

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Национальная высшая школа искусств и ремёсел, Франция

*На правах рукописи*

Беляновская Александра Игоревна

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЗМА МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПРИРОДНО-  
ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ИХ РАНЖИРОВАНИЕ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ USETOX**

Специальность – 25.00.36 Геоэкология (науки о Земле)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

*Научный руководитель:*

доктор биологических наук,

доцент Барановская Н.В.

*Научный консультант:*

PhD Перри Николая

Томск-Бордо-2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>ГЛАВА 1. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ КАК ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК</b> .....	11
1.1 Элементный состав органов Свиньи домашней, как индикатора состояния окружающей среды	14
2.1 Изучение природной среды биогеохимическими методами исследований	18
2.2 Исследование воздействия на здоровья населения методом оценки жизненного цикла.....	19
<b>ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ РОССИИ И КАЗАХСТАНА</b> .....	24
<b>ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ И ПРОБОПОДГОТОВКА БИОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА</b> .....	38
4.1 Исходный материал и методика пробоотбора.....	38
4.2 Пробоподготовка биологического материала	41
4.3 Методика оценки токсичности элементов с помощью модели USEtox.	46
<b>ГЛАВА 5. ОБЩИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО (SUS SCROFUS DOMESTICUS)</b> .....	49
<b>ГЛАВА 6. ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕНЕЗА ТОМСКОЙ И ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНИЗМА МЛЕКОПИТАЮЩЕГО</b>	60
6.1 Региональная специфика элементного состава организма млекопитающего на территории Томской области.....	60
6.2 Изменение содержания и соотношения элементов в тканях и органах Свиньи домашней (Sus scrofus domesticus) на урбанизированных территориях Томской и Павлодарской областей	78
<b>ГЛАВА 7. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО</b>	91
7.1 Содержание и соотношение элементов в желудочно-кишечном тракте Свиньи домашней в условиях антропогенного воздействия.....	97
7.2 Региональный аспект в функционировании барьерных систем желудочно-кишечного тракта	111
7.3 Функционирование барьерных систем организма в условиях техногенеза.....	115
7.4 Индикаторная роль центральной нервной системы при оценке техногенного воздействия на живой организм	118

7.5 Особенности элементного состава костей и крови как индикаторы техногенного воздействия .....	123
<b>ГЛАВА 8. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ USETOX ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ И ВОЗДУХЕ НА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДУЕМЫХ РЕГИОНОВ .....</b>	<b>130</b>
8.1 Модификация модели USEtox с использованием результатов геоэкологических исследований .....	130
8.2 Применение модифицированных расчетов характеристического фактора токсичности для сравнения рисков для здоровья населения на региональном уровне.....	136
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>145</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>146</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Геохимическая мозаичность биосферы, обусловленная различными природно-техногенными условиями, значимо меняется в связи с развитием человека и общества. Добыча полезных ископаемых, их переработка, использование и утилизация, строительство и эксплуатация промышленных объектов ведет к значительной смене геоэкологических условий существования живых организмов, включая человека. Повышенное поступление определенных химических элементов в природную среду ярко отражается в элементном составе биоты. Живые организмы становятся геоиндикаторами антропогенной преобразованности локальных территорий. Основные результаты исследования химического состава биологических объектов: растений, животных и человека, как геоэкологических индикаторов были представлены в работах Виноградова А.П., Виноградовой Л.Д., Ковальского В.В., Добровольского В.В., Перельмана А.И., Ковалевского А.Л., Киста А.А., Кабаты-Пендиас А. и Пендиас Х., Ткалича С.М., Саенко Г.Н., Авцына А.П., Малюги Д.П., Bowen H.J.M., Fortescue J.A.C., Kalani D.K., Жаворонкова А.А., Риша М.А., Ермакова В. В., Моисеенко Т.И., Сусликова В.Л., Агаджаняна Н.А., С.Ф. Тютикова, В.А. Алексеенко, М.С. Панина, Мальгина М.А., Ильина В.Б., Христофоровой Н.К., Пузанова А.В. и многих других авторов.

Современные геоэкологические исследования различных территорий (Белан Л.Н., В.Н. Удачин, В.С. Безель, Паничев А.М., А.М. Сысо, В.Д. Страховенко, Ю.В. Робертус, Леонова Г.А., Коробова Е.М., Курамшина Н.Г., Шаймарданова Б.Х., Корогод Н.П. и многие другие) доказывают факт тесной взаимосвязи живых организмов со средой, о которой говорил еще В.И. Вернадский (1960). Однако, во многих исследованиях отсутствуют данные о взаимодействиях химических элементов в рамках разных локальных эколого-геохимических условий, редко рассматривается их широкий спектр, мало внимания уделяется комплексному подходу с применением модели оценки воздействия на живые организмы. Однако, сложная экологическая обстановка локальных территорий, обусловленная техногенным воздействием промышленности, создает необходимость такой оценки потенциального негативного воздействия на здоровье населения.

Метод Оценки жизненного цикла (ОЖЦ), один из ведущих инструментов экологического менеджмента в Европейском союзе, позволяет отслеживать величину и значимость воздействия на окружающую среду, и человеческий организм. В Российской Федерации данный метод в связи с принятием международных стандартов – ГОСТы Р ИСО 14040-14043 (Притужалова, 2007) все больше входит в практику оценки рисков для населения и экосистем (Сидоренко, Михеев, 2017; Перминова, 2017; Ялалтдинова, 2015; Старостина, Уланова, 2013; Мамаджанов, Сидоренко, Латушкина 2011.). Модель широко применяется в работах иностранных исследователей (Peña, 2018; Ortiz de García, 2017; Rosenbaum, 2011) и

признана мировым научным сообществом. Показатель негативного воздействия – характеристический коэффициент (CF) является табличным значением, предлагаемым моделью для 25 неорганических и 3000 органических соединений в зависимости от территориального расположения региона. В данной работе, однако предлагается модификация данного коэффициента с помощью внедрения результатов биогеохимического анализа территории с различной эколого-геохимической ситуацией, с целью их дальнейшего ранжирования, что определяет и актуальность исследования.

**Цель работы.** Оценка геоэкологического состояния локальных территорий Сибири, Забайкалья и Казахстана с использованием показателей элементного состава органов и тканей млекопитающих и их ранжирование по степени токсичности отдельных элементов.

Для её решения были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести отбор проб биологического материала млекопитающего *Sus scrofa domestica* на локальных территориях с различными геоэкологическими условиями функционирования природно-техногенных систем;
2. Установить индикаторные показатели содержания концентрирования и соотношения химических элементов в органах и тканях, а также биологической жидкости организма млекопитающего для локальных территорий России и Казахстана;
3. Выявить биогеохимическую специфику формирования барьерных свойств систем органов и её изменение в условиях урбанизации и хозяйственной деятельности человека
4. Модифицировать метод расчета характеристического фактора токсичности для здоровья населения с использованием модели USEtox с внедрением результатов химического анализа отобранного биоматериала;
5. Ранжировать территории по величине характеристического фактора токсичности для здоровья населения.

**Основные защищаемые положения:**

1. В различных эколого-геохимических условиях среды обитания в организме млекопитающего (*Sus scrofa domestica*) формируются специфические корреляционные взаимосвязи химических элементов с Cr (Eu-Cr-Yb Павлодарская область г. Экибастуз; Cr--Ca, Газимуромский завод, Тайна, Калга, Уровские ключи Забайкальский край ; Cr-Sb пос. Кижирово, Верхнее Сеченово Томский район), изменяются абсолютные содержания и коэффициенты концентрации химических элементов, изменяются отношения элементов (Th/U, Rb/Cs), что может служить индикатором этих условий.
2. Элементный состав органов и тканей млекопитающих отражает специфику техногенеза территорий их обитания в виде концентрирования определенного спектра элементов на барьерных органах. В эмбрионах мелких млекопитающих в условиях воздействия

Среднеуральского медеплавильного комбината накапливаются Sb, Cr, РЗЭ (Sm, Ce, La, Lu), Zn, Br, U. На плацентарном барьере женщин-жительниц приближенных к Северному промышленному узлу районов концентрируются Th, Br, Zn, Sm, Hf. В зоне воздействия Северного промышленного узла Томского района также нарушается работа гематоэнцефалического барьера с аккумулярованием в тканях головного и спинного мозга Rb, Ba, Au, Fe, Cs. В зоне действия добывающей и энергетической промышленности города Экибастуз максимальное накопление элементов приходится на барьер толстого кишечника.

3. Рассчитанный индекс токсичности увеличивается под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека. Расчет индекса токсичности элементов для здоровья населения согласно их содержанию в мышечной ткани млекопитающего при нормализации к почвам позволяет ранжировать территории по снижению показателя в следующем порядке:

1. Для Cr Забайкальский край > Павлодарская область > Республика Тыва > Томская область > Восточно-Казахстанская область

2. Для Zn, As, Sb, Ba Забайкальский край > Павлодарская область > Восточно-Казахстанская область > Томская область > Республика Тыва.

#### **Фактический материал и методы исследований.**

В основу диссертационной работы положены результаты исследований, проводимых лично автором, а также совместно с сотрудниками отделения Геологии Инженерной школы Природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета. В работе также рассмотрен и использован материал, предоставленный коллегами–сотрудниками института г. Екатеринбурга (Институт Экологии Растений и Животных УрО РАН) и материал, отобранный в городе Томск к. м. н. Станкевич С.С., руководитель Центра поддержки грудного и рационального вскармливания г. Томска.

В рамках работы было рассмотрено 186 проб органов и тканей Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), представляющих все системы органов животного. Для откорма животных, выбранных для исследования, использовались 2 сорта комбикормов, отвечающие требованиям ГОСТ, возраст животных составлял от 3-6 месяцев. Основные территории отбора проб: населенные пункты Кижирово и Верхнее Сеченово Томского района Томской области (Россия) и город Экибастуз Павлодарской области (Республика Казахстан), для проведения сравнительного анализа рассматривались данные, полученные по другим регионам России и Казахстана, а именно поселки Уровские ключи, Газимурский завод, Тайна, Калга Забайкальского края, поселок Хову-Аксы Республики Тыва а также поселок Путинцево Восточно-Казахстанской области Казахстана.

Для количественного определения химических элементов в компонентах природной среды использовались следующие методы: инструментальный нейтронно–активационный

анализ (ИНАА), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Анализ образцов методом ИНАА проводился на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (аттестат аккредитации RA.RU.21AB27 от 08.04.2015); аналитики – с. н. с. А.Ф. Судыко и Л.Ф. Богутская) согласно инструкции НСАМ ВИМС № 410-ЯФ. Анализ образцов методом ИСП-МС проводился в аналитическом центре ООО «Химико-аналитический центр «Плазма» (руководитель – Федюнина Н.В.). Вода биологическая анализировалась в аккредитованном научно-образовательном центре «Вода» Национального исследовательского Томского политехнического университета (руководитель центра к.г.-м.н. Копылова Ю. Г.).

**Достоверность защищаемых положений** обеспечена статистически значимым количеством проб, проанализированных современными высокочувствительными аттестованными аналитическими методами (ИНАА, ИСП-МС) в аккредитованных лабораториях, а также глубиной проработки фактического материала с использованием современных методов статистической обработки и литературы по теме исследования.

**Научная новизна.** Впервые при изучении элементного состава 176 проб органов и тканей Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) методами ИНАА и ИСП-МС установлены индикаторные показатели соотношения химических элементов в органах и тканях млекопитающих, обитающих в условиях функционирования локальных природно-техногенных систем на территории России и Казахстана. Установлена специфика функционирования биогеохимических барьеров внутри организмов млекопитающих (плацентарный барьер, гематоэнцефалический барьер, барьер пищеварительной системы) и её изменение в условиях техногенеза. Модифицирован расчет характеристического коэффициента токсичности для 5 химических элементов для 4 локальных территорий Сибири, Забайкалья и Казахстана. Впервые представлено ранжирование локальных территорий Сибири, Забайкалья и Казахстана по величине характеристического коэффициента токсичности для здоровья населения.

**Практическая значимость.** Выявленные особенности концентрирования и распределения химических элементов в органах и тканях Свиньи домашней на территориях с разными геоэкологическими условиями позволяет дифференцировать их по степени экологической нагрузки, что может являться полезным дополнением к проведению геоэкологического мониторинга территорий.

Метод модификации модели оценки воздействия USEtox с использованием результатов химического анализа может использоваться в качестве локального дополнения в оценке токсического воздействия на население. Данный метод позволяет расширить модель с использованием локальных данных о химическом составе пищевого продукта – свинины, и в

дальнейшем может применяться в оценке рисков для здоровья населения изучаемых территорий.

Материалы, полученные в процессе выполнения работы, были использованы при подготовке практических занятий по курсу: «Оценка экологических рисков» в Отделении Геологии Инженерной школы Природных ресурсов Томского политехнического университета для подготовки бакалавров по специальности «Экология и природопользование», а также могут быть использованы в курсах «Экология», «Геохимия живого вещества» и «Медицинская геология» для подготовки магистров по направлению «Экология и природопользование». Полученные данные могут быть использованы органами здравоохранения и природоохраны.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы обсуждались на Всероссийских и Международных симпозиумах и конференциях: Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2015–2019); «Medgeo 2016» (г. Москва 2016); Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека (г. Томск, 2016); Международной конференции «Ecodesign» (г. Токио, Япония, 2018); Международной конференции CEST 2019 (о. Родос, Греция 2019). Кроме того, результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах в отделении Геологии ТПУ (г. Томск, Россия), и лаборатории I2M Национальной высшей школы искусств и ремесел (г. Бордо, Франция).

**Публикации.** Основное содержание и научные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 статьях и тезисах докладов, в том числе 2 в журналах, рекомендованных ВАК и 2 индексируемые в базах данных Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и приложения, изложенных на 157 страницах машинописного текста. Она включает 93 рисунка и 28 таблиц. Список литературы содержит 166 источников, 74 из которых на иностранном языке.

**Во введении** указаны актуальность исследований, определены цель и задачи, показаны основные результаты, представлена их научная новизна и практическая значимость, а также обозначен личный вклад автора и апробация работы. **В первой главе** рассматриваются особенности функционирования биогеохимических барьеров живого организма, и исключительная роль элементного состава органов Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) как индикатора геоэкологических обстановок. **Во второй главе** рассматриваются способы анализа экологического состояния окружающей среды, изучение природной среды биогеохимическими методами исследований и методом оценки жизненного цикла. **В третьей главе** приводится краткое геотектоническое литологическое и металлогеническое описание и



геоэкологическая характеристика районов исследования. **В четвертой главе** описываются методика проведения исследований, способы отбора проб, их последующей подготовке, методах анализа, приемах математической обработки данных, а также методических основах модели USEtox. **Пятая глава** посвящена статистическим параметрам накопления элементов в организме Свиньи домашней, рассчитаны средние содержания, рассчитаны коэффициенты корреляции и вариации элементов во всей изученной выборке. **В шестой главе** рассматриваются основные индикаторы техногенеза. Проведен сравнительный анализ содержания химических элементов в пробах органов и тканей млекопитающих, отобранных на территории Томского района, Забайкальского края и Павлодарской области. **В седьмой главе** описываются особенности распределения и концентрирования элементов в барьерных системах органов. **Восьмая глава** посвящена применению модели USEtox при оценке токсичности элементов для здоровья населения, а также методике расчетов характеристического коэффициента токсичности с использованием локальных данных, как на уровне регионов (исследованные в работе области), так и на уровне стран (собственные расчеты и литературные данные). **В заключении** рассматриваются основные результаты и выводы по диссертационной работе.

**Личный вклад** автора заключается в отборе 33 проб биологического материала Свиньи домашней на территории города Экибастуз Павлодарской области. В подготовке проб к химическим анализам ИНАА, ИСП-МС, и к выделению воды биологической из организма млекопитающего методом Дина Старка. Автор принимал участие в отборе проб биоматериала мелких млекопитающих совместно с сотрудниками Института экологии растений и животных Уральского отделения Академии наук. Автором лично проведена статистическая обработка всех данных, дана интерпретация полученных результатов и сформулированы защищаемые положения. Автором проводился расчет характеристических коэффициентов токсичности для Cr, Zn, As, Ba, Sb, а также при совместной работе с научными руководителями (Belyanovskaya et al., 2019) была разработана методика расчета характеристического коэффициента токсичности в модели USEtox.

**Благодарности.** Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, доктору биологических наук, профессору кафедры Отделения Геологии Барановской Наталье Владимировне, а также научным консультантам, PhD Бертрану Ларатту, PhD, профессору Национальной высшей школы искусств и ремесел, Бордо Николя Перри за научное сопровождение, всестороннюю поддержку, понимание, мотивацию и помощь на всех этапах реализации работы. Особую благодарность автор выражает доктору геолого-минералогических наук, профессору Отделения Геологии Рихванову Леониду Петровичу за ценные советы, рекомендации и всестороннюю помощь. Автор признателен за помощь всем сотрудникам и

студентам отделения Геологии ИШПР ТПУ, сотрудникам Национальной высшей школы искусств и ремесел, Бордо Франция. За ценные советы и/или предоставление материала, автор выражает отдельную признательность профессору, к.б.н. Н.П. Корогод, д.б.н. В.С. Безеля, С. В, к.б.н. Мухачевой, д.г–м.н. Е. Г. Язикову, профессору, д.г–м.н. С. И. Арбузову, к.г.–м.н. А. Р. Ялалудиновой, к.г-м.н. PhD Т.А. Братек, аспирантам М.А. Дериглазовой, А. Н. Злобиной. Автор глубоко благодарен исполнителям аналитических исследований: с.н.с А. Ф. Судыко, Л. В. Богутской, А.А. Хвощевской, Ю.Г. Копыловой, Н.В. Федюниной. Автор выражает особую благодарность за всестороннюю поддержку А.И. Беляновскому. Работа выполнялась при финансовой поддержке спонсора партнерской исследовательской деятельности Национальной высшей школы искусств и ремесел, г. Бордо Франция – компании AMVALOR.

## ГЛАВА 1. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ КАК ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

В геологических и геоэкологических исследованиях достаточно длительное время существует понятие «геохимический барьер». Впервые оно было предложено Перельманом для определения изменения интенсивности миграции химических элементов в результате смены условий среды с резким концентрированием на границах барьера (рис.1).



Впадение притока в р.Инд



Угольный пласт Березовский, 50 метров

Рисунок 1. Физико-химические и биогехимические барьеры в природе (Перельман, 1979)

Выделяются следующие геохимические типы барьеров (А.И. Перельман 1979): 1 - Температурный; 2 - Декомпрессионный; 3 - Кислотно-щелочной; 4 - Окислительно-восстановительный; 5 - Адсорбционный; 6 - Испарительный; 7 - Механический; 8 - Биогехимический.

Рассматривая определение биогехимического барьера, следует отметить, что для него характерно участие живых организмов, микроорганизмов, растений, и тд. Существенным является тот факт, что в самом живом организме также происходит формирование определенных барьеров, связанных с изменением внутренней среды. Биологи выделяют барьеры внешние и внутренние. Внутренние барьерные системы (гистогематические) в свою очередь подразделяются в зависимости от соотношения крови и барьерного органа. Рассматривая оба подхода к понятию «барьера» с точки зрения изменения миграции химических элементов и их физиологической роли, то можно применить термин «биогехимический барьер» и к внутренней среде живого организма.

Антропогенное воздействие на окружающую среду является преимущественно негативным и изменяет естественные природные сообщества и организмы. В результате этого воздействия организмы вынуждены адаптироваться, формируя защитные барьерные

механизмы, называемые нами биогеохимическими барьерами. Биогеохимические барьеры в геологии это зоны повышенной аккумуляции химических элементов растительными и животными организмами (Барановская, 2011). Они образуются под влиянием факторов среды и химических свойств элементов (Барановская, 2011). Подобные системы существуют и внутри живых организмов, чья функция также заключается в резком снижении интенсивности миграции (Перельман А.И., 1961 (Перельман, 1979)) потенциально опасных веществ в тканях. Способность к избирательному накоплению химических элементов делает барьерные органы наиболее показательными для геоэкологических исследований территорий.

Живой организм включает многочисленные барьеры, некоторые из которых отделяют внутреннюю среду от внешней среды, а другие разделяют системы органов внутри тела. Эти барьеры обнаруживаются, например, в коже, дыхательных путях, мозге, глазах и кровеносных сосудах, и они поддерживают гомеостаз, регулируя взаимодействия между отделами, которые они разделяют. Более того, такие барьеры, как гематоэнцефалический барьер и легочно-воздушный интерфейс воздух-жидкость, являются высокоселективными, и служат для предотвращения воздействия токсинов на жизненно важные органы.

Условно в живом организме различают барьеры внешние (слизистые глаз, кожа, ротоглотка, носоглотка, легкие, органы пищеварения, органы выделения) и внутренние (гистогематические барьеры). Внешние барьерные системы предохраняют живой организм от проникновения токсичных веществ из окружающей среды, осажая их в слизистых тканях и на коже, в то время как внутренние барьеры регулируют перенос элементов с кровью. К внутренним барьерным системам относятся барьеры кровь-головной мозг, барьеры между кровью и водянистой влагой глаза, между кровью и эндолимфой лабиринта уха, между кровью и половыми железами и т. д. Гистогематические барьеры определяют устойчивость органа к негативным внешним влияниям. Внутренние барьеры задерживают переход чужеродных веществ из крови в ткани, выполняя тем самым защитную функцию. Регуляторная функция гистогематических барьеров заключается в избирательном накоплении определенных веществ из крови в тканях органа, для создания наилучшей среды для его жизнедеятельности. В связи с избирательностью внутренних барьеров химический состав органа может значительно отличаться от состава внутренней среды организма.

Так, научно доказано, что хотя содержание токсичных элементов в мышцах обычно низкое (Johnson, Roberts, 2012), барьерные органы (печень, почки) способны концентрировать их в своих тканях, и барьерная роль этих органов в концентрировании Cd подтверждается экспериментально (Johnson, Roberts, 2012). М.С. Джонсон приходит в своем исследовании к выводу, что именно там оседает большинство загрязнителей.

Исследования Михеевой Н.А. (Михеева, 2018) рассматривают защитную роль и проницаемость гистогематических барьеров и кожи мелких млекопитающих для наночастиц и подтверждают их размерную зависимость.

Основными защитными системами, чья функция была неоднократно подтверждена экспериментально это почки и печень. Их особая роль в повышенном концентрировании потенциально токсических элементов вследствие их активного поступления из окружающей среды подтверждается исследованиями Времана и др. (1986) (Veen, Vreman, 1986). На ведущую роль почек как барьерной системы организма для таких элементов как Na, Sc, Cr, Mn, Br, Sm, Rb, La, Hf, Au, Pb, а печени в накоплении Zn, Se указывают результаты работы Кохонова Е.В. (Кохонов, 2005).

Значительная барьерная роль костной ткани при аккумуляции цинка и свинца и прямое отражение экологического состояния территории проживания в составе органов и тканей млекопитающих доказывается в исследованиях М.С. Джонсона и др., 1978 (Johnson, Roberts 2012).

Отдельное место среди гистогематических барьеров организмов занимает желудочно-кишечный тракт как зона активного всасывания элементов в кровь выполняет важную барьерную роль в живом организме. Поверхность слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта выстлана эпителиальными клетками, представляющими собой эффективный барьер, разделяющий внутреннюю и внешнюю среду и блокирующий прохождение потенциально вредных веществ. Клетки кишечника также ответственны за поглощение питательных веществ и электролитов, поэтому требуется полупроницаемый барьер, который избирательно пропускает ряд веществ, не допуская попадания других. С этой целью в кишечнике развилась «кишечная барьерная функция», защитная система, препятствующая прохождению токсинов, однако пропускающая полезные вещества.

Каждый отдел желудочно-кишечного тракта Свиньи домашней имеет определённую физиологическую роль в процессе пищеварения. Так, в тонком отделе кишечника под действием желчи, кишечного и поджелудочного соков, происходит расщепление питательных веществ с их последующим всасыванием в кровь и лимфу. В толстом кишечнике, представленном слепой, ободочной и прямой кишками, всасывается до 90% воды и некоторые минеральные вещества. Слизистая толстого кишечника не имеет ворсинок, но содержит углубления, в общекишечных железах которых содержится большое количество слизи. Микробная флора толстого кишечника сбраживает углеводы и разрушает остаточные продукты переваривания протеина. Прямой кишечник отвечает за формирование и накопление каловых масс, и их выделение из организма.

Таким образом, при рассмотрении поступления химических элементов из внешней среды внутрь организма с вдыхаемым воздухом, пищей и водой, а также через кишечник и слизистые покровы, можно с уверенностью говорить о том, что их дальнейшая миграция будет осуществляться по схожим закономерностям, уже имеющим место в геологических формированиях. Так, на процессы замедления и оседания в определенных участках организма будет влиять смена кислотно-щелочности среды, что особенно важно для желудочно-кишечного тракта, в котором этот показатель меняется в зависимости от кислого ( $\text{pH}=3$ )  $\text{pH}$  в желудке до щелочного ( $\text{pH}=7$ ) в кишечнике. Роль микрофлоры в формировании определенного спектра элементов также весьма значительна. Для органов дыхания важно формирование барьера, связанного со сменой окислительной обстановки до восстановительной (накопление углекислого газа).

### 1.1 Элементный состав органов Свины домашней, как индикатора состояния окружающей среды

Токсичные элемент из геохимической среды, состав которой определяется в настоящее время в значительной степени, техногенезом (Арбузов, Ершов, 2007), концентрируясь в домашнем скоте, мигрируют в человеческий организм по биогеохимической пищевой цепи (Ковальский, 1982, Ковальский, 2009) (рис.2), и могут представлять опасность для здоровья населения. Исследования Petersson-Grawe et al. 1997 (Petersson-Grawe, Thierfelder, Jorhem, Oskarsson, 1997); Lopez-Alonso et al. 2002 (Lopez-Alonso et al., 2002) подчеркивают индикаторную роль мяса домашних животных для оценки загрязнения окружающей среды металлами.

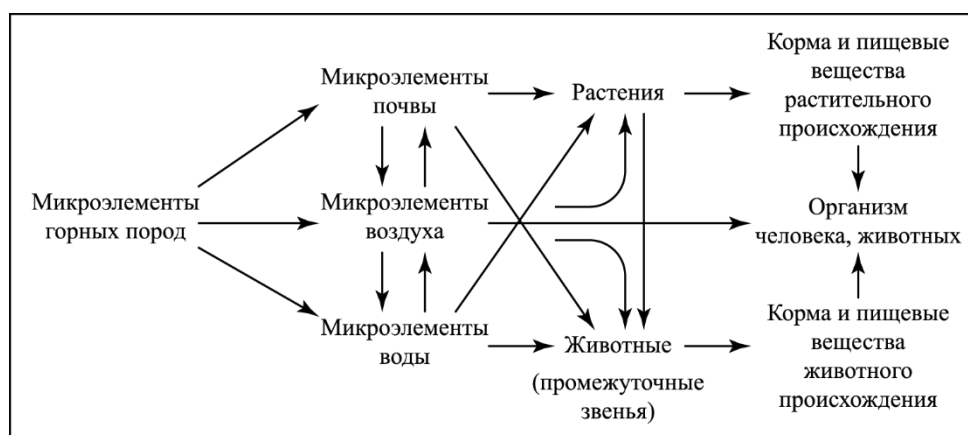


Рисунок 2. Миграция химических элементов и питательных веществ по трофической цепи (Ковальский, 1974)

Среди биологических индикаторов особую категорию составляют сельскохозяйственные животные, а именно свиньи, широко употребляемые в пищу человеком. Мясо, выращенное в условиях антропогенного воздействия, может содержать элементы, обладающие токсическими свойствами (Kim et al., 2017; Santhi et al., 2008), такие как Cd, Pb, Hg и As, которые не имеют существенной биологической функции, но переносятся через пищевую цепь (Рисунок 2). Помимо этого, образ жизни и питание Свиньи домашней, как животного потребляющего в пищу, как растительные, так и животные корма обладают более высоким уровнем депонирования химических элементов (Покаржевский, Ван Страален, Филимонова, 2000).

Как правило, особое внимание ученых привлекают содержания элементов в мышцах, печени и почках свиней домашних, однако элементный состав всего организма также представляет научный интерес, как модель человеческого организма, отражающая в своем составе воздействие окружающей среды. Нами принято называть все внутренние барьеры биогеохимическими поскольку они изначально относятся к биологическому объекту. Однако, в дальнейшем их следует более детально дифференцировать. Основным вопросом применения данных о формировании таких барьеров в организме млекопитающих остаются их геоиндикаторная роль, которую важно использовать в оценке геоэкологической ситуации, складывающейся в регионах, отличающихся геохимическими условиями, обусловленными природно-техногенным воздействием окружающей среды.

Элементный состав органов и тканей Свиньи домашней является индикатором его географического происхождения ( Franke et al., 2005; Kim et al., 2017; Park et al., 2018) и уровня экологической нагрузки (Ларионов, 2005). Исследования проведенные М. López-Alonso и др, 2007 (Lopez-Alonso et al., 2007) выявляют разницу в содержаниях тяжелых металлов в печени, почках и мышцах свиней выращенных на территории разных стран Европейского союза. Результаты этих исследований были использованы в дальнейшем для сравнения образцов биологического материала свинины, выращенной в разных странах (Kim et al., 2017) отмечают специфические черты элементного состава, характеризующие географические особенности региона (рис. 3).

Elements	Domestic	Imported				
	Korea	USA	Germany	Austria	Netherlands	Belgium
Macro elements (ICP-OES)						
Al	5.96 <sup>a</sup> ± 0.345	4.27 <sup>c</sup> ± 1.51	10.1 <sup>c</sup> ± 2.81	1.27 <sup>a</sup> ± 0.46	Not detected	2.86 <sup>b</sup> ± 2.86
B	7.83 <sup>c</sup> ± 0.077	5.68 <sup>ab</sup> ± 0.102	5.68 <sup>ab</sup> ± 0.126	6.21 <sup>b</sup> ± 0.125	5.55 <sup>a</sup> ± 0.10	5.58 <sup>a</sup> ± 0.13
Ca	55.0 <sup>b</sup> ± 5.00	65.2 <sup>c</sup> ± 11.6	56.4 <sup>b</sup> ± 17.8	309.5 <sup>c</sup> ± 209.6	91.5 <sup>d</sup> ± 10.8	10.6 <sup>c</sup> ± 2.02
Fe	13.5 <sup>d</sup> ± 3.32	8.05 <sup>c</sup> ± 0.949	4.2 <sup>a</sup> ± 0.183	6.61 <sup>b</sup> ± 1.02	7.91 <sup>c</sup> ± 0.708	7.76 <sup>c</sup> ± 1.87
K	512.7 <sup>a</sup> ± 49.6	1167.6 <sup>c</sup> ± 105.8	871.0 <sup>c</sup> ± 157.8	1272.5 <sup>f</sup> ± 185.6	667.6 <sup>b</sup> ± 70.0	941.9 <sup>d</sup> ± 357.3
Mg	29.9 <sup>a</sup> ± 2.69	78.6 <sup>d</sup> ± 8.61	57.6 <sup>c</sup> ± 11.5	85.4 <sup>de</sup> ± 16.1	48.2 <sup>b</sup> ± 2.18	56.5 <sup>c</sup> ± 22.8
Na	362.0 <sup>c,d</sup> ± 25.6	344.7 <sup>b,c</sup> ± 31.3	318.3 <sup>ab</sup> ± 65.8	482.3 <sup>ab</sup> ± 106.2	750.8 <sup>e</sup> ± 60.2	293.4 <sup>a</sup> ± 31.9
P	335.0 <sup>a</sup> ± 27.1	755.7 <sup>d</sup> ± 61.7	588.5 <sup>c</sup> ± 94.9	885.1 <sup>e</sup> ± 178.6	407.6 <sup>b</sup> ± 31.9	569.4 <sup>c</sup> ± 217.8
S	70.0 <sup>a</sup> ± 4.58	131.4 <sup>c,d</sup> ± 14.7	97.6 <sup>b</sup> ± 19.5	149.3 <sup>d</sup> ± 26.0	114.7 <sup>c</sup> ± 11.7	93.3 <sup>b</sup> ± 33.0
Zn	3.75 <sup>a</sup> ± 0.336	8.25 <sup>d</sup> ± 0.958	6.07 <sup>c</sup> ± 1.04	8.50 <sup>d</sup> ± 2.03	5.49 <sup>b,c</sup> ± 0.421	4.92 <sup>ab</sup> ± 1.38
Trace elements (ICP-MS)						
As	0.013 <sup>b</sup> ± 0.003	0.215 <sup>d</sup> ± 0.017	0.141 <sup>c</sup> ± 0.004	0.006 <sup>a</sup> ± 0.001	0.008 <sup>a</sup> ± 0.001	0.006 <sup>a</sup> ± 0.001
Ba	0.068 <sup>a</sup> ± 0.008	0.198 <sup>d</sup> ± 0.044	0.175 <sup>c</sup> ± 0.035	0.061 <sup>a</sup> ± 0.011	0.125 <sup>b</sup> ± 0.017	0.121 <sup>b</sup> ± 0.024
Be	0.0005 ± 0.000	0.0002 <sup>ab</sup> ± 0.000	Not detected	0.00004 <sup>ab</sup> ± 0.0000	0.00004 <sup>ab</sup> ± 0.0000	Not detected
Bi	0.0001 <sup>b</sup> ± 0.000	0.0001 <sup>b</sup> ± 0.000	0.0002 <sup>b</sup> ± 0.000	0.00003 <sup>a</sup> ± 0.0000	0.0001 <sup>b</sup> ± 0.000	0.0001 <sup>b</sup> ± 0.000
Cd	0.0006 <sup>a</sup> ± 0.000	0.002 <sup>b,c</sup> ± 0.001	0.003 <sup>b,c</sup> ± 0.001	0.001 <sup>b</sup> ± 0.000	0.004 <sup>a</sup> ± 0.001	0.004 <sup>b,c</sup> ± 0.001
Co	0.007 <sup>c</sup> ± 0.001	0.011 <sup>d</sup> ± 0.003	0.002 <sup>b</sup> ± 0.001	0.001 <sup>b</sup> ± 0.000	0.0001 <sup>a</sup> ± 0.000	Not detected
Cr	0.003 <sup>c</sup> ± 0.000	0.0009 <sup>a</sup> ± 0.000	0.0006 <sup>b</sup> ± 0.000	0.00007 <sup>a</sup> ± 0.0000	0.0005 <sup>b</sup> ± 0.000	0.0005 <sup>b</sup> ± 0.0000
Cs	0.010 <sup>a</sup> ± 0.001	0.010 <sup>a</sup> ± 0.001	0.013 <sup>ab</sup> ± 0.004	0.012 <sup>ab</sup> ± 0.002	0.010 <sup>a</sup> ± 0.002	0.025 <sup>c</sup> ± 0.012
Cu	0.0007 <sup>a</sup> ± 0.000	0.0008 <sup>a</sup> ± 0.000	0.002 <sup>b</sup> ± 0.001	0.002 <sup>b</sup> ± 0.001	0.0007 <sup>a</sup> ± 0.0000	0.0008 <sup>a</sup> ± 0.000
Ga	0.009 <sup>b</sup> ± 0.001	0.020 <sup>b,c</sup> ± 0.005	0.017 <sup>b,c</sup> ± 0.003	0.005 <sup>a</sup> ± 0.001	0.012 <sup>b</sup> ± 0.002	0.012 <sup>b</sup> ± 0.002
Li	0.007 <sup>c</sup> ± 0.000	0.002 <sup>a</sup> ± 0.000	0.002 <sup>a</sup> ± 0.001	0.0005 <sup>a</sup> ± 0.000	0.003 <sup>a</sup> ± 0.001	0.001 <sup>a</sup> ± 0.000
Mn	0.145 <sup>c</sup> ± 0.020	0.346 <sup>d</sup> ± 0.036	0.149 <sup>c</sup> ± 0.011	0.038 <sup>a</sup> ± 0.015	0.074 <sup>ab</sup> ± 0.004	0.053 <sup>a</sup> ± 0.009
Ni	0.45 <sup>d</sup> ± 0.078	0.23 <sup>c</sup> ± 0.071	0.043 <sup>b</sup> ± 0.027	0.983 <sup>b</sup> ± 0.137	Not detected	Not detected
Pb	0.05 <sup>c</sup> ± 0.004	0.029 <sup>a</sup> ± 0.005	0.134 <sup>c</sup> ± 0.033	0.078 <sup>d</sup> ± 0.035	0.047 <sup>b</sup> ± 0.003	0.057 <sup>c</sup> ± 0.013
Rb	0.001 <sup>a</sup> ± 0.000	0.002 <sup>b</sup> ± 0.000	0.002 <sup>b</sup> ± 0.000	0.002 <sup>b</sup> ± 0.000	0.002 <sup>b</sup> ± 0.000	0.003 <sup>b</sup> ± 0.001
Se	0.126 <sup>a</sup> ± 0.006	0.376 <sup>d</sup> ± 0.041	0.238 <sup>b</sup> ± 0.025	0.22 <sup>b</sup> ± 0.025	0.309 <sup>c</sup> ± 0.025	0.231 <sup>b</sup> ± 0.053
Sr	0.363 <sup>b</sup> ± 0.019	3.87 <sup>a</sup> ± 1.62	1.24 <sup>a</sup> ± 1.13	0.314 <sup>b</sup> ± 0.1	0.123 <sup>a</sup> ± 0.081	0.140 <sup>a</sup> ± 0.030
U	0.0007 <sup>b</sup> ± 0.000	0.00005 <sup>a</sup> ± 0.000	Not detected	Not detected	Not detected	Not detected
V	0.016 <sup>c</sup> ± 0.001	0.012 <sup>c</sup> ± 0.002	0.002 <sup>a</sup> ± 0.001	0.004 <sup>b</sup> ± 0.002	0.008 <sup>d</sup> ± 0.001	0.006 <sup>c</sup> ± 0.001

Superscript letters (a-f) within the rows represent significant differences ( $p < 0.05$ ) in the concentration levels of the corresponding analyzed elements.

Рисунок 3. Содержание элементов мг/г в мясе Свины обыкновенной, согласно результатам ИСП-АЭС, ИСП-МС (Kim et al., 2017)

Миграция тяжелых металлов в системе почва-растение-животное представлено в работе Г.А. Ларионова (Ларионов, 2005), установившим превышение предельно-допустимых содержаний тяжелых металлов в мясе свиней и коров, выпасаемых на территориях с повышенным уровнем природного загрязнения. Автором проанализировано содержание тяжелых металлов в свинине, выращенной в районах с разной степенью техногенного воздействия (рис. 4).

Содержание тяжелых металлов в мясе свиней

Район	Тяжелый металл, мг/кг				
	Cd	Pb	Cu	Zn	Hg
Канашский	-	0,04	-	-	-
Комсомольский	0,00	0,04	-	-	0,000
Козловский	-	0,02	0,45	7,84	0,002
Урмарский	0,00	0,00	0,22	3,48	-
Чебоксарский, ЧМК	0,00	0,00	-	-	0,002
Чебоксарский, ЧМК	0,00	0,24	0,94	20,70	0,000
Чебоксарский, Бекон	0,01	0,02	0,78	3,42	0,003
Янтиковский	-	0,01	-	-	0,003
Среднее	0,002±0,002	0,046±0,028	0,598±0,162	8,860±4,080	0,0017±0,0006
ПДК	0,05	0,5	5,0	70,0	0,03

Рисунок 4. Содержание тяжелых металлов в мясе свиней (Ларионов, 2005)



Существуют и другие факторы, оказывающие влияние на элементный состав живого организма, например количество выбросов в атмосферу и ее загрязнение, содержание ТМ в снеговом покрове, воде и кормах рациона (Пенькова, Шишкунов, Онистратенко, 2008). Так, согласно данным Николика и др. (Nikolic et al., 2017) разные типы выращивания свиней, а именно свободный выпас, оказывает влияние на формирование элементного состава их мяса. Наибольшие концентрации Fe обнаруженные в мясе выпасаемых животных, и вероятнее всего поступают в организм вместе с частицами проглатываемой почвы. Исследования Haldimann, Dufossé, Mompart, and Zimmerli (1999) (Haldimann и др., 1999) подтверждают зависимость величины концентраций Se в мясе сельскохозяйственных животных от концентраций этого элемента в почвах в регионе обитания. М. López-Alonso и др, 2007 (Lopez-Alonso et al., 2002) отмечают положительную корреляцию между содержаниями As в почвах исследуемого региона и печени и почек свиней. Факт поступления веществ в организм из почвы подтверждается исследованиями Барановской, 2011 (Барановская, Рихванов, 2011). Предполагается, что специфика поведения животного, а именно рыхление почвы приводит к повышенному концентрированию в пищеварительной системе наибольшего числа химических элементов.

Таким образом, изучение концентраций химических элементов в организме свиньи является показательным для оценки антропогенного воздействия или исследований естественных их аномалий в регионе.

## ГЛАВА 2 СПОСОБЫ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### 2.1 Изучение природной среды биогеохимическими методами исследований

По определению В.И. Вернадского живые организмы - это накопители и концентраты рассеянных редких веществ и различных химических элементов (Кривоуцкий, Степанов, Тихомиров, 1988). Несмотря на то, что, биологические системы находятся в зависимости от множества биотических и абиотических факторов, часто их изменения могут быть обусловлены влиянием человеческой деятельности. В связи с этим, определение «биоиндикация» можно сформулировать так: «Биоиндикация - обнаружение и определение биологически и экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ» (Туровцев, 2004). Концентрация химических веществ в окружающей среде коррелирует с их концентрацией в индикаторах (B. Markert, J. Oehlmann, M. Roth, 2009) . Это влияет и трансформирует элементный состав организмов с последующим накоплением определенных металлов и загрязняющих веществ (С.Н. Lamborg и др., 2014).

Классическими объектами биоиндикации являются органы и ткани живых организмов. Позвоночные животные в качестве биоиндикаторов используются гораздо реже, чем беспозвоночные животные и растения. Между тем, устойчивое функционирование природных экосистем определяется целостностью всей трофической системы, поскольку именно ее высшие трофические уровни выступают в качестве значимого фактора стабилизации и интенсификации биогеохимических циклов.

