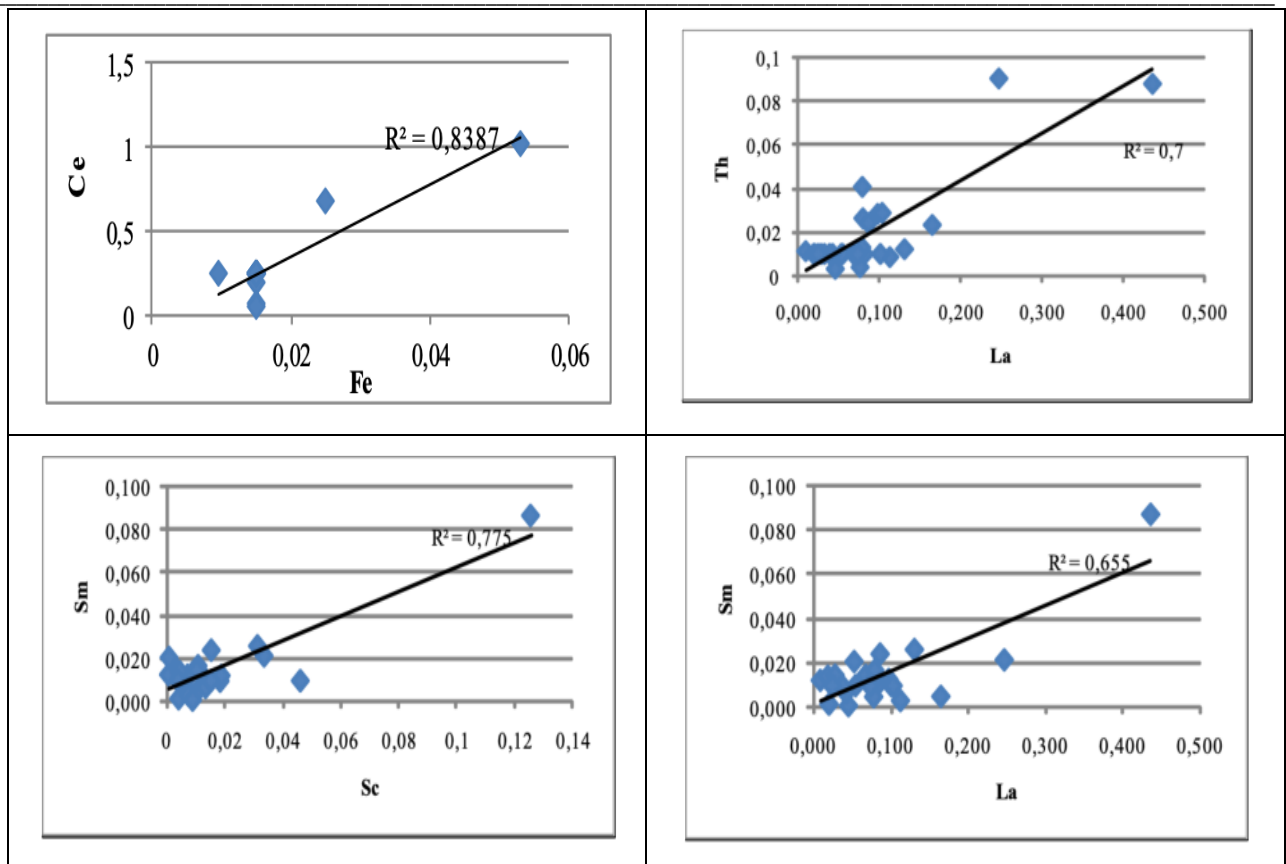


Рисунок 5. Диаграмма корреляционных связей химических элементов в желудках домашних животных с территории Павлодарской области

Полученные результаты исследования на территории Павлодарской области показали значимую корреляционную связь между тяжелыми и легкими лантаноидами (рисунок 6).

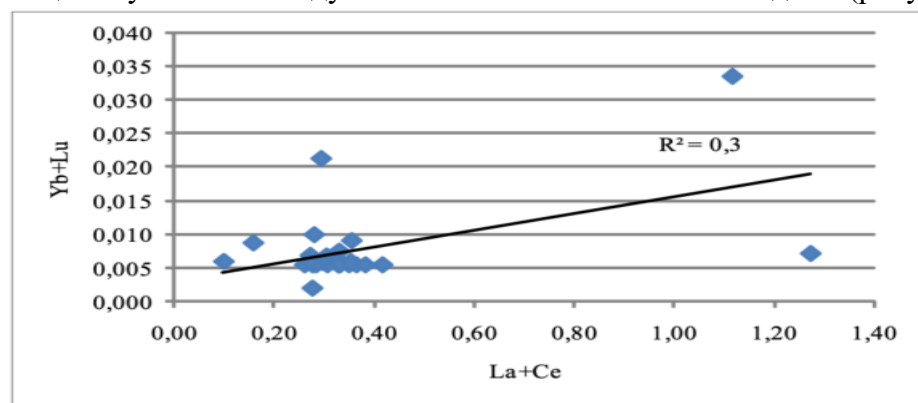


Рисунок 6. Отношение тяжелых лантаноидов к легким в желудках домашних животных на территории Павлодарской области

При сравнении полученных результатов на территории 7 районов Павлодарской области (Казахстана) было выявлено, что наиболее высокое содержание химических элементов наблюдается в тканях желудка овец с Баянаульского района (скандий, железо, кобальт, серебро, сурьма, церий, самарий, иттербий, лютеций, гафний, торий), возможно это связано с особенностью места пастбища (горная местность) (таблица 3, рисунок 7).