В качестве биологических индикаторов широко используются такие биообъекты как рыбы (Р.А. Попов, А.М. Vizer, N. V Androsova 2012) мелкие млекопитающие (Johnson, Roberts, 2012; Sanchez-Chardi, Lopez-Fuster, 2009; Безель, 1987; Кохонов, 2005; Опекунова, 2004; Снегин, Шаповалова, Польшов, 2014), крупные дикие млекопитающие (Budis et al., 2013), сельскохозяйственные животные (Huang et al., 2017; Kim et al., 2017; Santhi, 2008). Актуальность использования последних стала очевидной в связи с тем, что в результате миграции химических элементов в природные экосистемы максимальные токсические воздействия испытываются именно высшими трофическими уровнями (Hamers et al., 2006; Безель, Мухачева, 2012; Нестеркова, 2014).

Так, в их элементном составе и уровне депонирования химических элементов находит свое отражение специфика промышленного производства. По данным Е.В. Кохонова (Кохонов, 2005) в Томской области, и на территории Северного промышленного узла по сравнению с Горным Алтаем обнаруживается высокая изменчивость накопления элементов в организме мелких млекопитающих. По данным С.А. Хоревой и соавторов (Хорева, Москвитина, Тавгень,

1958) животные, обитающие на территории Томской области, в частности в областях с радиационным загрязнением отмечаются изменения химического состава желудочно-кишечного тракта. Работы таких авторов, как Москвитина Н.С., Куранова В.Н., Бабенко А.С. и других исследователей на территории Томской области показывают возможность использования живых организмов и их элементного состава в качестве индикаторов состояния окружающей среды.

## 2.2 Исследование воздействия на здоровья населения методом оценки жизненного цикла

Загрязнения тяжелыми металлами и другими химическими веществами являются одним из видов экологически отрицательных воздействий на окружающую среду и живой организм, в частности. Сложная экологическая напряженность диктует необходимость разработки мер, направленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Однако, для принятия эффективных решений, необходимо иметь четкое представление о существующих на сегодняшний день методах, подходах, концепциях, моделях оценки экологического состояния окружающей среды, применяющихся в мире, ввиду отсутствия единой градации и структуры существующих методов экологической оценки.

Сегодня метод Оценки жизненного цикла, ОЦЖ (рус.) или Life-Cycle Assessment, LCA (англ.) - один из ведущих инструментов экологического менеджмента в Европейском союзе, основанный на серии ISO-стандартов и предназначенный для оценки эколого-экономических, социальных аспектов и воздействий на окружающую среду в системах производства продукции и утилизации отходов. Универсальный в своем роде метод ОЖЦ используют практически во всех отраслях промышленности, в частности в машиностроении, строительстве, электронике, традиционной и альтернативной энергетике, производстве полимеров, продуктов питания, дизайне продукции и утилизации отходов (Starostina, 2011). В Российской Федерации данный метод также все больше входит в практику оценки рисков для населения и экосистем (Сидоренко, Михеев, 2017; Старостина, Уланова, 2013; Мамаджанов, Сидоренко, Латушкина 2011).

Оценка жизненного цикла происходит в четыре этапа:

- I. Определение цели, задач и области применения
- II. Инвентаризационный анализ: определение входных (вода, сырье, энергия) и выходных (выбросы в окружающую среду, отходы) потоков;
- III. Оценка воздействия на окружающую среду, осуществляющаяся на промежуточной (Midpoint) и конечной (Endpoint) стадиях, каждая из которых включает определенные категории воздействия (рис. 5);

## IV. Оценка (интерпретация) полученных результатов.

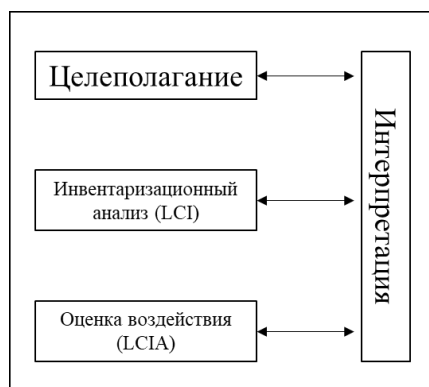


Рисунок 5. Схема работы Оценки жизненного цикла, (European Commission, 2010)

Оценка воздействия жизненного цикла является жизненно важной фазой любого LCA. Оценка воздействия жизненного цикла направлена на понимание и количественную оценку величины и значимости потенциальных воздействий продукта или услуги на окружающую среду в течение всего жизненного цикла (Standards, 1991; Starostina, 2011). Понимание этих воздействий является первым шагом в профилактических, восстановительных мероприятиях (European Commission, 2010). При оценке жизненного цикла выбросы и потребляемые ресурсы, которые можно отнести к конкретному продукту, организуются и документируются в инвентаризации жизненного цикла. Затем проводится оценка воздействия с учетом влияния на здоровье населения, природную среду и вопросов, связанных с использованием природных ресурсов. Воздействия, рассматриваемые в оценке воздействия на жизненный цикл, включают изменение климата, истощение озонового слоя, эвтрофикацию, подкисление, токсичность для человека (канцерогенные и не канцерогенные) дыхательные неорганические вещества, ионизирующую радиацию, экотоксичность, фотохимическое образование озона, землепользование и истощение ресурсов. Выбросы и ресурсы относятся к каждой из этих категорий воздействия. Затем они преобразуются в показатели с использованием моделей оценки воздействия (табл. 1) (Bare, Young, Hopton, 2018).

Таблица 1. LCIA models (Bare, Young, Hopton, 2018).

Модель	Авторы	Описание
1	2	3
<b>CML 2001</b>	CML 2001 разработана в Институте Наук об Окружающей среде (Линден, Нидерланды)	CML 2001 это метод оценки воздействия, который ограничивает количественное моделирование ранними этапами причинно-следственной цепочки для ограничения неопределенностей.

Продолжение таблицы 1		
<b>EDIP 2003</b>	«Environmental Development of Industrial Products (EDIP)» было разработано Институтом развития продуктов (IPU) Технического университета Дании. EDIP 2003 - это обновление методологии методики EDIP 1997 LCIA.	EDIP 2003 рассматривает характеристики окружающей среды в целях повышения актуальности рассчитанных воздействий.
<b>Impact 2002+</b>	ИМПАКТ 2002+ - это методология, которая была разработана в Швейцарском федеральном правительстве. Технологический институт Лозанны (EPFL), Швейцария.	В рамках ИМПАКТ 2002+ были разработаны новые концепции и методы для сравнительной оценки токсичности и экотоксичности для человека. Факторы повреждения человека рассчитываются для канцерогенов и неканцерогенов с использованием фракций потребления, наилучших оценок факторов наклона доза-ответ, а также степени тяжести.
<b>TRACI</b>	Агентство по охране окружающей среды США разработало методологию оценки воздействия под названием TRACI, сокращенно «Инструмент для снижения и оценки химических и других воздействий на окружающую среду».	В рамках методологии Трэйсите категории воздействия были охарактеризованы на уровне средней точки, в том числе и на более высокий уровень общественного соглашения относительно несомненного моделирования в этой точке в причинно-следственной цепи.
<b>UBP 2013</b>	Модель разработана в Швейцарии	Метод экологической ограниченности позволяет проводить оценку воздействия инвентаризаций жизненного цикла в соответствии с принципом «расстояния до цели».
<b>USEtox</b>	USEtox разработан в рамках Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и Инициативы по жизненному циклу Общества токсикологии и химии окружающей среды (SETAC)	Модель обеспечивает как рекомендуемые, так и временные характеристики для воздействия на здоровье человека и воздействие экотоксичности для пресной воды.

Модели оценки жизненного цикла позволяют нам рассчитывать специфические для вещества характеристические коэффициенты (ХК), которые представляют способность вещества вносить вклад в конкретный тип воздействий. Модели, такие как CML 1992, Eco-Indicator 95, ИМПАКТ 2002+, TRACI, USEtox и т. д. Обеспечивают расчет негативного воздействия металлов на ХК, но с этим по-прежнему связано много неопределенностей (Monteiro, Freire, 2012; Pizzol et al., 2011). Эти разногласия в результатах оценки воздействия жизненного цикла в основном связаны с различиями в модели характеристики, такими как пространственное покрытие (Dreyer, Niemann, Hauschild, 2003).

Существует несколько типов пространственной дифференциации среди моделей оценки воздействия, большинство из которых может предоставить информацию о воздействии на

окружающую среду только на континентальном уровне (табл. 2), поэтому региональный аспект системы оценки воздействия все еще нуждается в разработке.

Таблица 2. Типы пространственной дифференциации (Hauschild, Potting, 2000)

Уровни пространственной организации	Описание	Модели
Глобальные модели	Считается, что все источники воздействия вносят вклад в одну и ту же общую среду.	EDIP 97 (Potting, Hauschild, 2006), CML2001 baseline (European Commission, 2010), EcoIndicator 99 (Pizzol et al., 2011)
Региональные модели	Категории источников обычно определяются на уровне стран или регионов внутри стран (масштаб 50–500 км).	TRACI (Bare, 2012), EDIP2003 (Potting, Hauschild, 2006)
Региональные модели	Модели допускают большую точность при моделировании воздействия очень близко к источнику.	USEtox (Fantke et al., 2017), Recipe ( Huijbregts et al., 2016)

Большинство моделей оценки воздействия могут предоставлять информацию о воздействии на окружающую среду только на глобальном уровне, тем не менее, промышленное влияние часто затрагивает не только районы, где производится продукция, но и приграничные зоны, подверженные ветровому или трансграничному переносу. Таким образом, возникает необходимость оценки воздействия на более локальном уровне.

Среди всех методов LCIA USEtox, рекомендованный Европейской комиссией, является единственной моделью LCIA, имеющей такой параметр, как географическое разделение. Модель включает 8 континентальных и 17 субконтинентальных зон, каждая из которых характеризуется различными климатическими, гидрологическими, географо-экономическими и другими параметрами (Fantke et al. 2017; Rosenbaum, Margni, Jolliet, 2007). На данный момент USEtox мало известная на территории России, и не используется в экологических исследованиях, тем не менее модель была применена в работах Ялатдиновой А.Р. (Ялатдинова, 2015) и Перминовой Т.А. (Перминова, 2017) выполненных в рамках двойной аспирантуры. Модель широко применяется в работах иностранных исследователей (Ortiz de García, García-Encina, Irusta-Mata, 2017; Peña et al., 2018; Rosenbaum et al., 2008; Rosenbaum et al., 2011), и что особенно важно, она признана и рекомендуется мировым научным сообществом: Программа ООН по окружающей среде (UNEP), Общество экологической токсикологии и химии (SETAC), Европейская комиссия, Институт окружающей среды и устойчивого развития, Агентство по охране окружающей среды США (EPA) и др., как

наилучшая научная модель для оценки токсического воздействия химических веществ на экосистемы и здоровье человека. Несмотря на все преимущества использования модели USEtox в оценке воздействия жизненного цикла, эта модель не включает в себя высокий уровень пространственного разрешения и охват базы данных металлов (Fantke и др., 2017).

В данной работе предлагается способ устранить эти ограничения, используя один из методов мониторинга окружающей среды – биогеохимические исследования. Данный метод основан на анализе биологических субстратов, таких как ткани животных и человека, растения или микроорганизмы. Метод биогеохимических исследований предоставляет информацию о прямой реакции организмов, сообществ или экосистем на естественные или антропогенные изменения (Durkalec et al., 2018), поскольку биота реагирует даже на незначительные изменения внешних условий и может даже предсказать географическое происхождение (Denisova, 2008; Franke et al., 2005; Gauthier-Lafaye et al., 2008; Huang et al., 2017; Pyinskikh et al., 1998; Sheppard, 2011). Таким образом, результаты биоиндикации, выраженные концентрацией металлов в биологическом материале могут быть экстраполированы в модель оценки жизненного цикла USEtox для расширения её пространственной дифференциации.

### ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

Изученные районы имеют различные геологические, геотектонические литологические и металлогенические особенности. Они находятся в пределах разных геологических формаций, сформированных разнообразными по составу и возрасту породами (Тектоника. СССР, 1964) (рис. 6). Каждый исследуемый регион расположен в зоне проявления различных полезных ископаемых. Выбранные зоны неоднородны также и в пределах одного государства. Территория Павлодарской области в Казахстане расположена в зоне сочленения Казахской складчатой страны и Западно-Сибирской платформы. По литологическому составу район имеет разнообразие магматических, метаморфических и осадочных пород. В пределах области находится Экибастузский угольный бассейн, имеют место проявления Cu, Mo, Au. Восточно-Казахстанская область имеет сложное строение и находится на стыке складчатого комплекса Центрального Казахстана, Зайсанской складчатой системы, Чингиз-Тарбагатайского мегоантиклинория и Западно-Сибирской платформенной структуры. Формации сложены магматическими, осадочными, метаморфическими образованиями с преобладанием вулканогенно-осадочных пород (песчаники, алевролиты, известняки, кислые эффузивы и др.). В связи с разнообразием пород на территории области эксплуатируется более 100 месторождений полезных ископаемых: полиметаллические, редкометальные руды, каменный уголь, нефть, бурый уголь, горючие сланцы и др. Томская область (Россия) преимущественно расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской платформы. На юго-востоке области имеются проявления вулканогенных пород, связанных с Томь-Колыванской складчатой зоной. На территории сконцентрированы месторождения бурого угля, газа, нефти, рудных ископаемых и т.д. Территория Забайкальского края локализуется на границе Сибирской платформы и Саяно-Байкальской горной области. Структурные комплексы сложены преимущественно осадочными и кислыми, реже основными магматическими и метаморфическими породами. В исследуемых населенных пунктах Забайкальского края отмечают такие полезные ископаемые, как Au, каменный уголь, полиметаллические руды и др. Республика Тыва находится в пределах Алтае-Саянской складчатой области, имеющей в составе магматические (офиолиты, граниты и др.), осадочные (карбонатные, терригенные и др.) породы. На территории изучаемого региона находятся проявления Au, Fe, Ag, Cu, РЗЭ, Ni и др. Геологические характеристики локальных территорий обуславливают их геоэкологические особенности, а такая специфика экономического развития данных регионов, как добыча и переработка полезных ископаемых, формирует особенности техногенного воздействия.



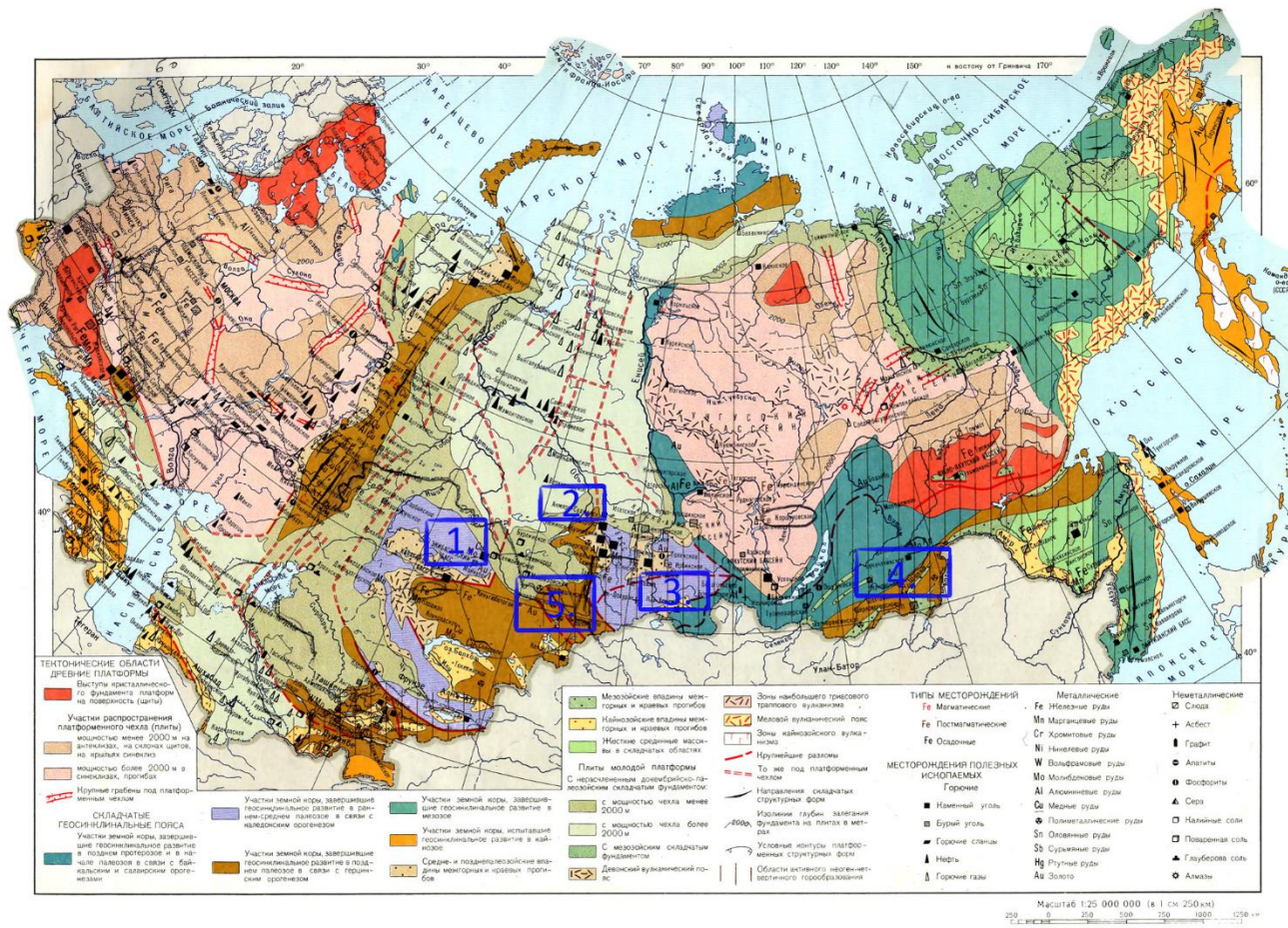


Рисунок 6. Тектоническая карта СССР (Тектоника. СССР, 1964 г.) с дополнениями автора

Прим.: Республика Казахстан: 1 – Павлодарская область, 5 – Восточно-Казахстанская область; Российская Федерация: 2 – Томская область, 3 – Республика Тыва, 4 – Забайкальский край.

Основными территориями отбора проб биологического материала для исследования являются Томский район Томской области, Россия и город Экибастуз Павлодарской области, Казахстан. Помимо этого, сотрудниками Отделения геологии Томского политехнического университета был отобран материал на территории населенных пунктов Забайкальского края и Республики Тыва Россия и поселка Путинцево Восточно-Казахстанской области, Казахстан.

Все изученные районы характеризуются сложной эколого-геохимической обстановкой, обусловленной природными аномалиями и объектами добывающей, перерабатывающей, химической и энергетической промышленности.

**1. Казахстан. Город Экибастуз Павлодарской области.** Город Экибастуз Павлодарской области является актуальным примером зоны интенсивного антропогенного воздействия промышленных предприятий на окружающую среду. Павлодарская область – один из крупных индустриальных центров Республики Казахстан. Город Экибастуз расположен к юго-западу от административного центра - города Павлодара. С северо-запада район граничит с Акмолинской, с юго-запада Карагандинской областями, с севера Актогайским, с юга — Баянаульским и с северо-востока Аксуским районами Павлодарской области. По площади расположения город Экибастуза занимает 2 место в области, на его долю приходится 15 % площади области или 1 млн 887 тыс. 602 га, в том числе сельскохозяйственных угодий 1 млн 768 тыс. 200 га, пашни 35 тыс. га, сенокосов 25800 га. В состав региона входят всего 26 населенных пунктов сельской зоны, в том числе 2 поселка — п. Солнечный, п. Шидерты, 8 сельских округов; 3 села. Административный центр — город Экибастуз, расстояние от областного центра 132 км. В непосредственной близости от г. Экибастуз проходят автострада Караганда-Павлодар.

Постоянным водяным потоком является Иртыш Карагандинский канал. Канал по своей длине соединяет отдельные небольшие озера, которые являются резервуарами воды. Подача канала осуществляется за счет вод реки Иртыш и в малой степени из-за атмосферных осадков и грунтовых вод. Поток грунтовых вод обеспечивается рельефом местности повсюду в опущенных рельефах.

Климат в регионе резко континентальный. Территория Экибастуза очень далека от океана и открыта для ветров с запада и севера, что создает возможность попадания различных воздушных масс, в том числе и промышленных выбросов в воздух, что способствует значительному контрасту условий. Для региона характерны морозные, умеренно суровые зимы и теплое лето.

По данным доклада о состоянии природных сред Республики Казахстан на долю города Экибастуз приходится 48% выбросов в атмосферный воздух (Министерство энергетики Республики Казахстан, 2017).

На территории Павлодарской области сосредоточены предприятия машиностроения, металлообработки, химической и легкой промышленности, а также производства строительных материалов. В составе региона выделяется три крупных городских территории – Павлодар, Экибастуз и Аксу. Экибастуз характеризуется напряженной экологической обстановкой, в связи с широко развитой добывающей промышленностью (добыча угля) в непосредственной близости от городской зоны. Экибастузское месторождение угля – самое крупное в мире. ТОО «Богатырь Аксес Комир» - горное предприятие по добыче угля открытым способом. Производственная мощность разреза – 42 миллионов тонн угля в год. Промышленные запасы угля – 1,3 млрд. тонн, глубина разреза – 175 м. (Русина, 2018; Сембаев, 2014).

Состояние окружающей среды г. Экибастуз осложняется наличием на прилегающих территориях множества неорганизованных источников загрязнения (карьеров, отвалов и т.д.), которые являются мощными источниками загрязнения атмосферы, почвы, воды (Министерство энергетики Республики Казахстан, 2017).

По данным Комитета по статистике объем валовых выбросов в атмосферу увеличивается с 2017. Основной причиной увеличения выбросов является увеличение объема производства на промышленных предприятиях области, в том числе находящихся на территории изучаемого региона ТОО «Экибастузская ГРЭС-1 имени Булата Нуржанова», АО «Станция Экибастузская ГРЭС-2». Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории города Экибастуз являются тепловые электростанции, добыча угля (Сембаев, 2014). В результате добычи угля происходит загрязнение компонентов экосистем техногенными веществами, такими как уголь, зола, пыль. На территории г. Экибастуз находятся крупные ТЭЦ, которые работают на экибастузском (местный), карагандинском и кузнецком (привозной) угле и мазуте. Высокозольные угли и их недостаточная очистка коллекторами золы на местной региональной ГЭС (ГРЭС) и Центральной теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) приводят к значительным выбросам вредных веществ в атмосферу - 45,8% всех выбросов в регионе, из которых 94% принадлежат двум электростанциям. Согласно национальному докладу о состоянии природной среды Казахстана за 2017 год приоритетными веществами, загрязняющими атмосферный воздух, является угарный газ, твердые частицы, диоксид азота и сернистый ангидрид.

Другой актуальной проблемой города является водоснабжение. Очистка сточных вод не эффективна, что и вызывает вторичное загрязнение воды, токсичных элементов и тяжелых металлов, что увеличивает риск использования воды: допустимый предел воздействия превышен для всех контролируемых веществ, включая аммоний и нефтепродукты.

Почвы города согласно результатам исследований загрязнены кадмием, мышьяком, ртутью (Сембаев, 2014).

По данным РГП «Казгидромет» средние значения радиационного гамма-фона приземного слоя и радиационный гамма-фон находятся в допустимых пределах. Среднесуточная плотность радиоактивных выпадений и средняя величина их плотности выпадений не превышает предельно-допустимый уровень.

Таким образом, ландшафтно-геохимические особенности региона и его высокая степень экономического развития выражается в увеличивающемся количестве выбросов вредных веществ во все природные среды, несет за собой негативные последствия для здоровья, проживающего на этой территории населения. Вне всякого сомнения, такая напряженная экологическая ситуация требует специального изучения и оценки.

**Село Путинцево Восточно-Казахстанской области.** Восточно-Казахстанская область в силу исторически сложившегося развития, связанного с преобладанием цветной металлургии и горнодобывающей промышленности, является одним из наиболее неблагополучных регионов в Республике. Основные предприятия горно-металлургического комплекса расположены в зоне наиболее густой речной сети. Вследствие технической необходимости здесь же расположены наиболее крупные предприятия теплоэнергетики. Такое расположение означает, что все загрязняющие вещества с газообразными, жидкими и твердыми отходами от промышленных предприятий неизбежно попадают в речную сеть, почву, нанося экологический ущерб, как территории (биоценозы), так и населению области (Тогузова, 2006; Мамбетказиева, Данилова, Мабетказиев, 2011). На территории области сосредоточено 27% балансовых запасов свинца, 47,7% - цинка, 47,9% - меди от общереспубликанских запасов. Доля прогнозных ресурсов свинца составляет 24,8%, цинка – 56,7%, меди – 29,3% от общих ресурсов республики (Информационный сайт города).

Село Путинцево расположено в Зыряновском районе Восточно-Казахстанской области Казахстана. Входит в состав Малеевского сельского округа. Находится примерно в 15 км к северу от районного центра, города Алтай (Зыряновск) (рис.7).

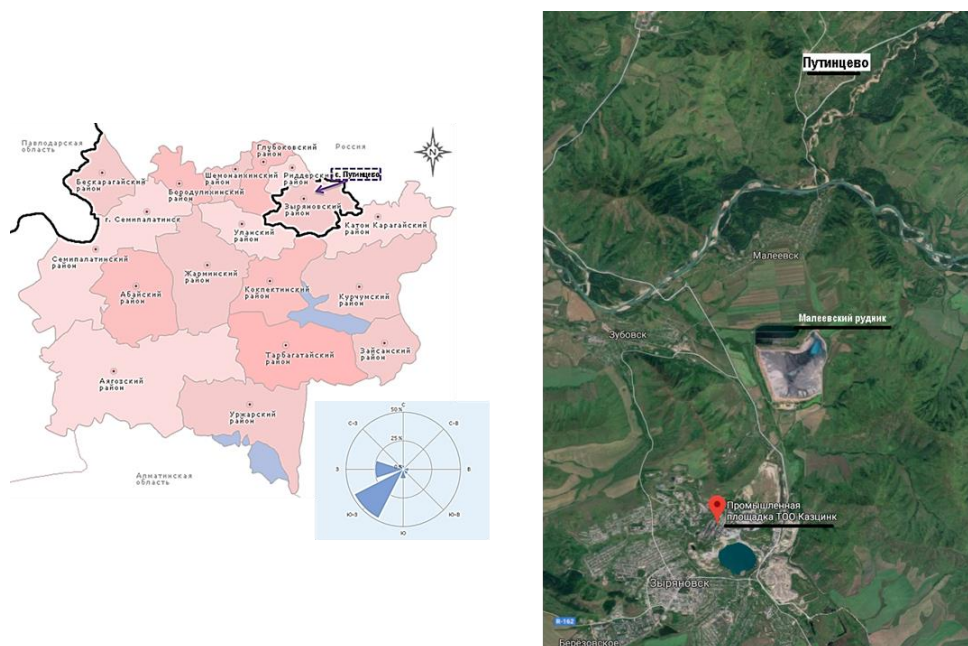


Рисунок 7. Карта Восточно-Казахстанской области (Казахстан. Национальная энциклопедия, 2005). Село Путинцево на карте Восточно-Казахстанской области, выполнено на основе карты maps.google.ru с дополнениями автора

Село Путинцево находится в непосредственной близости и с подветренной стороны от горно-обогатительного комплекса «Алтай», включающего в себя крупнейший подземный рудник ТОО «Казцинк» - Малеевский рудник и обогатительную фабрику «Алтай». Средние содержания металлов в руде Малеевского рудника составляют Zn – 7,5%, Cu – 2,3%, Pb – 1,3%, Au – 0,75 г/т, Ag – 7,5 г/т. На руднике добывается большая доля от общего выпуска цинковых и медных концентратов Казцинка. Рудник полностью обеспечивает сырьем Усть-Каменогорский цинковый завод (Казахстан. Национальная энциклопедия, 2005).

Зыряновская обогатительная фабрика «Алтай», расположенная на восточной окраине города Зыряновска, главным образом перерабатывает руду Малеевского месторождения полиметаллического и медно-цинкового типа, а также руду Александровского месторождения Греховской рудной зоны. Основными источниками воздействия на окружающую среду являются участок дробления и обогащения руды в тяжелой суспензии, участок измельчения и флотации, сгущения и фильтрации, реагентный участок с известковым заводом, хвостовое хозяйство, опытный участок, участок производства медного купороса (Малеевский рудник (Казцинк) ).

Отходы промышленности развитой в данной регионе в целом повторяют состав добываемого и перерабатываемого сырья и определяют характер загрязнения территории.

**2. Россия. Томский район Томской области.** Томская область - регион Российской Федерации общей площадью 316,9 тыс. км<sup>2</sup>, расположенный в юго-восточной части Западной



равнины по обе стороны реки Обь. Проведенные учеными геологами, экологами и геохимиками работы показали, что территория Томской области характеризуется значительной геохимической неоднородностью, обусловленной как природными, так и техногенными факторами (Рихванов и др., 2006). Эта неоднородность создает условия для аккумуляции химических элементов живыми организмами, обитающими на данной территории.

Томская область на севере граничит с Тюменской областью, на западе – с Омской, на юге – с Новосибирской и Кемеровской, на востоке – с Красноярским краем. Состоит из 16 муниципальных районов, административный центр – город Томск (рис.8).



Рисунок 8. Томская область на карте России, карта Томской области, (Рихванов и др., 2006)

*Прим.: 1. Александровский район, 2. Асиновский район. 3. Бакчарский район, 4.Верхнекетский район 5. Зырянский район, 6. Каргасокский район, 7. Кожевниковский район, 8. Колташевский район, 9. Кривошеинский район, 10. Молчановский район, 11. Парабельский район, 12. Первомайский район, 13. Тегульдетский район, 14.Томский район, 15. Чаинский район, 16. Шегарский район, 17. г. Кедровый, 18. ЗАТО Северск, 19. г. Стрежевой, 20. г. Томск*

Климат Томской области является переходным: от умеренного до резко континентального. Годовое количество осадков колеблется в среднем от 400 до 570 мм, при этом наибольшее их количество выпадает на западе, а также на востоке и северо-востоке при приближении к Центрально-Сибирскому плато (Евсеева, 2001).

С точки зрения воздействия природных факторов на формирование элементного состава животных можно выделить широкий спектр полезных ископаемых, в первую очередь ископаемых видов топлива, находящихся на территории области. Здесь имеются проявления месторождений бурого угля, более 100 месторождений углеводородов около 18% российских запасов торфа (Арбузов, Ершов, 2007). Основными нефтегазоносными районами области являются Александровский, Каргасокский и Парабельский. На территории области также имеются месторождения рудных полезных ископаемых: железорудное Бакчарское

месторождение (Николаева, 1967; Пшеничкин, 2011), циркон-ильменитовые месторождения (Рихванов, 2001), бокситы, цинк, золото и многое другое (Евсеева, 2001).

Другим фактором, определяющим потенциальный привнос элементов, является трансграничный перенос, осуществляемый густой речной сетью, находящейся на территории области. Водные массы перемещаются с юга на север, 50 % водного стока составляет транзитный приток из Кемеровской (Томь, Яя, Кия) области и Красноярского края (Чулым, верховья Кети, Чети и Тыма).

На территории Томской области можно отметить проявления таких элементов как золото, сурьма, уран, скандий в торфах и углях региона (Арбузов, Ершов, 2007; Смольянинов, Бернатонис, Архипов, 1990; Бернатонис и др, 1989). Причем результаты исследований А.М. Межибор (Межибор, 2009) показали, что на накопление элементов в торфах оказывает влияние не только природный, но и фактор техногенного воздействия (Барановская, 2011). Потенциальные антропогенные источники попадания элементов в окружающую среду сосредоточены на всей территории области и связаны, с основными отраслями промышленности. Экономика региона сосредоточена, прежде всего, в таких отраслях как нефтегазовая, химическая и нефтехимическая, машиностроение, атомная, электроэнергетика, лесопромышленный комплекс и пищевая промышленность.

Среди всех областей Томской области интерес представляет Томский район (рис. 8,9) как развитый промышленный центр области, в котором проживает основная масса населения.

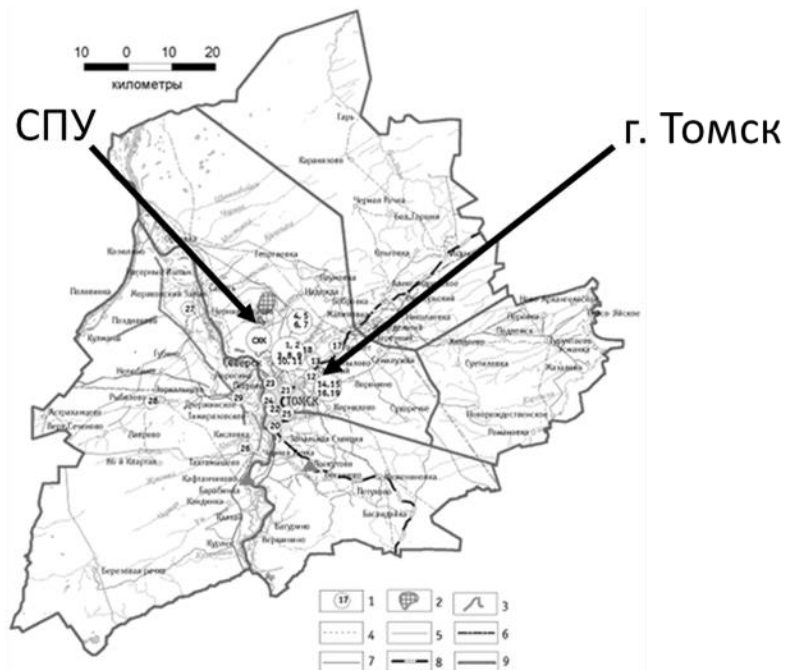


Рисунок 9. Схема размещения основных промышленных производств на территории Томского района (Рихванов и др., 2006)

1 – промпредприятия: 1 – Томский нефтехимический комбинат; 2 – ТЭЦ-3; 3 – тепличный комбинат; 4 – очистные сооружения ТНХК; 5 – золоотвал ТЭЦ-3; 6 – полигон промтоходов; 8 – животноводческая ферма совхоза-техникума; 9 – база Су-13 управления «Химстрой»; 10 – база газоотдачи магистрального газопровода; 11 – база агропромстроя; 12- Межениновская птицефабрика; 13 – совхоз «Томский»; 14 – помехохранилище Межениновской п/ф; 15 – городская свалка; 16 – пруд-накопитель свинокомплекса; 17 – Туганская птицефабрика; 18 – угольный склад; 19 – поля орошения свинокомплекса; 20 – ЗАО «ТИЗ»; 21 – АООТ «Ролтом»; 22 – ЗАО «Сибкабель»; 23 – ОАО «Шпалозавод»; 24 – ЗАО «Дрожжзавод»; 25 – ГРЭС-2; 26 – АБЗ («Ашот») (производство строительных материалов); 27 – Судоремонтный завод; 28 – Колбасный цех «Рыболовский»; 29 – АБЗ.

2 – площадки ЖРАО; 3 – эксплуатационные скважины водозаборов; 4 – линии связи; 5 – трубопровод; 6 – линии электропередач; 7 – автомобильные дороги; 8 – железная дорога; 9 – границы медицинских округов.

Структуру промышленности Томского района формируют более 200 крупных и средних промышленных предприятий. Основные источники крупномасштабного загрязнения на территории Томского района являются: крупнейший в Российской Федерации Томский нефтехимический комбинат (ТНХК), Сибирский химический комбинат (СХК), агропромышленные комплексы (птицефабрики «Межениновская», «Туганская», свинокомплекс «Томский»), а также полигоны промышленных и бытовых отходов (Экологический мониторинг, 2012), золоотвалы, карьеры, очистные сооружения г. Томска и т.д.

Помимо этого, Томский район изучается в течение долгих лет (Барановская, 2011; Перминова, 2017; Рихванов, Языков, Сухих, 2006; Рихванов, 2001; Межибор, 2009), в связи с интенсивным воздействием на окружающую среду предприятий Северного промышленного узла. На территории Северного промышленного узла расположено более тридцати



промышленных комплексов, в том числе крупнейшее в мире предприятие ядерного топливного цикла - Сибирский химический комбинат (СХК) и крупнейший в России нефтегазоперерабатывающий завод - Сибур (бывший Томский нефтехимический завод). СХК представляет собой потенциально самое опасное производство, в первую очередь, из-за близости размещения к населенным пунктам (10–15 км от жилых районов г. Томска), большого количества произошедших аварий (Рихванов, Язиков, Сухих 2006).

В почвах Томского района фиксируется повышенное содержание редкоземельных элементов, что является природным фактором, а также свидетельствует о наличии мощного источника постоянного загрязнения (Рихванов, Язиков, Сухих 2006; Таловская, 2008; Жорняк, 2009). Перенос редкоземельных элементов может происходить за счет дальнего переноса выбросов от СХК (Рихванов, 2000; Рихванов, 1997), либо являться следствием выбросов дымовых труб томской ГРЭС-2 (Арбузов, Ершов, 2007). Почвы же непосредственно СПУ по сравнению с почвами Томской области обогащены Ва, Sr, V, Th, Ag (Экологический мониторинг, 2012). Влияние промышленного комплекса фиксируется и при изучении атмосферного воздуха, проявляясь в концентрировании урана и тория в твердом осадке снега по направлению ветрового переноса (Рихванов, 2000).

Основными геохимическими признаками воздействия предприятий северного промышленного узла на живые организмы является повышенное содержание урана, лантаноидов (Рихванов, Язиков, Сухих 2006). Повышенное содержание этих микроэлементов фиксируется и в барьерных органах, и в отдельных организмах разных видов, мелкие млекопитающие, амфибии, птицы и др. (Москвитина, 1999; Куранова, 1992; Ильинских, 1998), в речной рыбе (Берзина, Четкин, Хотулева и др., 2001), крупных диких животных, и в отдельных биосубстратах человека (Ильинских, Юркин, Ильинских, 2001).

Таким образом, негативное воздействие промышленных предприятий, расположенных на территории Томского района, оказывает комплексное воздействие на элементный состав природных сред и живых организмов. Антропогенная деятельность приводит к активному концентрированию живыми организмами радиоактивных, редкоземельных элементов, лантаноидов, что обуславливает необходимость их детального изучения с геоэкологической точки зрения.

**Забайкальский край.** Забайкальский край находится на юго-востоке Сибири, при площади 431,5 тыс. км<sup>2</sup> занимает 4% от территории России. В ходе исследования биологический материал Свины домашней был отобран на территории 3 регионов Забайкальского края: Нерчинско-заводской район (с. Уровские ключи), Калганский район (с. Калга), район Гаимурско-заводской район (с. Газимурский завод, с. Тайна) (рис.10).

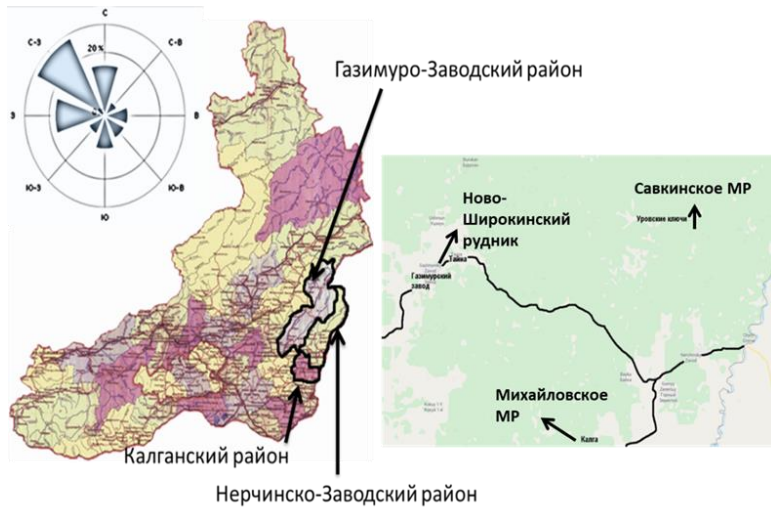


Рисунок 10. Карта Забайкальского края (Министерство природных ресурсов Забайкальского Края, 2017). Точки отбора проб на территории Забайкальского края на основе карты maps.google.ru с дополнениями автора

Главными отраслями промышленности Забайкалья являются горнорудная, топливно-энергетическая, транспортная. В ресурсном отношении это богатейший и старейший минерально-сырьевой регион страны. В недрах края заключено 87% разведанных запасов урана, 42% плавикового шпата, 36% циркония, 30% молибдена, 25% меди, 23% титана, 16% вольфрама, 13% серебра, 9% золота и других полезных ископаемых. На учете Управления по всем видам контроля стоит 331 объект, в том числе 143 горнодобывающих предприятия. В результате деятельности этих объектов в крае образуется 119,1 млн тонн отходов, из них отходы горнодобывающей промышленности составляют 116,76 млн тонн (98% от общего количества), передано на захоронение – 243,9 тыс. тонн твердых бытовых отходов (Министерство природных ресурсов Забайкальского Края, 2017).

Напряженная экологическая обстановка края приводит к значительному загрязнению природных сред. Согласно комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям в 2017 году из 31 водного объекта Забайкальского края, загрязненные и очень загрязненные воды (3 класс качества) имеют 20 водных объектов (или 65%); грязные (4 класс качества) – 10 (или 32%), слабо загрязненные – 1 (или 3%). В водных объектах края чаще всего регистрировались превышения предельно допустимых концентраций по ХПК и БПК<sub>5</sub>, меди, марганца и нефтепродуктов, наблюдается увлечение содержания цинка, фосфатов и нефтепродуктов. Нерчинско-заводской район и Газимуро-Заводской районы согласно оценке качества питьевых вод, имеют наибольшую долю проб питьевой воды, не соответствующих гигиеническим нормативам. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в Забайкальском крае характеризуется как высокий и повышенный. Климатические условия и

географические особенности местности, а также особенности отопительного сезона обуславливают повышение загрязнения воздуха в осенне-зимний период. Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 122 тыс. тонн загрязняющих веществ, из них: твердых веществ – 43 тыс. тонн; жидких и газообразных – 79 тыс. тонн. Проблема обезвреживания, хранения и захоронения отходов остается также актуальной. Образование основной массы отходов обуславливаются промышленным профилем региона, и основная масса отходов 4 и 5 класса опасности приходится на предприятия горнодобывающей промышленности. Техногенные скопления (около 2,9 млрд тонн) образованы отвалами бедных и некондиционных руд, хвостами флотационного и гравитационного обогащения, продуктами химической переработки руд цветных металлов (Министерство природных ресурсов Забайкальского Края, 2017).

Экологические проблемы края распространяются и на исследованные территории. Село Уровские ключи располагается в непосредственной близости от Савкинского золоторудного месторождения, запуск которого состоялся в 2008 году. Балансовые запасы месторождения составляют 5,9 тонн золота, прогнозные ресурсы - 18 тонн золота (Бизнес справочник Савкинское месторождения, 2017). В Калганском районе возле территории расположения села Калга расположен Кадаинский рудник (период эксплуатации 1954-1993) по обогащению и добыче полиметаллических руд, в состав рудника входят Кадаинское полиметаллическое месторождение, Михайловское полиметаллическое месторождение добыча подземным способом и Новопокровское открытым. В Газимурско-заводском районе находится крупный рудник по добыче рассыпного золота – Ново-широкинский рудник. Ранее в районе действовали горнорудное предприятие Солонечный и Култуминский золотой прииск (Бизнес справочник Савкинское месторождения, 2017).

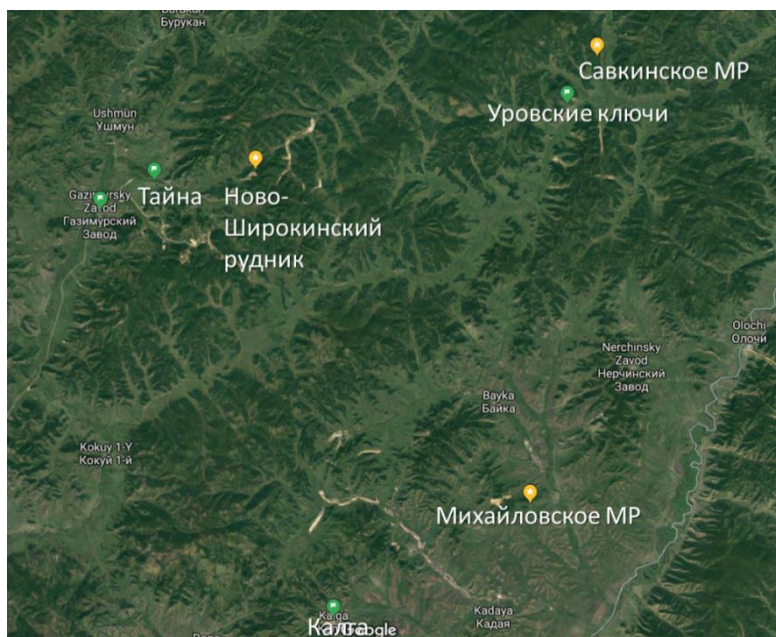


Рисунок 11. Расположение точек отбора проб и источников воздействия на окружающую среду на основе карты maps.google.ru с дополнениями автора

Таким образом, геоэкологическая обстановка исследуемых территорий характеризуется, как напряженная прежде всего в связи с близким расположением объектов горнодобывающей промышленности в каждом районе пробоотбора (рис. 11).

**Республика Тыва.** Республика Тыва расположена в географическом центре Азии на юге Восточной Сибири, в верховьях Енисея. Максимальная протяжённость территории с севера на юг — 420 км, с запада на восток — 630 км, максимальная и минимальная протяжённости — 720 км и 120 км соответственно. Общая площадь Республики — 168,6 тысяч км<sup>2</sup>. Минерально-сырьевые ресурсы Республики Тыва характеризуются большим разнообразием видов полезных ископаемых (Государственный доклад, 2012). Здесь разведаны месторождения коксующегося и энергетического угля, черных, цветных, редких и благородных металлов, нерудного сырья, пресных и минеральных подземных вод, минерального строительного сырья (рис.12). На их базе могут развиваться крупные горнопромышленные комплексы. Горное производство является основной отраслью промышленности республики.

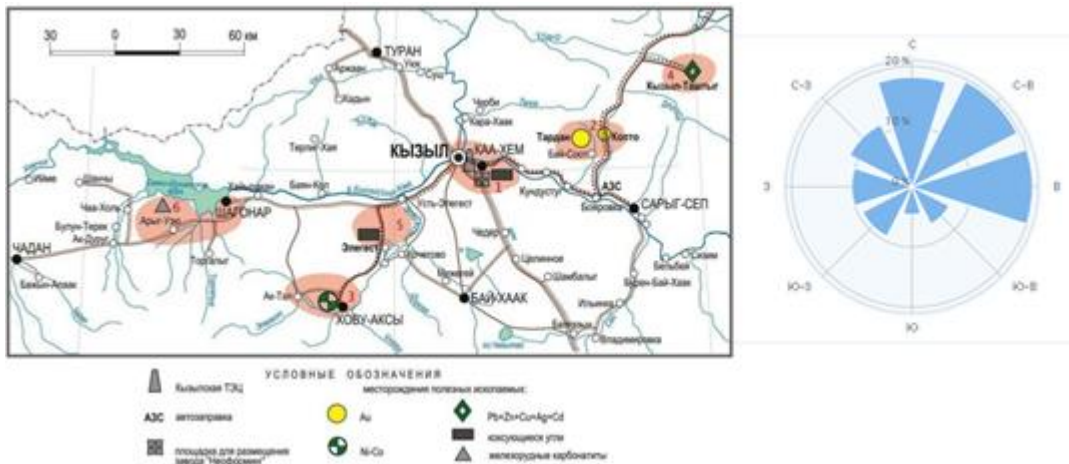


Рисунок 12. Месторождения полезных ископаемых в районе региона отбора проб (Андрейчик, 2012) и направление ветра в республике Тыва (Архив погоды в Кызыле, 2019)

Место отбора проб биологического материала в селе Ову-Аксы расположено на реке Элегест и является центром Чеди-Хольского кожууна. Экологическая ситуация поселка осложняется тем, что в 1970-1990 гг. в районе функционировало предприятие по производству медно-никелево-кобальтового концентрата "Тувакобальт" (Государственный доклад, 2012).

Рудной базой предприятия являлось Хову-Аксинское месторождение, основными компонентами руд, которых являются Co, Cu, Ni. Несмотря на то, что в 1990 году предприятие

было закрыто, отвалы месторождения содержат большое количество загрязняющих веществ, таких как мышьяк, цианистый натрий и др. (Забелин, 2016).

Таким образом, смешанные эколого-геохимические условия, определенные как природными (местонахождение полезных ископаемых, направление ветра) так и антропогенных (отходы добывающей и перерабатывающей промышленности) факторами, обуславливают необходимость биогеохимического мониторинга региона по данным элементного состава живого вещества.

## ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ И ПРОБОПОДГОТОВКА БИОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

### 4.1 Исходный материал и методика пробоотбора

Домашняя свинья (лат. *Sus scrofa domesticus*) — крупное парнокопытное, подвид кабана, одомашненное человеком и выращиваемое в основном для производства мяса. Свиньи – всеядные животные с однокамерным желудком и кишечным типом пищеварения. Это позволяет им достаточно хорошо приспосабливаться к разным типам кормления от растительного до плотоядного. Свинина в мире является наиболее употребляемым видом мяса – 43 % общего объема (курятина – 29,5 %, говядина – 23,5 %, другие виды – 4 %) (Комлацкий, Величко, Величко, 2017).

Органы и ткани Свиньи домашней исследуются как индикатор его географического происхождения (Kim et al., 2017; Park et al., 2018; Wang et al., 2014) и уровня экологической нагрузки (Huang et al., 2017), помимо этого элементный состав всего организма также представляет научный интерес, как модель человеческого организма, отражающая в своем составе воздействие окружающей среды.

В ходе работы проанализировано методом ИНАА - 146, и методом ИСП-МС - 40 проб органов и тканей Свиньи домашней в 2013, 2017, 2019 гг., отобранные сотрудниками отделения Геологии Инженерной школы Природных ресурсов при участии автора (табл.3).

Таблица 3. Пробы биологического материала, отобранные для биогеохимического мониторинга

Территория исследования		Тип проб	№ проб	Место пробоотбора	Вид анализа		
Россия	Томский район	12-перстная кишка; бронхи; внутренний жир глаз; головной мозг; гортань; диафрагма; желчный пузырь; жир; зуб; кожа; кость; кровь; легкие; матка; молочная железа; мочеточник; мышца (мясо); надпочечник; нос; печень; пищевод; плевра; поджелудочная железа; почка; прямая кишка; селезенка; сердце; спинной мозг; толстый кишечник; тонкий кишечник; трахея; ухо; хвост; щетина; щитовидная железа; язык; яичники	78	Деревня Кижирова	ИНАА		
				Деревня Верхнее Сеченово			
		Сердце, почка, печень, легкое	4	Пос. Межениновка			
	Республика Тыва	Мышца, селезенка, желудок, кишечник	4	Пос. Хову-Аксы			
	Забайкальский край	Мышца; копыто; костный мозг	3	Уровские ключи			
		Берцовая кость; копыто; мышца; кожа; костный мозг	5	Калга			
		Берцовая кость; костный мозг; кожа; мышца; копыто	5	Газимуромский завод			
		Костный мозг; кожа	4	Тайна			
	Томский район	Легкие; позвоночник; трубчатая кость; почка; головной мозг; спинной мозг; селезенка; печень; сердце; легкие; позвоночник; трубчатая кость; почка; головной мозг; спинной мозг; селезенка; печень; яичник	18	Село Кижирова		ИСП-МС	
				Село Верхнее Сеченово			
			Позвонок (2); спинной мозг (1); кровь (3)	6			Г. Асино
			Позвонок (2); спинной мозг (2)	4			Пос. Корнилово, Пос. Семилужки
	Позвонок	1	Урташ				
Казахстан	Павлодарская область	Гортань; желудок; тонкий кишечник (8); толстый кишечник (4); прямой кишечник (5); сердце; кровь; селезенка; кость; скелетная мышца; мочеточник; матка; почка	31	Г. Экибастуз	ИНАА		
	Восточно-Казахстанская область	Головной мозг, позвоночник, спинной мозг, сердце, селезенка, почка, печень, лёгкое	8	Пос. Путинцево			
	Павлодарская область	Позвонок; спинной мозг	2	Г. Экибастуз	ИСП-МС		

В анализе использовали органы и ткани Свиньи домашней свињи женского пола возрастом около 6 месяцев, органы и ткани, объединенные в каждую из систем органов для их внутреннего сравнения между собой представлены в Таблица 4.

Таблица 4. Пробы биологического материала, отобранные в результате исследования

Система органов	Органы
Пищеварительная система	Язык, гортань, желудок, 12-перстная кишка, пищевод, прямая кишка, толстый кишечник, тонкий кишечник, ротоглотка
Система крово-лимфообращения	Кровь, селезенка, сердце
Мочеполовая система	Матка, мочеточник, яичники, почки
Покровная система	Жир, кожа, щетина
Опорно-двигательная система	Кости (трубчатая, позвоночник, челюсть), хрящ, скелетная мышца
Центральная нервная система	Головной мозг, спинной мозг
Эндокринная система	Надпочечники, молочная железа, печень
Дыхательная система	Легкие, трахеи, бронхи

Для детального исследования желудочно-кишечного тракта были выбраны органы каждого отдела кишечного тракта от начала и до конца органа: 8 проб тонкого, 4 пробы толстого, 6 проб прямого кишечника, были также отобраны образцы желудка и глотки (всего проанализировано 20 проб по 20 см каждая). Глотка была включена в изучение желудочно-кишечного тракта, в связи с анатомическим составом, выстилающей её слизистой ткани, образующей ЖКТ и носоглотку, а также была исследована как зона поступления не только воды и пищевых масс, но и воздуха.

Пробы отбирались в частных подворьях на территории Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей Республики Казахстан, Томской агломерации, Республики Тыва, Забайкальского края России (рис.13) для установления их химического элементного состава.



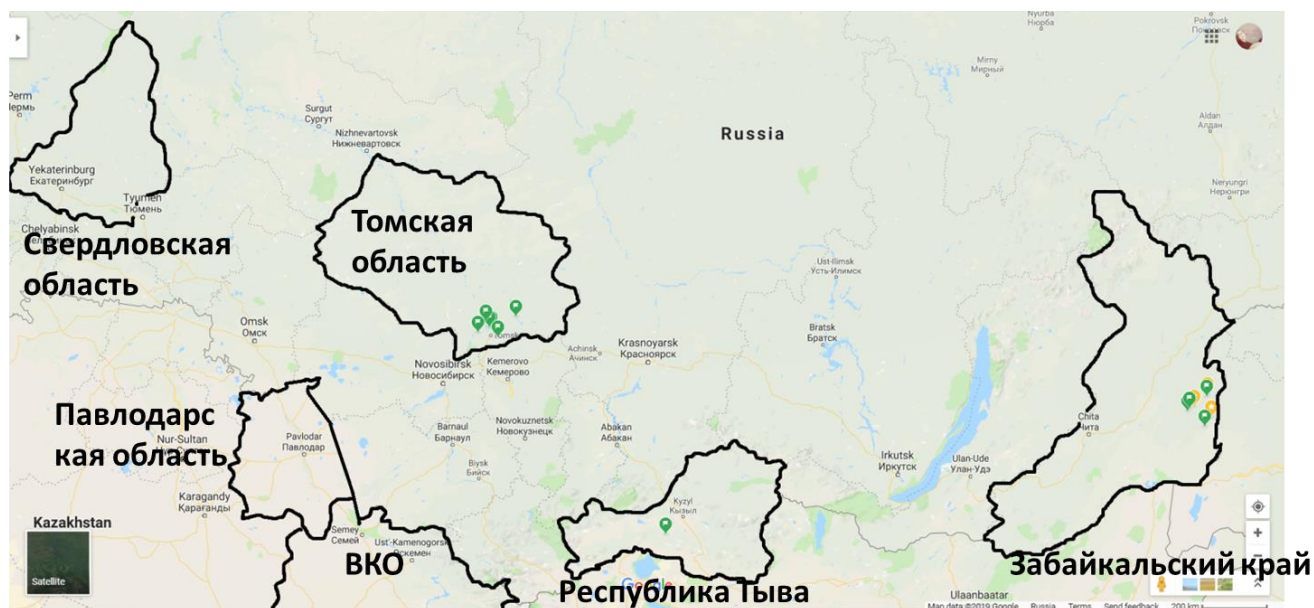


Рисунок 13. Расположение городов России и Казахстана, на территории которых были проведены исследования элементного состава золы Свины домашней (на основе карты maps.google.ru с дополнениями автора)

Прим.: ВКО – Восточно-Казахстанская область

Помимо этого, в исследовании были использованы пробы биологического материала – плацента и эмбрион мелких млекопитающих вида Полевка рыжая (*Myodes glareolus*), предоставленный коллегами – сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург. Животные были пойманы в зоне воздействия Среднеуральского медеплавильного завода, г. Ревда в количестве 152 пробы. Для исследования были также использованы пробы биологического материала – женщин-жительниц города Томска, отобранные к. м. н. Станкевич С.С., руководитель Центра поддержки грудного и рационального вскармливания г. Томска, всего 13 проб. Пробы мелких млекопитающих и плацентарной ткани женщин были проанализированы методом ИНАА со стандартной подготовкой.

#### 4.2 Пробоподготовка биологического материала

Суть методики пробоподготовки биоматериала заключается в высушивании с последующим озолением. Общая схема обработки и анализа проб биоматериала приведена на рисунке 14:



Рисунок 14. Схема обработки и анализа проб методом ИНАА

Озоление проб проводится в лабораторных условиях в специальных муфельных печах при температуре 600° С. Последние позволяют выдерживать определенный температурный режим, что резко увеличивает производительность работ при улучшении качества. Озоление проводится в фарфоровых и металлических тиглях, предварительно установив, что данные тигли не вызывают загрязнение проб. Показателем полного озоления являлось появление равномерной окраски зола (от белой до пепельно-серой и коричневой) и отсутствие черных углей.

Помимо зольной составляющей организма из органов и тканей была выделена вода биологическая, как жидкостная составляющая организма. Для отбора жидкости из органов был использован метод Дина и Старка, который используется в основном для количественного определения воды в различных веществах (Химическая энциклопедия в пяти томах, 1988). Сущность метода состоит в нагревании пробы с нерастворимым в воде растворителем, с образованием азеотропной смеси, состав которой не меняется при кипении. Для этого был использован аппарат Дина и Старка (Рихванов и др., 2019). Нагрев прекращается после того, как объём воды в ловушке-приемнике перестаёт увеличиваться, что свидетельствует о полном извлечении жидкости из пробы. Измерение объема сконденсированной воды дает возможность вычисления ее количества в определённой структуре (орган), а также дальнейшего изучения ее химического состава. В конечном результате метод позволяет получить жидкость межклеточного и внутриклеточного пространства, так как происходит термическое разрушение стенок животной клетки.

Аналитические методы лабораторных исследований.

Для определения элементного состава образцов использовали: инструментальный нейтронно–активационный анализ (ИНАА), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Все отобранные материалы анализировались в аккредитованных

лабораториях по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения. Достоверность анализов подтверждалась контрольными определениями на разных средах, выполнялся внутренний контроль.

#### Инструментальный нейтронно-активационный анализ.

Методом инструментального нейтронно-активационного анализа было проанализировано 147 проб биологического материала Свины домашней. Анализ образцов проводился на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (аттестат аккредитации RA.RU.21AB27 от 08.04.2015); аналитики – с. н. с. А.Ф. Судыко и Л.Ф. Богутская) согласно инструкции НСАМ ВИМС № 410-ЯФ. Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла  $2 \cdot 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ , продолжительность облучения проб – 20 часов. Измерения проводились на гамма-спектрометре с германий-литиевым детектором ДГДК-63А. Исследования проводились с использованием стандартного образца сравнения – стандарт окунь байкальский и лист березы (рис.15).

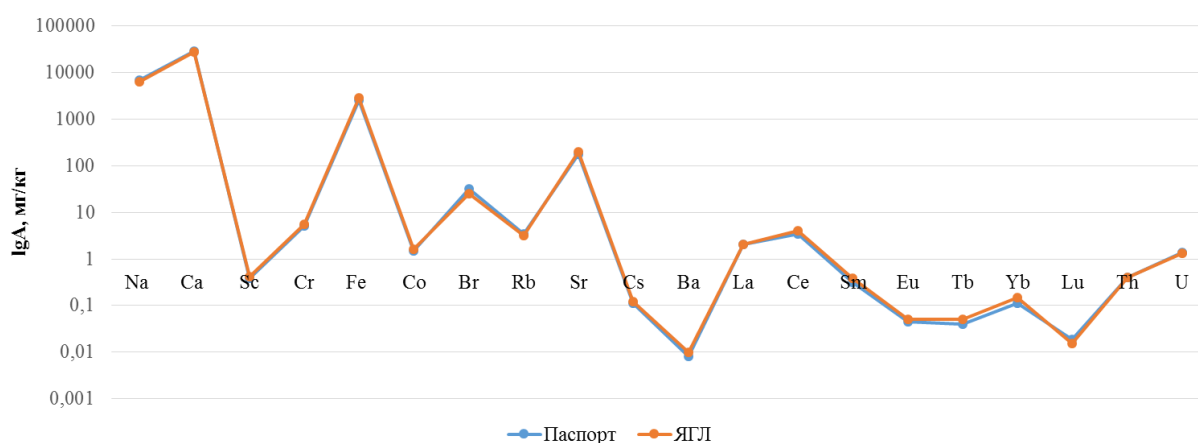


Рисунок 15. Сопоставление результатов ИНАА (паспорт-стандарт МАГАТЭ «Листья березы»; ЯГЛ – ядерно-геохимическая лаборатория кафедры ГЭГХ ТПУ)

Предел обнаружения элементов в зависимости от их активационных свойств и состава матрицы анализируемой пробы в основном колеблется от  $n \cdot 1$  до  $n \cdot 10^{-6} \%$ .

Пробоподготовка для ИНАА проходит в несколько этапов: берется упаковка из алюминиевой фольги (размер 3 см x 3 см), предварительно обработанной спиртом, пинцетом формируется пакетик, далее на электронных весах определяется вес фольги (мг), на пакетике проставляется шифр пробы, пробу насыпаем в пакетики на электронных весах определяется вес пробы (в идеале – 100 мг) и общий вес.

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

ICP–MS – современный метод определения элементов в малых (мкг/кг) и сверхмалых (нг/кг и менее) концентрациях. Он основан на использовании индуктивно-связанной плазмы в качестве источника ионов и масс-спектрометра для их разделения и детектирования и позволяет определять практически все химические элементы в одной навеске за минимальный промежуток времени (около 1 мин.).

Анализ образцов органов и тканей Свины домашней проводился в аналитическом центре ООО «Химико-аналитический центр «Плазма» (г. Томск, Аттестат аккредитации RA.RU.516895 от 24.03.2016).

Вода биологическая анализировалась в аккредитованном научно-образовательном центре «Вода» (Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001. 511901 действителен до 09.09.2018) Национального исследовательского Томского политехнического университета (руководитель центра Копылова Ю. Г.), где методом индуктивно-связанной плазмы по аттестованной методике HСAM 480X на спектрометре NexION 300D было определено содержание 54 элементов.

Методика обработки данных.

Обработка и обобщение полученного аналитического материала проводились на персональном компьютере с помощью офисного пакета Microsoft Office (Excel, Word 2013) и программы «Statistica 7». Для построения графического материала использовалось программное обеспечение «Surfer 10» и «Inkscape 0.91». Выборки были созданы по Томской агломерации, отдельным населенным пунктам, а также по степени удаленности от предполагаемых источников загрязнения.

Статистическая обработка информации (при уровне надежности 95%) проводилась по следующим параметрам: проверка принадлежности максимальных значений к выборочной совокупности, оценка числовых характеристик содержаний химических элементов в биологическом материале Свины домашней каждого исследуемого района, оценка соответствия распределения химических элементов гипотезе нормального закона распределения по результатам теста Колмогорова-Смирнова, оценка характера и силы взаимосвязи между химическими элементами на изучаемой территории по критерию Пирсона и факторный анализ методом главных компонент дисперсий геохимического спектра. При расчете средних содержаний элементов из общей выборки убирались «ураганные пробы», но в разбросах частных значений они показаны. При содержании некоторых элементов в концентрациях ниже предела обнаружения анализа при расчете использовалось половина порогового значения (Михальчук, Язиков, 2014). Вне зависимости от характера распределения элементов, в качестве средних уровней содержания нами принимались среднеарифметические

значения по выборке, которые, как при нормальном, так и асимметричном распределении дают наиболее состоятельную оценку значений концентраций (Ткачев, 1975). Обнаруженные значения ниже предела обнаружения заменялись на половину предела, аномально высокие концентрации были заменены на значения, равные среднему содержанию плюс три стандартные ошибки, рассчитанные с учетом этих аномальных концентраций. Для каждого изученного элемента были установлены аномальные значения, которые не учитывались при расчете среднего арифметического и коэффициента концентрации. Оценка значимости различий выборочных совокупностей выполнена методом статистического непараметрического анализа Колмогорова-Смирнова различия принимались значимыми при  $p$ -уровне  $p < 0.001$ .

При анализе рассчитывались следующие показатели:

1. Абсолютные содержания элементов в пробах, проанализированное методами химического анализа ИНАА, ИСП-МС (мг/кг).
2. Коэффициент концентрации, который является показателем уровня аномальности содержаний элементов и рассчитывается, как отношение содержания элемента в природной среде ( $C$ ) к его среднему арифметическому содержанию в выборке ( $C_c$ )

$$K_k C \div C_c$$

Формула 1. Коэффициент концентрации

По рассчитанным значениям коэффициента концентрации (при  $K_k > 1$ ) составлялись геохимические ряды в порядке убывания значений.

Интерпретация и обобщение полученных результатов проводились с использованием опубликованной и фондовой информации по рассматриваемой тематике.

Аддитивный показатель, который представляет собой сумму коэффициентов концентрации, превышающих единицу.

Коэффициент вариации, равный отношению стандартного отклонения к среднему значению.

### 4.3 Методика оценки токсичности элементов с помощью модели USEtox.

Основы модели the USEtox, разработанной на платформе Microsoft Excel, и сопутствующие расчеты в полной мере описаны в руководстве пользователя, доступном на сайте (USEtox, 2017). В данном исследовании были рассмотрены принципы, используемые для расчетов характеристического коэффициента токсичности (CF), а также расчетов фактора экспозиции, модифицированного в ходе исследования. Все используемые формулы показаны на английском языке согласно представлению в модели, а их расшифровка максимально адаптирована на русский язык.

В соответствии с руководством пользователя (Fantke et al., 2017) модель USEtox в настоящее время используется для расчета характеристического коэффициента токсичности (CF), оценивающего воздействие на здоровье человека и на пресноводные экосистемы от выбросов загрязняющих веществ в воздух в помещениях, а также в воздух городов, сельской местности, пресноводные водоемы и сельскохозяйственные почвы. Воздействие на здоровье человека включает канцерогенные воздействия, неканцерогенные воздействия и общие воздействия (канцерогенные и неканцерогенные).

Характеристический коэффициент токсичности (CF), который требуется для оценки воздействия на здоровье человека или воздействие на окружающую среду, обычно определяется как комбинация этих трех факторов (Формула 2):

$$CF = EF \times FF \times XF$$

Формула 2. Расчет характеристического коэффициента токсичности, [Дали/кг]

Эта формула охватывает два основных аспекта, связанных с поведением химических веществ в окружающей среде и их накоплением и передачей в трофических уровнях (FF и XF) и связанных с воздействием человека или окружающей среды (EF).

- FF – fate factor, или фактор «судьбы», [кг вещества г в окруж.среде/кг вещества выделенного в окруж.среду /день.] отражает стойкость химического вещества в окружающей среде (например, в днях), а также относительное его распределение в экосистемах.

- XF – exposure factor, или фактор экспозиции [кг потребления вещества/день на кг в компоненте окружающей среды] описывает эффективное потребление человеком определенного компонента окружающей среды - воздуха, воды, почвы - при вдыхании и проглатывании.

- EF – effect factor, или фактор эффекта/результата [кг\_привноса/день] отражает воздействия на здоровье человека и состояние экосистем в результате поступления химического

элемента/вещества в живой организм различными способами (через воздух, воду, почву или пищу).

Оценка воздействия на человека химического вещества, выбрасываемого в окружающую среду (в помещении или на открытом воздухе), основана на причинно-следственной цепочке, связывающей (интегрированную во времени) химическую массу в компонентах окружающей среды (оценивается в модели «судьбы» химического вещества) с потреблением вещества населением через различные пути проникновения. Факторы воздействия XF на человека, соответствующие определенным путям (xp), можно различить как прямые (питьевая вода или вдыхание воздуха), так и косвенные (через пищу, такую как мясо, молочные продукты, овощи и рыба) факторы воздействия.

Характеристический коэффициент токсичности (CF) рассчитывается в соответствии с документацией USEtox. В расчетах используются заданные моделью для зоны «Центральная Азия» значения по умолчанию для фактора «судьбы» (FF), фактора эффекта (EF). Для расчета фактора экспозиции (XF) берутся модифицированные по результатам химического анализа данные. Для этого результаты исследования свинины используются при расчете фактора экспозиции, отображающего эффективное поступление элементов с почвой или воздухом в организм человека при употреблении мясных продуктов.

Непрямой фактор экспозиции косвенно можно интерпретировать как эквивалентную норму потребления загрязненного компонента *i* (свинина) через пищевой субстрат, соответствующую пути воздействия xp (воздух, почва). Каждый фактор воздействия представляет увеличение воздействия на человека через путь xp из-за увеличения концентрации в компоненте *i* (Usetox, 2013).

При расчёте фактора экспозиции учитывается BAF – фактор биологической аккумуляции вещества в среде (мясо, молоко), который выражает аккумуляцию элемента компонентом (мясо, молоко) из природной среды (воздух, почва)

Уравнение для расчета фактора воздействия на человека для косвенного пути имеет вид (уравнение 2):

$$XF_{xp,i}^{indirect} = \frac{BAF_{xp,i} \times IR_{xp} \times P}{\rho_i \times V_i}$$

Формула 3. Расчет непрямого фактора экспозиции для человека, [кг потребления вещества/день на кг в компоненте окружающей среды]

Прим.:  $\rho_i$  - объемная плотность среды *i* [кг/м<sup>3</sup>], а  $V_i$  [м<sup>3</sup>] - объем среды *i*, связанный с путем воздействия xp.  $IR_{xp}$  [кг/день] — это индивидуальная скорость потребления пищевого субстрата, соответствующая пути воздействия xp,  $P$  - численность населения, BAF это фактор биоаккумуляции.

Объемная плотность среды  $i$ , и индивидуальная скорость потребления являются табличными значениями и для расчета берутся из модели. Объем среды  $i$  ( $V[m^3]$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$V_i = h_{i[m]} \times S_{i[m^2]}$$

Формула 4. Расчет объема среды  $i$ ,  $m^3$

*Прим.:  $h_{i[m]}$  – это высота среды  $i$  (континентальный и глобальный воздух, или почвы), табличное значение, представленное в модели, а  $S_{i[m^2]}$  – это площадь среды  $i$  (континентального и глобального воздуха, или почвы), зависящая от географических особенностей изучаемого региона.*

Согласно документации модели, фактор биологической аккумуляции рассчитывается следующим образом:

$$BAF_{xp,i} = \frac{C_{xp}}{C_i}$$

Формула 5. Расчет коэффициента биоаккумуляции,  $[кг_{xp}/кг_i]$

*Прим.:  $C_{xp}$  — это концентрация элемента в пищевом субстрате, соответствующая пути воздействия  $xp$ , например, в мясе или молоке, и  $C_i$  – концентрация в природной среде (почва, воздух) (Fantke и др., 2017; Usetox, 2013).*

В модели USEtox BAF, определяемый моделью, не выражает влияния условий окружающей среды на накопление элементов в мясе или молоке (Fantke et al., 2017). Однако для того, чтобы учесть геоэкологические особенности региона, BAF был заменен соотношением концентрации  $C_r$  ( $C_{Cr}$ )  $[мг/кг_{xp}]$  в мясе свинины (согласно результатам химического анализа) и кларковой концентрацией веществ в биосфере (по Глазовским)  $[мг/кг]$  (Глазовский, 1982).

Кларковая концентрация была выбрана для расчета коэффициента концентрации элементов, поскольку эта величина выражает их усредненную концентрацию в биосфере.



## ГЛАВА 5. ОБЩИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО (SUS SCROFUS DOMESTICUS)

Статистические параметры накопления и распределения химических элементов отражают общие закономерности их поведения в органах и тканях объекта исследования *Sus scrofa domestica*. Статистические данные об абсолютных содержаниях элементов, рассчитанные для всего массива данных используются в качестве нормализации значений при расчете коэффициента концентрации. Анализ результатов изучения элементного состава золы биоматериала Свиньи домашней показал неоднородность выборки.

Абсолютные содержания элементов в организме животного (табл. 5), наглядно демонстрирующие основные статистические параметры изучаемого материала, представлены в таблице ниже.

Таблица 5. Элементный состав организма Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*) по результатам ИНАА (зола, мг/кг)

Элемент	X	$\lambda$	Min	Max	Me	Mo
1	2	3	4	5	6	7
Na	51608	5131	23400	59615	400	328228
Ca	38606	5783	500	67191	50	233591
Sc	0,27	0,07	0,0045	0,82	0,001	7
Cr	24	6,68	0,25	78	0,04	821
Fe	3208	612	45	7108	20	60400
Co	2	0,2	0,05	2	0,004	12
Zn	652	55	2,5	636	2,5	4043
As	1,39	0,11	1	1,22	0,2	8
Br	167	17	#Н/Д	203	0,25	1204
Rb	72	6	0,5	64	0,5	276
Sr	64	10	10	117	10	679
Ag	0,67	0,21	0,05	2,48	0,01	24
Sb	0,24	0,07	0,005	0,86	0,003	9
Cs	0,24	0,03	0,05	0,39	0,004	3
Ba	32	6	5	69	2,62	386
La	0,82	0,18	0,05	2,06	0,01	13
Ce	2,49	0,42	0,05	4,85	0,01	24
Nd	1,28	0,24	0,25	2,74	0,03	19
Sm	0,36	0,06	0,05	0,71	0,005	4
Eu	0,04	0,01	0,003	0,09	0,001	1
Tb	0,04	0,01	0,01	0,07	0,001	0,4
Yb	0,11	0,02	0,1	0,17	0,002	1
Lu	0,03	0,001	0,005	0,03	0,001	0,1
Hf	0,19	0,06	0,005	0,72	0,002	7
Ta	0,03	0,005	0,01	0,05	0,001	0,3

Продолжение таблицы 5.						
1	2	3	4	5	6	7
Au	0,24	0,08	0,001	0,93	0,001	8
Th	0,23	0,05	0,02	0,58	0,01	3
U	0,35	0,09	0,05	1,07	0,02	11

Прим.:  $\bar{X}$  – среднее арифметическое содержание в выборке, мг/кг,  $\lambda$  – стандартная ошибка,  $\min$  – минимум,  $\max$  – максимум,  $Me$  – медиана,  $Mo$  – мода.

Вариабельность содержаний изученных элементов была рассмотрена подробнее при расчете уровней их накопления в биоматериале.

Коэффициенты вариации лежат в пределах от 90% до 250%. Согласно градации коэффициентов вариации показатели, лежащие в пределах свыше 60%, относят выборку к сильно вариабельной (Ткачев, 1975). Данная вариабельность обусловлена высокой специфичностью живого материала и работой барьерных систем. Высокий разброс значений свидетельствует о многофакторном поступлении элементов в организм, и невозможности использования параметрических критериев статистического анализа данных.

Анализируя значения коэффициентов вариации внутри групп элементов с примерно одинаковым средним содержанием в организме можно отметить его неоднородность, как например у эссенциальных элементов Na, Ca, Fe, Zn, Rb, Fe, Ca. Элементы, встречающиеся в изученном организме наиболее часто, а именно Na, Zn, Rb проявляют сравнительно низкий для данной выборки коэффициент вариации (59-88%), подтверждая их физиологическую природу накопления. Другие жизненно-важные элементы Ca, Fe варьируют значительно ( $V < 200\%$ ), что предполагает изменения их содержания как в зависимости от изучаемой ткани, так и от среды обитания животного. Содержание железа как форменного элемента крови логично выше именно в этой ткани, нежели в других биоматериалах, это также верно для Ca образующего костную ткань и Sr, имеющего высокое сродство к костной ткани. Группа редкоземельных элементов находится в одной группе со средним коэффициентом вариации, лежащим в пределах от 100-200%. Наименьший коэффициент концентрации (59%, 88%, 85% соответственно) отмечается у As, Rb, Zn, что может указывать, на постоянное присутствие этих элементов в организме вне зависимости от среды проживания. Наибольший КВ наблюдается у Hf, Au, Cr ( $V > 250\%$ ), что может указывать на разнообразные пути поступления данных элементов организм.

Анализ элементного состава органов и тканей Свины домашней отражает основные геохимические закономерности: закон Кларка-Вернадского и правило Оддо-Гаркинса (рис. 16). В изученной выборке элементов, отмечается пониженное содержание Ca, Ag и повышенное содержание U, Nd, Tb, что свидетельствует о некоторых отклонениях от закона.

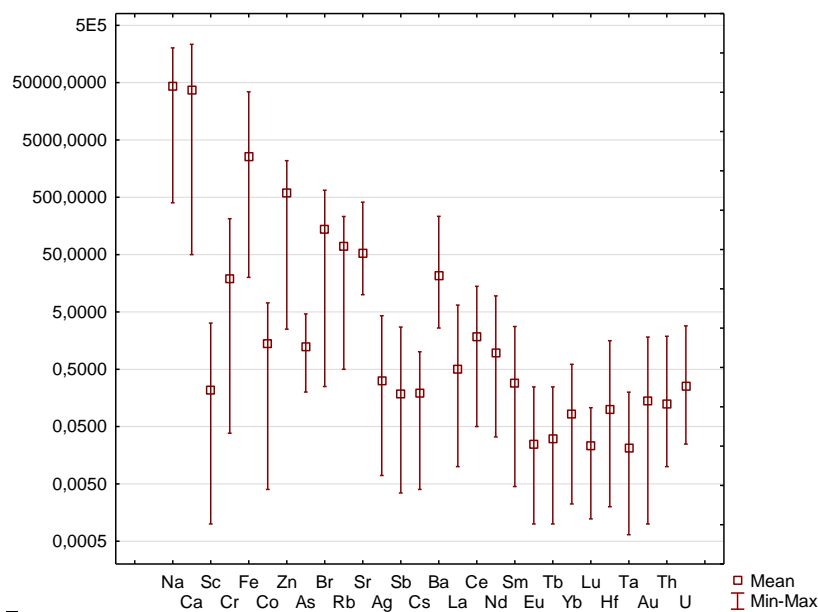


Рисунок 16. Содержание химических элементов в организме Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), (зола, мг/кг, шкала логарифмическая)

По результатам исследований был проведен корреляционный анализ и построена диаграмма ассоциаций химических элементов. Биологический материал Свиньи домашней всей изученной выборки характеризуется значимыми положительными коэффициентами корреляции (значимый коэффициент = 0,7 для 134 проб при уровне ошибки  $p=0,05$ ) для следующих пар элементов:

0,7 Zn-Na; Ca-Sr; Co-Fe; Rb-Cs

По значимым коэффициентам была построена диаграмма корреляционных связей, которая позволяет наглядно увидеть положительные связи элементов, говорить о специфике зольного остатка организма Свиньи домашней (табл.6).

Таблица 6. Матрица корреляционных взаимодействий в золе биоматериала Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), методом непараметрического корреляционного анализа, ( $>0,7$  при критическом значении коэффициента значимости 0,5)

	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U
Na	1,0																											
Ca	0,1	1,0																										
Sc	0,5	0,1	1,0																									
Cr	0,2	0,2	0,5	1,0																								
Fe	0,0	-0,1	0,2	0,4	1,0																							
Co	-0,1	0,1	0,2	0,6	0,7	1,0																						
Zn	0,7	0,1	0,4	0,3	0,1	0,0	1,0																					
As	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	1,0																				
Br	0,4	-0,3	0,1	-0,2	0,2	-0,1	0,0	0,0	1,0																			
Rb	0,6	-0,2	0,2	-0,1	0,0	-0,3	0,6	0,2	0,5	1,0																		
Sr	-0,3	0,7	-0,2	0,0	-0,1	0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,4	1,0																	
Ag	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	-0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,0	1,0																
Sb	0,2	0,2	0,5	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	1,0															
Cs	0,6	0,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,6	0,3	0,3	0,7	-0,3	0,2	0,3	1,0														
Ba	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,0	0,1	0,2	0,1	0,4	0,3	1,0													
La	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,4	0,4	1,0												
Ce	0,2	0,2	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,3	0,3	0,6	1,0											
Nd	0,1	0,4	0,1	0,4	0,4	0,5	0,2	0,2	-0,2	0,0	0,3	0,1	0,4	0,1	0,3	0,5	0,4	1,0										
Sm	0,3	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	0,4	0,1	-0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	1,0									
Eu	0,1	0,2	0,5	0,6	0,3	0,5	0,2	0,3	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3	0,6	0,5	0,3	0,2	1,0								
Tb	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	1,0							
Yb	0,2	0,1	0,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	1,0						
Lu	0,4	0,4	0,3	0,2	-0,1	-0,1	0,4	0,3	-0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	1,0					
Hf	0,2	0,0	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,0	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	1,0				
Ta	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	1,0			
Au	-0,1	-0,3	-0,1	-0,4	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	0,4	0,2	-0,3	0,0	-0,4	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,5	-0,2	0,1	-0,4	1,0		
Th	0,3	0,0	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	-0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3	-0,1	1,0	
U	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	-0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,0	0,4	-0,3	0,2	1,0

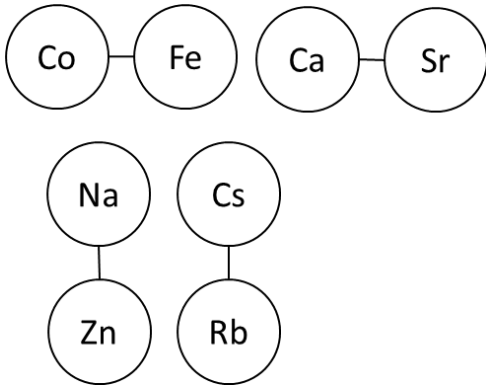


Рисунок 17. Диаграмма значимых ( $>0,7$  при критическом значении коэффициента значимости  $0,5$ ) парных положительных корреляционных связей для зольного остатка биоматериала Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*)

Основные значимые положительные корреляционные связи в биологическом материале Свиньи домашней формируются кластером между литофильными и сидерофильными элементами, согласно классификации В.М. Гольдшмита, не выходящими за пределы геохимических групп (рис.17). Можно предположить, что данные геохимические связи полностью отражают природные взаимодействия элементов, обусловленные их биологической ролью и химическими свойствами. Наиболее сильную корреляционную взаимосвязь имеют стронций и кальций, что объясняется биологической ролью стронция, и его способностью замещать кальций в костной ткани. Сильная корреляционная зависимость этих металлов в костной ткани подтверждается и при построении точечной диаграммы (рис.18).

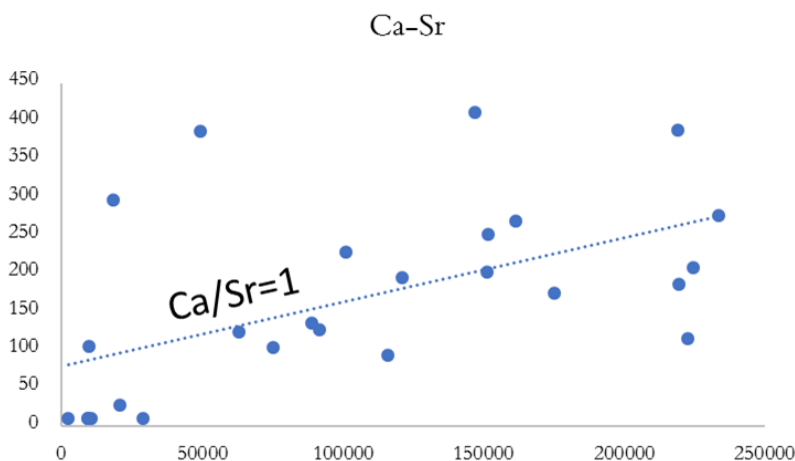


Рисунок 18. Диаграмма парных положительных корреляционных взаимосвязей химических элементов в костной ткани Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) (зола, мг/кг).

Той же физиологической причиной обуславливается корреляционная взаимосвязь железа и кобальта. Железо как эссенциальный элемент выполняет функцию переноса кислорода в крови, а кобальт обеспечивает формирование кровяных телец. Натрий и цинк являются эссенциальными элементами и участвуют в образовании органических соединений в организме. Химизмом щелочных элементов вероятнее всего объясняется корреляция между рубидием и цезием. Таким образом, можно предположить, что вышеупомянутые корреляционные взаимосвязи свойственны живому организму в принципе, и отражают его природу вне зависимости от среды обитания.