Таблица 3. Содержание химических элементов в желудке домашних животных районов Павлодарской области

Эл-ты мк/кг	Исследуемые районы Павлодарской области						
	Иртышский	Павлодарский	Майский	Теренкольский	Щербактинский	Баянаульский	Успенский
Na, %	0,5 ± 0,08	0,4 ± 0,05	0,6 ± 0,1	0,4 ± 0,05	0,4 ± 0,02	0,4 ± 0,07	0,9 ± 0,07
Ca, %	0,6 ± 0,3	0,7 ± 0,3	0,3 ± 0,07	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,2	0,5 ± 0,1
Sc	0,01 ± 0,004	0,01 ± 0,004	0,005±0,0009	0,008±0,005	0,01 ± 0,003	0,05 ± 0,04	0,05 ± 0,04
Cr	1,0 ± 0,3	1,7 ± 0,9	0,7 ± 0,6	0,4 ± 0,2	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,9	4,3 ± 0,7
Fe, %	0,01 ± 0,005	0,015 ± 0,001	0,02 ± 0,003	0,02 ± 0,004	0,02 ± 0,007	0,02 ± 0,003	0,01 ± 0,005
Co	0,3 ± 0,04	0,3 ± 0,04	0,3 ± 0,07	0,3 ± 0,05	0,2 ± 0,02	0,5 ± 0,02	0,5 ± 0,03
Zn	88,4 ± 8,0	105 ± 4,2	103 ± 3,0	112 ± 13,9	93,8 ± 15,3	93,8 ± 14,3	106 ± 12,7
As	0,4 ± 0,06	0,3 ± 0,06	0,3 ± 0	0,3 ± 0,08	16,3 ± 15,8	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,01
Br	27,8 ± 2,9	21,04 ± 4,4	17,8 ± 8	20,8 ± 8	21,4 ± 2,4	26,4 ± 5,2	18,4 ± 3,2
Rb	1,5 ± 0,2	4,2 ± 1,4	3,6 ± 2,6	8,5 ± 7	1,3 ± 0,6	1,8 ± 0,6	1,03 ± 0,1
Sr	73,7 ± 48,6	46,7 ± 18,2	10 ± 0	27,6 ± 17,6	34,1 ± 12,1	50,3 ± 19,2	37,6 ± 11,3
Ag	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,004	0,2 ± 0,1	0,05 ± 4,91E-18	0,05 ± 0,004	0,09 ± 0,04	0,05 ± 0,002
Sb	0,01 ± 0,005	0,01 ± 0,004	0,01 ± 0,004	0,02 ± 0,004	0,02 ± 0,006	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,007
Cs	0,009 ± 0,002	0,02 ± 0,006	0,02 ± 0,008	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,002	0,02 ± 0,005	0,005±0,0001
Ba	64,8 ± 42,1	54,8 ± 25,7	6,3 ± 1,3	15,8 ± 9,6	13,6 ± 4,3	30,5 ± 26,03	42,4
La	0,09 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,06 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,2 ± 0,1	0,1
Ce	0,3 ± 0,1	0,25 ± 0	0,3 ± 0	0,2 ± 0,06	0,2 ± 0,06	0,4 ± 0,1	0,3
Nd	0,5 ± 0,05	0,5 ± 0	0,5 ± 0,03	0,5 ± 0	0,5 ± 0	0,5 ± 0,02	1,2
Sm	0,01 ± 0,002	0,009 ± 0,004	0,01 ± 0,002	0,01 ± 0,004	0,01 ± 0,006	0,04 ± 0,02	0,01
Eu	0,003±0,0006	0,01 ± 0,002	0,003±0,0004	0,002±0,00005	0,007 ± 0,003	0,006 ± 0,002	0,004
Tb	0,006 ± 0,001	0,007 ± 0,001	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,004	0,008 ± 0,003	0,01 ± 0,009	0,005
Yb	0,007 ± 0,002	0,005 ± 0,0002	0,005 ± 0	0,005 ± 0	0,005 ± 0	0,01 ± 0,007	0,008
Lu	0,0009±0,0002	0,001 ± 0,0003	0,001±0,0003	0,001±0,0004	0,002 ± 0,001	0,003 ± 0,002	0,001
Hf	0,02 ± 0,003	0,05 ± 0,03	0,03 ± 0	0,02 ± 0,006	0,02 ± 0,002	0,06 ± 0,04	0,01
Ta	0,01 ± 0,005	0,01 ± 0,006	0,005 ± 0	0,008±0,003	0,005 ± 0	0,006 ± 0,001	0,005
Au	0,006 ± 0,003	0,005 ± 0,002	0,005 ± 0,003	0,005±0,002	0,003 ± 0,001	0,002±0,0007	0,003
Th	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,001	0,007 ± 0,003	0,01 ± 0	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,03
U	0,1 ± 0,04	0,2 ± 0,06	0,1 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,04	0,2

Высокое содержание брома, стронция, бария, тантала и золота содержится в желудках баранов Иртышского района. Для Павлодарского района характерны следующие элементы – кальций, хром, европий, уран; для Теренкольского района – цинк, рубидий, сурьма, цезий; для Щербактинского района – мышьяк; для Майского района – натрий, тербий.