Учитывая физиологическую роль химических элементов, следует рассмотреть их распределение внутри организма (рис. 19). Основная локализация большинства исследованных элементов приходится на органы опорно – двигательной, пищеварительной и дыхательной систем и с менее значимыми показателями содержания элементов в нервной и эндокринной системах, похожая закономерность была установлена ранее для систем органов человека (Барановская, 2011, 2015; Игнатова, 2010).

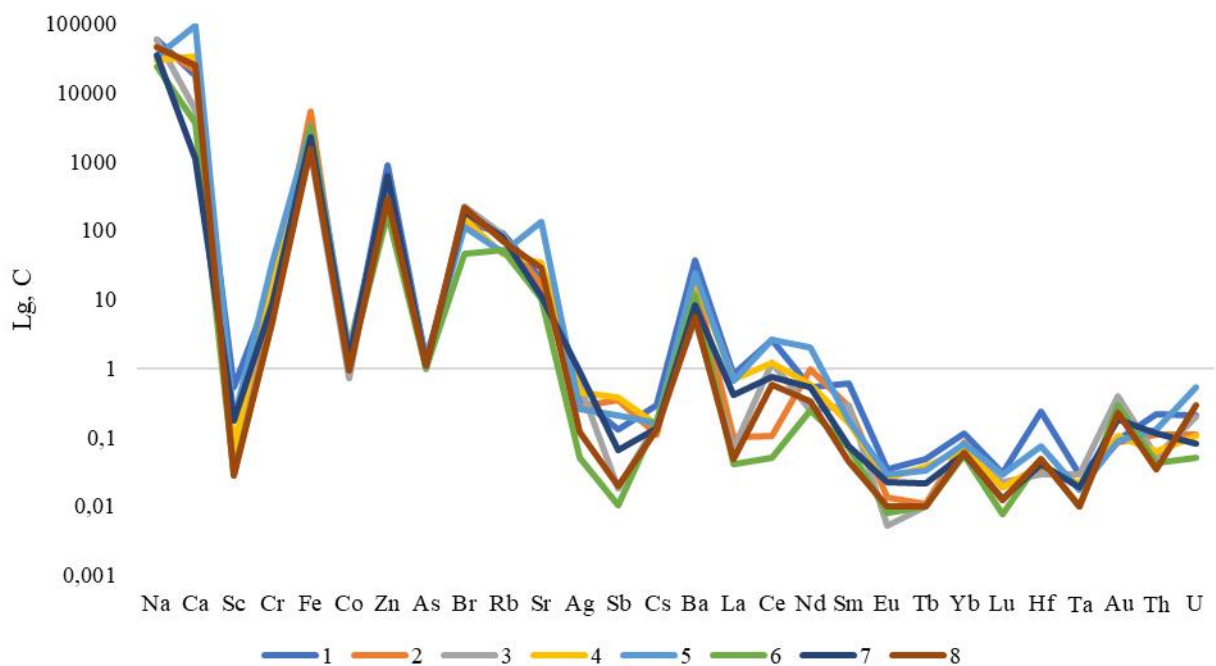


Рисунок 19. Содержание химических элементов в системах органов Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) (зола, мг/кг, шкала логарифмическая)

Прим.: 1 - Пищеварительная система; 2 - Система крово-лимфообращения; 3 - Мочеполовая система; 4 - Покровная система; 5 - Опорно-двигательная система; 6 - Центральная нервная система; 7 - Эндокринная система; 8 - Дыхательная система.

Сравнительный анализ среднего содержания элементов в изученных системах органов показывает, низкое варьирование макроэлементов за исключением элементов с ярко выраженной физиологической функцией, таких как Fe, Ca, Sr. Микроэлементы, радиоактивные элементы и Sb сильно различаются по содержанию внутри организма. Легкие редкоземельные металлы и радиоактивные элементы демонстрируют разброс значений в зависимости от типа исследованной системы наглядно подчеркивая их барьерную роль (рис. 20). Как видно на графике наглядно выделяются барьеры, образованные пищеварительной и опорно-двигательной системами, аккумулирующие все рассмотренные элементы, образуя два своеобразных пика, однако с некоторыми исключениями. Так, Nd помимо костной ткани накапливается в органах системы крово- лимфообращения. Sm максимально осаждается в тканях пищеварительной системы и его содержание в других системах органов незначительно. La осаждается в тканях покровной системы. В барьерах пищеварительной и опорно-двигательной систем аккумулируются радиоактивные металлы: Th, U. Уран накапливается в тканях мочеполовой и дыхательной системы, а торий в тканях пищеварительной и эндокринной.

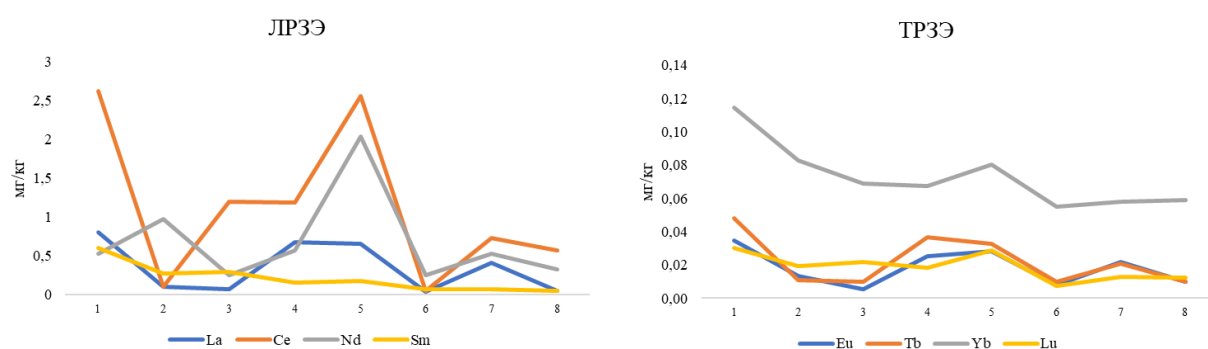


Рисунок 20. Распределение группы легких редкоземельных элементов и радиоактивных элементов в системах органов Свины домашней (*Sus scrofa domestica*), (зола, мг/кг)

Прим.: 1 - Пищеварительная система; 2 - Система крово-лимфообращения; 3 - Мочеполовая система; 4 - Покровная система; 5 - Опорно-двигательная система; 6 - Центральная нервная система; 7 - Эндокринная система; 8 - Дыхательная система.

Изучение торий-уранового отношения в исследуемых системах показывает, что все системы органов за исключением пищеварительной имеют урановую природу. Следовательно, торий активно всасывается тканями барьера пищеварительной системы. Опорно-двигательная система, как основное депо урана (Барановская, Рихванов, 2011) выделяется среди других систем органов максимальными его содержаниями.

Оценка уровней накопления (табл. 7) элементов в системах органов Свины домашней подтверждает, что наибольшее количество их максимумов обнаруживается в тканях ведущих

барьерных систем - желудочно-кишечного тракта и опорно-двигательной системы. Отмечаются значительные накопления макроэлементов Na, Ca, Fe в органах желудочно-кишечного тракта, опорно-двигательной и кровеносной систем.

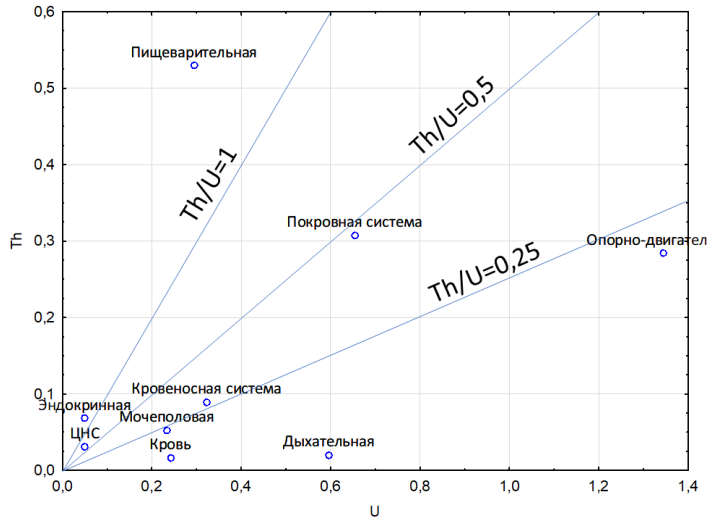


Рисунок 21. Th/U отношение в системах органов Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) (зола, мг/кг)

Согласно анализу содержания, элементы подразделяются на 3 группы: 1) макрокомпоненты, с содержанием свыше 600 мг/кг (Na, Ca, Fe, Zn), 2) элементы, встречающиеся в живом организме реже от 20-150 мг/кг (Br, Rb, Sr, Ba, Cr, Ce, Co, As), 3) редкие компоненты с содержанием ниже 1 мг/кг (Nd, La, Ag, Sm, U, Sc, Cs, Sb, Au, Th, Hf, Yb, Tb, Eu, Lu, Ta). Анализ коэффициентов концентрации позволяет продемонстрировать специфику накопления микроэлементов в различных органах и системах (табл. 7).

Таблица 7. Оценка уровней накопления химических элементов в системах органов Свины домашней (*Sus scrofa domestica*), мг/кг зольного остатка

Х/Э	Максимум	Минимум
1	2	3
Na	ЖКТ (59416)	ЦНС (23850)
Ca	ОПС (92127)	ЭС (1099)
Sc	ЖКТ (0,5)	ДС (0,03)
Cr	ОПС (33)	ДС (5)
Fe	КС (5714)	МПС (1331)
Co	ПС (2)	МПС (0,7)
Zn	ЖКТ (898)	ОПС (174)
As	ОДС (1,4)	МПС (1)
Br	МПС (224)	ЦНС (47)
Rb	ЖКТ (91)	ПС (46)



Продолжение таблицы 7		
1	2	3
<b>Sr</b>	ОПС (136)	МПС=ЭС (0,2)
<b>Ag</b>	ЦНС (0,9)	ЭС (0,05)
<b>Sb</b>	ПС (0,4)	ЦНС (0,01)
<b>Cs</b>	ЖКТ (0,3)	КС (0,2)
<b>Ba</b>	ЖКТ (37)	МПС (5)
<b>La</b>	ЖКТ (0,8)	ЦНС (0,04)
<b>Ce</b>	ЖКТ (2,3)	ЦНС (0,05)
<b>Nd</b>	ОДС (2,04)	МПС (0,25)
<b>Sm</b>	ЖКТ (0,6)	ДС (0,04)
<b>Eu</b>	ЖКТ (0,03)	ДС (0,01)
<b>Tb</b>	ЖКТ (0,05)	МПС= ЦНС=ДС (0,01)
<b>Yb</b>	ЖКТ (0,1)	ОПС (0,06)
<b>Lu</b>	ЖКТ (0,03)	ЦНС (0,01)
<b>Hf</b>	ЖКТ (0,03)	КС (0,03)
<b>Ta</b>	ЖКТ (0,03)	ЭС (0,01)
<b>Au</b>	МПС (0,4)	КС (0,06)
<b>Th</b>	ЖКТ (0,2)	ЭС (0,03)
<b>U</b>	ОДС (0,5)	ЦНС (0,05)

*Прим.: ЖКТ – желудочно-кишечный тракт, ПС – покровная система, ОПС – опорно-двигательная система, МПС – мочеполовая система, ДС – дыхательная система, ЦНС – центральная нервная система, ЭС – эндокринная система*

Прежде всего, нужно отметить широкий спектр концентрирования элементов в пищеварительной системе Свиньи домашней (ЖКТ), в тканях данной системы аккумулируется большинство исследованных микроэлементов и макрокомпонентов. Исключение составляют Са, Cr, As, Sr, Nd, U. Накопление кальция и стронция в костной ткани как уже обсуждалось обусловлено биологической ролью этих элементов, мышьяк также при попадании в организм аккумулируется в костях и ороговевших тканях, однако такая динамика свойственна мышьяку при хронических воздействиях (Calatayud, Larraga Lloris, 2015). Согласно литературным данным (Барановская, Рихванов, 2011) в скелете живого организме обнаруживается до 90% отложившегося в организме урана. Физиологическая функция неодима на данный момент остается не до конца выясненной. Примечательным остается факт, что в пищеварительной системе организма среди изученных элементов не обнаружено минимальных концентраций.

Покровная система организма аккумулирует Co, Sb, мочеполовая система характеризуется максимумами для Au, Br, а центральная нервная система для Ag. Максимальное накопление золота тканями мочеполовой системы было обнаружено и при исследовании зольного остатка организма человека (Игнатова, 2010), отсюда можно предположить, что высокие концентрации данного элемента в выделительной системе отражают путь его выведения из организма. Эндокринная и центральная нервная системы

остаются наиболее защищенными, демонстрируя наименьшие содержания элементов, за исключением вышеупомянутых.

Анализ биогеохимических рядов химических элементов нормированных к среднему арифметическому содержанию элементов в выборке подтверждает результаты сравнения абсолютных значений (табл. 8).

Таблица 8. Значения коэффициентов концентраций химических элементов в системах организма Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*) относительно среднего содержания элементов в выборке

Система	Коэффициент концентрации			N Химических элементов с КК>1
	1-2	3-6	>6	
Пищ. С.	Fe <sub>3</sub> -La <sub>2</sub> -Eu <sub>2</sub> -Th <sub>2</sub> -Tb <sub>2</sub> -Ce <sub>2</sub> -Yb <sub>2</sub> -Co <sub>2</sub> -Ba <sub>2</sub> -Sm <sub>2</sub> -Cs <sub>2</sub> -Hf <sub>2</sub> -Rb <sub>2</sub> -Ta <sub>2</sub> -Nd <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> -Zn <sub>1</sub> -As <sub>1</sub> -Lu <sub>1</sub> -Sb <sub>1</sub> -Na <sub>1</sub>	Sc <sub>3</sub>	-	22
Д.С.	Rb <sub>2</sub> -U <sub>2</sub>	Br <sub>4</sub>	Au <sub>13</sub> -Ag <sub>12</sub>	5
К.С.	Fe <sub>2</sub> -Rb <sub>2</sub>	Br <sub>3</sub> -Ag <sub>6</sub>	Au <sub>7</sub>	5
Кровь	Nd <sub>2</sub> -Br <sub>1</sub> -Ta <sub>1</sub> -Na <sub>1</sub> -As <sub>1</sub>	Fe <sub>5</sub> -Sb <sub>3</sub>	-	7
Ц.Н.С.	Sr <sub>1</sub> -Co <sub>1</sub> -Ca <sub>1</sub> -As <sub>1</sub> -Tb <sub>1</sub>	-	-	5
М-п.С.	Ta <sub>2</sub> -Sm <sub>2</sub> -Na <sub>1</sub> -Au <sub>1</sub> -Rb <sub>1</sub> -Zn <sub>1</sub> -Br <sub>1</sub>	-	-	6
Э.С.	Rb <sub>1</sub> -Yb <sub>1</sub> -Br <sub>1</sub>	-	-	3
П.С.	U <sub>2</sub> -Ce <sub>2</sub> -Sb <sub>2</sub> -Br <sub>1</sub> -Na <sub>1</sub> -Cr <sub>1</sub> -Th <sub>1</sub> -Cs <sub>1</sub> -Fe <sub>1</sub> -La <sub>1</sub> -Ag <sub>1</sub> -Rb <sub>1</sub> -Yb <sub>1</sub> -Co <sub>1</sub> -Ta <sub>1</sub> -As <sub>1</sub> -Zn <sub>1</sub>	-	-	17
О-п.С.	Nd <sub>2</sub> -Ta <sub>2</sub> -Eu <sub>2</sub> -La <sub>2</sub> -Ba <sub>2</sub> -Cs <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> -Tb <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> -Lu <sub>2</sub> -As <sub>2</sub> -Zn <sub>1</sub> -Co <sub>1</sub> -Hf <sub>1</sub> -Ce <sub>1</sub> -Th <sub>1</sub> -Yb <sub>1</sub> -Sm <sub>1</sub> -Fe <sub>1</sub> -Br <sub>1</sub>	U <sub>4</sub> -Ca <sub>4</sub> -Sr <sub>3</sub>	-	23

Примечания: Пищ. С. – пищеварительная система, Д.С. – дыхательная система, К.С. – кровеносная система, Ц.Н.С. – центральная нервная система, М-п. С. – мочеполовая система, Э.С. – эндокринная система, П.С. – покровная система, О-п. С. – опорно-двигательная система

Анализ коэффициентов концентрации химических элементов в отделах организма Свиньи домашней показывает факт концентрации таких металлов, как Ag и Au в органах дыхательной системы, эти же элементы показывают максимальные коэффициенты концентрации. В то же время, в органах дыхательной системы концентрируется меньшее количество элементов, чем в пищеварительной, опорно-двигательной и покровной системах. Минимальное количество элементов концентрируется в эндокринной, и центральной нервной

системах. По результатам данного анализа можно предполагать пути введения и выведения различных элементов в живой организм. Опираясь на пример концентрирования Au, Ag в мочеполовой, дыхательной и кровеносной системах можно предположить активное поступление данных металлов в процессе дыхания с частицами почвы, распространение их потоком крови, и дальнейшее выведение с калом и мочой.

Таким образом, опираясь на данные, полученные в ходе исследования организма животного, можно отметить, что высокие концентрации, относительно низкая вариация и тесные корреляционные взаимосвязи свойственны группе физиологически значимых макроэлементов, и могут трактоваться как природные. Выявлены значимые барьерные механизмы пищеварительной и опорно-двигательной систем, аккумулирующих основное количество элементов, которые, однако, требуют дальнейшего рассмотрения.

По-видимому, специфичность накопления определенных элементов в значимо более высоких концентрациях на барьерных органах, приводящие к формированию элементной специфики систем, обусловлены средой обитания животного.

## **ГЛАВА 6. ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕНЕЗА ТОМСКОЙ И ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНИЗМА МЛЕКОПИТАЮЩЕГО**

### **6.1 Региональная специфика элементного состава организма млекопитающего на территории Томской области**

Влияние окружающей среды на элементный состав живых организмов неоспорим, и географическое расположение региона играет ключевую роль при выборе фонового объекта для исследования. Нами для сравнения элементного состава условно фоновой зоны и территории подверженной ветровому переносу от объекта промышленности были апробирован биологический материал животных из населенных пунктов с разной геоэкологической обстановкой, однако одинаковыми условиями содержания животных.

Первый населенный пункт, деревня Кижирова Томского района Томской области – находящаяся в зоне влияния мощного техногенного фактора – территории Северного промышленного узла г. Томска (СПУ), расположенного в розе ветров в 25-30 км на север от СПУ – условно техногенно нагруженный регион. Второй населенный пункт деревня Верхнее Сеченово, расположенное на юго-западе, с подветренной стороны Томского района и удаленное на расстояние 45 – 50 км от СПУ.

Анализ абсолютных значений показывает территориальную зависимость содержания микроэлементов в живом веществе. В пробах из поселка Кижирова преобладает содержание всех изучаемых элементов, за исключением Ca, Cr, Co, Sb, Sr, Nd, Eu, Yb, Hf (рис.22). Обращает на себя внимание значительное различие содержаний таких элементов как Br, Rb, Au, имеющих высокие концентрации в тканях животного из Кижирова, и не аккумулирующихся в организме животного из поселка Верхнее Сеченово (рис. 22). Основной зоной аккумуляции этих элементов в пробах из Кижирова. В животном из условно фоновой зоны напротив отмечается значительное накопление Sb, Yb. Как показывает анализ коэффициентов их концентрации в живом организме в посёлке Верхнее Сеченово, кровеносная и покровная системы аккумулируют сурьму, а мочеполовая и опорно-двигательная накапливают итербий.

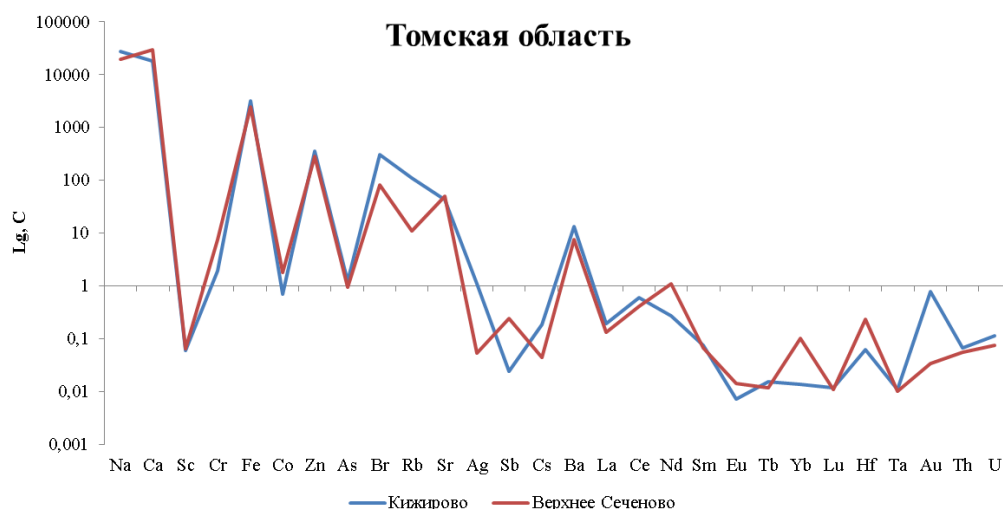


Рисунок 22. Элементный состав биологического материала Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Томской области, Lg C (мг/кг) зольного остатка

Таблица 9. Коэффициент концентрации химических элементов в организме Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) относительно среднего содержания в выборке

Система органов	Верхнее Сеченово (условный фон)	Кижирово (импактная зона)
Кровеносная система	Sb <sub>3,0</sub> -Fe <sub>1,0</sub> -Co <sub>1,0</sub>	Rb <sub>1,6</sub> -Br <sub>1</sub> -Au <sub>1,1</sub>
Эндокринная система	Co <sub>1,2</sub> -Fe <sub>1,0</sub>	Au <sub>2,0</sub> -Rb <sub>1,9</sub> -Br <sub>1,0</sub>
Мочеполовая система	-	Ag <sub>5,4</sub> -Au <sub>3,6</sub> -Rb <sub>1,8</sub> -Br <sub>1,5</sub>
Центральная нервная система	Co <sub>1,0</sub>	Au <sub>2,6</sub> -Fe <sub>1,5</sub> -Cs <sub>1,3</sub> =Rb
Дыхательная система	Ca <sub>1,2</sub> -Fe <sub>1,0</sub> =Co	Br <sub>2,9</sub> -Au <sub>2,7</sub> -Rb <sub>1,9</sub> -U <sub>1,8</sub>
Опорно-двигательная система	Ca <sub>2,5</sub> =Sr-Co <sub>1,1</sub> -Yb <sub>1,0</sub>	Au <sub>5,4</sub> -Ag <sub>4,7</sub> -Ca <sub>1,9</sub> -Sr <sub>1,8</sub> -Br <sub>1,0</sub>
Пищеварительная система	Co <sub>1,1</sub>	Fe <sub>3,2</sub> -Au <sub>1,9</sub> -Rb <sub>1,8</sub> -Br <sub>1,6</sub> =As-Cs <sub>1,3</sub> -Sr <sub>1,2</sub> -Ba <sub>1,1</sub> -Co <sub>1,0</sub>
Покровная система	Sb <sub>6,4</sub> -Co <sub>1,0</sub>	Br <sub>1,8</sub> -Au <sub>1,3</sub> -Rb <sub>1,2</sub>
Аддитивный показатель	13	17

Организм животного из Кижирово накапливает элементы, которые не имеют важной физиологической роли. Обращает на себя внимание факт накопления золота во всех исследованных системах органов и серебра в мочеполовой и опорно-двигательной системе. Основная локализация Au приходится на хрящевую ткань (трахея), желчный пузырь, головной мозг, легкие, прямой кишечник и мочеточник (рис. 23). Ag аккумулируется теми же органами что и Au, за исключением головного мозга, а также достигает значительно более высоких концентраций в хрящевой ткани (рис. 23). Накопление золота и серебра в тканях мочеполовой системы отражает пути их выведения из организма. Переход Au, Ag в желчь и их дальнейшая экскреция с калом определяет, по всей видимости, аккумуляцию данных элементов в желчном пузыре, и прямом кишечнике. Факт накопления золота тканями дыхательной и покровной

систем предполагает их поступление с воздухом и дальнейшее депонирование с кровью в костную ткань.

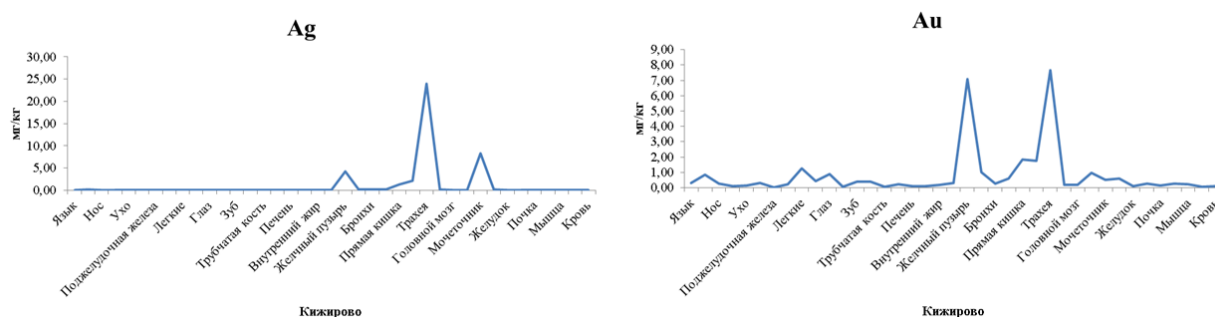
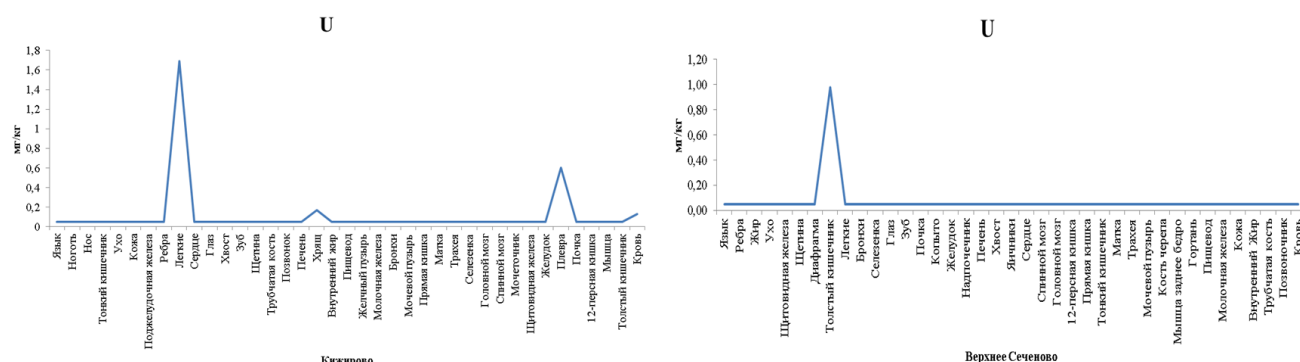


Рисунок 23. Содержание Au, Ag в биологическом материале Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Кижирова Томской области -импактная зона, (мг/кг зольного остатка)

По всей видимости, с воздухом в организм животного из Кижирова также поступают такие элементы как Br, Rb, U. Факт обогащения абиотических сред Томского района бромом подтвержден результатами предыдущих исследований (Перминова, 2017). Эти же исследования показывают наличие Rb, Au, U в почвах Томского района, а, следовательно, можно предположить вдыхание животными этих элементов с частицами почвы.

Детальное рассмотрение органов-мишеней для урана в организме животного из поселка Кижирова показывает, что уран максимально оседает в легких и в меньшей степени на плевре, не значительные содержания обнаруживаются в хрящевой ткани и крови, в остальных органах данный элемент находится ниже предела обнаружения (рис.24). В пробах же из Верхнего Сеченова выше предела обнаружения уран накапливается только в толстом кишечнике (рис. 24).



А) Зона влияния СПУ г. Томска

Б) Условно-фоновая зона

Рисунок 24. Содержание U в биологическом материале Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории деревень Кижирова и Верхнее Сеченово Томской области, (мг/кг зольного остатка)

В целом концентрации элементов на фоновой территории значительно ниже, чем в зоне влияния. Внимание на себя обращает высокий коэффициент концентрации Sb в кровеносной и покровной системе. Локализация данного элемента приходится на кровь и кожные (ухо, щетина, кожа) и слизистые покровы (глазное яблоко). Данная особенность может быть связана с поступлением сурьмы на кожные покровы с пылеаэрозолями из атмосферного воздуха и последующее попадание в кровь (рис. 25). Более того, концентрирование Sb в крови жителей Томского района и близлежащих к нему территорий обнаруживается и по результатам анализа крови человека и почв Томской области (Барановская, 2011). Учитывая отсутствие на территории поселения объектов промышленного производства, можно предположить наличие природного фактора определяющего привнос данного элемента в организм. Примечательно то, что Sb вместе с U, Ag, Вг не попадает под воздействие основных факторов, выделяемых в выборке (рис. 25).

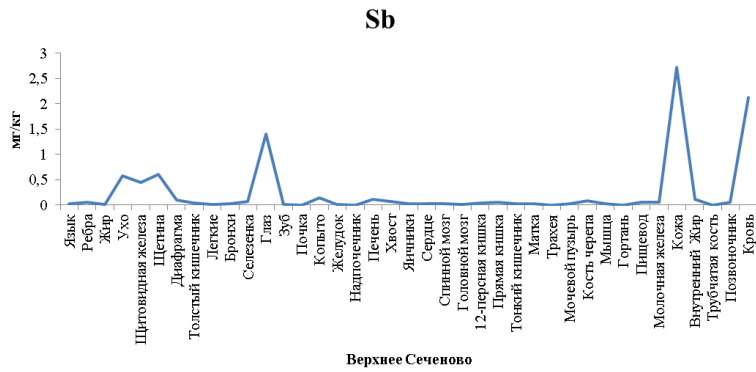


Рисунок 25. Содержание Sb в биологическом материале Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Верхнего Сеченово Томской области (условный фон), (мг/кг зольного остатка)

За исключением сурьмы другие химические элементы содержатся в относительно низких концентрациях. Однако внимание привлекает аккумуляция кобальта всеми системами органов, в то время в животном из Кижирова кобальт накапливается только в пищеварительной системе. Высокие концентрации кобальта обнаруживаются и в крови жителей Томского района, и Томской области в целом, он не фиксируется в питьевых водах, однако имеет коэффициент концентрации, превышающий 2 в почвах данного района. Накопление кобальта может являться следствием проявления месторождений бурых углей, для которых Со является типоморфным элементом (Барановская, 2011). В организме животного из Верхнего Сеченово кобальт образует сильную корреляционную связь с европием, а в биоматериале из Кижирова со скандием (рис. 26). Ранее при исследовании статистических параметров распределения элементов в организме в целом была отмечена сильная корреляционная взаимосвязь кобальта с железом и высказано предположение о физиологической, кроветворной природе данной взаимосвязи. Европий и скандий, однако, выраженной физиологической роли не имеют, и относятся к группе условно-токсичных микроэлементов. Данные корреляционные взаимосвязи, вероятно, отражают региональный аспект изучаемых поселений и их привнос в живой организм и последующее связывание с компонентами крови. Так, по данным изучения накипи пресных вод, Верхнее Сеченово находится в зоне с повышенным содержанием европия (Монголина, 2011). В Кижирове накопление кобальта и скандия регулирует один фактор (рис. 28).



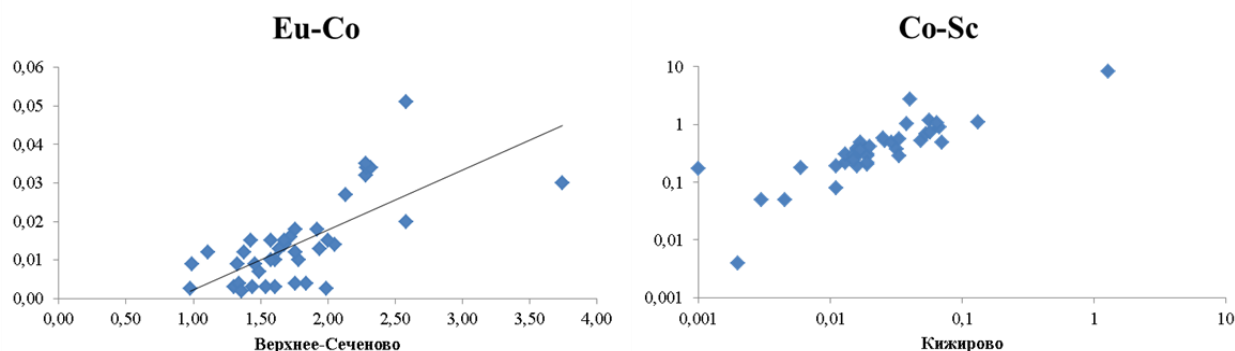


Рисунок 26. Взаимосвязь элементов в биологическом материале Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Томской области (зола, мг/кг)

Другие корреляционные взаимосвязи в изучаемых населенных пунктах совпадают с анализом взаимосвязей в организме в целом (рис. 27). Выделяются сильные взаимодействия между кальцием и стронцием, демонстрирующие костную составляющую организма. В отличие от анализа всей выборки, при детальном рассмотрении парных корреляций в Томском районе появляется сильная натрий-бромовая зависимость, по-видимому, свойственная району в целом, и отражающая элементный состав крови (Барановская, 2011).

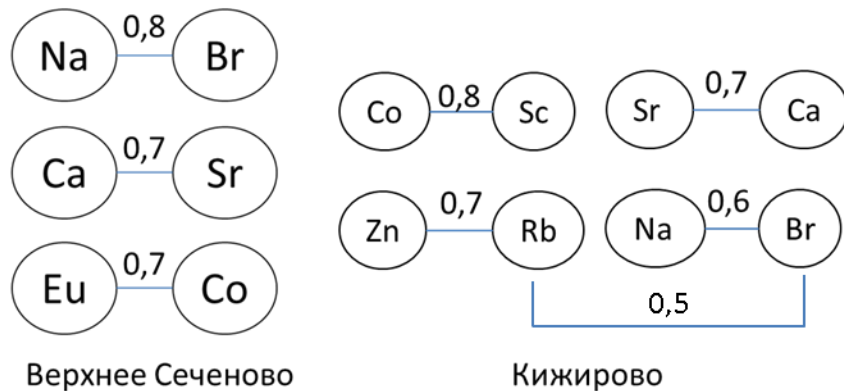
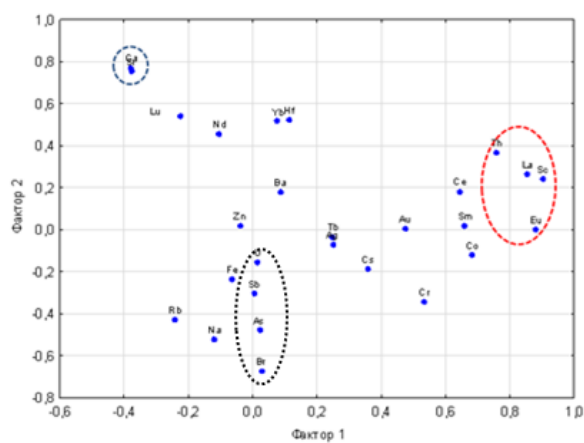
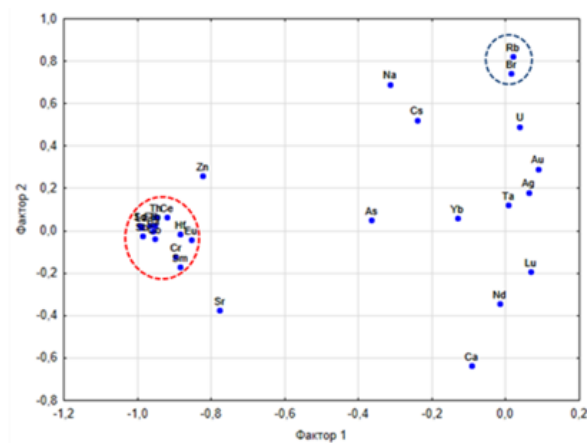


Рисунок 27. Значимые (>0.5) корреляционные связи элементов в золе биологического материала Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Томской области, ( $p=0.05$ )

Поступление в организм брома в деревне Верхнем Сеченово регулируется тем же фактором, что и поступление сурьмы и вероятно отражает природный характер их поступления. В деревне Кижирово можно отметить возникновение корреляционной взаимосвязи между цинком и рубидием, и относительно невысокую, но, тем не менее, значимую взаимосвязь рубидия с бромом. Бром и рубидий в данной выработке также регулируются одним фактором (рис. 28).



Пос. Верхнее Сеченово



Пос. Кижирово

Рисунок 28. Корреляционная взаимосвязь Фактора 1 и Фактора 2, построенная по результатам факторного анализа, золы биоматериала Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области

Главное различие факторных нагрузок двух изучаемых населенных пунктов состоит в том, что основной массив элементов в Кижирово регулируется одним фактором, в то время как второй фактор регулирует только накопление брома и рубидия. В биоматериале из Верхнего Сеченово же факторные нагрузки распределены более равномерно, с выделением двух основных факторов, один из которых воздействует на Th, La, Sc, Eu, и вероятно отражает поступление данных элементов в организм из внешней среды, а второй показывает костную природу изучаемого материала и влияет на содержание Ca и Sr.

Сравнивая содержание Ca, Sr и P в костной ткани животных из Кижирово и Верхнее Сеченово по результатам анализа ИСП-МС, можно отметить, что кости животного из Кижирово содержат большее количество фосфора и стронция и меньше кальция (рис. 29).

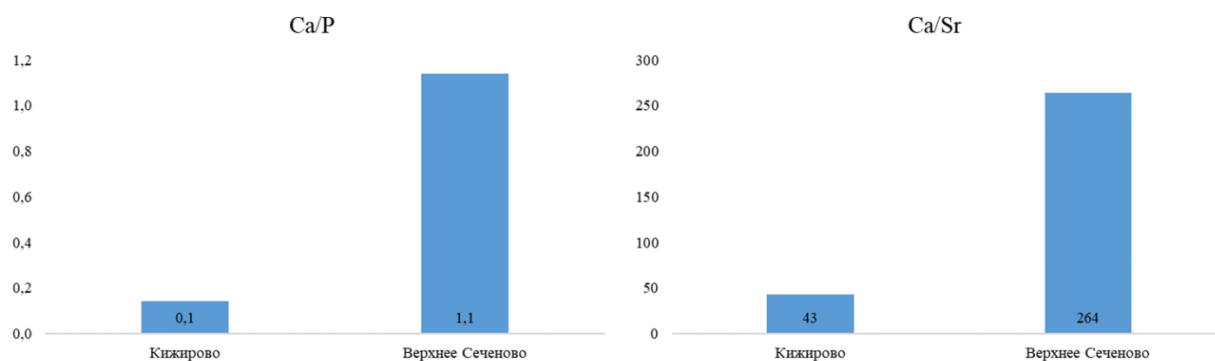


Рисунок 29. Отношения Ca/P, Ca/Sr в зольном остатке костной ткани Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области, по результатам ИСП-МС (зола, мг/кг).

В целом костный материал животного из зоны влияния аккумулирует больше микроэлементов, чем в условной фоновой зоне. Однако поросенок из Верхнего Сеченово в костной ткани накапливает больше Pb, Al, Cu, Zn, Mo, Ce, Zr (коэффициент концентрации больше одного), и Be, Sc, Cd (коэффициент концентрации меньше одного). Накопление данных элементов в костной ткани животного из условно фоновой зоны вероятно свидетельствует об их депонировании в костную ткань с кровью (рис. 30).

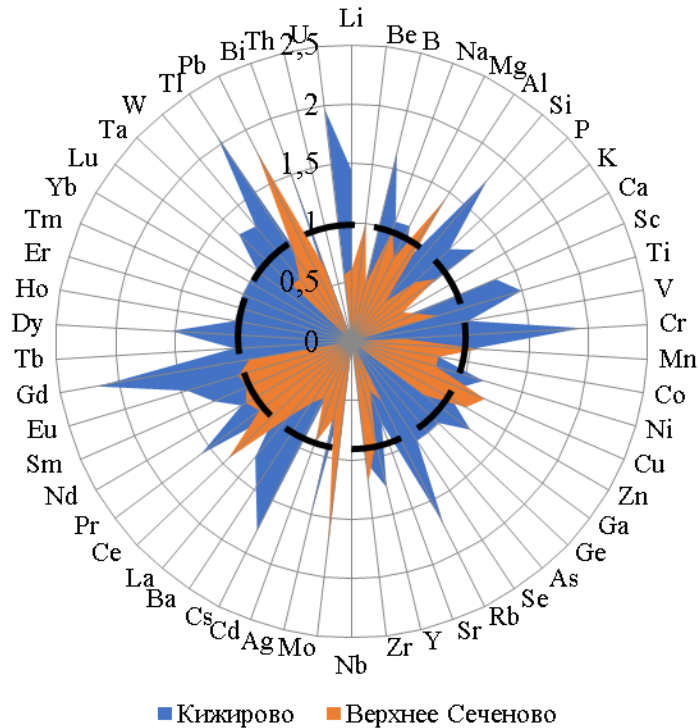


Рисунок 30. Коэффициенты концентрации в биоматериале Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области, по результатам ИСП-МС относительно среднего содержания по выборке

Несмотря на то, что при сравнении условно фоновой территории – Верхнее Сеченово с зоной воздействия – Кижирово первая выделяется более низкими концентрациями химических элементов, данный регион ввиду географического расположения имеет свое геохимическое лицо. Данные аномалии обуславливают поступление определенных элементов в организм и дальнейшее депонирование во внутренних органах в больших количествах, чем в зоне воздействия.

Учитывая геохимические особенности условно фоновой зоны и выявленные повышенные содержания таких элементов, как Ca, Cr, Co, Sr, Nd, Eu, Yb, Hf, Sb (по результатам ИНАА), и Pb, Al, Cu, Zn, Mo, Ce, Zr, Be, Sc, Cd (по результатам ИСП-МС), предлагается в

дальнейшем нормировать значения к их среднему содержанию во всей выборке во избежание искусственного завышения или занижения коэффициентов концентрации.

Зависимость химического состава биоматериала животного, от регионального воздействия на его организм подтверждается также результатами анализа ИСП-МС.

Так, на территории 6 населенных пунктов Томской области и 1 населенного пункта Павлодарской области были проанализированы биоматериалы системы «первый шейный позвонок-спинной мозг» (табл. 10 Таблица 10).

Сравнивая химический состав гидроксилapatита, как основного компонента костной ткани можно отметить, что наиболее высокими содержаниями кальция отличаются кости из города Асино и поселка Уртам, самые низкие содержания данного элемента представляют образцы из деревни Кижирова. Город Экибастуз отличается нахождением максимальных концентраций таких элементов как P, Na, Mg, K, а деревня Кижирова минимальными содержаниями Na, K, P, Mg. Наиболее низкие содержания P находятся в образцах из Кижирова, а Mg в пробах из деревни Корнилово.

Таким образом, состав костной ткани значительно варьирует в зависимости от зоны отбора проб, что, по нашему мнению, связано с геоэкологическими условиями пункта пробоотбора.

Таблица 10. Содержание химических элементов в золе биоматериала Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), ИСП-МС, (мг/кг зола)

X/ э	Экибастуз		Асино		Семилужки		Корнилово		Уртам	Кижирово		Верхнесеченово	
	Позвоно к	Спинно й мозг	Позвоно к	Спинно й мозг	Позвоно к	Спинно й мозг	Позвоно к	Спинно й мозг	Позвоно к	Позвоно к	Спинно й мозг	Позвоно к	Спинно й мозг
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Li	1,7	47,8	1,4	45	0,9	47,0	1,0	4,7	0,3	0,17	1,20	0,57	0,08
Be	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
B	39	1860	81	4872	78	1150	14	423	88	0,068	35	0,720	0,110
Na	12737	53880	12145	59329	10041	46056	11620	36935	8751	3052	15812	3793	2519
M <sub>g</sub>	7579	3656	6732	3933	6685	1007	6090	4586	6167	535	1471	1368	162
Al	3,2	165,0	4,9	130	3,3	38,4	0,0	5,5	1,3	1,3	107	4,083	18
Si	35,8	1116,0	31,7	442	86,2	631,0	0,4	156,6	8,0	41	7 557		119,025
P	201922	141416	197369	135027	171546	128695	177421	164504	182667	7355	14755	11525	2169
K	17785	89836	5323	68752	5699	51373	3341	59371	2939	1850	18015	4900	2017
Ca	331301	8096	360324	4811	321234	8925	330660	5552	349091	1004	307	23573	994
Sc	0,03	0,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	Н/п.о.	5,029	Н/п.о.	0,019
Ti	3,0	27,3	2,5	14,3	2,4	4,5	1,8	3,1	2,9	0,3	43	3	1
V	0,1	0,4	0,02	0,2	0,1	0,4	0,03	0,02	0,02	Н/п.о.	97,53	Н/п.о.	Н/п.о.
Cr	0,2	14	0,01	7,2	0,3	21,7	0,1	0,4	0,1	Н/п.о.	6,00	Н/п.о.	0,11
M <sub>n</sub>	3,2	14	1,2	9,2	1,4	14,2	0,5	6,4	1,5	0,5	5,9	0,4	0,5
Fe	2340	836	2673	895	2694	441	1787	38	2371	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Co	4,9	0,3	4,6	0,1	5,3	0,3	4,1	0,1	6,2	0,08	0,26	0,50	0,08
Ni	0,0001	1,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,18	4,73	2,25	0,04
Cu	4,9	34,6	2,2	41,2	1,5	9,8	1,1	8,1	0,9	1,0	26,1	2,6	3,1
Zn	259	253	206	170,0	267	135	182	106	181	43	104	106	9
Ga	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,1	0,02	0,1	0,09	0,38	0,12	0,03
Ge	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,003	0,003	0,004	0,01	Н/п.о.	0,55	Н/п.о.	Н/п.о.
As	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,03	0,3	Н/п.о.	341	Н/п.о.	Н/п.о.
Se	0,7	0,5	1,0	0,8	1,3	0,2	0,7	0,0003	0,9	Н/п.о.	162	Н/п.о.	Н/п.о.
Rb	7,6	42,5	7,8	85,4	8,9	57,2	5,9	69,9	4,8	6,2	41,7	3,1	1,2
Sr	159	5,4	166	4,0	158,2	9,2	116,1	1,7	114,1	26,7	1,7	55,2	2,5
Y	0,005	0,036	0,01	0,01	0,004	0,01	0,002	0,001	0,002	Н/п.о.	0,03	0,004	0,001

Продолжение таблицы 10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Zr	0,0	0,5	0,02	0,4	0,04	0,2	0,003	0,03	0,01	0,01	0,47	Н/п.о.	0,40
Nb	0,0	0,2	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,005	0,04	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Mo	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,02	0,30	0,06	0,01
Ag	0,01	0,04	0,01	0,003	0,005	0,0001	0,003	0,0001	0,0001	0,002	0,06	0,004	0,005
Cd	0,005	0,03	0,005	0,02	0,0003	0,01	0,01	0,04	0,004	0,0003	0,15	0,004	Н/п.о.
In	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0002	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Sn	0,01	0,03	0,01	0,1	0,009	0,1	0,01	0,03	0,01	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Sb	0,005	0,02	0,01	0,02	0,003	0,1	0,01	0,01	0,002	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Te	0,005	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Cs	0,0	0,1	0,01	0,2	0,02	0,1	0,0	0,1	0,02	0,01	0,14	0,003	0,001
Ba	20,2	2,2	11,8	2,8	11,3	1,0	4,2	0,2	6,0	2,3	15,4	4,3	0,2
La	0,0	0,1	0,002	0,02	0,004	0,01	0,0001	0,001	0,001	Н/п.о.	0,21	0,04	0,02
Ce	0,0	0,1	0,002	0,1	0,01	0,025	0,001	0,001	0,002	0,002	0,041	0,01	0,015
Pr	0,001	0,02	0,001	0,01	0,001	0,002	0,0001	0,0004	0,0002	Н/п.о.	0,01	0,005	Н/п.о.
Nd	0,002	0,04	0,003	0,01	0,004	0,007	0,0002	0,001	0,0003	0,0004	0,06	0,01	0,0039
Sm	0,0001	0,01	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0005	Н/п.о.	0,004	Н/п.о.	Н/п.о.
Eu	0,0001	0,001	0,0001	0,0002	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Н/п.о.	0,005	0,002	Н/п.о.
Gd	0,0002	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	Н/п.о.	0,011	Н/п.о.	Н/п.о.
Tb	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,0003	0,001	0,0001	0,0009	Н/п.о.	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.
Dy	0,0004	0,006	0,0003	0,001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	Н/п.о.	0,010	Н/п.о.	Н/п.о.
Ho	0,0001	0,003	0,0003	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	Н/п.о.	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.
Er	0,0002	0,002	0,001	0,001	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	Н/п.о.	0,01	Н/п.о.	Н/п.о.
Tm	0,0001	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Н/п.о.	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.
Yb	0,001	0,004	0,001	0,0004	0,001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0003	Н/п.о.	0,003	Н/п.о.	Н/п.о.
Lu	0,002	0,001	0,001	0,0001	0,001	0,0002	0,001	0,0001	0,001	Н/п.о.	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.
Hf	0,001	0,01	0,001	0,005	0,002	0,004	0,0001	0,0003	0,0002	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Ta	0,0001	0,0001	0,025	0,0001	0,009	0,001	0,02	0,02	0,01	0,002	Н/п.о.	Н/п.о.	0,005
W	0,003	0,001	0,004	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	Н/п.о.	0,16	Н/п.о.	0,011
Au	0,0001	0,01	0,001	0,01	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
Hg	0,0001	0,01	0,0001	0,002	0,002	0,0001	0,0001	0,002	0,0001	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.

Продолжение таблицы 10													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tl	0,003	0,01	0,00003	0,02	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	Н/п.о.	0,028	Н/п.о.	Н/п.о.
Pb	2,6	0,3	1,0	0,2	0,2	0,9	0,3	0,2	0,1	0,25	0,92	2,06	0,27
Bi	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,003	0,0001	0,01	0,62	0,01	0,05
Th	0,0001	0,02	0,01	0,01	0,002	0,003	0,0004	0,0003	0,001	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.	Н/п.о.
U	0,005	0,05	0,1	0,01	0,1	0,02	0,04	0,002	0,03	0,004	0,21	0,02	Н/п.о.

Для выявления особенностей распределения элементов в костной ткани были рассчитаны их коэффициенты концентрации относительно среднего арифметического содержания элементов в выборке. При большом количестве металлов, аккумулируемых костями, большая их часть совпадает для каждого исследуемого региона и вероятно является физиологичной для костной ткани (табл. 11).

Геохимической особенностью костей, отобранных в Томской области, является накопление редкоземельных металлов Ta, Sm, в образцах же из города Экибастуз специфично накапливается тяжелый металл Pb. Загрязнение атмосферного воздуха свинцом с последующим его накоплением в биоматериалах обычно связано с автомобильной промышленностью, что логично, учитывая тот факт, что Экибастуз, это крупный промышленный центр по добыче угля, и в этом городе также активно используется большое количество автотранспорта. Таким образом, природно – техногенная специфика территории является одним из ведущих факторов формирования элементного состава организма млекопитающего.



Таблица 11. Коэффициенты концентрации элементов в костной ткани Свины домашней (*Sus scrofa domesicus*) на территории Томской и Павлодарской областей, относительно среднего содержания в выборке

Регион		Позвонок			Спинной мозг			
		Биогеохимический ряд	Общие элементы	Региональные элементы	Биогеохимический ряд	Общие элементы	Региональные элементы	
1		2	3	4	5	6	7	
Томская область, Россия	г. Асино	$\underline{\text{Lu}}_{2,7}\text{-}\underline{\text{Ca}}_{2,6}\text{=}\underline{\text{Sr}}\text{-}\underline{\text{Ta}}_{2,5}\text{-}\underline{\text{Ba}}_{1,9}\text{-}\underline{\text{Co}}_{1,5}\text{-}\underline{\text{Th}}_{1,3}\text{=}\underline{\text{Ho}}\text{-}\underline{\text{Yb}}_{1,2}\text{-}\underline{\text{P}}_{1,0}\text{-}\underline{\text{Sc}}\text{=}\underline{\text{Be}}\text{=}\underline{\text{Ni}}$	Lu, Ca, Sr, Ba, Co, Yb, Sc, Be, Ni	Ta <sub>2,5</sub>	Tl <sub>4,9</sub> -Zr <sub>3,6</sub> -Pr <sub>3,0</sub> -Ho <sub>2,5</sub> -Er <sub>1,6</sub>	Zr	Tl	
	п. Семилужки	$\underline{\text{Sr}}_{2,4}\text{-}\underline{\text{Ca}}_{2,3}\text{-}\underline{\text{Sm}}_{2,0}\text{-}\underline{\text{Ba}}_{1,8}\text{-}\underline{\text{Co}}_{1,8}\text{-}\underline{\text{Lu}}_{1,5}\text{-}\underline{\text{Yb}}_{1,4}\text{-}\underline{\text{Sc}}_{1,0}\text{-}\underline{\text{Be}}\text{=}\underline{\text{Ni}}$		Sm <sub>2,0</sub>			Sb <sub>1,8</sub> -Zr <sub>1,5</sub>	Sb
	п. Корнилово	$\underline{\text{Lu}}_{2,6}\text{-}\underline{\text{Ca}}_{2,4}\text{-}\underline{\text{Ta}}_{2,0}\text{-}\underline{\text{Sr}}_{1,8}\text{-}\underline{\text{Co}}_{1,3}\text{-}\underline{\text{Sm}}_{1,2}\text{-}\underline{\text{Sc}}_{1,0}\text{=}\underline{\text{Be}}\text{=}\underline{\text{Ni}}$		Ta <sub>2,0</sub>			Ta <sub>2,2</sub>	Ta
	п. Уртам	$\underline{\text{Lu}}_{2,5}\text{-}\underline{\text{Ca}}\text{-}\underline{\text{Co}}_{2,0}\text{-}\underline{\text{Sr}}_{1,8}\text{-}\underline{\text{Sc}}_{1,0}\text{=}\underline{\text{Be}}\text{=}\underline{\text{Ni}}\text{=}\underline{\text{Ba}}$		=			=	=
Павлодарская область, Казахстан	г. Экибастуз	$\underline{\text{Ba}}_{3,3}\text{-}\underline{\text{Lu}}_{3,1}\text{-}\underline{\text{Sr}}_{2,5}\text{-}\underline{\text{Ca}}_{2,4}\text{-}\underline{\text{Co}}_{1,6}\text{-}\underline{\text{Pb}}_{1,1}\text{=}\underline{\text{Yb}}\text{-}\underline{\text{P}}_{1,0}\text{=}\underline{\text{Sc}}\text{=}\underline{\text{Be}}\text{=}\underline{\text{Ni}}$		Pb <sub>1,1</sub>	Sc <sub>30,7</sub> -Sm <sub>16,4</sub> -Ho <sub>11,6</sub> -Yb <sub>6,8</sub> -Pr <sub>6,4</sub> -Gd <sub>5,8</sub> -Nd <sub>5,2</sub> -Zr <sub>5,1</sub> -Tm <sub>4,3</sub> -Er <sub>3,9</sub> -Th <sub>3,8</sub> -Y <sub>2,9</sub> -La <sub>2,5</sub> -Lu <sub>2,5</sub> -Tl <sub>2,3</sub> -Nb <sub>1,5</sub>		Sc, Sm, Yb, Ho, Gd, Nd, Tm, Th, Y, La, Lu, Nb	

Анализируя химический состав спинного мозга, можно также отметить определенную специфику концентрирования элементов в зависимости от зоны пробоотбора. Спинной мозг как часть центральной нервной системы остается наиболее защищенной системой организма, и вследствие этого накапливает сравнительно низкое количество химических элементов. Однако пробы из Экибастуза обогащены большим количеством химических элементов, в то время как Уртам остается наиболее «чистым» регионом. В спинном мозге из Экибастуза аккумулируются редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы, что может быть связано с загрязнением ими атмосферного воздуха, при сжигании высокозольных Экибастузских углей.

Пробы из Томской области содержат значительно меньшее количество химических элементов, однако, Tl накапливается в образцах из Асино, Sb в Семилужках, Ta в Корнилово.

Талий (Tl) является высокотоксичным металлом, имеющим свойство накапливаться в тканях нервной системы, вызывая их поражение. В связи с тем, что основным источником поступления данного металла в организм является сжигание природного углеродного топлива, факт поступления талия в живой организм может объяснять большое количество автомобильного транспорта в городе Асино. Вероятным источником тантала (Ta) в организм животного в поселении Корнилово являются выбросы выхлопных газов от проходящей через него автострады «Томск-Мариинск». Концентрирование сурьмы в спинном мозге животного из Семилужков может быть связано с тем, что на территории поселения находится Томский нефтеперерабатывающий завод, и вероятно поступление Sb от предприятия химической промышленности. Другой причиной может быть наличие в данном регионе Семилуженского сурьмяного проявления (Парначёв, 2010).

Сравнивая Томскую и Павлодарскую область по содержанию элементов в костной ткани и центральной нервной системе, можно отметить, что в целом, спинной мозг животных из Томской области менее обогащен химическими элементами. Костная же ткань закономерно концентрирует основное их количество, что объясняется физиологической функцией костей, которые являются своеобразным «депо» для химических элементов. Однако, очевидно в организме животных из Павлодарской области эта барьерная функция нарушается под действием техногенного воздействия, и элементы свободно мигрируют в ткани центральной нервной системы. Территориальные особенности концентрирования элементов в костной ткани и центральной нервной системе Свины домашней представлены также графически и следуют ниже (рис. 33), и могут быть также выделены по величине Ca/P и Th/U отношений (рис. 31).

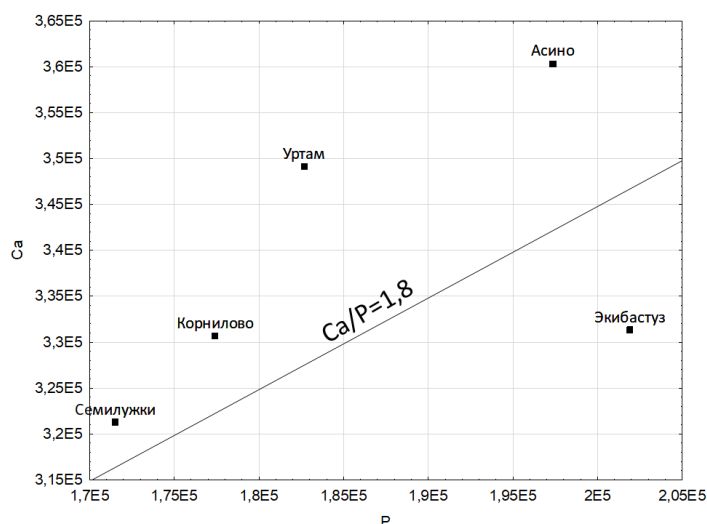


Рисунок 31. Ca/P отношения в костной ткани Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области и г. Экибастуза, Lg C

Сравнительный анализ кальций-фосфорного отношения в костной ткани Свины домашней позволяет четко сгруппировать исследуемые территории по региональному признаку, отделив участки, принадлежащие к Томской области от г. Экибастуза. По величине Ca/P отношения зоны выстраиваются следующим образом: Экибастуз<sub>1,6</sub>- Асино<sub>1,8</sub>- Семилужки<sub>2,0</sub>=Корнилово=Уртам (табл. 12). При этом стереохимическое соотношение данных элементов в апатите, как минерале, образующем костную ткань, колеблется от 1,4 до 1,7 (Ньюман, 1961). Отношения кальция к фосфору во всех пробах кроме материала из Экибастуза можно охарактеризовать как повышенные.

По величине торий уранового отношения исследуемые территории также группируются согласно географическому расположению, выделяя Экибастуз среди других зон с наиболее низким содержанием Th (табл. 12, рис. 32). Помимо этого, пробы из Асино также отдалаются от основной группы данных, демонстрируя высокое содержание U и Th и ториевую природу. Семилужки выделяются по содержанию урана в обоих изученных компонентах.

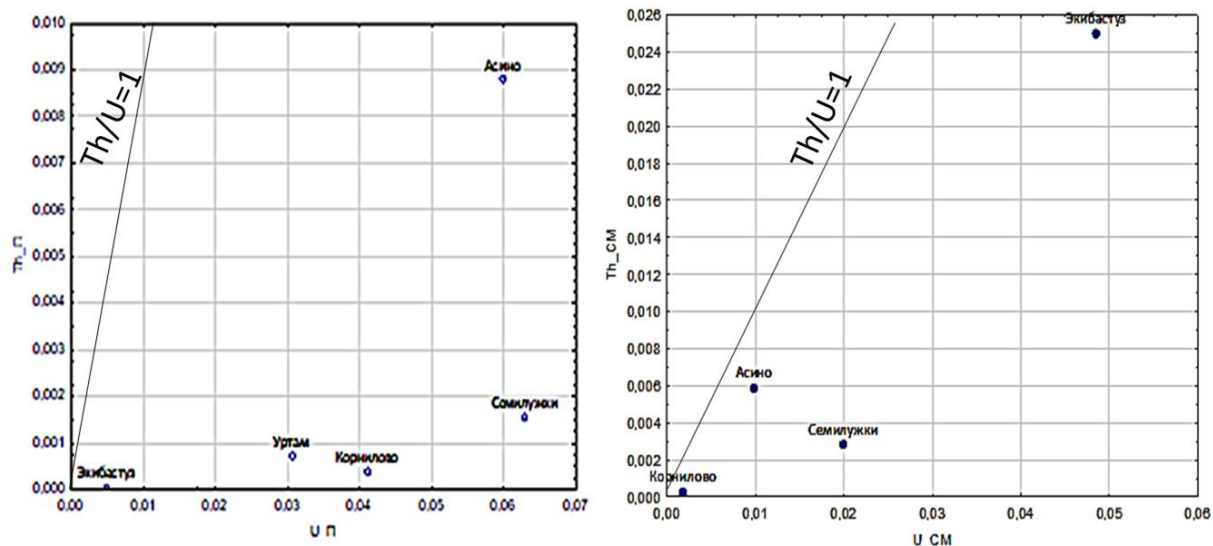


Рисунок 32. Торий-урановое отношение в пробах биологического материала П – позвонок, СМ – спинной мозг Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области и г. Экибастуза

Таблица 12. Ca/P, Th/U соотношения в костной ткани Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской и Павлодарской областей, согласно результатам анализа ИСП-МС

Населенный пункт	Ca/P		Th/U	
	Позвонок	Спинной мозг	Позвонок	Спинной мозг
Экибастуз	1,6	0,06	0,01	0,5
Асино	1,8	0,04	0,2	0,6
Семилужки	2,0	0,07	0,02	0,1
Корнилово	2,0	0,03	0,01	0,2
Уртам	2,0	Н/д	0,02	Н/д

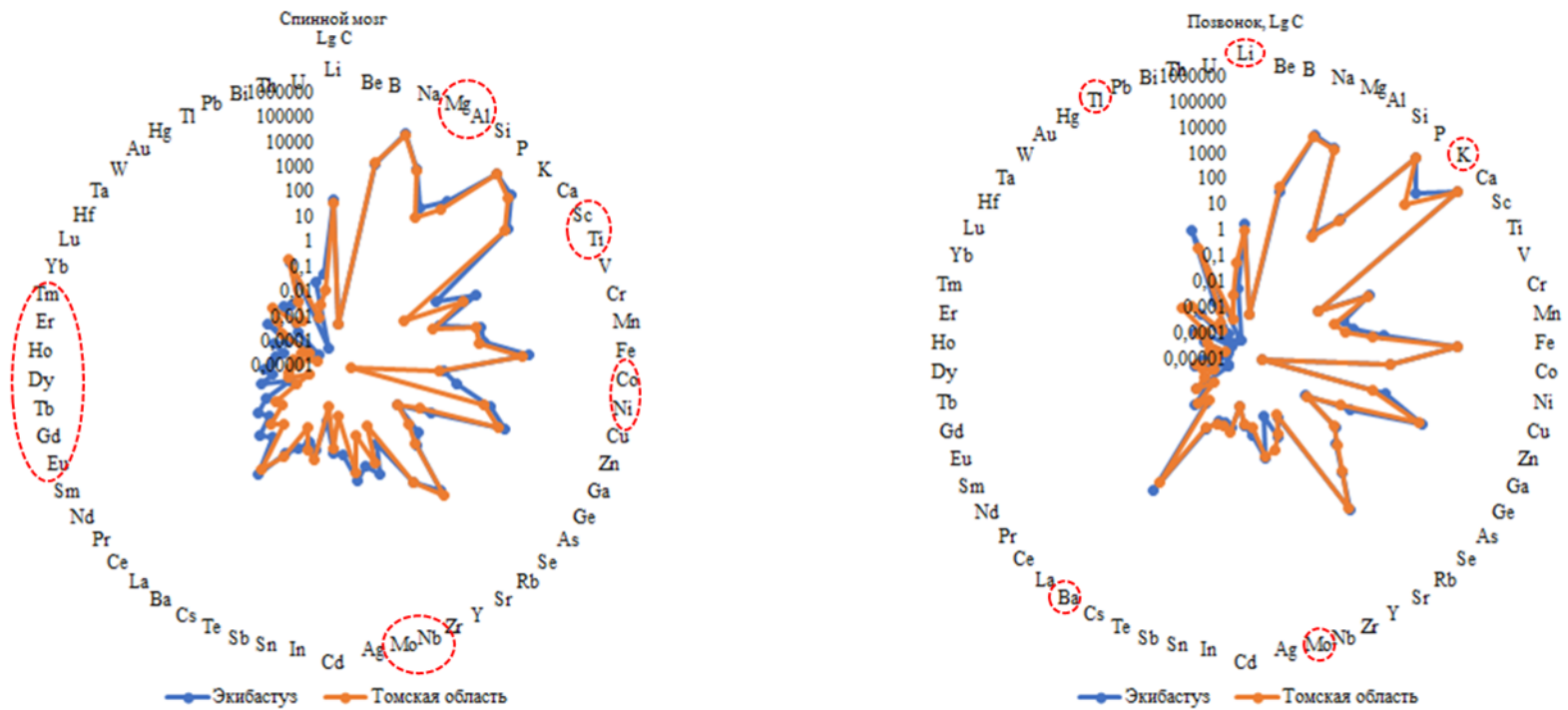


Рисунок 33. Содержание химических элементов в кости и спинном мозге Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) по результатам анализа ИСП-МС на территории г. Экибастуз и населенных пунктов Томской области и г. Экибастуз, зола, мг/кг, Lg C

Таким образом, можно отметить, что, опираясь на химический состав биологического материала можно проводить ранжирование территорий и делать выводы о величине техногенной нагрузки на регион.

## 6.2 Изменение содержания и соотношения элементов в тканях и органах Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*) на урбанизированных территориях Томской и Павлодарской областей

Важность оценки воздействия на здоровье населения урбанизированных или городских территорий определяется прежде всего большим скоплением промышленных предприятий чаще всего в непосредственной близости от селитебных зон. Изученные в ходе исследования районы представляют собой высоко урбанизированные территории, такие как город Экибастуз Павлодарской области, чья территория включает в себя как объекты городской среды, так и добывающе и энергетической промышленности. Населенные пункты Томской области и Забайкальского края — это деревенские территории, которые, однако испытывают постоянное воздействие промышленных объектов.

По результатам исследования были составлены итоговые таблицы валовых содержаний элементов в костной ткани, желудочно-кишечном тракте и кожном покрове Свиньи домашней (табл. 13). Выбранные системы органов отражают собой барьерные системы и системы депонирования элементов живого организма и своим составом отражают техногенную специфику исследуемых регионов.

Таблица 13.Содержание химических элементов в золе биоматериала Свиньи домашней, ИНАА, мг/кг золы

X/э	Томский район деревни Кижирово и Верхнее Сеченово			Павлодарская область город Экибастуз		Забайкальский край поселки Газимурский завод, Уровские ключи, Калга, Тайна	
	Покровная система	ЖКТ	Костная ткань	ЖКТ	Костная ткань	Костная ткань	Покровная система
	1	2	3	4	5	6	7
Na	$\frac{22889 \pm 7529}{400 \dots 75400}$ 99	$\frac{27350 \pm 5268}{11000 \dots 58300}$ 54	$\frac{18522 \pm 3200}{9300 \dots 34600}$ 52	$\frac{81721 \pm 5629}{0,05 \dots 0,17}$ 28	$\frac{23185 \pm 10983}{1383 \dots 34390}$	$\frac{44664 \pm 15472}{12069 \dots 130552}$ 109	$\frac{33398 \pm 10688}{12346 \dots 51816}$ 64
Ca	$\frac{1800 \pm 580}{400 \dots 4700}$ 97	$\frac{6050 \pm 3876}{500 \dots 32500}$ 181	$\frac{109222 \pm 15978}{29000 \dots 175000}$ 44	$\frac{14508 \pm 2103}{3791 \dots 31969}$ 60	$\frac{205928 \pm 25242}{3322 \dots 79903}$ 81	$\frac{98601 \pm 37961}{9538 \dots 233591}$ 98	$\frac{116012 \pm 57197}{14364 \dots 217184}$ 99
Sc	$\frac{0,07 \pm 0,04}{0,01 \dots 0,37}$ 155	$\frac{0,21 \pm 0,15}{0,01 \dots 1,28}$ 208	$\frac{0,04 \pm 0,02}{0,001 \dots 0,18}$ 152	$\frac{0,98 \pm 0,28}{0,05 \dots 0,17}$ 118	$\frac{0,02 \pm 0,07}{0,05 \dots 0,25}$ 101	$\frac{0,6 \pm 0,3}{0,005 \dots 1,8}$ 82	$\frac{0,07 \pm 0,03}{0,001 \dots 0,16}$ 104
Cr	$\frac{7,19 \pm 2,79}{0,25 \dots 24,20}$ 116	$\frac{11 \pm 4}{0,25 \dots 36}$ 115	$\frac{1,54 \pm 0,65}{0,25 \dots 4,60}$ 127	$\frac{24 \pm 5}{0,19 \dots 71}$ 90	$\frac{6,41 \pm 0,61}{0,01 \dots 1,86}$ 165	$\frac{48 \pm 18}{0,3 \dots 121}$ 103	$\frac{55 \pm 17}{8 \dots 87}$ 60
Fe	$\frac{981 \pm 340}{80 \dots 3200}$ 104	$\frac{2198 \pm 619}{490 \dots 6090}$ 80	$\frac{351 \pm 86}{110 \dots 840}$ 74	$\frac{1908 \pm 664}{45 \dots 7230}$ 143		$\frac{8058 \pm 3604}{45 \dots 27744}$ 85	$\frac{3116 \pm 1080}{69 \dots 5116}$ 69
Co	$\frac{1,46 \pm 0,40}{0,24 \dots 3,74}$ 82	$\frac{1,30 \pm 0,29}{0,22 \dots 2,58}$ 63	$\frac{0,58 \pm 0,22}{0,001 \dots 1,76}$ 113	$\frac{1,17 \pm 0,33}{0,03 \dots 4,48}$ 115		$\frac{3,14 \pm 0,79}{0,95 \dots 6,03}$ 150	$\frac{3,6 \pm 1,11}{1,18 \dots 5,85}$ 62
Zn	$\frac{154 \pm 35}{38 \dots 341}$ 68	$\frac{607 \pm 169}{197 \dots 1611}$ 79	$\frac{264 \pm 25}{189 \dots 408}$ 28	$\frac{1297 \pm 60}{922 \dots 1845}$ 19	$\frac{352 \pm 0,24}{0,29 \dots 1,03}$ 76	$\frac{786 \pm 233}{196 \dots 1820}$ 127	$\frac{881 \pm 439}{307 \dots 2179}$ 100
As		$\frac{1,29 \pm 0,29}{1 \dots 3,3}$ 63	$\frac{0,91 \pm 0,09}{0,20 \dots 1,00}$ 29	$\frac{1,35 \pm 0,24}{1 \dots 4,23}$ 73	$\frac{1,54 \pm 0,07}{0,51 \dots 0,71}$ 18	$\frac{2,2 \pm 0,5}{1 \dots 4}$ 176	$\frac{1,2 \pm 0,11}{1 \dots 1,39}$ 19
Br	$\frac{189 \pm 56}{33 \dots 525}$ 88	$\frac{205 \pm 51}{59 \dots 382}$ 71	$\frac{123 \pm 35}{6 \dots 309}$ 86	$\frac{68 \pm 9}{14 \dots 129}$ 54	$\frac{91 \pm 0,97}{0,09 \dots 3,05}$ 151	$\frac{75 \pm 25}{1,2 \dots 175}$ 112	$\frac{78 \pm 38}{5 \dots 166}$ 97
Rb	$\frac{40 \pm 19}{0,50 \dots 1,39}$ 147	$\frac{83 \pm 27}{1,1 \dots 170}$ 92	$\frac{30 \pm 10}{1 \dots 85}$ 103	$\frac{107 \pm 4}{73 \dots 136}$ 17	$\frac{10 \pm 0,39}{0,04 \dots 1,22}$ 151	$\frac{77 \pm 33}{1,5 \dots 231}$ 89	$\frac{53 \pm 29}{6 \dots 128}$ 109
Sr		$\frac{17 \pm 7}{10 \dots 64}$ 114	$\frac{168 \pm 27}{10 \dots 269}$ 48	$\frac{18 \pm 6}{10 \dots 115}$ 145	$\frac{274 \pm 2,18}{0,35 \dots 7,24}$ 81	$\frac{229 \pm 58}{10 \dots 411}$ 149	$\frac{95 \pm 68}{10 \dots 297}$ 144
Ag	$\frac{0,07 \pm 0,02}{0,05 \dots 0,22}$ 81	$\frac{0,21 \pm 0,16}{0,02 \dots 1,3}$ 221	$\frac{0,06 \pm 0,02}{0,02 \dots 0,19}$ 80	$\frac{0,4 \pm 0,19}{0,05 \dots 3,24}$ 200	$\frac{0,38 \pm 4,52}{0,06 \dots 14}$ 157	$\frac{0,31 \pm 0,22}{0,05 \dots 1,59}$ 54	$\frac{0,73 \pm 0,34}{0,05 \dots 1,50}$ 94
Sb	$\frac{0,45 \pm 0,30}{0,001 \dots 2,73}$ 196	$\frac{0,1 \pm 0,07}{0,005 \dots 0,60}$ 205	$\frac{0,02 \pm 0,01}{0,00 \dots 0,09}$ 161	$\frac{0,2 \pm 0,07}{0,005 \dots 1,20}$ 140	$\frac{0,04 \pm 0,05}{0,03 \dots 0,2}$ 67	$\frac{0,33 \pm 0,1}{0,07 \dots 0,82}$ 120	$\frac{0,31 \pm 0,16}{0,001 \dots 0,71}$ 105
Cs	$\frac{0,11 \pm 0,03}{0,03 \dots 0,29}$ 92	$\frac{0,17 \pm 0,05}{0,02 \dots 0,36}$ 82	$\frac{0,05 \pm 0,01}{0,00 \dots 0,12}$ 68	$\frac{0,44 \pm 0,05}{0,16 \dots 1,01}$ 49	$\frac{0,08 \pm 0,53}{0,13 \dots 1,71}$ 139	$\frac{0,25 \pm 0,1}{0,05 \dots 0,8}$ 96	$\frac{0,27 \pm 0,15}{0,05 \dots 0,68}$ 108

Продолжение таблицы 13							
	1	2	3	4	5	6	7
Ba	$\frac{6,70 \pm 1,61}{5,00 \dots 19,6}$ 72	$\frac{28,13 \pm 23,13}{5 \dots 190}$ 233	$\frac{9 \pm 3}{5 \dots 32}$ 101	$\frac{57 \pm 17}{5 \dots 233}$ 126	$\frac{25 \pm 0,39}{0,08 \dots 1,33}$ 80	$\frac{24 \pm 6,8}{4,7 \dots 46}$ 131	$\frac{55 \pm 15}{30 \dots 96}$ 53
La	$\frac{0,14 \pm 0,09}{0,04 \dots 0,85}$ 187	$\frac{0,63 \pm 0,51}{0,05 \dots 4,21}$ 232	$\frac{0,10 \pm 0,04}{0,04 \dots 0,38}$ 115	$\frac{1,24 \pm 0,49}{0,05 \dots 6,59}$ 162		$\frac{1,7 \pm 0,8}{0,06 \dots 6}$ 78	$\frac{2,02 \pm 1,46}{0,08 \dots 6,35}$ 144
Ce	$\frac{0,34 \pm 0,18}{0,05 \dots 1,57}$ 157	$\frac{1,49 \pm 1,23}{0,05 \dots 10,1}$ 234	$\frac{0,05 \pm 0,001}{0,05 \dots 0,07}$ 13	$\frac{4,28 \pm 1,12}{0,05 \dots 13,15}$ 107	$\frac{2,41 \pm 0,76}{0,01 \dots 2,60}$ 92	$\frac{5,6 \pm 1,7}{0,7 \dots 14}$ 125	$\frac{3,37 \pm 2,24}{0,05 \dots 9,54}$ 133
Nd			$\frac{1,87 \pm 1,62}{0,25 \dots 14,80}$ 260	$\frac{0,57 \pm 0,15}{0,25 \dots 2,28}$ 111	$\frac{2,98 \pm 0,26}{0,21 \dots 0,99}$ 95	$\frac{6 \pm 1,1}{2,5 \dots 10}$ 204	$\frac{1,35 \pm 0,67}{0,03 \dots 2,50}$ 98
Sm	$\frac{0,1 \pm 0,04}{0,05 \dots 0,44}$ 131	$\frac{0,15 \pm 0,08}{0,05 \dots 0,69}$ 153	$\frac{0,08 \pm 0,04}{0,02 \dots 0,40}$ 149	$\frac{1,02 \pm 0,18}{0,04 \dots 2,66}$ 74	$\frac{0,341 \pm 22}{0,04 \dots 3,89}$ 147	$\frac{0,5 \pm 0,2}{0,005 \dots 1,26}$ 81	$\frac{0,31 \pm 0,11}{0,001 \dots 0,47}$ 68
Eu	$\frac{0,01 \pm 0,004}{0,001 \dots 0,04}$ 94	$\frac{0,02 \pm 0,01}{0,002 \dots 0,06}$ 114	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,00 \dots 0,03}$ 113	$\frac{0,06 \pm 0,02}{0,003 \dots 0,25}$ 113	$\frac{0,04 \pm 0,11}{0,04 \dots 0,38}$ 111	$\frac{0,07 \pm 0,02}{0,03 \dots 0,15}$ 140	$\frac{0,06 \pm 0,03}{0,001 \dots 0,12}$ 105
Tb	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,001 \dots 0,01}$ 33	$\frac{0,03 \pm 0,02}{0,01 \dots 0,17}$ 187		$\frac{0,07 \pm 0,02}{0,004 \dots 0,25}$ 110	$\frac{0,02 \pm 0,50}{0,19 \dots 1,69}$ 126	$\frac{0,07 \pm 0,03}{0,01 \dots 0,25}$ 84	$\frac{0,11 \pm 0,03}{0,04 \dots 0,18}$ 66
Yb	$\frac{0,06 \pm 0,02}{0,01 \dots 0,1}$ 79	$\frac{0,06 \pm 0,02}{0,01 \dots 0,1}$ 80	$\frac{0,05 \pm 0,02}{0,01 \dots 0,17}$ 126	$\frac{0,16 \pm 0,04}{0,01 \dots 0,61}$ 94	$\frac{0,08 \pm 0,19}{0,57 \dots 1,13}$ 43	$\frac{0,11 \pm 0,02}{0,04 \dots 0,24}$ 164	$\frac{0,07 \pm 0,02}{0,03 \dots 0,10}$ 45
Lu	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,002 \dots 0,03}$ 112	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,01 \dots 0,01}$ 34	$\frac{0,03 \pm 0,01}{0,01 \dots 0,08}$ 88	$\frac{0,04 \pm 0,01}{0,004 \dots 0,11}$ 60	$\frac{0,03 \pm 0,01}{1,00 \dots 1,05}$ 2	$\frac{0,03 \pm 0,01}{0,001 \dots 0,08}$ 101	$\frac{0,04 \pm 0,01}{0,01 \dots 0,05}$ 51
Hf	$\frac{0,06 \pm 0,03}{0,05 \dots 1,57}$ 137	$\frac{0,12 \pm 0,06}{0,005 \dots 0,53}$ 146	$\frac{0,85 \pm 0,80}{0,00 \dots 7,29}$ 285	$\frac{0,41 \pm 0,12}{0,005 \dots 1,57}$ 122	$\frac{0,01 \pm 0,56}{0,02 \dots 1,70}$ 168	$\frac{0,13 \pm 0,05}{0,005 \dots 0,3}$ 101	$\frac{0,01 \pm 0,01}{0,001 \dots 0,03}$ 107
Ta	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,003 \dots 0,01}$ 25	$\frac{0,02 \pm 0,001}{0,01 \dots 0,04}$ 76		$\frac{0,05 \pm 0,01}{0,001 \dots 0,2}$ 116		$\frac{0,04 \pm 0,01}{0,01 \dots 0,1}$ 102	$\frac{0,05 \pm 0,2}{0,01 \dots 0,08}$ 66
Au	$\frac{0,15 \pm 0,05}{0,02 \dots 0,41}$ 91	$\frac{0,29 \pm 0,22}{0,001 \dots 1,82}$ 219	$\frac{0,21 \pm 0,09}{0,00 \dots 0,84}$ 127	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 \dots 0,04}$ 79	$\frac{0,001 \pm 0,69}{0,06 \dots 2,23}$ 140		$\frac{0,01 \pm 0,01}{0,001 \dots 0,03}$ 120
Th	$\frac{0,06 \pm 0,02}{0,02 \dots 0,17}$ 94	$\frac{0,15 \pm 0,10}{0,02 \dots 0,87}$ 200	$\frac{0,05 \pm 0,03}{0,02 \dots 0,26}$ 156		$\frac{0,05 \pm 0,09}{0,07 \dots 0,36}$ 77	$\frac{0,3 \pm 0,2}{0,02 \dots 1,3}$ 64	$\frac{0,08 \pm 0,05}{0,02 \dots 0,24}$ 138
U		$\frac{0,17 \pm 0,12}{0,05 \dots 0,98}$ 198	$\frac{0,06 \pm 0,01}{0,05 \dots 0,17}$ 63		$\frac{0,44 \pm 0,75}{0,11 \dots 2,37}$ 151	$\frac{0,1 \pm 0,3}{0,02 \dots 2}$ 109	$\frac{0,13 \pm 0,08}{0,05 \dots 0,35}$ 120



Для выявления наиболее значимых корреляционных связей между элементами были построены матрицы для организма животных из каждого исследованного населенного пункта. Ниже представлены граф-ассоциации, построенные между элементами с высоким уровнем значимости корреляционных взаимосвязей (рис. 35).

Для Томской области ( $n = 78$ ) были выбраны ассоциации элементов с уровнем значимости  $p > 0,7$ : Ca – Sr, Na - Zn, Rb- Cs, Th - Sc, Sb-Cr-Co-Fe.

Для г. Экибастуз ( $n = 31$ ) взяты ассоциации элементов с уровнем значимости  $p > 0,6$ , из которых  $p > 0,7$  Fe – Co; Rb – Cs, а  $p > 0,6$  у Zn – Na; Co – Sr; Yb – Cr – Eu.

Для Забайкальского края  $p > 0,8$  для Ca-Cr,  $p > 0,8$  для Fe-La, Cs-Sc-Rb-Cs



Рисунок 34. Корреляционные взаимосвязи химических элементов в зольном остатке Свины домашней, ( $>0,7$  при критическом значении коэффициента значимости 0,5)

Построение значимых корреляционных связей элементов ( $>0,7$ ) в зольном остатке биоматериала показывает, что в образцах из Томского района основным элементом, образующим большинство связей является хром. Образованные им положительные корреляционные связи объясняются природным протагонизмом внутри группы циклических элементов, что особенно хорошо прослеживается на примере самой высокой в выборке корреляционной связи Sb-Cr-Co-Fe ( $>0,7$ ) (Вернадский, 1922). Помимо внутреннего притяжения между циклическими элементами сродство Fe-Co объясняется схожей физиологической ролью данных элементов в кроветворении. Другой особенностью Томского района является наличие

связи Th-Sc, которая вероятнее всего демонстрирует содержание данного элемента в природной среде и его биологическую доступность для организмов.

Выборки из г. Экибастуз и Томской области схожи между собой по типу формируемых взаимосвязей, так, в обоих населённых пунктах выделяются корреляции стронция с кальцием, кобальта с железом и натрия с цинком.