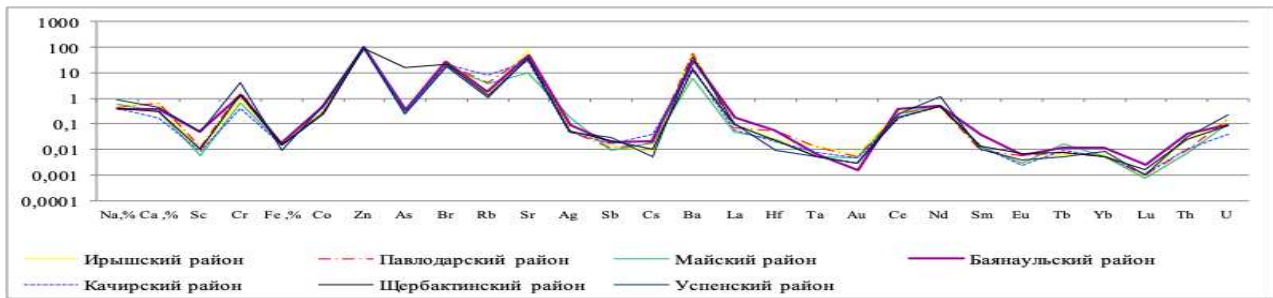


Рисунок 7. Сравнительные данные по содержанию химических элементов в желудках домашних животных районов Павлодарской области

На основании сопоставления полученных данных с кларковыми значениями по А. П. Глазовскому установлено, что общей геохимической специализацией Павлодарской области по содержанию элементов в тканях желудков овец является цинк (таблица 4). Анализ средних концентраций химических элементов позволил выделить районы с выраженной геохимической спецификой, характеризующиеся коэффициентами концентрации более 2. Так, в Щербактинском районе отмечено избирательное накопление мышьяка; для Теренкольского района характерно повышенное содержание рубидия и цезия; Баянаульский район выделяется накоплением редких и редкоземельных элементов - скандия, самария, лютеция, тория и лантана; в Успенском районе преобладает накопление хрома, скандия и неодима. В то же время Павлодарский и Иртышский районы характеризуются коэффициентами концентрации химических элементов менее 2, что указывает на отсутствие выраженной геохимической специализации.

Таблица 4. Геохимическая специфика желудков домашних животных Павлодарской области

Район исследования	Кларк	Коэффициент концентраций элементов
Щербактинский район	По среднему зн.	$As_{7,7} > Eu_{1,6} > Sb_{1,4} > Lu_{1,3} > Cr_{1,2} Th_{1,2}$
	По Глазовскому	$As_{5,4} > Zn_2$
Теренкольский район	По среднему зн.	$Rb_{2,8} > Cs_{2,4} > Zn_{1,1} > Sb_{1,1} > Au_{1,1}$
	По Глазовскому	$Zn_{2,4}$
Баянаульский район	По среднему зн.	$Sc_{3,2} > Sm_{2,7} > Lu_{2,1} > Th_{2,1} > La_2 > Yb_{1,9} > Hf_{1,7} > Co_{1,4} Eu_{1,4} Ce_{1,4} > Ag_{1,3} Sb_{1,3} Cs_{1,3} Tb_{1,3} > Cr_{1,1} Fe_{1,1} Br_{1,1} Sr_{1,1}$
	По Глазовскому	$Zn_2 > Sr_{1,3}$
Майский район	По среднему зн.	$Ag_{2,7} > Tb_{1,8} > Na_{1,2} Rb_{1,2} > Cs_{1,1}$
	По Глазовскому	$Zn_{2,2}$
Павлодарский район	По среднему зн.	$Hf_{1,6} > Ca_{1,4} Rb_{1,4} Ba_{1,4} > Ta_{1,3} Eu_{1,3} > Cr_{1,4} U_{1,4} > Zn_{1,1} Cs_{1,1} Au_{1,1}$
	По Глазовскому	$Zn_{2,3} > Ba_{1,5} > Sr_{1,2}$
Иртышский район	По среднему зн.	$Sr_{1,6} Ba_{1,6} > Ta_{1,4} > Au_{1,3} Ca_{1,3} > Ce_{1,2} Fe_{1,2} Br_{1,2} Th_{1,2} Ce_{1,2} > U_{1,1} Na_{1,1} La_{1,1}$
	По Глазовскому	$Zn_{1,9} > Sr_{1,8} Ba_{1,8} > Br_{1,1}$
Успенский район	По среднему зн.	$Cr_{3,4} > Sc_{2,9} > Nd_{2,2} > Sb_{1,9} U_{1,9} > Na_{1,8} > Co_{1,7} > Th_{1,5} > Yb_{1,2} La_{1,2} > Ba_{1,1} Zn_{1,1}$

	По Глазовскому	$Au_{4,3} > Zn_{2,3} > Ba_{1,2}$
--	----------------	----------------------------------

По степени удалённости от промышленного центра и количеству выявленных элементов исследуемые районы располагаются в следующей последовательности: Павлодарский район (11 элементов), Успенский район (12 элементов), Щербактинский район (6 элементов), Майский район (5 элементов), Теренкольский район (5 элементов), Иртышский район (13 элементов) и Баянаульский район (18 элементов). Наибольшее количество химических элементов зафиксировано в биоматериалах, отобранных в Баянаульском районе. Предполагается, что повышенное накопление 18 элементов в данном районе обусловлено преимущественно природными факторами, в частности особенностями геологического строения и горным рельефом территории, а не техногенным воздействием.

На основании полученных данных был проведен сравнительный геохимический анализ по накоплению в пищеварительных тканях пастбищных овец с трех различных географических зон: Павлодарское Прииртышье; Семипалатинский полигон (Абайская область) (Казахстан) и Нижняя Саксония (г.Нордхорн, Германия) (таблица 5).