Натрий-цинковая взаимосвязь вероятнее всего представляет органическую составляющую организма, так как оба этих металла являются эссенциальными биогенными элементами.

Хром в трех выборках ведет себя по-разному, связываясь в зависимости от зоны пробоотбора, в Экибастузе с редкоземельными элементами, и с тяжелыми металлами в Томской области. В живом организме этот метал играет важнейшую физиологическую роль в регуляции синтеза жиров в организме, и в данной выборке отражает накопление элементов в подкожно-жировой прослойке (покровная система). Поскольку физиологическая роль Sb и редкоземельных элементов остается до конца не выясненной в данном случае можно предположить активное поступление данных элементов извне, в зависимости от территории проживания животного.

Интерес вызывает тот факт, что если кальций-стронциевая ассоциация представляет нормальную костную составляющую организма, то время в пробах из Забайкальского края с кальцием связывается хром. В этом регионе отмечается сильная негативная связь между хромом и кальцием что вероятно является следствием антропогенной нагрузки на исследуемый регион, и усиленное поступление хрома в живой организм, вследствие чего данный метал начинает вытеснять кальций.

При этом детально рассматривая корреляционные взаимодействия элементов только в костной ткани, можно отметить, что значимые отрицательные корреляционные связи элементов с кальцием отмечаются только в костной ткани животного из населенных пунктов Забайкальского края (рис. 36). Здесь к кальцию проявляют антагонизм такие элементы как бром в комплексе с торием и, как уже было отмечено ранее, хром. При этом каждый регион сохраняет свое «геохимическое лицо» и при отдельном рассмотрении костной составляющей. Пробы из города Экибастуз представлены взаимодействиями редкоземельных элементов с гафнием и цезием, а в Томском районе ассоциациями элементов с бромом и сурьмой.

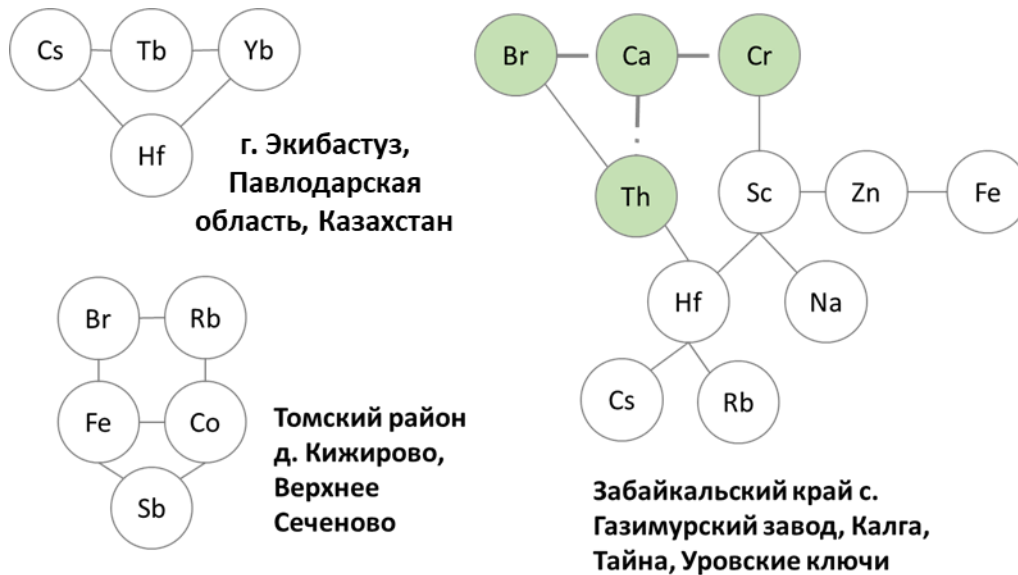


Рисунок 35. Значимые корреляционные связи элементов в костной ткани Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территориях с различной геоэкологической ситуацией, ( $>0,7$  при критическом значении коэффициента значимости 0,5)

Во всех изученных выборках отмечается сильная корреляционная связь рубидия с цезием. Рубидий и цезий, как щелочные металлы химически близки друг другу и также относятся к одной геохимической литофильной группе элементов. Соотношение Rb-Cs является информативным при ранжировании территорий по степени экологической нагрузки, где рубидий представляет собой природный фактор формирования элементного состава, а цезий техногенный. Пробы из зон с большей антропогенной нагрузкой Экибастуза и Забайкалья имеют более высокие содержания цезия, чем пробы из Томской области.

Несмотря на то, что, пробы из Томской области имеют природную рубидиевую природу, при сравнении образцов из поселка Кижирово, где промышленное воздействие выше, и условно фоновую территорию Верхнее Сеченово становится очевидна индикаторная роль биоматериала при оценке техногенного воздействия (рис. 36). Большинство проб из Кижирово проявляют техногенную цезиевую природу, в то время как пробы из Верхнего Сеченово имеют рубидиевую.

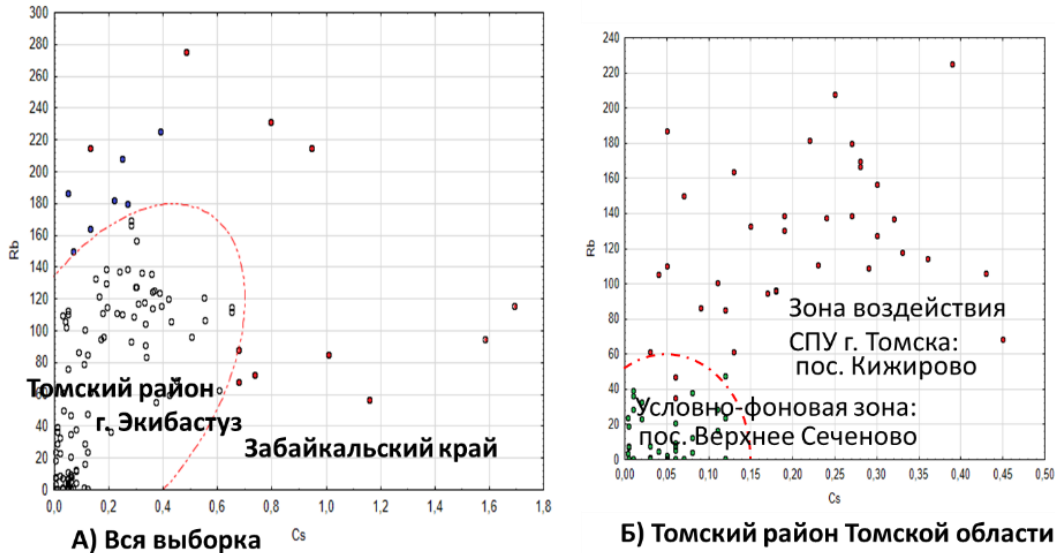


Рисунок 36. Точечная диаграмма распределения Rb-Cs в пробах органов и тканей Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) из всех изученных территорий, (мг/кг зольного остатка)

Прим.: Б) Красным цветом выделена зона воздействия СХК – Кижирово, зеленым фоновая зона – Верхнее Сеченово

Другое показательное соотношение химических элементов: торий-урановое отношение в изученных пробах также варьирует (рис. 37). Все изученные пробы находятся в области с  $Th/U < 1$ , что свидетельствует об урановой природе отобранного биоматериала. Однако, в пробах из Павлодарской области соотношений тория к урану приближается к 1 ( $Th/U=0,9$ ). Самое низкое же соотношение данных элементов находится в пробах из Томской районе ( $Th/U=0,7$ ). Можно отметить, что отношения тория к урану увеличивается в пробах, взятых из территорий, находящихся под воздействием добывающей промышленности (Павлодарская область, Забайкальский край). В биоматериалах, отобранных на других исследуемых зонах, отмечается более низкое отношения тория к урану. Так, в поселке Путинцево Восточно-Казахстанской области это отношение достигает минимума для данной выборки и составляет 0,1. Большинство проб биоматериала проявляет урановую природу, что может объясняться особенностями локальной эколого-геохимической ситуации.

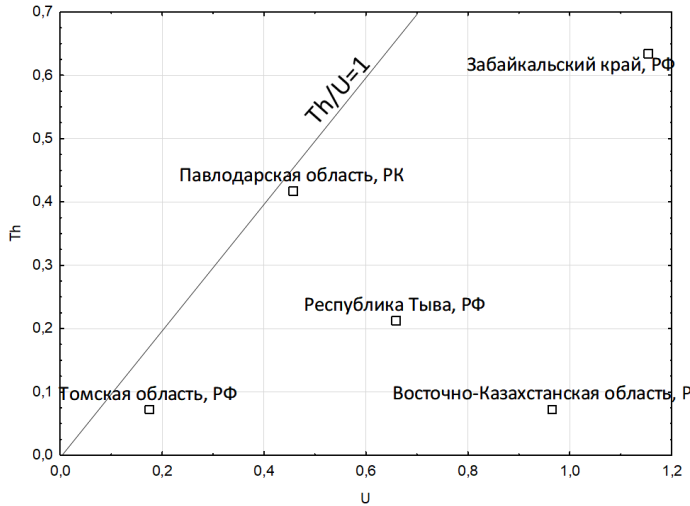


Рисунок 37. Точечная диаграмма распределения Th/U в пробах органов и тканей Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) из всех изученных территорий, (мг/кг зольного остатка)

Прим.: Томская область, РФ Th/U=0,7; Павлодарская область, РК Th/U=0,9; Забайкальский край, РФ Th/U=0,7; Республика Тыва Th/U=0,3; Восточно-Казахстанская область Th/U=0,1.

По абсолютным значениям органы и ткани животного из Забайкальского края отличаются от Томского и Павлодарской области (Республика Казахстан) более высокими концентрациями всех изученных элементов, с некоторыми исключениями (рис. 38). Томский район характеризуется повышенными концентрациями Вг, Ау, что отмечается во всех изученных пробах, и преимущественно в дыхательной и кровеносной системах. Пробы органов и тканей животного, отобранного в городе Экибастуз Павлодарской области, накапливают Na, Zn, Rb, Ag, Sm, Lu, эти элементы накапливаются в основном в органах пищеварительной и опорно-двигательной систем. Распределение специфичных элементов внутри организма зависит от регионального аспекта. Вг, Ау, специфичные для деревень Томского района Томской области избирательно накапливаются в органах дыхательной системы и на открытых покровных и слизистых тканях, а в пробах из Экибастуза концентрируются в крови и желудочно-кишечном тракте. Такой же принцип обнаруживается и для элементов специфичных для города Экибастуз. Органы-локализаторы Na, Zn, Rb, Ag, Sm, Lu в разных исследуемых районах не совпадают. Описанные выше различия концентраций вероятно связаны с различными путями поступления элементов в организм.

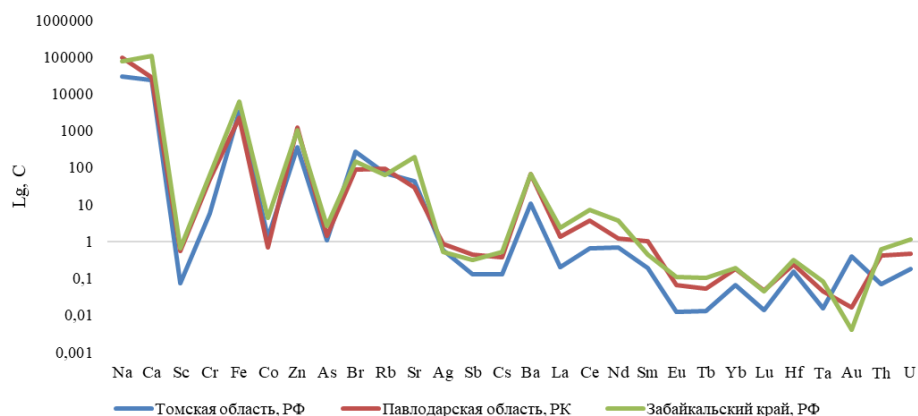


Рисунок 38. Индикаторные изменения содержания химических элементов в пробах и тканях, отобранных на изученных локальных территориях, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Прим.: РФ – Российская Федерация; РК – республика Казахстан

Исследованные выборки значительно различаются между собой по содержанию элементов, однако в целом можно отметить макрокомпонентный состав желудочно-кишечного тракта и покровной ткани варьирует в меньшей степени, нежели в костной ткани (рис. 39-41). Так, на примере кости может отметить региональную специфику каждого исследуемого региона. Костная ткань животного из населенных пунктов Зabaykalsкого края накапливает больше элементов в целом, и тяжелых и легких лантаноидов в частности. Наиболее кальцинированными являются кости из Экибастуза, они также содержат больше бария и стронция.

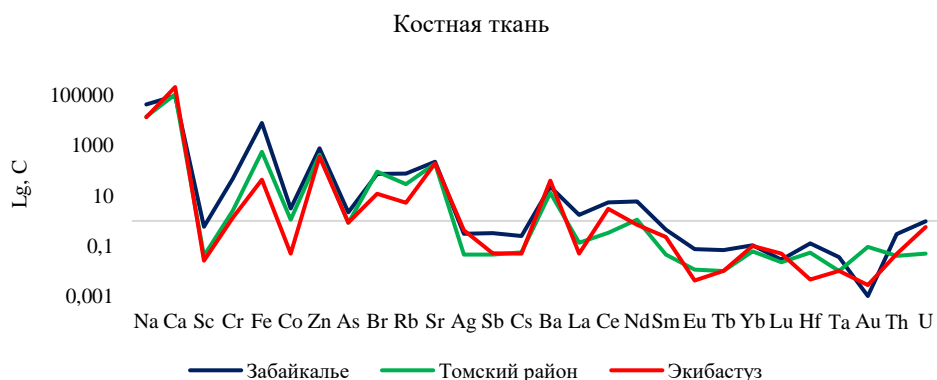


Рисунок 39. Содержание химических элементов в костной ткани Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Зabaykалья, Томского района, Экибастуза, (мг/кг, зола, шкала логарифмическая)

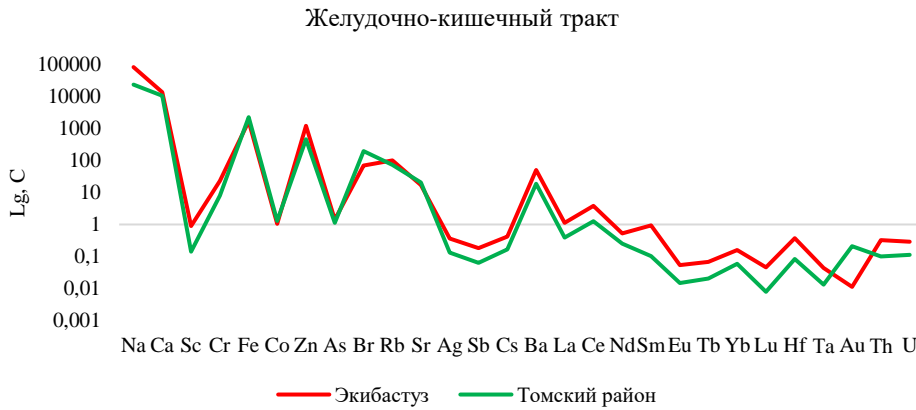


Рисунок 40. Содержание химических элементов в желудочно-кишечном тракте Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*), (мг/кг, зола, шкала логарифмическая)

Желудочно-кишечный тракт животного из Экибастуза аккумулирует большее количество элементов, чем ткани, отобранные на территории Томского района, за исключением Fe, Br, Sr, Au. Ярко просматривается концентрирование групп редкоземельных и радиоактивных элементов. Следует отметить, что элементный состав углей с месторождения Каражар, использующихся в городе Экибастуз имеет схожесть с данным спектром.

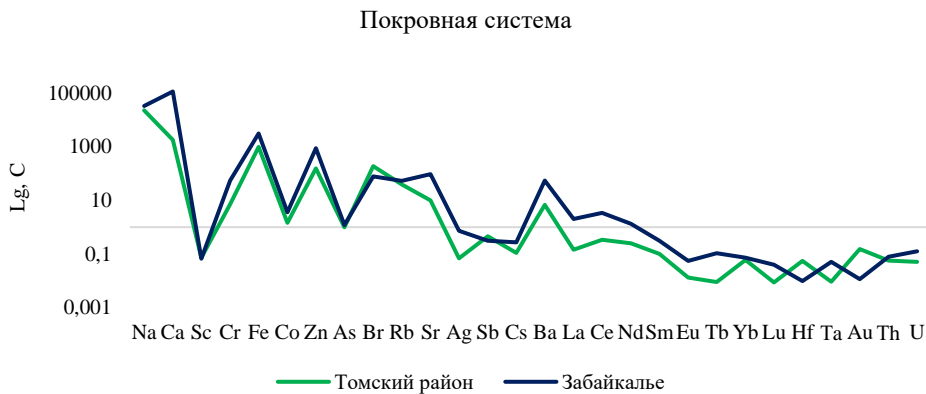


Рисунок 41. Содержание химических элементов в покровной системе Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*), (мг/кг, зола, шкала логарифмическая)

Сравнение покровной системы Свиньи домашней отобранной на территории населенных пунктов Томского района и Забайкальского края наглядно демонстрирует, что ткани млекопитающего проживающего на территории Томского района, накапливают меньшее количество химических элементов, однако способны аккумулировать большие концентрации Br, Sb, Hf, Au.

По результатам изучения трех систем организма опорно-двигательная система, покровная система, пищеварительная система) можно отметить, что каждая из исследованных территорий проявляет специфические черты концентрирования химических элементов вне зависимости от типа биологического материала.

По абсолютным значениям пробы из Забайкалья отличаются от Томского района и Экибастуза более высокими концентрациями всех химических элементов с некоторыми исключениями. Томский район в свою очередь отличается повышенными концентрациями Br, Au, что отмечается во всех изученных пробах, Sb избирательно накапливается в тканях кожных покровов свиней этой территории, а Fe в кишечном тракте.

Анализ концентраций элементов для выбранных систем органов позволил выявить «физиологичные» элементы для каждой из них, аккумулирующиеся в этих системах вне зависимости от территориального аспекта (табл. 14). Сравнивая суммарные коэффициенты концентрации в изучаемых системах органов, можно также выделить значительное накопление элементов на барьерных системах.

Таблица 14. Общие и специфичные для всех изученных регионов элементы (КК относительно среднего по выборке) в зольном остатке желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), кости, кожи Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*)

Территория отбора проб, биоматериал		Общие для всех регионов элементы	Специфические для определенной зоны элементы (региональные)	Сумма коэффициентов концентрации
Томский район деревни Кижирово и Верхнее Сеченово	ЖКТ	Rb	Fe, Br, Co	14
	Кость	Ca, Sr, Lu,	Hf	13
	Кожа	Sb, Br	-	11
Павлодарская область город Экибастуз	ЖКТ	Rb	Sc, Sm, Ba, La, Eu, Th, Cr, Sb, Lu, Tb, Yb, Cs, Hf, Ce, Zn, Na, Rb, Ta, U, Nd, As	34
	Кость	Ca, Sr, Lu,	Ag	22
Забайкальский край поселки Газимурский завод, Уровские ключи, Калга, Тайна	Кость	Ca, Sr, Lu,	Nd, Ta, Eu, Tb, Co, Th, Fe, Br	42
	Кожа	Sb, Br	Ce, Cr, Th, La, Ta, Sb, Co, Br, Fe, Nd, Sc, Eu, Tb, Rb, Ba, Ag, U, Na, Zn, Lu, Cs, Yb	34



Содержание макрокомпонентов на всех изученных территориях повторяет друг друга, отличаясь только количественно, а содержание редкоземельных и радиоактивных металлов варьирует более значительно в зависимости от зоны пробоотбора. Внутри систем организма также отмечается различие в содержаниях редких земель, Th, U. Наибольшей схожестью распределения элементов обладают ткани кишечника, а более всего разнятся концентрации элементов в костной ткани. Пробы из Экибастуза и Забайкалья имеют значительно большее количество специфичных элементов, нежели образцы из Томской области. Для дифференциации выборок по степени однородности был использован дискриминантный анализ, который показал, что в зависимости от зоны отбора значения группируются по-разному (рис. 42, табл. 15,16).

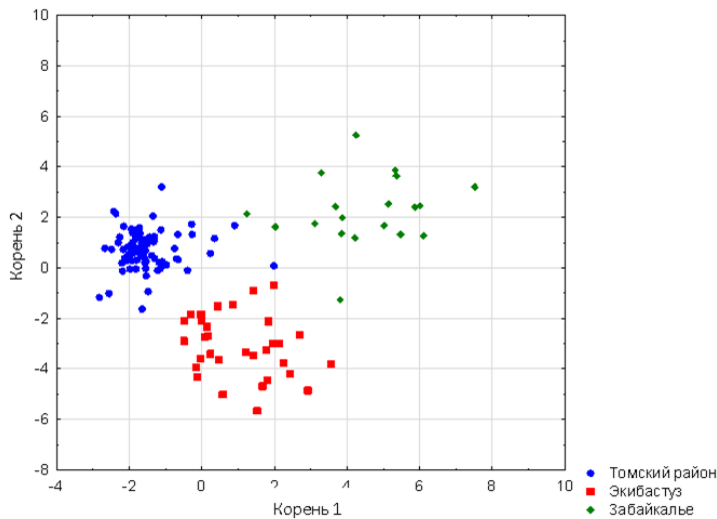


Рисунок 42. Расположение геохимических кластеров биоматериала (*Sus scrofa domesticus*) по результатам дискриминантного анализа и таблица стандартизованных коэффициентов

Так, пробы из Томского района, выделяющиеся по первому корню более однородны, за исключением нескольких проб, остающихся вне модели, в то время как остальные выборки по оси корня 1 рассеиваются. Выборка из г. Экибастуз менее однородна, и группируется относительно второго корня, пробы из Забайкалья также выделяются по второму корню. Согласно стандартизованным коэффициентам и анализу значимости дискриминантной функции значимый вклад в разделение выборок вносят такие элементы как Lu, Hf, Ta. Согласно анализу концентраций, эти элементы являются специфичными для каждого региона, накапливаясь в каждом типе исследуемой ткани. Лютеций к тому же накапливается в костной ткани животных на всех изучаемых территориях.

Таблица 15. Таблица стандартизированных коэффициентов химических элементов организма (*Sus scrofa domesticus*) по результатам дискриминантного анализа

N	X/Э	Корень 1	Корень 2	N	X/Э	Корень 1	Корень 2
1	Na	0,000004	-0,00002	15	Ba	0,01	0,0001
2	Ca	-0,00002	0,000001	16	La	-0,14	-0,12
3	Sc	0,97	1,34	17	Ce	-0,07	-0,07
4	Cr	-0,01	0,02	18	Nd	-0,38	0,04
5	Fe	-0,00002	0,00003	19	Sm	-0,78	-0,43
6	Co	-0,18	0,73	20	Eu	-6,61	10,56
7	Zn	0,00	0,00	21	Tb	-5,74	1,39
8	As	-0,26	0,18	22	Yb	-3,17	-4,25
9	Br	0,001	0,001	23	Lu	-17,97	-13,63
10	Rb	-0,005	0,01	24	Hf	0,14	-4,75
11	Sr	0,01	0,01	25	Ta	-1,92	-12,53
12	Ag	-0,38	-0,04	26	Au	0,56	0,55
13	Sb	-0,22	-0,05	27	Th	1,83	-0,18
14	Cs	-0,48	-1,29	28	U	-0,88	-0,26

Прим.: Красным цветом выделены элементы со значимыми различиями.

Таблица 16. Анализ значимости дискриминантной функции

	Wilks'	Partial	F-remove	p-value	Toler.	1-Toler.
Na	0,02	0,9	4,3	0,01	0,5	0,5
Ca	0,03	0,7	17,8	0,000000002	0,2	0,8
Sc	0,02	0,9	2,9	0,04	0,1	0,9
Cr	0,02	0,9	5,9	0,001	0,4	0,6
Fe	0,02	1,0	0,8	0,5	0,5	0,5
Co	0,02	0,8	10,3	0,00001	0,3	0,7
Zn	0,02	0,9	5,9	0,001	0,5	0,5
As	0,02	1,0	1,1	0,3	0,6	0,4
Br	0,02	0,9	4,5	0,01	0,5	0,5
Rb	0,02	0,9	2,3	0,1	0,2	0,8
Sr	0,02	0,8	6,2	0,001	0,3	0,7
Ag	0,02	0,9	6,0	0,001	0,7	0,3
Sb	0,02	1,0	0,6	0,6	0,7	0,3
Cs	0,02	1,0	1,1	0,3	0,4	0,6
Ba	0,02	1,0	1,2	0,3	0,5	0,5
La	0,02	1,0	0,7	0,6	0,3	0,7
Ce	0,02	0,9	2,2	0,1	0,5	0,5
Nd	0,02	0,9	4,7	0,004	0,6	0,4
Sm	0,02	0,9	2,6	0,1	0,5	0,5
Eu	0,02	0,9	2,4	0,1	0,4	0,6
Tb	0,02	1,0	1,3	0,3	0,4	0,6
Yb	0,02	0,9	2,2	0,1	0,5	0,5
Lu	0,02	0,9	4,1	0,01	0,7	0,3
Hf	0,02	0,9	3,7	0,01	0,1	0,9
Ta	0,02	0,9	4,9	0,003	0,5	0,5
Au	0,02	1,0	1,4	0,2	0,6	0,4
Th	0,02	0,9	2,3	0,1	0,3	0,7
U	0,02	0,9	3,6	0,02	0,6	0,4

Прим.: Красным цветом выделены элементы со значимыми для данной дискриминационной функции различиями.

Таким образом, сравнивая содержания и соотношения элементов в зонах с разным уровнем экологической нагрузки можно отметить такие индикаторные показатели как накопление редкоземельных металлов, изменение Rb-Cs отношения, а также корреляционные взаимосвязи элементов с хромом.

## ГЛАВА 7. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ В ОРГАНИЗМЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО

В условиях техногенеза индивидуальная роль биоматериала возрастает за счет высокой чувствительности живых систем. Концентрация металлов в организме животных и людей зависит не только от типа питания (Zhao, Wang, Yang, 2016), физиологической функции органов и тканей (Carpenè, Andreani, Isani, 2017) и генетических характеристик организма (Demirezen, Uruç, 2006) но и от антропогенной нагрузки места обитания организма (Durkalec et al., 2018). На примере организмов мелких млекопитающих (*Myodes glareolus*) ярко прослеживается зависимость между накоплением химических элементов на плаценте, по мере удаления от источника загрязнения (рис. 43).

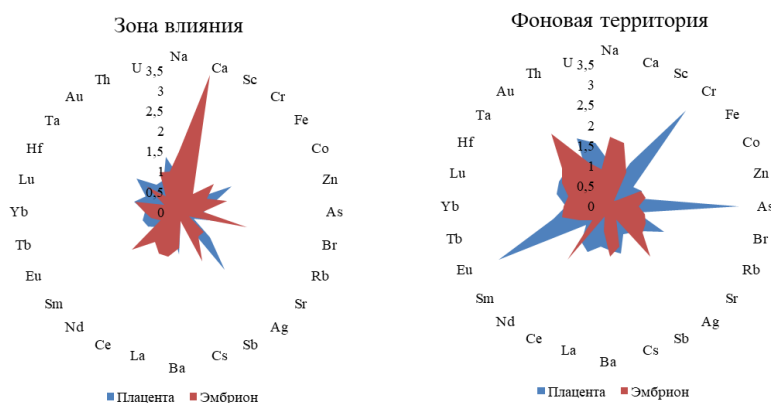


Рисунок 43. Геохимическая специфика биологического материала мелких млекопитающих (*Myodes glareolus*) коэффициент концентрации относительно среднего арифметического содержания в выборке метод ИНАА

На примере построения биогеохимических рядов можно отметить, что суммарный коэффициент концентрации в эмбрионе млекопитающего значительно ниже в зоне, удаленной от источника загрязнения, чем на территории приближенной к предприятию (табл.17).

Таблица 17. Биогеохимические ряды концентрации элементов и суммарный коэффициент концентрации в биоматериале мелких млекопитающих, относительно среднего арифметического содержания в выборке

Биоматериал	Территория	Элементы	КК <sub>сум</sub> м	Территория	Элементы	КК <sub>сум</sub> м
Плацента	Импактная зона	Ba <sub>1,9</sub> -Yb <sub>1,8</sub> - Ag <sub>1,7</sub> -Sm <sub>1,6</sub> - Ta <sub>1,4</sub> =Co=Lu 1,3-U <sub>1,2</sub> - Br <sub>1,1</sub> =Ca-Zn <sub>1</sub> =Au	27	Контрольная зона	As <sub>1,5</sub> =Ce=U <sub>1,3</sub> =Sb=Cr=Eu <sub>1,2</sub> =Th=Yb =Sm-Lu <sub>1,1</sub> -La=Rb=Fe-Ta <sub>1,09</sub> -Ca <sub>1,08</sub> - Na <sub>1,06</sub> - Zn <sub>1,01</sub> -Tb <sub>1</sub>	30
Эмбрион		Fe <sub>2,7</sub> -Sb <sub>2,2</sub> =Cr -Ca <sub>1,9</sub> -Sm <sub>1,8</sub> - Ce <sub>1,7</sub> -La <sub>1,5</sub> -Zn 1,3=Br- U <sub>1,1</sub> =Lu	30		Au <sub>1,3</sub> =Nd-Rb <sub>1,2</sub> - Ag <sub>1,1</sub> =Hf=Tb=Th=Cs-Ba <sub>1,09</sub> =Ta - Eu <sub>1,07</sub> -Na <sub>1,03</sub> =U-Sr <sub>1,01</sub> =Lu	26

Эта же тенденция отслеживается и при рассмотрении влияния эколого-геохимической обстановки на элементный состав плаценты жительниц города Томск (рис.44). Диаграмма распределения содержания химических элементов в плаценте женщин, проживающих на территориях разных районов г. Томска позволяет выделить Ленинский район, как область, в пробах жительницы которой содержится большее количество химических элементов, чем в пробах жительниц других районов.

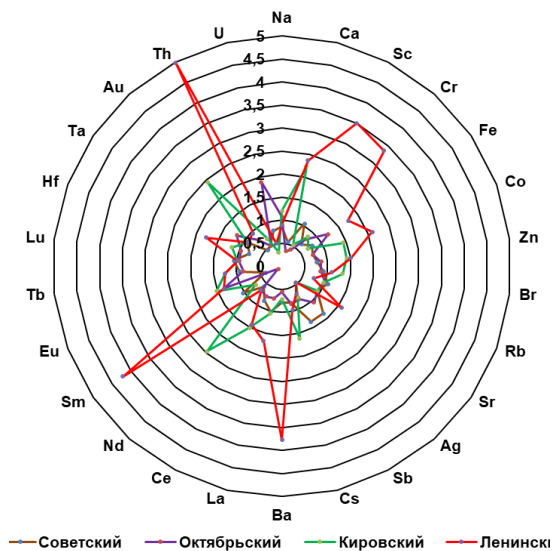


Рисунок 44. Геохимическая специфика плаценты женщин г.Томск, коэффициент концентрации относительно среднего арифметического содержания в выборке метод ИНАА

Пробы из Ленинского района содержат больше Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Ba, La, Hf, Th. Пробы из Кировского района отличаются содержаниями Na, Br, Cs, Ce, Nd, Eu, Au, из

Октябрьского Та и U. Особенностью Ленинского района является большее содержание Rb, Ag, Lu. Вероятно причиной повышенных (в сравнении с другими районами города) содержаний химических элементов в тканях плаценты женщин, проживающих в Ленинском и Кировском районе, является его относительная экологическая не благополучность – в северной части города сконцентрированы местные котельные и частный сектор, которые являются источниками частиц шлака, золы, (Na, Ca, Fe, Zn, Cr, Co). По данным оценки эколого-геохимического состояния г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв, Ленинский и Кировский район выделяется, как антропогенно нагруженный, также в пылеаэрозолях, отобранных на территории данного района обнаруживается наибольшее сосредоточение сажи и шлака.

Формирование элементного состава Свины домашней также происходит под воздействием комплекса факторов (рис.45). По результатам факторного анализа на формирование элементного состава биоматериала, отобранного в г. Экибастуз, влияют два основных фактора. Первый фактор оказывает воздействие на большинство исследованных элементов, здесь особо выделяется группа редкоземельных металлов La, Ce, Eu, Tb, Yb, а также Sc, Co, Cs, Ba, Hf, и радиоактивный элемент Th. При этом редкоземельные элементы и торий выделяются в особую группу. Элементы, находящиеся под влиянием второго фактора – Sr, Ca; Na, Rb более разнородны и группируются попарно, отражая положительные и отрицательные корреляционные связи.

На формирование состава органов и тканей поросёнка из Томской области основное влияние также оказывают три фактора. Первый фактор аналогично результатам анализа проб из Экибастуза, оказывает воздействие на такие элементы как Sc, Fe, Co, Ba, La, Ce, Sm, Tb, Th. Данный набор элементов вероятно отражает техногенное воздействие на организмы, а именно развитую теплоэнергетическую промышленность в обоих изученных регионах. Предположительно этот фактор отражает привнос элементов при сжигании высокзолных каменных углей (Сембаев, 2014).

Второй значимый фактор для проб из Экибастуза демонстрирует природную составляющую материала и его физиологические функции. Отрицательная кальций-стронциевая корреляция, скорее всего, продиктована природным фактором, аккумуляция щелочных металлов Na-Rb тоже вероятнее всего имеет физиологическую причину, так как натрий является органогенным элементом, а рубидий имеет свойство накапливаться в костях, головном мозге и мягких тканях животного.

Второй фактор, влияющий на формирование элементного состава животного из Томской области, регулирует накопление таких элементов как Br, Rb, Cs, Yb. Этот фактор вероятнее всего отражает региональную специфику территории, так как рассмотренный Томский район

Томской области отличается высокими концентрациями брома в почвах, накипи питьевых вод и как следствие биосубстратах людей (Перминова, 2017). Барьерные органы (легкие и почки), отобранные в Томском районе рассматриваемые далее в работе аккумулируют в своих тканях Br, Rb, Cs.

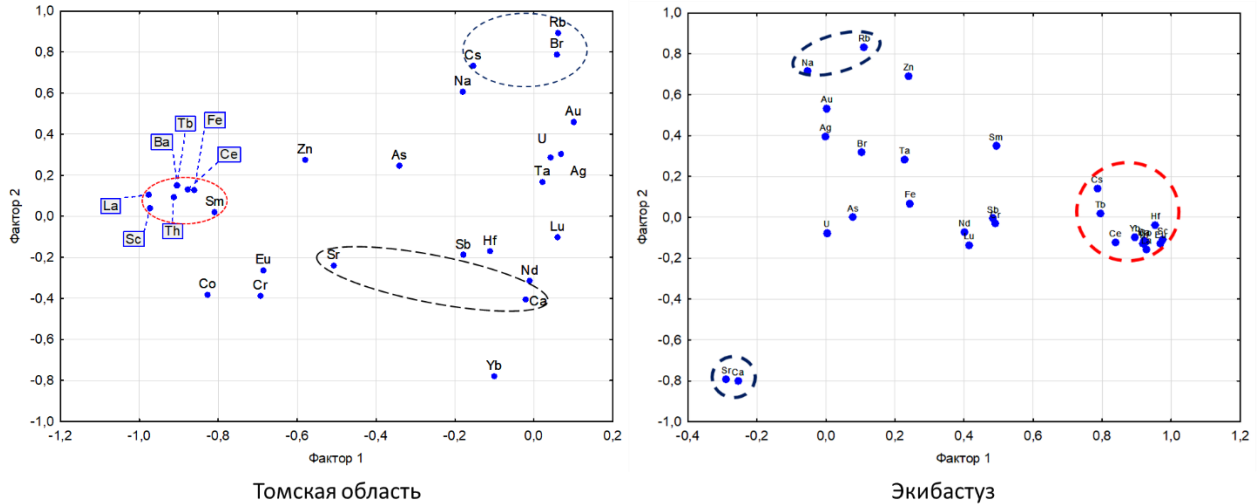


Рисунок 45. Корреляционная взаимосвязь Фактора 1 (выделено красным) и Фактора 2 (выделено синим), построенная по результатам факторного анализа, биоматериал Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Экибастуза и Томской области

Третий фактор, выделяющийся в Томской области влияющий на накопление Ca, Sr демонстрирует физиологическое взаимодействие этих элементов, уже обсужденное ранее.

Таким образом на формирование химического состава организма Свины домашней в равной мере оказывают влияние как природная составляющая, так и антропогенные условия окружающей среды. Постоянное негативное воздействие вынуждает живые организмы выработать защитные механизмы, так называемые барьеры, препятствующие попаданию потенциально опасных элементов в жизненно важные органы.

Среди существующих барьерных систем организма особо выделяются слизистые оболочки желудочного кишечного тракта и носоглотки. Желудочно-кишечный тракт, как зона наиболее активного всасывания химических элементов является ярким примером барьерных функций организма. Высокое накопление химических элементов в данной системе, как правило, говорит о постоянном поступлении химического элемента извне, что может меняться в зависимости от потребленного корма, питьевая воды, загрязнения и состава почвы, которые в свою очередь зависят от географического происхождения (Franke et al., 2005; Kim et al., 2017; Park et al., 2018).

Среди всех изученных систем органов именно пищеварительная система накапливает в себе наибольшее количество элементов, как на территории г. Экибастуз, так и при сравнении с Томским районом.

В Экибастузе, как в более экологически нагруженной зоне барьерный механизм пищеварительной системы проявляется ярче (табл. 18, рис. 46)). На территории же Томского района пищеварительная система концентрирует элементы наравне с кровеносной, в то время как пищеварительная система животного из Экибастуза аккумулирует значительно больше элементов.

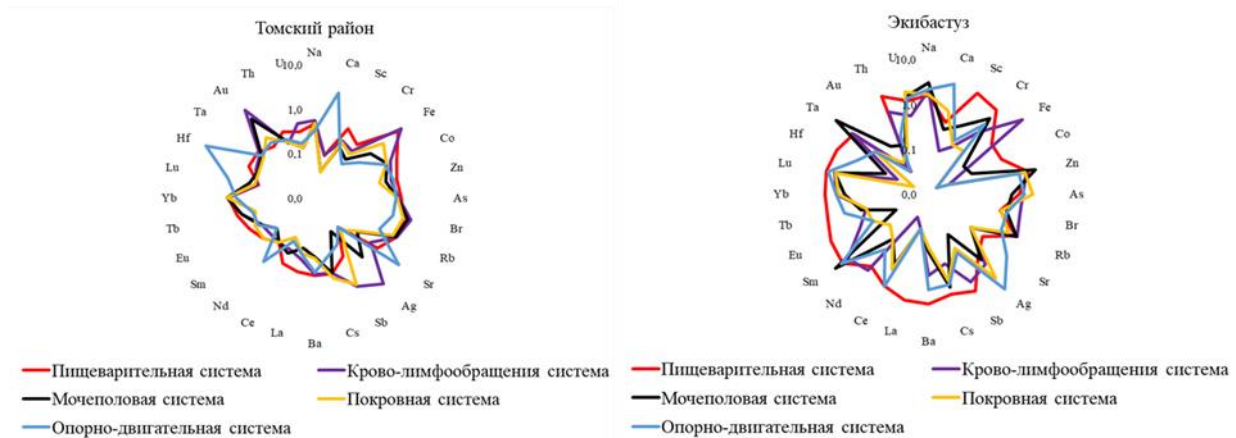


Рисунок 46. Коэффициент концентрации химических элементов в пищеварительной системе Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз и Томского района,  $L_g$

Несмотря на то, что по химическому составу биоматериалы значительно отличаются друг от друга, существуют и некоторые сходства, видимо свойственные биологическому материалу в целом. Так, ткани пищеварительной системы накапливают Yb, Rb, As; кровеносной Fe, Br; мочеполовой Rb, опорно-двигательной Ca, Sr, Lu.

Таблица 18. Биогеохимические ряды концентрации элементов в золе биоматериала Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз и Томского района

Система органов	Экибастуз	Томский район
Пищеварительная система	Sc <sub>2,2</sub> -Ba <sub>2</sub> =Lu=Eu -Cr <sub>1,8</sub> =Th =La-Zn <sub>1,7</sub> -Sm <sub>1,6</sub> =Sb-Na <sub>1,5</sub> =Yb =Cs -Tb <sub>1,4</sub> =Ce -Hf <sub>1,2</sub> =Rb -As <sub>1</sub> =U	Fe <sub>2,5</sub> -Br <sub>1,1</sub> -Co <sub>1,1</sub> - <u>Rb<sub>1,1</sub></u> -Yb <sub>0,9</sub> = <u>As</u>
Система крово-лимфообращения	Fe <sub>3,5</sub> -Na <sub>2</sub> -Zn <sub>1,6</sub> =Sb-Nd <sub>1,5</sub> =Sm-Rb <u>Lu</u> -Ta <sub>1,3</sub> =As -Th <sub>1,1</sub> =Yb =Ag	Au <sub>3,3</sub> - <u>Fe<sub>3,1</sub></u> -Ag= <u>Br<sub>1,6</sub></u> =Sb-Rb <sub>1,1</sub>
Мочеполовая система	Ta <sub>3,9</sub> -Sm <sub>3,3</sub> -Na <sub>2,9</sub> -Zn <sub>2,6</sub> -Cr <sub>1,5</sub> -U <u>Lu</u> =Rb -Cs <sub>1,3</sub>	Au <sub>1,9</sub> -Br <sub>1,4</sub> - <u>Rb<sub>1,1</sub></u>
Опорно-двигательная система	Ag <sub>5,6</sub> -Ca <sub>3,4</sub> -Sm <sub>2,4</sub> -Na <sub>2,2</sub> -Ce <sub>1,9</sub> =Lu-Sr <sub>1,8</sub> -Ba <sub>1,5</sub> -U <sub>1,2</sub> =As =Yb -Cs <sub>1,1</sub> =Zn =Cr	Hf <sub>5,1</sub> - <u>Sr<sub>2,6</sub></u> -Ca <sub>2,6</sub> - <u>Lu<sub>1,0</sub></u>

В тканях пищеварительной системы свиньи, отобранных на территории г. Экибастуз, обнаруживаются высокие коэффициенты концентрации Th, U, чего не наблюдается в биоматериале животных из Томского района. Построение диаграммы Th/U отношения в разных органах показывает, что большинство исследованных биоматериалов проявляют урановую природу, однако пищеварительной системы толстый и прямой кишечник имеют ториевую природу (рис.47).

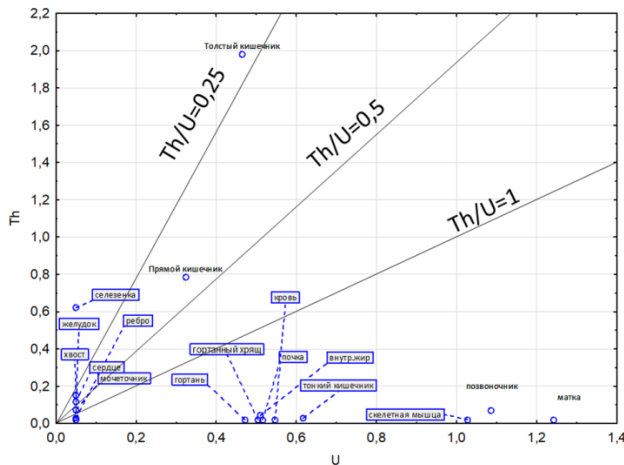


Рисунок 47. Th/U отношение в органах и тканях Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз, (мг/кг золы)

Рассмотрев торий-урановое отношение в пробах из Томского района (рис.48), можно отметить, что в большинстве изученных проб содержание урана лежит ниже пределов обнаружения, кровь, как и в образцах из Экибастуза проявляет урановую природу, а толстый кишечник ториевую. Тонкий и прямой кишечник в Томском районе проявляют противоположные свойства и содержат больше тория нежели урана. Такая разница в накоплениях может трактоваться разной интенсивностью поступления данных элементов в организм животного, так как содержание радиоактивных элементов в образцах из Экибастуза в целом выше, чем в Томском районе.

Исходя из органов-локализаторов урана можно предположить наиболее вероятные формы его нахождения. На территории г. Экибастуз, где данный элемент задерживается в костной ткани и органах мочеполовой системы (почки, мочеточник, матка), вероятно поступление нерастворимых белковых соединений урана в четырехвалентной форме. Торий, концентрирующийся в селезенке, вероятно поступает вместе со вдыхаемым воздухом, так как органы кроветворной системы являются местом его локализации при ежедневном ингаляционном поступлении.



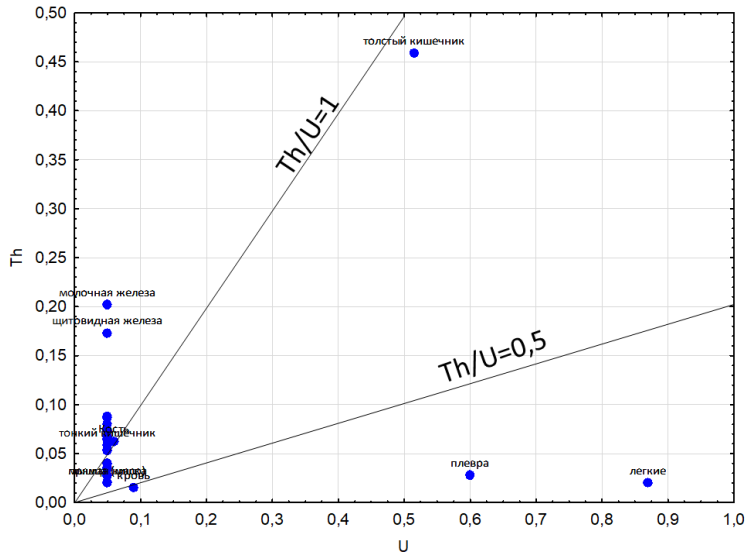


Рисунок 48. Th/U отношение в органах и тканях Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томского района, (мг/кг золы)

В Томской области, уран, локализующийся преимущественно в легочной ткани, по всей видимости также поступает в составе органических компонентов (Вредные химические вещества, 1990). Торий же, аккумулирующийся в тонком кишечнике, скорее всего поступает в форме хорошо растворимых соединений. Установлено, что органы и ткани пищеварительной системы (желудок, тонкий, толстый и прямой кишечник) в обеих выборках аккумулируют радионуклиды, выполняя роль барьерной системы.

#### 7.1 Содержание и соотношение элементов в желудочно-кишечном тракте Свины домашней в условиях антропогенного воздействия

Для рассмотрения других особенностей концентрирования элементов в пищеварительной системе Свины домашней был проведен детальный её анализ. Распределение элементов отражает геохимические закономерности закон Кларка-Вернадского и правило Оддо-Гаркинса (рис.49). Однако, в изученной выборке элементов, отмечается повышение концентрации таких элементов как Zn, Rb, Th и U, и понижение содержания Ca что свидетельствует об отклонениях от закона.

В рамках исследования были проанализировано 6 органов, входящих в состав пищеварительной системы Свины домашней. Было изучено изменение химического состава пищеварительной системы в разных отделах желудочно-кишечного тракта. График на рисунке 50 демонстрирует, что наибольшее содержание химических элементов отмечается в тканях толстого кишечника, также интерес вызывают определенные исключения.

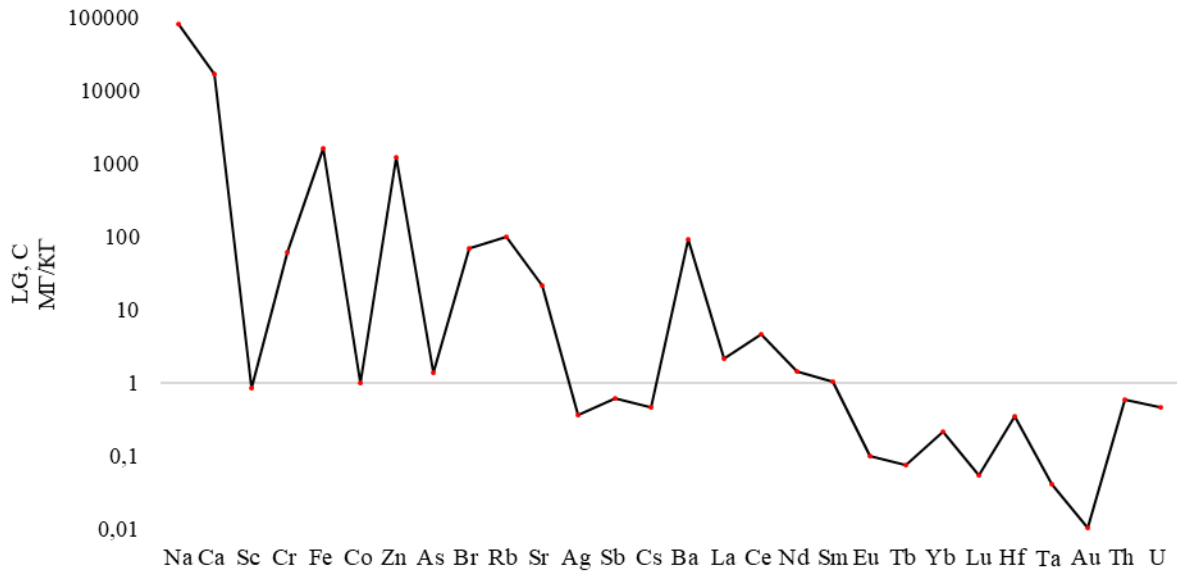


Рисунок 49. Содержание химических элементов в органах и тканях пищеварительной системы Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз, (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

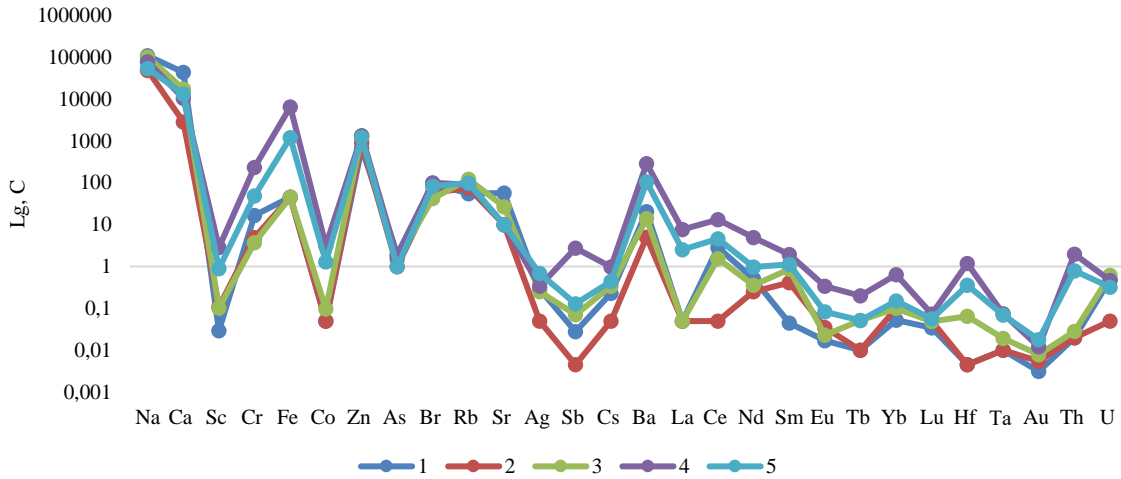


Рисунок 50. Распределение химических элементов в пищеварительной системе Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз, (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

Прим.: 1- глотка; 2 – желудок; 3- тонкий кишечник; 4 - толстый кишечник; 5 - прямая кишка

Как уже отмечалось ранее, всасывание большинства химических элементов происходит в стенках толстого кишечника, в то время как ткани желудка концентрируют наименьшее количество химических элементов. Такие элементы, как Na, Ca, Sr преимущественно

накапливаются в тканях кольцевидного хряща гортани, что связано с биологическими особенностями строения хрящевой ткани. Rb и U преимущественно концентрируются в тканях тонкого кишечника. Аналогичное накопление Rb тканями тонкого кишечника по сравнению с другими органами желудочно-кишечного тракта ранее наблюдалось по результатам эксперимента, проведенного Отделом радиологического здоровья, Институт общественного здравоохранения, Токио (N. Yamagata 1962). Предыдущие исследования желудочно-кишечного тракта Свиньи домашней на территории Томской области (Барановская, 2011; Барановская, Рихванов, 2011) не выявили значительных различий в содержаниях U в компонентах желудочно-кишечного тракта, однако тонкий кишечник и прямая кишка выделяются высокими содержаниями Rb.

Изменения в концентрациях химических элементов в зависимости от типа исследуемой ткани можно увидеть на примере таких химических элементов, как Ag, Au, Br, As (рис.51). Изменения их концентраций может отражать пути поступления, миграции и выведения. Так, концентрирование Br, As, в глотке, которая является соединительным звеном между носовой и ротовой частью организма может свидетельствовать о поступлении элементов с воздухом.

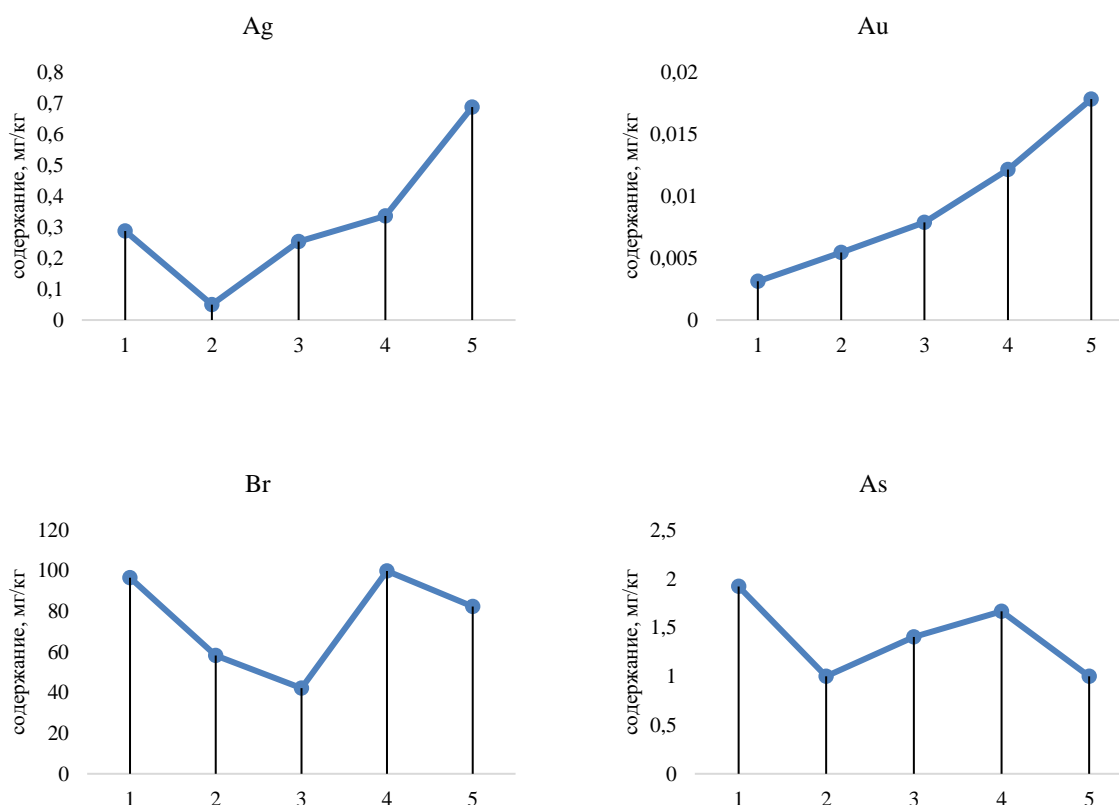


Рисунок 51. Распределение химических элементов (Ag, Au, Br, As) в пищеварительной системе Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз, (мг/кг золы)

Прим.: 1- глотка; 2 – желудок; 3- тонкий кишечник; 4 - толстый кишечник; 5 - прямая кишка

По мере прохождения по желудочно-кишечному тракту, содержания Au в тканях компонентов пищеварительной системы постепенно увеличивается от глотки, до кишечника и достигает своего максимума в прямой кишке. Аналогичная ситуация наблюдается при детальном рассмотрении содержания Ag, однако в отличии от Au, минимально накапливающегося в области глотки, Ag достигает своего минимума в тканях желудка. Можно предположить, что Au, Ag как инертные металлы не вступают в химические реакции по мере прохождения кишечного тракта, а выделяются вместе с каловыми массами и мочой. Аналогичная ситуация наблюдается и для брома, однако, для данного элемента пик концентрации приходится на толстый кишечник – основную зону всасывания жидкости, и мочеточник- орган выделения мочи (рис. 52,53).

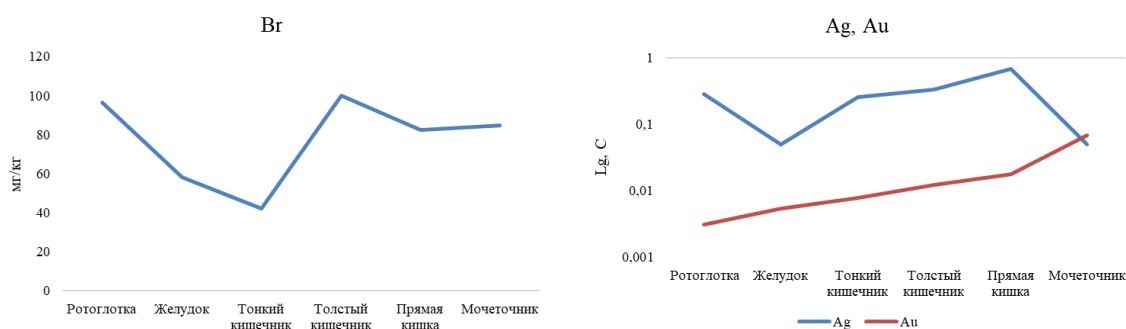


Рисунок 52. Распределение Br, Ag, Au в пищеварительной и мочеполовой системах Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г.Экибастуз, (мг/кг золы, Ag, Au - шкала логарифмическая)

В ходе исследования также было отмечено, что элементы с разной валентностью концентрируются в разных отделах желудочно-кишечного тракта в зависимости от pH среды. Так, элементы с постоянной валентностью - щелочные и щелочноземельные элементы, такие как Ca, Na, Rb, Sr концентрируются в большей степени в частях кишечного тракта, имеющих высокий водородный показатель, коррелируя с изменением pH (рис. 53).

Элементы же с переменной валентностью проявляют обратную зависимость. Так, на участках желудочно-кишечного тракта с самым высоким показателем pH (тонкий кишечник) отмечается минимальный коэффициент концентрации таких элементов с постоянной валентностью как Cr, Fe, Co, Yb. Максимальные коэффициенты концентрации этих элементов обнаруживаются в тканях толстого и прямого кишечника (рис.54).

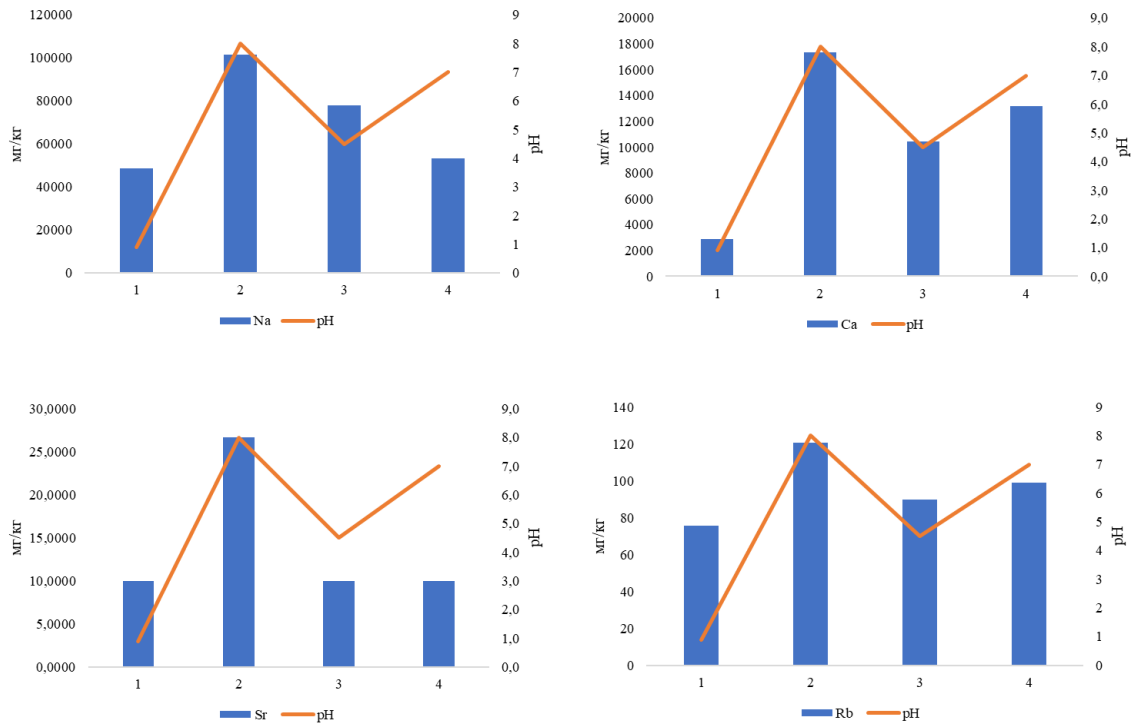


Рисунок 53. Распределение химических элементов с постоянной валентностью в пищеварительной системе Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз, (мг/кг золы)

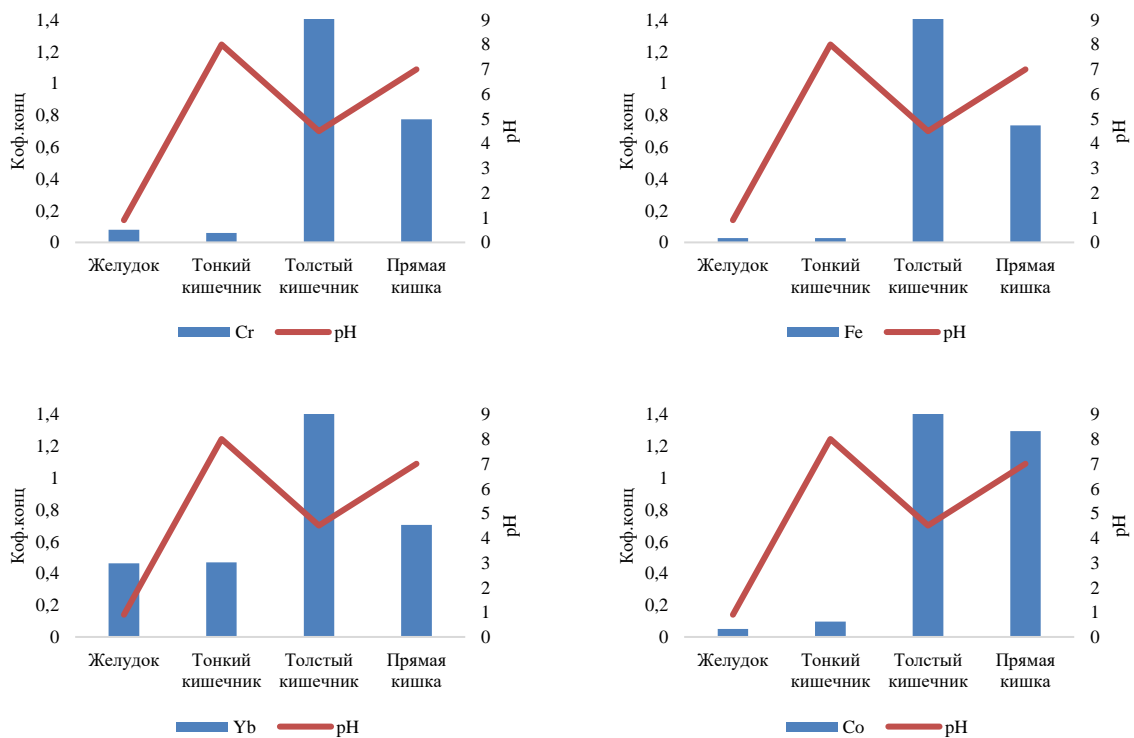


Рисунок 54. Распределение химических элементов с переменной валентностью в пищеварительной системе Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории г. Экибастуз, (мг/кг золы)

На примере вышеупомянутых элементов можно отметить влияние такого биологического барьера, как резкое изменение водородного показателя на концентрирование элементов различных химических групп.

Другим показательным инструментом при изучении миграции элементов внутри изучаемой системы органов является построение биогеохимических рядов. В ходе исследования были изучены ткани желудочно-кишечного тракта каждого отдела кишечника, были исследованы первые и последние 100 см от каждой части, как части системы, отвечающие за введение и выведение элементов из органа и организма.

Биогеохимические ряды, представленные в таблице 19, наглядно показывают, какие элементы накапливаются в пищеварительной системе и в какой её части. Такие химические элементы, как Sr и Ca накапливаются в ротоглотке, что может быть связано с хрящевым строением данного органа. Накопление As, Br, как уже упоминалось выше, может быть связано с преимущественно воздушным путем поступления данных элементов. Роль в накоплении мышьяка также может играть образ жизни исследуемого животного. В связи с тем, что свиньи часто роют землю, не исключается факт проглатывания частиц почвы, и как следствие поступление элементов из загрязненной почвы. Согласно данным, представленным в статье Сембаева Ж.Х. содержание мышьяка в среднем в почвах г. Экибастуз превышает 0,5 ПДК (Сембаев, 2014).

Lu, Zn, Sm, Rb это те элементы чей коэффициент концентрации в тканях желудка превышает единицу. Максимальные концентрации при этом имеет редкоземельный металл Lu, чья биологическая роль не выяснена до конца, однако исследования зольного остатка человека (Игнатова, 2010) показывают способность данного химического элемента накапливаться в тканях пищевода, а исследования органов и тканей Свиньи домашней (Барановская, Рихванов, 2011), демонстрируют что лютеций имеет высокий коэффициент перехода в системе желудок-кровь. Согласно исследованиям накипи из природных пресных вод на территории Павлодарской области (Арынова, 2016), Lu является характерным для накипи отобранной в Экибастузском районе, Павлодарской области. Вероятно, поступление данного металла с водой. Можно предположить наличие барьерной роли стенок пищевода и желудка в миграции данного металла в организме.

Сравнение биогеохимических рядов показывает, что каждый отдел кишечного тракта проявляет свои индивидуальные особенности, концентрируя специфичные элементы. Зоной наиболее активного поглощения практически всех химических элементов остается толстый кишечник. В тканях же тонкого кишечника обнаруживается максимальный коэффициент концентрации U относительно всей выборки. Верхний отдел тонкого кишечника — это единственный отдел кишечного тракта, который концентрирует Sr.

Таблица 19. Специфика накопления элементов в желудочно-кишечном тракте Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) Павлодарской области относительно среднего содержания в организме

Орган	Шифр	Ряд химический элементов
Глотка	-	Sr <sub>2,0</sub> -Ca <sub>1,6</sub> -As <sub>1,4</sub> -Na <sub>1,1</sub> -Br <sub>1,1</sub> -U <sub>1,1</sub>
Желудок	-	Lu <sub>1,9</sub> -Zn <sub>1,4</sub> -Sm <sub>1,1</sub> -Rb <sub>1,1</sub>
Тонкий кишечник	100 см	Sr <sub>1,6</sub> -Rb <sub>1,3</sub> -Lu <sub>1,2</sub> -Na <sub>1,7</sub> -Zn <sub>1,0</sub>
	200 см	U <sub>1,9</sub> -Rb <sub>1,3</sub> -Zn <sub>1,2</sub> -As <sub>1,2</sub> -Tb <sub>1,0</sub> -Na <sub>1,0</sub> -Sm <sub>1,0</sub> -Cs <sub>1,0</sub>
Толстый кишечник	300 см	Sb <sub>10,8</sub> -La <sub>5,5</sub> -Hf <sub>5,2</sub> -Th <sub>5,1</sub> -Sc <sub>5,1</sub> -Ba <sub>5,0</sub> -Eu <sub>5,0</sub> -Tb <sub>4,7</sub> -Yb <sub>4,4</sub> -Co <sub>3,8</sub> -Ce <sub>3,2</sub> -Cs <sub>2,8</sub> -Fe <sub>2,7</sub> -Lu <sub>2,5</sub> -Ta <sub>2,3</sub> -Sm <sub>2,0</sub> -As <sub>1,7</sub> -Br <sub>1,2</sub> -Zn <sub>1,2</sub> -U <sub>1,1</sub> -Rb <sub>1,1</sub>
	400 см	Sb <sub>10,9</sub> -Cr <sub>9,2</sub> -Nd <sub>8,2</sub> -La <sub>4,9</sub> -Sc <sub>4,8</sub> -Co <sub>4,8</sub> -Ba <sub>4,8</sub> -Hf <sub>4,5</sub> -Eu <sub>4,2</sub> -Tb <sub>4,1</sub> -Th <sub>4,0</sub> -Yb <sub>3,0</sub> -Ce <sub>2,9</sub> -Fe <sub>2,8</sub> -Ta <sub>2,3</sub> -Cs <sub>2,0</sub> -U <sub>1,7</sub> -Zn <sub>1,4</sub> -Br <sub>1,1</sub> -Lu <sub>1,0</sub> -Rb <sub>1,0</sub>
Прямая кишка	500 см	Hf <sub>2,5</sub> -Sc <sub>2,4</sub> -Co <sub>2,4</sub> -Ba <sub>2,3</sub> -Ta <sub>2,0</sub> -Ag <sub>1,9</sub> -Th <sub>1,9</sub> -Nd <sub>1,7</sub> -La <sub>1,7</sub> -Eu <sub>1,6</sub> -Au <sub>1,6</sub> -Ce <sub>1,5</sub> -Sm <sub>1,3</sub> -Zn <sub>1,2</sub> -Rb <sub>1,2</sub> -Cs <sub>1,1</sub> -Lu <sub>1,1</sub> -Tb <sub>1,0</sub>
	600 см	La <sub>1,9</sub> -Th <sub>1,9</sub> -Co <sub>1,6</sub> -Ta <sub>1,2</sub> -Lu <sub>1,2</sub> -Cs <sub>1,2</sub> -Cr <sub>1,2</sub> -Sc <sub>1,1</sub> -Ce <sub>1,1</sub> -Ba <sub>1,1</sub> -Yb <sub>1,1</sub> -U <sub>1,0</sub> -Eu <sub>1,0</sub> -Sm <sub>1,0</sub> -Br <sub>1,0</sub>

Самые высокие коэффициенты концентрации химических элементов в выборке в отделе толстого кишечника, и особый интерес вызывает факт аномального концентрирования тория ( $C_{Th} > 5$ ) только в толстом кишечнике, в остальных пробах коэффициент концентрации данного металла также высокий, но не превышает 2. В толстом кишечнике можно отметить высокий коэффициент концентрации Sb ( $C_{Sb} > 10$ ), данный метал не концентрируется в других отделах кишечного тракта. Здесь же находятся максимальные концентрации среди всех элементов во всей выборке, Cr ( $C_{Cr} > 9$ ), Nd ( $C_{Nd} > 8$ ), такие высокие коэффициенты концентрации отмечаются только в тканях толстого кишечника.

Отличительной особенностью прямого кишечника является высокий коэффициент концентрации Hf, Sc, Co, Ba ( $C_{Co} > 2$ ) в верхнем отделе, и La, Th, Co в нижнем ( $C_{Co} > 1,5$ ). Стенки прямого кишечника активно концентрируют благородные металлы (золото и серебро), а также редкоземельные элементы (La, Sm, Eu, Lu), из всей выборки коэффициент концентрации этих металлов превышает единицу только в пробах прямой кишки. Последнее может объясняться их низкой физиологической активностью.

Представленная таблица показывает, что U способен накапливаться практически во всех изученных компонентах пищеварительной системы, за исключением желудка, и как это уже отмечалось выше достигает максимальной концентрации в первых 100 метрах тонкого кишечника. Можно отметить накопление Th тканями толстой и прямой кишки, и низкое концентрирование этого металла в других изученных тканях пищеварительной системы. Содержание U во всех пробах достаточно однородно, однако ткани тонкого кишечника, как уже отмечалось выше, содержат большие концентрации этого металла.

Более детальное рассмотрение содержания Th, U в тканях кишечного тракта (рис. 55-56) подтверждает отмеченные ранее закономерности накопления данных элементов, и более наглядно показывает специфику их распределения.

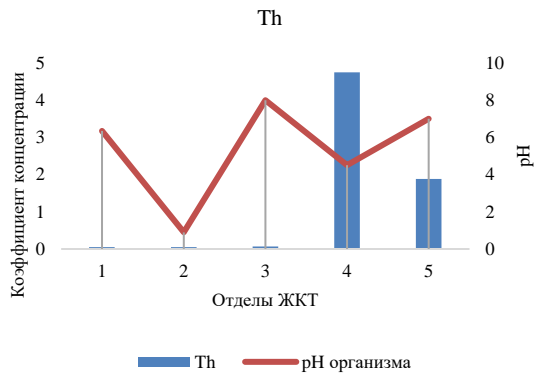


Рисунок 55. Коэффициент концентрации Th в тканях кишечника Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) относительно среднего арифметического содержания в выборке

Прим.: 1- глотка; 2 – желудок; 3- тонкий кишечник; 4 - толстый кишечник; 5 - прямая кишка

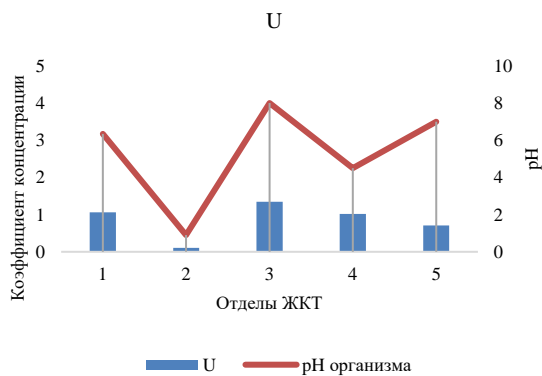


Рисунок 56. Коэффициент концентрации U в тканях пищеварительной системы Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) относительно среднего арифметического содержания в выборке

Прим.: 1- глотка; 2 – желудок; 3- тонкий кишечник; 4 - толстый кишечник; 5 - прямая кишка

Диаграммы демонстрируют, что концентрация торий остается минимальной в тонком кишечнике, затем резко увеличивается в толстом кишечнике, снижается в прямом, и практически не меняется после. Основной функцией толстого кишечника является всасывание воды и электролитов, и факт концентрирования тория именно этим отделом кишечного тракта позволяет нам предположить, что данный металл аккумулируется стенками кишечника за



счет работы микроорганизмов образуя биохимический барьер, препятствующий проникновению данного элемента в кровь.

U преимущественно накапливается в верхнем отделе тонкого кишечника, концентрация данного металла в кишечном тракте более равномерна, однако она резко снижается от тонкого кишечника к верхнему отделу прямого кишечника, и постепенно повышается в нижнем отделе. Поступающие в организм соединения урана безбарьерно проникают в кровь сквозь стенки тонкого кишечника, так как тонкий кишечник является основной зоной всасывания продуктов пищеварения, большинства перорально введенных лекарственных веществ, ядов и токсинов в кровеносные и лимфатические капилляры (Анатомия и физиология желудочно-кишечного тракта, 2018).

Изменение коэффициентов концентрации Th, U хорошо отражает смену внутренней среды организма, а именно водородного показателя. Кислотно-щелочной баланс организма меняется из щелочной в ротовой полости (pH 6,35), становясь кислой в желудке (pH 0,9), с резкой сменой среды на щелочную в тонком кишечнике (pH 8,5), затем подкисляясь в толстом (pH 4), и возвращаясь к щелочной в прямом кишечнике (pH 7). Радиоактивные металлы (Th, U) по-разному реагируют на изменения кислотно-щелочного баланса. Коэффициент концентрации урана заметно меняется прямо пропорционально изменению кислотности среды, в отделах желудочно-кишечного тракта, проявляющих щелочную среду, КК U выше, чем в проявляющих кислую. Коэффициент концентрации тория не меняется в первых двух компонентах пищеварительной системы, но в тканях кишечного тракта проявляет обратную зависимость. Так, в тонком кишечнике, отделе ЖКТ с самым высоким pH наблюдается самый низкий для кишечника коэффициент концентрации тория, и в толстом кишечнике с самой кислой средой данный металл концентрируется в большей степени. Можно отметить прямую и обратную зависимость от величины водородного показателя в разных отделах кишечника для урана и тория соответственно, хотя исключительно геохимическими закономерностями это объяснить невозможно. Тем не менее, кислотность среды является еще одним факторов оказывающим воздействие на распределение химических элементов в желудочно-кишечном тракте Свиньи домашней, возможно, при дополнительном участии других факторов, как например, микрофлора кишечника.

Изменение концентраций элементов в разных отделах кишечника можно проследить при детальном рассмотрении участков кишечного тракта и желудка (рис.57). Построенные графики распределения элементов показывают, что их активное всасывание начинается в 12-перстном кишечнике, за исключением Yb, аккумуляцию которого в первом отделе тонкого кишечника и желудке одинаково.

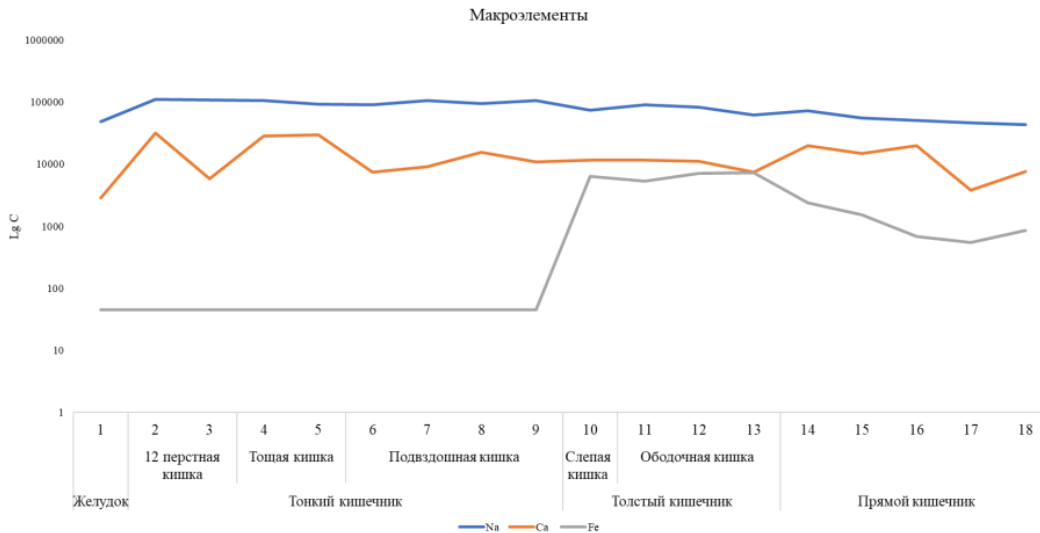


Рисунок 57. Содержание макроэлементов в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Макроэлементы активно аккумулируются тканями кишечника по всей его протяженности, снижая свои концентрации к концу тракта. Натрий, кальций и железо как органогенные элементы выделяются из организма в меньшей степени, чем редкоземельные и радиоактивные, в связи с их высокой физиологической значимостью. Такие токсичные для организма элементы как Cr, Zn, Co, Ba As также дифференцируются в зависимости от накопления в тканях желудочно-кишечного тракта (рис.58). Их максимальное накопление приходится на ткани толстого кишечника.

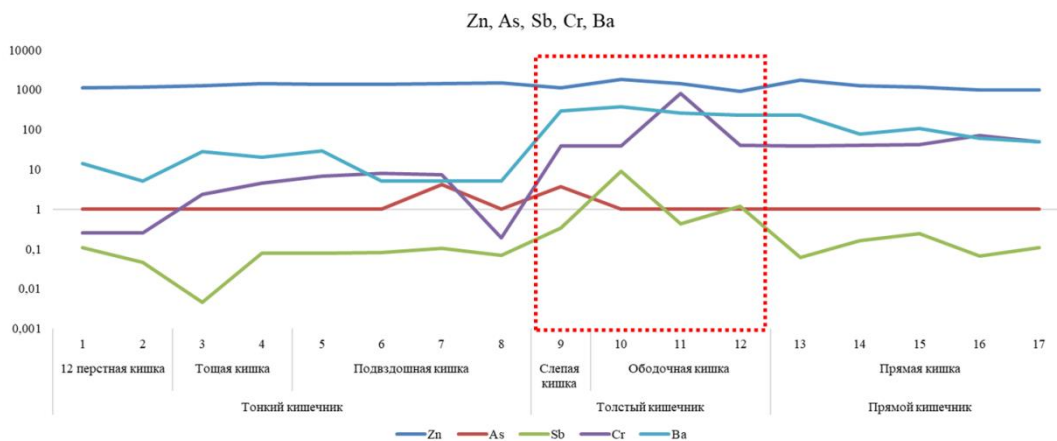


Рисунок 58. Содержание Zn, As, Sb, Cr, Ba в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Основное всасывание хрома и кобальта происходит в толстом кишечнике, эти элементы практически не задерживаются в тонком и прямом кишечнике (рис.59). Хром единственный из

рассмотренных элементов начинает всасываться в желудке, и максимально накапливается в середине ободочной кишки. Повышенные концентрации хрома в подвздошной кишке соотносятся с результатами проведенных исследований, отмечающих всасывание хрома в этом отделе тракта (Покровский, 1981) Мышьяк в большинстве изученных проб находится ниже предела обнаружения, однако его концентрации повышаются в конце тонкого-начале толстого кишечника.

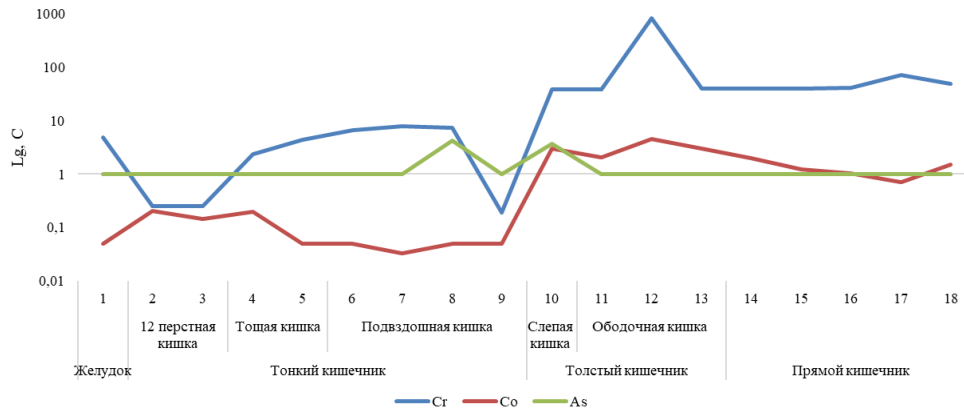


Рисунок 59. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Содержание цинка остается высоким и значительно не изменяется в тонком кишечнике, концентрации данного элемента повышаются в первом отделе толстого и прямого кишечника, и снижаются ближе к концу тракта (рис.60). Таким образом, пиком концентрации цинка в организме Свиньи домашней является ободочная кишка толстого кишечника, в то время как согласно литературным данным в организме на примере крыс основной зоной всасывания данного элемента является тощая кишка (Lee, Brewer, Wang, 1989).

Редкоземельные элементы в большинстве своем всасываются в зоне толстого кишечника, начиная с конца подвздошной кишки (рис.61-62). Основные пики их концентраций приходятся на слепую кишку и ободочную, затем концентрации постепенно снижаются в прямой кишке. В подвздошной кишке отмечается резкое повышение концентраций Се, Yb, Tb, вероятно данные металлы начинают аккумулироваться тканями кишечника раньше, чем другие.



Рисунок 60. Содержание Zn в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка)

Всасывание Th начинается в толстом кишечнике, затем резко снижается в прямом, с повышением в зоне выделения, эти органы проявляют ториевую природу, что отражает механизм всасывание данного элемента в кровь и основной путь его выведения. Аккумуляция U продолжается на протяжении всего кишечного тракта, пики его концентраций приходятся на тощую, подвздошную и прямую кишку (рис.63).

Концентрации всех рассмотренных элементов увеличиваются в конце прямой кишки, что объясняется выделительной функцией данного отдела кишечника, это наглядно показано на примере Yb чья концентрация не меняется на протяжении всего прямого кишечника однако значительно возрастает в его последней части.