Геохимический ряд по среднему содержанию элементов в биоматериале на территории Павлодарской области (Казахстан): $Zn_{99} > Sr_{47} > Br_{23} > Ba_{40} > Cr_{1,2} > As_{2,1} > Na_{0,5} > Ca_{0,5} > Nd_{0,5} > Ce_{0,3} > Co_{0,3} > La_{0,1} > U_{0,1} > Fe_{0,02} > Th_{0,02} > Cs_{0,02} > Sb_{0,02} > Hf_{0,03} > Tb_{0,01} > Ag_{0,07} > Sm_{0,01} > Yb_{0,007} > Au_{0,005} > Lu_{0,001}$

Таблица 5. Сравнительные биогеохимические показатели накопления в тканях овец из различных территорий

Эл-ты	Казахстан		Германия	Эл-ты	Казахстан		Германия
	Павлодарская область	Абайская область	Нижняя Саксония, г. Нордхорн		Павлодарская область	Абайская область	Нижняя Саксония, г. Нордхорн
Na, %	0,5	0,974	0,814	La	0,09	0,095	<0,05
Ca, %	0,5	2,391	0,013	Ce	0,3	0,250	0,074
Sc	0,02	0,004	0,003	Nd	0,5	0,50	0,50
Cr	1,2	0,581	1,142	Sm	0,01	0,010	0,010
Fe, %	0,02	0,003	0,015	Eu	0,004	0,003	0,003
Co	0,3	0,456	0,171	Tb	0,009	0,048	0,030
Zn	99	100,1	110,5	Yb	0,007	0,005	0,005
As	2,1	0,25	0,99	Lu	0,001	0,001	0,001
Br	23	10,30	14,31	Hf	0,03	0,143	0,025
Rb	3,1	3,14	4,46	Ta	0,01	0,009	0,007
Sr	47	265,1	10,0	Au	0,005	0,003	0,004
Ag	0,07	0,05	0,17	Th	0,02	0,010	0,010
Sb	0,02	0,025	0,021	U	0,1	0,050	0,050
Cs	0,02	0,010	0,010	Ba	40	188,6	4,6

В образцах с территории Абайской области выделяются высокие концентрации Sr, Ba, и Zn в геохимическом ряду: $Sr_{265} > Ba_{188} > Zn_{100} > Br_{10,3} > Ca_{2,3} > Na_1 > Ce_{0,2} > Co_{0,4} > Cr_{0,5} > As_{0,25}$

$> \text{La}_{0,1} > \text{Fe}_{0,003} > \text{Th}_{0,01} > \text{Sb}_{0,025} > \text{Hf}_{0,14} > \text{Cs}_{0,01} > \text{Tb}_{0,05} > \text{Ag}_{0,05} > \text{Sm}_{0,01} > \text{U}_{0,05} > \text{Nd}_{0,5} > \text{Yb}_{0,005} > \text{Au}_{0,003} > \text{Lu}_{0,001}$

Построенный геохимический ряд по среднему содержанию химических элементов в пищеварительных тканях овец с территории г.Нордхорн, показывает следующие показатели: $\text{Zn}_{110} > \text{Br}_{14,31} > \text{Na}_{0,814} > \text{Ca}_{0,013} > \text{Ce}_{0,074} > \text{Co}_{0,171} > \text{Cr}_{1,142} > \text{As}_{0,99} > \text{La}_{0,05} > \text{Fe}_{0,015} > \text{Th}_{0,010} > \text{Cs}_{0,010} > \text{Sb}_{0,021} > \text{Hf}_{0,025} > \text{Tb}_{0,030} > \text{Ag}_{0,17} > \text{Sm}_{0,010} > \text{U}_{0,050} > \text{Nd}_{0,50} > \text{Yb}_{0,005} > \text{Au}_{0,004} > \text{Lu}_{0,001}$

По полученным геохимическим рядам видно, что биоматериалы с Абайской обл. имеют аномально высокие концентрации стронция, возможно это связано с историей ядерных испытаний. Стронций ведёт себя подобно кальцию, поэтому легко включается в минеральные структуры почвы, накапливается в тканях животных и растений.

Павлодарская область имеет повышенные показатели по Sr, Zn и Br, что указывает на возможные экологические проблемы, техногенно-загрязненная территории Казахстана.

Нордхорн (Германия) демонстрирует относительно низкие концентрации большинства элементов, за исключением цинка. Содержание цинка в кормах может быть высоким из-за избыточного применения добавок в растительные корма или загрязнения окружающей среды.

4. Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о выраженной пространственной неоднородности накопления химических элементов в пищеварительных тканях овец, что отражает специфику геохимической обстановки и степень антропогенной трансформации исследуемых территорий. Использование пастбищных овец в качестве биоиндикаторов позволило интегрально оценить поступление элементов из компонентов окружающей среды - почвы, растительности и атмосферных выпадений, что подтверждает высокую информативность биотического мониторинга.

Обнаруженные в Павлодарской области концентрации цинка, стронция, бария, хрома и брома подтверждают, что регион испытывает существенную техногенную нагрузку, обусловленную деятельностью предприятий энергетической, металлургической и горнодобывающей промышленности. Эти результаты согласуются с предыдущими исследованиями, показывающими, что техногенные элементы, поступающие из атмосферных выбросов и промышленного пылегазового загрязнения, активно накапливаются в объектах биоценозов, особенно в тканях животных, находящихся в непосредственной зависимости от качества пастбищных экосистем (Baranovskaya, 2024; Bezel, 2019).

Особый интерес представляют концентрации редкоземельных элементов (лантаноиды), а также тория и урана. Их одновременное присутствие и статистически значимые положительные корреляции между тяжелыми и легкими лантаноидами указывают на устойчивые геохимические ассоциации, потенциально связанные как с природными условиями региона (минералогия горных пород Баянаула), так и с техногенными потоками, характерными для обширных промышленных зон Павлодарской области. Так, высокие уровни скандия, самария, лютеция и тория, выявленные в Баянаульском районе, вероятно обусловлены особенностями геологического строения горной местности, что подтверждает тезис о природно-геохимической специфике пастбищ.

Сравнительный анализ проб г.Нордхорн (Германии), Абайской и Павлодарской областей выявил существенно различающиеся геохимические профили. Биоматериалы из с. Калбатау демонстрируют аномально высокие концентрации стронция и бария, что согласуется с данными о последствиях ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне. Стронций, химически сходный с кальцием, способен длительно накапливаться в биологических тканях животных, что подтверждается и результатами настоящего исследования. В то же время образцы из Германии характеризуются сравнительно низким уровнем большинства элементов, что отражает умеренную техногенную нагрузку и более благоприятное состояние среды.

Выявленная высокая вариативность содержания элементов (As, Sr, Ba, Sc) в тканях животных Павлодарской области отражает значительную пространственную неоднородность экологической нагрузки, вызванную высокой концентрацией промышленных объектов в регионе. Таким образом, овцы выступают эффективными биоиндикаторами локальных ландшафтно-геохимических аномалий, отражая как природные, так и антропогенные особенности территории. Результаты подтверждают целесообразность использования сельскохозяйственных животных в качестве биоиндикаторов при оценке экологического состояния территорий различного уровня техногенной нагрузки и могут служить основой для дальнейшего мониторинга и экологической экспертизы.

5. Заключение

Проведённое исследование подтвердило высокую информативность пастбищных овец в качестве биоиндикаторов экологического состояния территорий. Пищеварительные ткани животных аккумулируют широкий спектр химических элементов, отражая как природные геохимические особенности регионов, так и уровень антропогенной трансформации среды.

Выявлена выраженная пространственная неоднородность накопления элементов в тканях овец, обусловленная сочетанием природных факторов и техногенной нагрузки. Максимальное число аномальных элементов зафиксировано в Баянаульском районе (18), Иртышском (13) и Успенском (12) районах Павлодарской области.

Установлены характерные элементы-маркеры для различных типов загрязнения: для промышленных территорий - цинк, стронций, барий и бром; для радиационно-нагруженных (Абайская область) - стронций и барий, что согласуется с данными о последствиях ядерных испытаний; для постиндустриальных территорий (Германия) - сравнительно низкий уровень большинства элементов.

Накопление редкоземельных элементов (лантаноиды, торий, уран) имеет комплексный природно-антропогенный характер, отражая как геологическое строение региона, так и техногенные потоки.

Полученные результаты свидетельствуют о регионально обусловленных особенностях накопления химических элементов в тканях овец, отражающих специфику природно-геохимических условий и различный уровень антропогенной нагрузки исследуемых территорий. Результаты работы демонстрируют перспективность использования пастбищных животных как биоиндикаторов для оценки степени антропогенного воздействия, что важно для прогнозирования экологических последствий урбанизации и устойчивого управления природными ресурсами.

6. Вспомогательный материал: нет вспомогательного материала.

7. Вклады авторов

Концептуализация – Г.А., Б.Ж.; методология – В.А.; отбор биоматериалов и полевые исследования – А.Н., С.К.; пробоподготовка образцов – А.Н., С.К.; лабораторный анализ сопутствующих показателей и подготовка данных – А.Н., В.А.; курирование данных – Г.А.; формальный анализ и статистическая интерпретация результатов – Г.А.; визуализация – С.К.; ресурсы – Б.Ж.; написание, подготовка оригинального черновика – Б.Ж.; написание, рецензирование и редактирование – Б.Ж.; руководство – Г.А.; администрирование проекта – Б.Ж. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

8. Информация об авторах

Асылбекова, Гульмира - доктор PhD, доцент, Павлодарский педагогический университет им. Элкей Марғұлан, ул. Олжабай батыр, строение 60, Павлодар, Казахстан, 140002; assylbekovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7299-4468>

Жумабекова, Бибигуль - доктор биологических наук, профессор, Павлодарский педагогический университет им. Элкей Марғұлан, ул. Олжабай батыр, строение 60, Павлодар, Казахстан, 140002; zhumabekovab@ppu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3078-3096>

Кабиева, Салтанат - кандидат биологических наук, ассоциированный профессор Высшей школы естествознания, Павлодарский педагогический университет имени Элкей Марғұлан, ул. Олжабай батыр, строение 60, Павлодар, Казахстан, 140002; saltanatkabieva7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6796-5136>

Алиясова, Валентина – кандидат культурологии, ассоциированный профессор, Павлодарский педагогический университет им. Элкей Марғұлан, ул. Олжабай батыр, строение 60, Павлодар, Казахстан, 140002; aliyassovavn@teachers.ppu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1423-0339>

Нукенов, Айбар – магистр географии, преподаватель Высшей школы естествознания, Павлодарский педагогический университет им. Элкей Марғұлан, ул. Олжабай батыр, строение 60, Павлодар, Казахстан, 140002; Nukenovas@pspu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-6786-9904>

9. Финансирование: стороннее финансирование отсутствует.

10. Благодарности: авторы выражают благодарность Клименко М.Ю. за проведение геохимических анализов в лаборатории Научного центра биоценологии и экологических исследований Павлодарского педагогического университета имени Э. Марғұлана.

11. Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

12. Список литературы

1. Alekseenko, V., & Alekseenko, A. (2014). The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 147, 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>
2. Farmer, A. A., & Farmer, A. M. (2000) Concentrations of cadmium, lead and zinc in livestock feed and organs around a metal production centre in eastern Kazakhstan. *Science of the Total Environment*, 257(1), 53-60. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00497-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00497-6)
3. Amirgalina, Z., Serikova, A., Suleimenov, S., Serikov, Z., Abdykarimova, S., Taukebayeva, N., & Dyuyssembayev, S. (2026). Integrated chemical and radiological risk assessment of livestock products from the Abai region adjacent to the former Semipalatinsk Nuclear Test Site, Kazakhstan. *Front. Vet. Sci.*, 13, 1830035. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1830035>
4. Aubakirova, K., Satkanov, M., Kulataeva, M., Assylbekova, G., Kambarbekova, A., & Alikulov, Z. (2023). Molybdoenzymes isolated from *Silurus glanis* liver can produce nitric oxide from nitrates and nitrites. *Czech Journal of Animal Science*, 68(5), 222–230. <https://doi.org/10.17221/206/2022-CJAS>
5. Assylbekova, G. E., & Shaymardanova, B. Kh. (2015). Comparative assessment of the chemical composition of animal tissues in the territory of Pavlodar Region (Sravnitel'naya otsenka khimicheskogo sostava zhivotnykh tkanei na territorii Pavlodarskoi oblasti in Russian). *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh* (ESU), 12(21), 11–13.
6. Baikenova, G. E., Baranovskaya, N. V., Bersimbaev, R. I., Kakabaev, A. A., Assylbekova, G. E., & Sharipova, B. U. (2020). Rare earth and radioactive elements in the leaves of black poplar (*Populus nigra* L.) in the territory of Northern Kazakhstan (Redkozemel'nye i radioaktivnye elementy v list'yakh topolya chernogo (*Populus nigra* L.) na territorii Severnogo Kazakhstana in Russian). *Biologicheskie Nauki Kazakhstana*, 4, 329–337. <https://bioscience.ppu.edu.kz/storage/journals/63.pdf>
7. Baranovskaya, N. V. (2024). Rare earth elements in blood of mammals of Siberia and Far East (Redkozemel'nye elementy v krovi mlekopitayushchikh Sibiri i Dal'nego Vostoka in Russian). In D. V. Makarov (Ed.), *Ekologicheskie problemy severnykh regionov i puti ikh resheniya*:

- Materialy VIII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (pp. 49–50). Apatity. <https://inep.ksc.ru/documents/sbornik2024.pdf#page=50>
8. Baranovskaya, A. Y., Baranovskaya, N. V., & Sudyko, A. F. (2024). Elemental composition of plants of the duckweed family (Lemnaceae) as an indicator of natural-technogenic conditions in the Tomsk region (Elementnyy sostav rasteniy semeystva ryaskovykh (Lemnaceae) kak indikator prirodno-tekhnogennykh usloviy Tomskoy oblasti in Russian). *Vestnik Zabaikalskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 30(1), 8–17. <https://elibrary.ru/item.asp?id=64900219>
 9. Baranovskaya, N. V., Panichev, A. M., Strepetov, D. A., Seryodkin, I. V., Soktoev, B. R., Ilyenok, S. S., Makarevich, R. A., Kurovskaya, V. V., & Rulik, M. A. (2024). Elemental composition of wild and domestic animals in the area with active geophagy manifestations in the Altai Mountains (Elementnyy sostav dikikh i domashnikh zhivotnykh v rayone proyavleniy aktivnoy geofagii na Altae in Russian). *Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov*, 335(6), 98–109. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/6/4562>
 10. Bezel, V. S., Zhuikova, T. V., Dulya, O. V., & Balyberdina, N. S. (2019). Intraspecific variability of metal tolerance in *Taraxacum officinale* Wigg. s.l. seed progeny: analysis based on dose–response relationship. *Russian Journal of Ecology*, 50, 331–336. <https://doi.org/10.1134/S1067413619040052>
 11. Burdens. Environmental pollution (Belastungen. Umweltbelastung). Nordhorn-Range. <https://nordhorn-range-muss-weg.de/nordhorn-range/belastungen>
 12. Durkalec, M., Martínez-Haro, M., Nawrocka, A., Pareja-Carrera, J., Smits, J. E. G., & Mateo, R. (2022). Factors influencing lead, mercury and other trace element exposure in birds from metal mining areas. *Environmental Research*, 212, 113575. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113575>
 13. dos Santos, A. N. D., Recktenvald, M. C. N. D. N., de Carvalho, D. P., Puerta, E. L. B., de Sousa-Filho, I. F., Dórea, J. G., & Bastos, W. R. (2021). Mercury in birds (aquatic and scavenger) from the Western Amazon. *Environmental Research*, 201, 111574. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111574>
 14. Ermakov, V. V. (2023). Modern development of biogeochemical ideas of V. I. Vernadsky (Sovremennoe razvitie biogeokhimicheskikh idey V. I. Vernadskogo in Russian). *Geokhimiya*, 68(10), 995–1008. <https://doi.org/10.31857/S0016752523100047>
 15. Ewa, M. S., & Michał, S. (2023). The total mercury concentration in organs of Eurasian magpies (*Pica pica*) and common woodpigeons (*Columba palumbus*) from the Warsaw municipal area. *Animals*, 13(4), 575. <https://doi.org/10.3390/ani13040575>
 16. Panichev, A. M., Golokhvast, K. S., Baranovskaya, N. V., & Strepetov, D. A. (2025). Geophagy, rare earth elements and geochemical endemics. *Geosciences*, 15(11), 428. <https://doi.org/10.3390/geosciences15110428>
 17. Kabbasova, M. T., Klimenko, M. Y., Assylbekova, G., Tarassovskaya, N. E., Kartbaeva, G. T., & Baranovskaya, N. V. (2020). Comparative assessment of chemical element accumulation in bird eggshells by feeding type (Sravnitel'naya otsenka nakopleniya khimicheskikh elementov v skorlupe yaits ptits po tipu pitaniya in Russian). *Biologicheskie Nauki Kazakhstana*, 4, 346–354. <https://bioscience.ppu.edu.kz/storage/journals/63.pdf>
 18. Kalisińska, E., Łanocha-Arendarczyk, N., & Kosik-Bogacka, D. I. (2019). Hg in mammals and birds as bioindicators of trace element contaminations in terrestrial environments. In E. Kalisińska (Ed.), *Mammals and birds as bioindicators of trace element contaminations in terrestrial environments* (pp. 593–653). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00121-6>
 19. Muhammad, A., Xiao, B., Ubaid, M., Xiao, P., Zhao, P., Wang, H., & Bibi, S. (2024). Heavy metals pollution from smelting activities: A threat to soil and groundwater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274, 116189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116189>
 20. Noskova, A. D., Perehudina, E. V., & Baranovskaya, N. V. (2025). Micromineral phases in the mammalian organism of the Altai Republic (Mikromineral'nye fazy v organizme

- mlekoopitayushchikh Respubliki Altay in Russian). In *Problemy geokhimicheskoy ekologii v usloviyakh tekhnogenoza biosfery: Materialy XIV Mezhdunarodnoy Biogeokhimicheskoy shkoly-konferentsii* (pp. 632–634). Tomsk. <https://biogel.tpu.ru/upload/constructor/b53/jgndlkt8f8n1y3dtnnfx8vzi67o3k4ce.pdf#page=632>
21. Oldenkamp, R. E., Bryan, A. L., Jr., Kennamer, R. A., Leaphart, J. C., Webster, S. C., & Beasley, J. C. (2017). Trace elements and radiocesium in game species near contaminated sites. *Journal of Wildlife Management*, 81(8). <https://doi.org/10.1002/jwmg.21314>
22. Rikhvanov, L. P., Arkhangelskaya, T. A., & Zamyatina, Y. L. (2015). Dendroradiography as a method of retrospective assessment of radioecological situation (Dendroradiografiya kak metod retrospektivnoy otsenki radioekologicheskoy obstanovki in Russian) [Monograph]. DeltaPlan.
23. Satkanova, M., Tazhibaya, D., Zhumabekova, B., Assylbekova, G., Abdukarimov, N., Nurbekova, Zh., Kulatayeva, M., Aubakirova, K., & Alikulov, Z. (2024). Method for assessing the content of molybdenum enzymes in the internal organs of fish (Metod otsenki sodержaniya molibdenfermentov vo vnutrennikh organakh ryb in Russian). *MethodsX*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102576>
24. Serikova, A., Dyusembaev, S., & Amirtayev, S. (2025). Amino acid composition of goat meat under the conditions of the former Semipalatinsk Nuclear Test Site (Aminokislotnyy sostav myasa koz v usloviyakh byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo yadernogo poligona in Russian). *Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya Sel'skokhozyaystvennye i Veterinarnye Nauki*, (2(3)), 103–109. <https://via.vestnik.shakarim.kz/index.php/my/article/view/125/version/125>
25. Sultanova, B. M. (2000). Anthropogenic transformation of vegetation at the Semipalatinsk Test Site (Antropogennaya transformatsiya rastitel'nosti Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona in Russian) [Candidate's dissertation, Almaty].
26. Tjoe, P. S., De Goeij, J. J. M., & Houtman, J. P. W. (1977). Extended automated separation techniques in destructive neutron activation analysis; Application to various biological materials, including human tissues and blood. *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 37, 511–522.
27. Toleuova, R., Kassymbekova, L., Karagoishin, Zh., Shaldybayeva, A., Assylbekova, G., Salkhozhayeva, G., Bitkeyeva, A., Zhumabekova, B., & Yessimov, K. (2025). Control of ixodid ticks by means of pheromones and acaricidal preparation. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 23(2), 561–565. <https://doi.org/10.22124/CJES.2025.8728>
28. Gebel, T., Kevekordes, S., Schaefer, J., von Platen, H., & Dunkelberg, H. (1996). Assessment of a possible genotoxic environmental risk in sheep bred on grounds with strongly elevated contents of mercury, arsenic and antimony. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 368(3-4), 267–274. [https://doi.org/10.1016/S0165-1218\(96\)90068-3](https://doi.org/10.1016/S0165-1218(96)90068-3)
29. Unified Environmental Internet Resource of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. (2022). Information bulletins for 2022 (Edinyy ekologicheskii internet-resurs Ministerstva ekologii, geologii i prirodnnykh resursov Respubliki Kazakhstan in Russian). <https://ecogofond.kz/kz-a-paratty-bjulletender-2022-zh-ru-informacionnye-bjulleteni-za-2022-g/>
30. Wang, X. M., & Dong, Q. Q. (2024). Assessment of urban ecosystem health and its influencing factors: A case study of Zibo City, China. *Scientific Reports*, 14(1), 8455. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59103-6>
31. Yerzhanova, A., Baranovskaya, N., Khussainov, A., Zhumay, Y., Sarsembin, U., Niyazova, A., & Akhmetzhan, A. (2025). Influence of the environment on the chemical element content in women's blood. *International Journal of Environmental Impacts*, 8(1), 203–209. <https://doi.org/10.18280/ije.080120>

Қазақстан мен Германияның әртүрлі аймақтарындағы қой тіндерінде химиялық элементтердің жинақталуының геохимиялық ерекшеліктері

Гулмира Асылбекова, Бибигуль Жумабекова, Салтанат Кабиева, Валентина Алиасова, Айбар Нуkenov

Аңдатпа. Тірі ағзалар – қоршаған ортада болып жатқан экологиялық тұрткіжайттардың өзгерістері мен ауытқуына ден қоятын ландшафттың динамикалық компоненті. Атмосферада химиялық элементтердің жоғары шоғырлануы – тірі ағзалардың трансформациясына, оның ішінде метаболизм мен тіндердің құрылымының өзгеруіне әкеп соғады. Мақалада Қазақстан мен Германия аумақтары экологиялық жағдайының биоиндикаторлары ретінде қолдану мақсатында жайылымдық қойлардың ас қорыту жүйесі тіндерінде геохимиялық элементтердің жиналу және таралу ерекшеліктерін салыстырмалы зерттеу нәтижелері ұсынылған. Географиялық орналасуына және қоршаған ортаға антропогендік жүктеменің әсер етуіне байланысты элементтер концентрациясының айырмашылықтарын анықтауға ерекше назар аударылды. Зерттеу нысаны ретінде Павлодар облысының 10 ауданынан алынған жайылымдық қойлардың асқазан тіндері пайдаланылды, сондай-ақ салыстыру үшін Абай облысы (Қазақстан) мен Нордхорн қаласынан (Германия) алынған биоматериал үлгілері қосымша іріктелді. Геохимиялық спецификация Павлодар облысының өнеркәсіптік аумағында ауыр элементтердің (мырыш, хром және т.б.) жиналуының техногендік сипатын көрсетті. Абай облысынан алынған биоматериалдарда стронцийдің аномальды жоғары шоғырлануы бар, бұл ядролық сынақтар тарихымен байланысты болуы ықтимал. Нордхорн цинкті қоспағанда, элементтердің көпшілігінің салыстырмалы түрде төмен шоғырлануын көрсетіп отыр. Осылайша, қойлар аумақтың табиғи, сонымен қатар антропогендік ерекшеліктерін көрсете отырып, жергілікті ландшафттық-геохимиялық аномалиялардың тиімді биоиндикаторлары болып табылады. Элементтердің максималды жинақталуы өнеркәсіптік орталықтан алшақтығына, сондай-ақ ландшафт ерекшеліктері мен жануарлардың қоректену жағдайларына байланысты.

Нәтиже техногендік жүктеме деңгейі әртүрлі аумақтардың экологиялық жағдайын бағалау кезінде биоиндикаторлар ретінде ауыл шаруашылығы жануарларын пайдаланудың орындылығын растайды және ары қарай мониторингілеу мен экологиялық сараптама жасау үшін негіздеме болуы мүмкін.

Түйін сөздер: биогеохимия; биоиндикация; геохимиялық талдау; қоршаған ортаны бағалау; жайылымдық қойлар; экологиялық мониторинг; экологиялық токсикология.

Geochemical features of chemical element accumulation in sheep tissues from different regions of Kazakhstan and Germany

Gulmira Assylbekova, Bibigul Zhumabekova, Saltanat Kabieva, Valentina Aliyassova, Aibar Nukenov

Abstract. It is well known that living organisms represent dynamic components of the landscape, responding to changes and fluctuations in environmental factors. High concentrations of chemical elements in the atmosphere lead to the transformation of living organisms, including changes in metabolism and tissue structure. This article presents the results of a comparative study of the accumulation and distribution of geochemical elements in the digestive tissues of pastured sheep for use as bioindicators of the ecological state of the territories of Kazakhstan and Germany. Particular

attention was paid to identifying differences in element concentrations depending on geographic location and the impact of anthropogenic load on the environment. The study subjects were stomach tissues of p pastoral sheep from 10 districts of the Pavlodar region (Kazakhstan), the Abay region (Kazakhstan), and the city of Nordhorn (Germany). Geochemical analysis revealed the technogenic nature of the accumulation of heavy elements (zinc, chromium, etc.) in the industrial territories of the Pavlodar region. Biomaterials from the Abay region have abnormally high strontium concentrations, possibly related to the history of nuclear testing. Nordhorn sheep show relatively low concentrations of most elements, with the exception of zinc. Thus, sheep serve as effective bioindicators of local landscape-geochemical anomalies, reflecting both natural and anthropogenic characteristics of the area. Maximum accumulation of elements depends on the distance from the industrial center, as well as on landscape characteristics and the animals' feeding conditions.

The results confirm the feasibility of using farm animals as bioindicators for further monitoring and environmental assessment.

Keywords: biogeochemistry; bioindication; geochemical analysis; environmental assessment; grazing sheep; environmental monitoring; environmental toxicology.