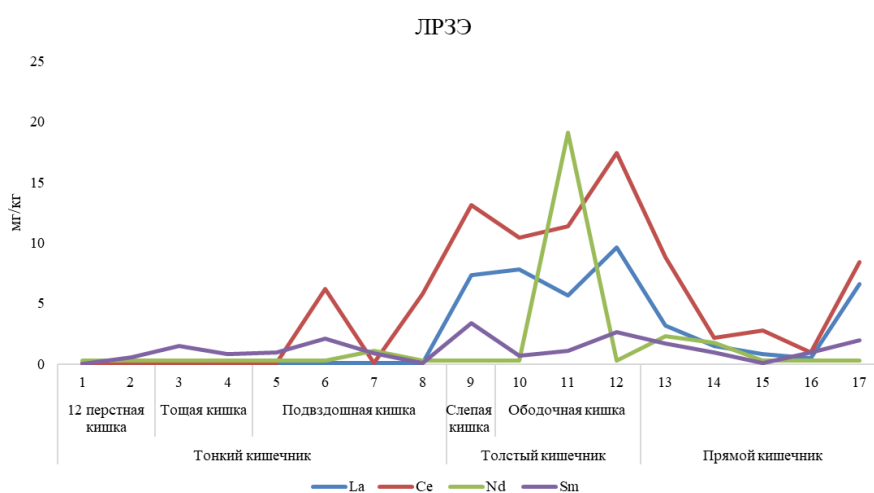


Рисунок 61. Содержание группы легких редкоземельных элементов (ЛРЗЭ) в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка)

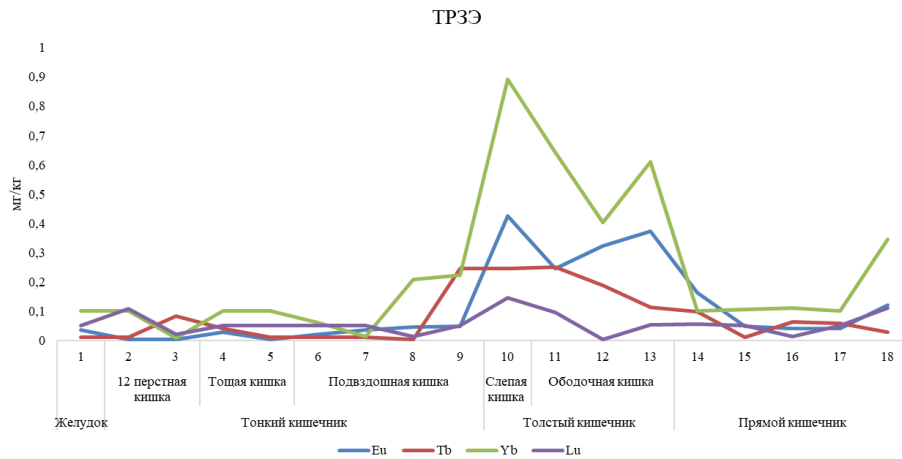


Рисунок 62. Содержание группы тяжелых редкоземельных элементов в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка)

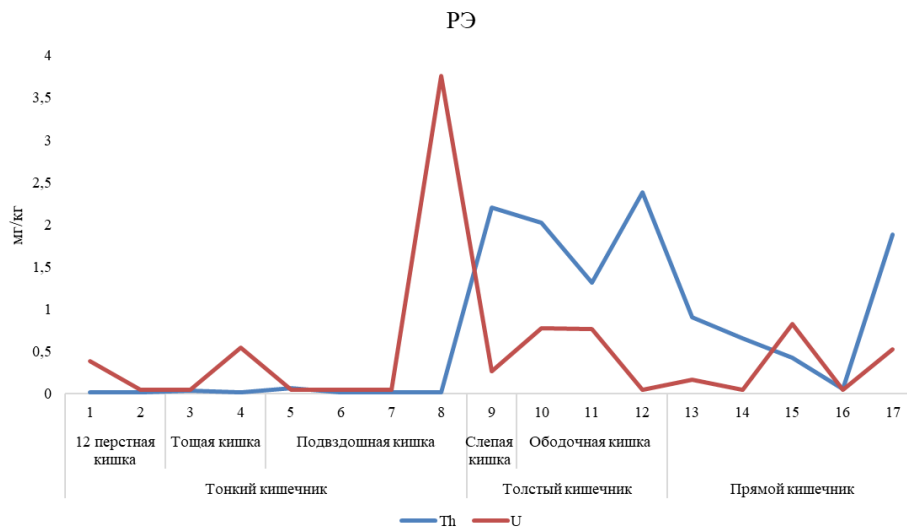


Рисунок 63. Содержание радиоактивных элементов (РЭ) в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), г. Экибастуз, (мг/кг зольного остатка)

Построение диаграмм отношения тяжелых редкоземельных элементов к легким показывает (рис.64), что большинство проб в большей степени аккумулируют легкие редкоземельные элементы, за исключением толстого кишечника, как основной зоны всасывания жидкости.

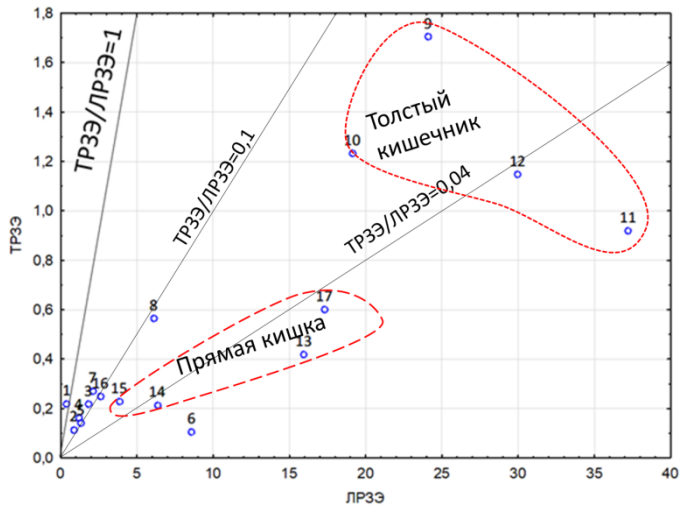


Рисунок 64. Корреляционная взаимосвязь между тяжелыми и легкими редкоземельными элементами в кишечном тракте Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) г. Экибастуз

Прим.: Тонкий кишечник (12 перстная кишка 1, 2; Тощая кишка 3,4; Подвздошная кишка 5-8); Толстый кишечник (Слепая кишка 9; Ободочная кишка 10-12); Прямая кишка 13-17

Анализ торий-уранового отношения в пробах кишечника Свиньи домашней демонстрирует, что большинство исследованных образцов относится скорее к ториевой природе, за исключением проб тонкого кишечника, как уже было отмечено выше (рис.65). Видно, что уран, поступая в организм свиньи, начинает всасываться и интенсивнее раньше в тканях тонкого кишечника, практически не аккумулируясь в толстом кишечнике.

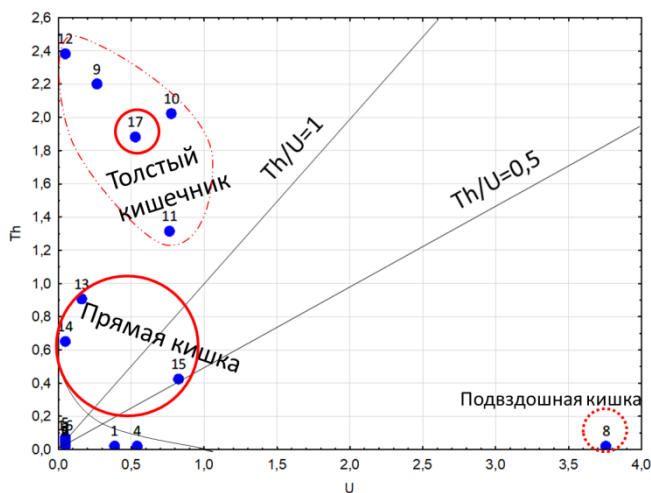


Рисунок 65. Th/U отношение в кишечном тракте Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) г. Экибастуз

Прим.: Тонкий кишечник (12 перстная кишка 1, 2; Тощая кишка 3,4; Подвздошная кишка 5-8); Толстый кишечник (Слепая кишка 9; Ободочная кишка 10-12); Прямой кишечник 12-17

## 7.2 Региональный аспект в функционировании барьерных систем желудочно-кишечного тракта

Сравнивая химический состав биоматериала кишечника на территории Томского района и Экибастуза, можно отметить ярко выраженную в пробах из обоих регионов барьерную функцию толстого кишечника, аккумулирующего в своих тканях, как редкоземельные металлы, так и радиоактивные элементы (рис. 66). Однако биоматериал из Экибастуза содержит более высокие концентрации редких земель и радиоактивных элементов, что вероятнее всего связано с разной степенью антропогенного воздействия на регион.

Зоной максимального накопления  $^{232}\text{Th}$  для тканей из Томского района является 12-перстный кишечник, и в меньшей степени толстый кишечник. Кроме того, в биоматериале отобранного в Томском районе не фиксируется пик концентрации урана в тонком кишечнике. В целом содержание редкоземельных компонентов в кишечнике на разных территориях повторяет друг друга (рис. 67) с разницей только в содержаниях элементов, что можно отнести к разной степени интенсивности их поглощения исследованными животными.

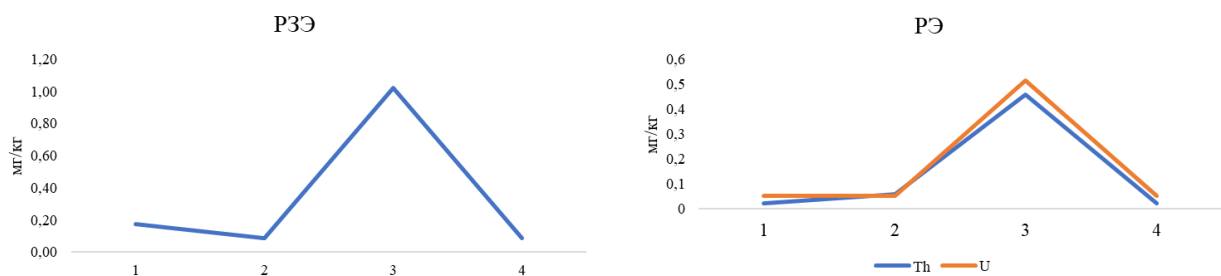


Рисунок 66. Коэффициент концентрации редкоземельных и радиоактивных элементов в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), Томский район, (мг/кг зольного остатка)

Прим.: 1 – двенадцатиперстный кишечник; 2 – тонкий кишечник; 3 – толстый кишечник; 4 – прямой кишечник

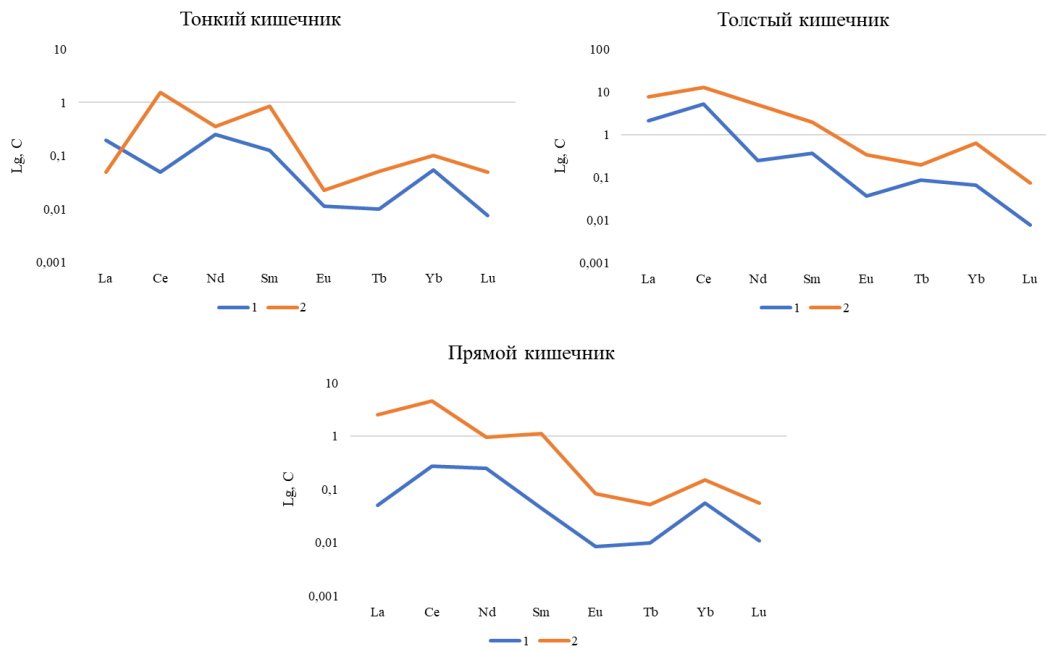


Рисунок 67. Содержание редкоземельных элементов в кишечнике Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), Томская область, Павлодарская область (зола, мг/кг)

Прим.: 1 – Томский район, 2 – Павлодарская область

Влияние регионального аспекта на функционирование барьерных систем живого организма можно отследить и внутри одной географической зоны. Так, сравнивая между собой пробы кишечника отобранные на территории зоны повышенного техногенеза – Кижирово, и зоны с незначительным антропогенным влиянием – Верхнее Сеченово, можно отметить, что барьерная функция толстого кишечника в первом случае проявляется гораздо ярче (рис. 68) Пробы из Верхнего Сеченово содержат меньшее количество элементов, но и проявляют меньшую вариативность внутри пищеварительной системы. Барьерная роль толстого кишечника прослеживается в удаленной от источника загрязнения зоне, однако его элементный состав близок к другим отделам кишечника.

Толстый кишечник в зоне повышенного техногенеза накапливает большое количество элементов, из 28 у 20 коэффициент концентрации больше единицы (рис.69). В тканях толстого кишечника из населенного пункта Кижирово наблюдается пониженное содержание Ca, Ag, Nd, Yb, Lu, Ta, Au, U.

В Верхнем Сеченово из 28 исследованных элементов коэффициент концентрации выше единицы только у  $Co_{1,1}$ , близкие к нему значения у  $Cr_{0,9}$ ,  $Yb_{0,9}$ .



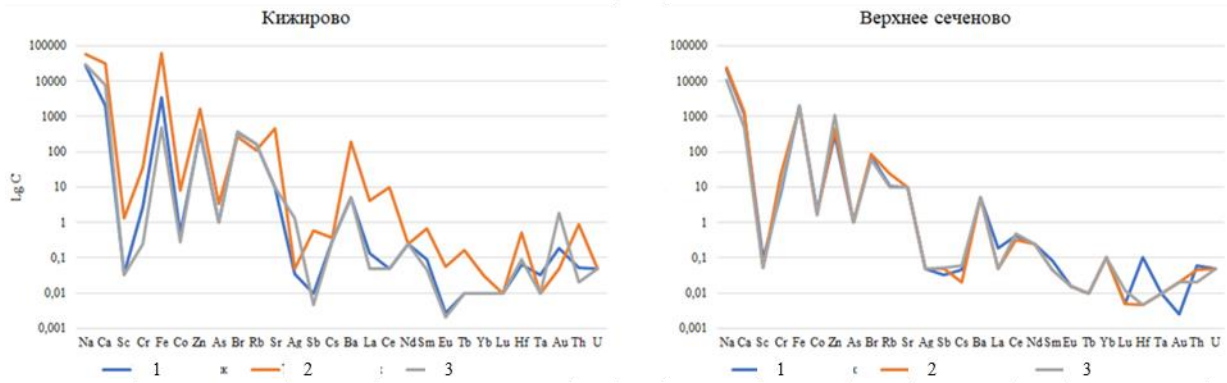


Рисунок 68. Содержание элементов в кишечнике Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*), отобранные на территориях Кижирова и Верхнее Сеченово Томской района, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Прим.: 1 – тонкий кишечник; 2 – толстый кишечник; 3 – прямой кишечник

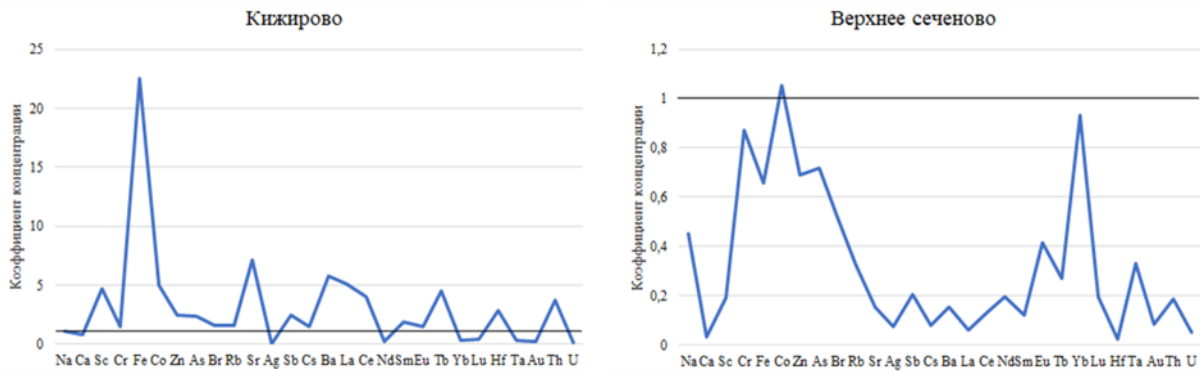


Рисунок 69. Коэффициент концентрации элементов в кишечнике Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*), отобранные на территориях Кижирова и Верхнее Сеченово Томской района относительно среднего арифметического содержания в выборке

Можно отметить, что по степени накопления элементов в кишечном тракте поселок Кижирова схож с г. Экибастуз. Из 28 исследованных элементов 22 имеют коэффициент концентрации больше единицы, за исключением Ca, As, Br, Sb, Ag, Au (рис.70).

Исходя из диаграмм концентрирования элементов в кишечнике Свины домашней можно констатировать факт более интенсивного поглощения элементов по степени нарастания техногенного воздействия.

Так, пищеварительная система Свины домашней реагирует на антропогенного воздействие, образуя мощные биохимические барьеры. Концентрация химических элементов меняется в зависимости от участка желудочного-кишечного тракта, по мере изменения кислотно-щелочного баланса и в зависимости от физиологической функции исследованных органов.

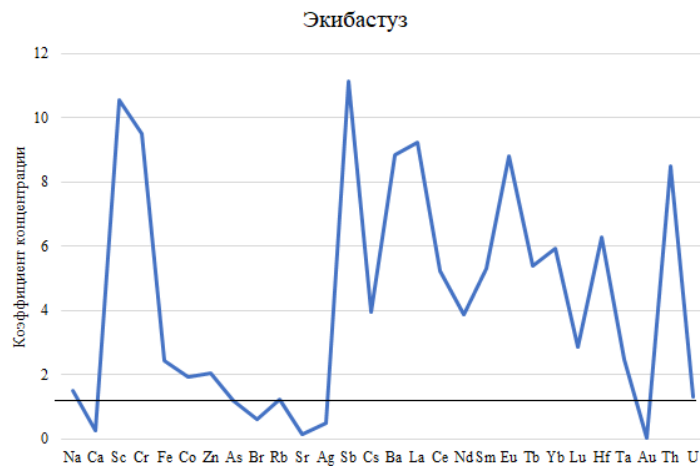


Рисунок 70. Коэффициент концентрации элементов в кишечнике Свины домашней (*Sus scrofa domestica*), отобранные на территории города Экибастуз Павлодарской области, Республика Казахстан относительно среднего арифметического содержания в выборке

Ярким примером является повышенное концентрирование химических элементов тканями толстого кишечника, как зоны всасывания воды и электролитов, препятствующее чрезмерному попаданию металлов в кровь. Барьерную функцию толстого кишечника подтверждает факт концентрирования его тканями 21 из 28 изученных химических элементов. Мышьяк и бром, как летучие токсичные элементы, поступающие в организм преимущественно через органы дыхания, концентрируются в тканях глотки.

Наблюдается тенденция увеличения количества концентрируемых элементов по мере прохождения кишечного тракта, что может отражать пути их выведения из организма вместе с калом. Схожие процессы ранее были отмечены в работах Барановской Н.В. (Барановская, Л.П. Рихванов, 2011) при изучении элементного состава Свины домашней, выращенной в условиях разной техногенной нагрузки.

Характер промышленного воздействия находит свое отражение в химическом составе биологических материалов Свины домашней. Органы желудочно-кишечного тракта активно накапливают тяжелые, редкоземельные, радиоактивные металлы и мышьяк. Химическая близость организма Свины домашней к человеку, и аналогия поведения химических элементов в организмах млекопитающих в целом дает основание предполагать, что выявленные закономерности могут быть отнесены и к человеку, но данное предположение требует дальнейшей доработки.

### 7.3 Функционирование барьерных систем организма в условиях техногенеза

Помимо барьеров, образующихся в пищеварительной системе Свиньи домашней, региональное воздействие на организм можно обнаружить и при рассмотрении таких систем органов как легкие, почки и печень.

Содержание элементов в тканях почек, печени и легких варьирует в зависимости от исследуемой территории, однако если макрокомпонентный состав почек и печени более или менее однороден, легкие животных разных изученных регионов сильно отличаются друг от друга (рис.71).

Сравнивая число максимальных значений в почках элементов, можно отметить поселок Межениновка и город Экибастуз, в которых обнаруживается их наибольшее количество. Высоким числом максимальных накоплений элементов в печени отличаются поселки Межениновка, Путинцево и Верхнее Сеченово, а в легких однозначно выделяется поселок Межениновка.

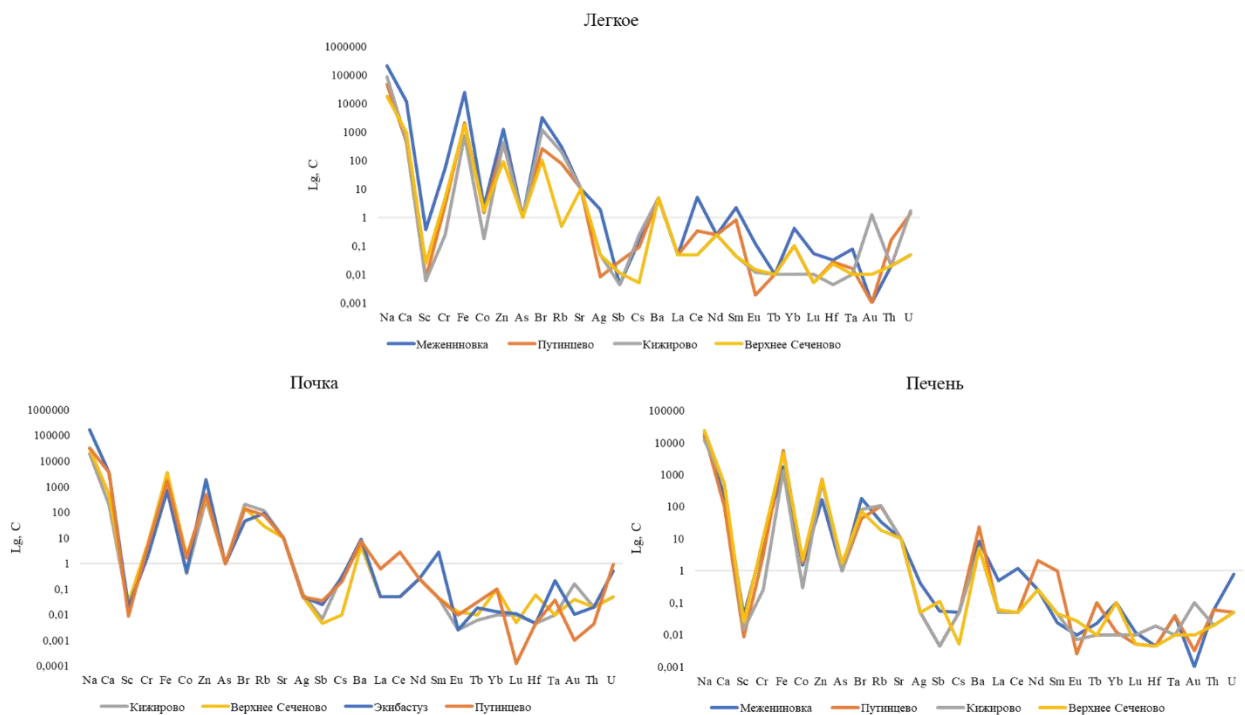


Рисунок 71. Химический состав легких, почек и печени Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на разных исследуемых территориях, мг/кг зольного остатка, (мг/кг, зола, шкала логарифмическая)

Для более наглядного определения физиологических и региональных особенностей изученного материала были построены ряды концентраций элементов в барьерных системах на разных изученных территориях (табл.20).

Таблица 20. Коэффициент концентрации химических элементов в зольном остатке органов и тканей Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Казахстана и России относительно среднего арифметического содержания в выборке

Орган	Казахстан	Россия		
	Путинцево	Межениновка	Кижирово	Верхнее Сеченово
Печень	Tb <sub>2,7</sub> =Sm-Fe <sub>2,2</sub> -Nd <sub>1,6</sub> -Rb <sub>1,5</sub> -Ta <sub>1,3</sub> -Zn <sub>1,1</sub> =Co	U <sub>2,3</sub> -Ta <sub>1,3</sub> -Br <sub>1,1</sub>	Rb <sub>1,5</sub> -Zn <sub>1,0</sub>	Fe <sub>1,8</sub> -Co <sub>1,3</sub> -As <sub>1,2</sub> -Zn <sub>1,1</sub>
Лёгкое	U <sub>4,0</sub> -Sm <sub>2,2</sub> -Br <sub>1,6</sub> -Rb <sub>1,1</sub>	Br <sub>19,3</sub> -Fe <sub>9,6</sub> -Sm <sub>6,0</sub> -Na <sub>4,3</sub> -Rb <sub>4,2</sub> -Yb <sub>3,9</sub> -Eu <sub>3,1</sub> -Ag <sub>2,9</sub> -Ta <sub>2,6</sub> -Cr <sub>2,3</sub> -Ce <sub>2,1</sub> -Lu <sub>2,1</sub> -Zn <sub>1,9</sub> -Co <sub>1,5</sub> -Sc <sub>1,4</sub>	Br <sub>7,2</sub> -Au <sub>5,3</sub> -U <sub>4,8</sub> -Rb <sub>2,9</sub> -Na <sub>1,7</sub> -Cs <sub>1,0</sub>	Co <sub>1,0</sub>
Почка	U <sub>2,6</sub> -Ta <sub>1,2</sub> -Ce <sub>1,1</sub> -Rb <sub>1,0</sub> =Co	U <sub>4,3</sub> -Fe <sub>3,9</sub> -Ce <sub>1,9</sub> -Eu <sub>1,8</sub> -Sm <sub>1,6</sub> -Br <sub>1,5</sub> -Rb <sub>1,4</sub> =Ba=Co-Ta <sub>1,3</sub> =Ag-La <sub>1,1</sub> -Cs-Zn	Rb <sub>1,6</sub> -Cs <sub>1,3</sub> -Br <sub>1,2</sub>	Fe <sub>1,3</sub> -Co <sub>1,2</sub>

Сравнение коэффициентов концентрации элементов в почках и легких животных проживающих в регионах с разной техногенной напряжённостью показывает, что в биоматериалах млекопитающих вне зависимости от физиологической спецификации органа проживающих в пос. Путинцево Восточно-Казахстанской области накапливается большое количество U, Rb, а также редкоземельных элементов Sm, Ta, Ce; образцы из Межениновки накапливают U, Br, Cr, Fe, Ce, Sm, Eu, из Кижирово Rb, Br; а из Верхнего Сеченово Fe, Co.

Рассмотрение региональных особенностей концентрирования элементов в барьерных органах, показывает, что вне зависимости от географического расположения легкие накапливают Br, U, Na, почки аккумулируют Cs, а печень за исключением пос. Межениновка накапливает Zn. Концентрирование цезия почками объясняется тем, что основное выведение данного элемента из организма осуществляется с мочой. Накопление цинка тканями печени объясняется связыванием данного элемента компартментами гепатоцитов, и как следствие повышенное аккумулирование данного элемента (Авцын, 1991). Высокая летучесть брома обуславливается простоту попадания данного элемента в легкие. Бром всегда показывает максимальные концентрации именно в тканях легких, особое внимание обращают на себя легкие из Межениновки с КК брома равным 19. Концентрирование частиц урана в легких животных было также отмечено ранее Игнатовой Т. (Игнатова, 2010) для организма человека, можно предположить что в связи труднорастворимостью поступающих форм урана, данный элемент осаждается на ткани легких.

Привлекает внимание тот факт, что легкие животного из пос. Путинцево концентрируют максимальные содержания урана, и по данным изучения листьев Тополя черного оценки состояния г. Усть-Каменногогорска на территории которого также действует предприятие «Казцинк» обнаруживаются концентрации урана, превышающие кларк Биосферы (1,9 мг/кг). Отсюда можно предположить воздушный путь поступления данного элемента в организм животного. Высокий коэффициент концентрации урана в почках в свою очередь скорее всего отражает путь выведения данного элемента из организма. Если говорить об абсолютных значениях урана в биоматериале, его содержание в легких (1,4 мг/кг золы) не выше биосферного кларка, однако количество U в тканях почек (2,6 мг/кг золы) кларковое число все-таки превышает.

Анализируя химический состав почек, как активного барьерного органа живого организма, и органа, отвечающего за выделение и фильтрацию жидкости, помимо исследования зольного остатка биоматериала можно обратить внимание и на индикаторную роль жидкостной составляющей данного органа.

Сравнивая химический состав водопроводной воды, отобранной в г. Экибастуз и состав воды биологической, выпаренной из органа животного, можно отметить общее сходство их химического состава. Эта тенденция видна по содержанию макрокомпонентов особенно четко данное явление прослеживается для таких элементов как Fe, As, Cs, Ba, верно оно также для редкоземельных металлов, Au, Th (таб.21, рис.72).

Таблица 21. Коэффициент биологического поглощения

Коэффициент биологического поглощения	Биогеохимический ряд
Биологический материал	Sb <sub>39,9</sub> -Cr <sub>18,7</sub> -Au <sub>2,8</sub> -Co <sub>2,8</sub> -Ce <sub>2,3</sub> -La <sub>1,8</sub> -Sm <sub>1,3</sub> -Ba <sub>1,2</sub> =Nd <sub>1,2</sub> =Fe <sub>1,2</sub>

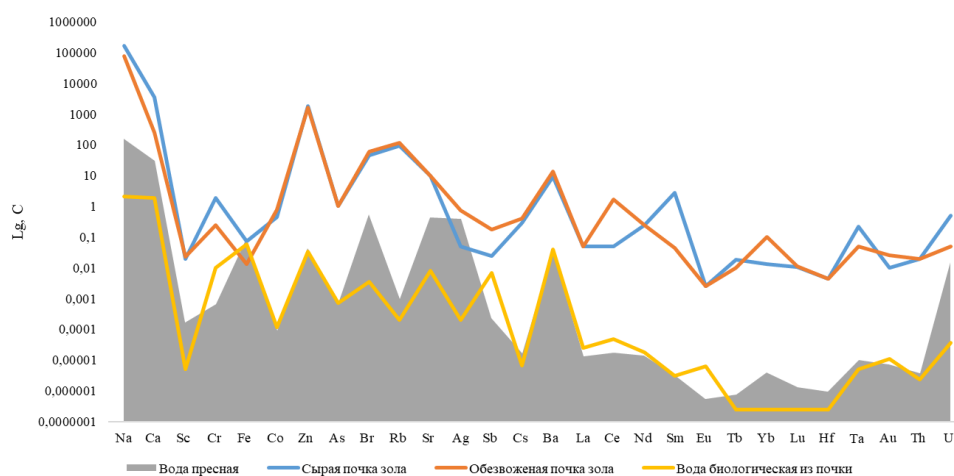


Рисунок 72. Распределение химических элементов в системе вода-биоматериал на территории г. Экибастуз мг/кг золы

Исключение составляет лишь концентрация таких элементов как Cr, Sb, Au чьи содержания в воде биологической значительно превышают их же содержания в питьевой данного региона. Данные элементы имеют максимальные коэффициенты биологического поглощения, особенно сурьма (Sb39,9) в данной выборке, и, по-видимому, активно аккумулируются организмом из окружающей среды.

Хром поступает в живой организм как с атмосферным воздухом (Антипанова, 2013), так водой и почвой, изменение концентрации данного металла в системе сырое вещество-обезвоженный биоматериал-вода биологическая может говорить о содержании данного металла в водорастворимой форме. Можно отметить, что Lu, как элемент, максимально аккумулирующийся тканями желудка, имеет крайне низкие содержания в воде биологической и одинаковые в сырой и обезвоженной почке, не выделяясь из тканей вместе с жидкостью. Однако, по данным изучения воды и накипи из г. Экибастуз (Арынова, 2016) повышенные КК данного металла не были обнаружены, а следовательно стоит предположить иной источник поступления данного металла в организм животного. Такие элементы как Sb, Ce, Yb, Au содержатся в сухом веществе в большей степени, чем в сыром, что объясняется тем, что данные элементы не являются водными мигрантами и обладают низкой подвижностью в организме. Ag, высокими содержаниями которого отличается накипь пресных воды г. Экибастуз (Арынова, 2016), в воду биологическую также не мигрирует, концентрируясь в сухом веществе.

#### 7.4 Индикаторная роль центральной нервной системы при оценке техногенного воздействия на живой организм

Сравнительный анализ коэффициентов концентрации элементов в комплексе органов млекопитающих на территории Томской области (Кижирова, Верхнее Сеченово) и Восточно-Казахстанской области (Путинцево) демонстрирует, что антропогенное влияние на организм приводит к нарушению работы некоторых барьерных систем (рис.73-74).

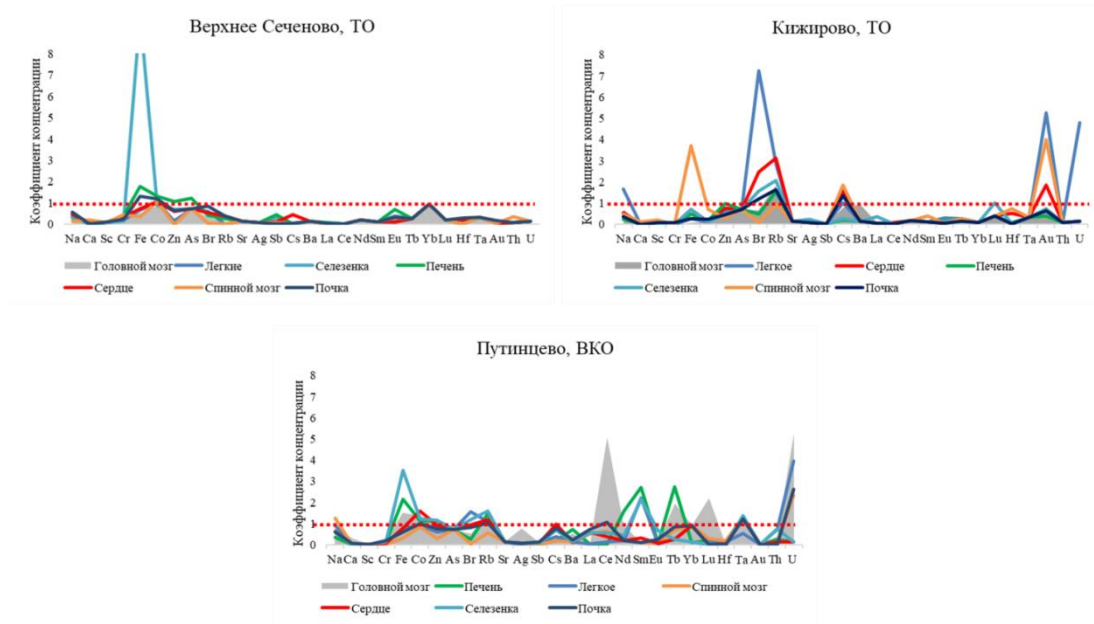


Рисунок 73. Распределение химических элементов в органах Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*), коэффициент концентрации относительно среднего содержания в выборке  
Прим.: ВКО – Восточно-Казахстанская область, ТО – Томская область

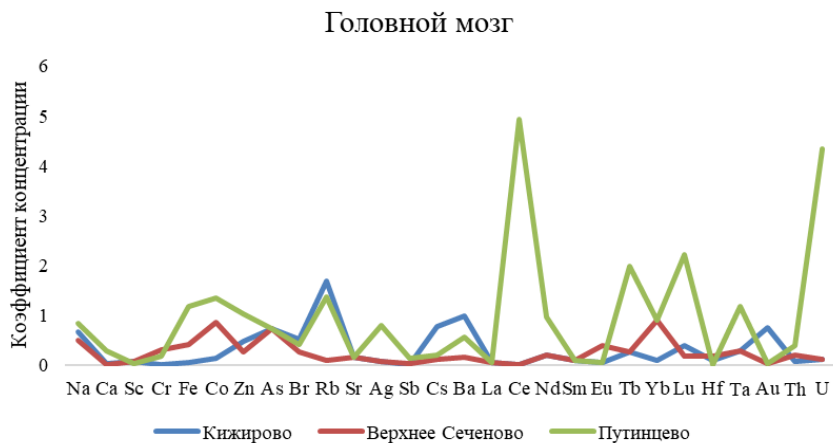


Рисунок 74. Распределение химических элементов в головном мозге Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*) коэффициент концентрации относительно среднего содержания в выборке

Так ткани центральной нервной системы, в норме остающейся самой защищенной от негативного воздействия системой организма при избыточном техногенном воздействии начинают накапливать редкие и радиоактивные элементы. В головном мозге животного из села Путинцево Восточно-Казахстанской области, накапливаются Ce, Yb, Tb, Th, U, а в спинном Lu, Hf. Пробы село Кижирово также испытывающего постоянное техногенное воздействие от Северного промышленного узла накапливают Cs, Ba, La в головном и Cr, Fe, Cs, Hf, Sm в спинном мозге. В то время как органы центральной нервной системы из села Верхнее Сеченово не содержат элементов с коэффициентом концентрации выше 1. Можно

предположить, что антропогенное воздействие нарушает работу гематоэнцефалического барьера, препятствующего попаданию металлов в головной мозг.

Рассматривая химический состав центральной нервной системы Свиньи домашней (рис.75), пробы биоматериала которой были отобраны на территории сел Кижирова и Верхнее Сеченово Томской области можно отметить некоторые особенности её химического состава.

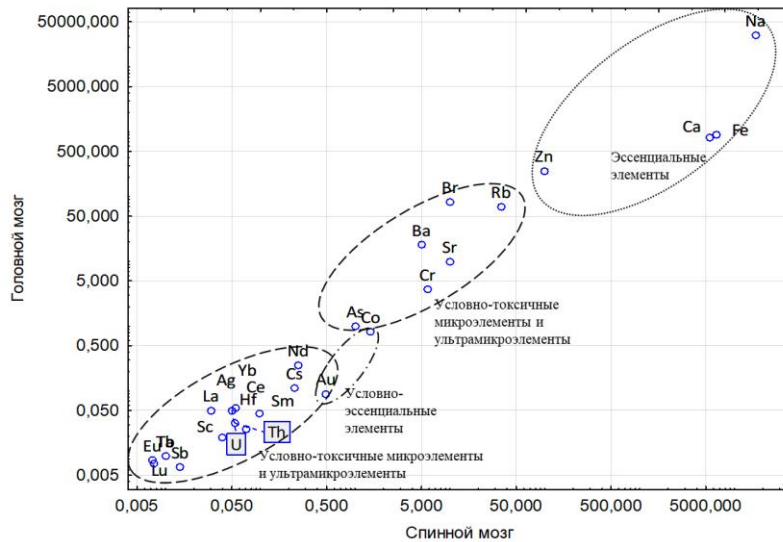


Рисунок 75. Распределение химических элементов в центральной нервной системе Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Томского района (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

Так, исследованные элементы образуют группы, отражающие геохимическую классификацию элементов в живом организме по В.Ф. Журавлеву, 1990 (Журавлев, 1990). Таким образом, выделяются эссенциальные структурные элементы, в которую входят все макроэлементы и цинк, условно-токсичные микроэлементы и условно-эссенциальные элементы.

Сравнивая распределение элементов на территориях с разной степенью антропогенной нагрузки (рис.76), можно отметить варьирование содержания элементов всех геохимических групп. Так, в пробах из Кижирова выше содержание Zn, Rb, Ba, Sr, Cs, Au, Hf, а в пробы из Верхнего Сеченово отличаются повышенными содержаниями эссенциальных макроэлементов (Na, Ca, Fe).



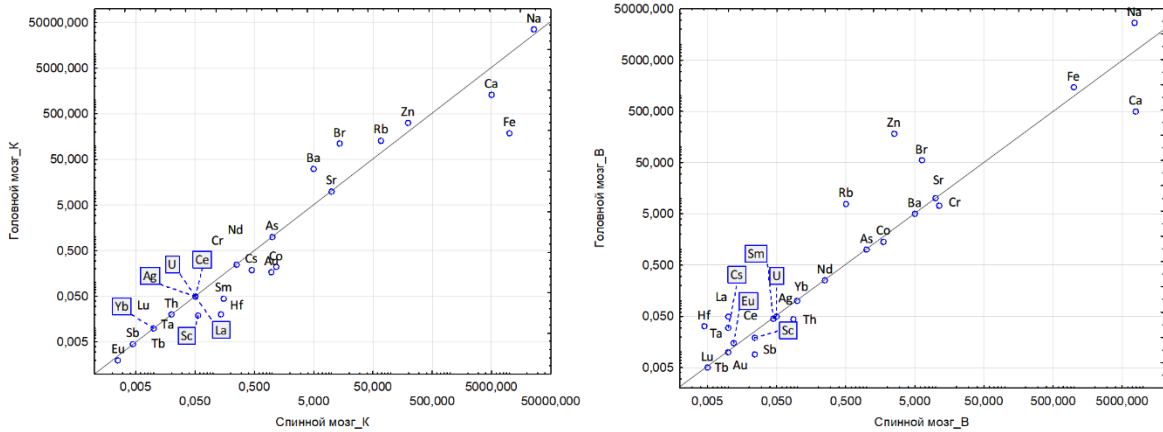


Рисунок 76. Распределение химических элементов в центральной нервной системе Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томского района (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

Изучая особенности переноса элементов в головной мозг с кровью на разных исследованных территориях, можно выделить ряд отличий. Головной мозг животного из Кижирова концентрирует большее количество элементов в общем, активно аккумулируя Na, Ca, Ba, Zn, Rb, Cs, Th, Tb, Au, в то время как в образец из Верхнего Сеченово с кровью поступают Na, Rb, Th, Zn (рис.77).

Перенос элементов с кровью в спинной мозг также варьирует в зависимости от степени техногенной напряженности в регионе, так образцы из Кижирова накапливают значительно больше элементов, чем биоматериал из Верхнего Сеченово. Так, ткани спинного мозга из техногенно-преобразованного района помимо макрокомпонентов Na, Fe, Ca концентрируют Zn, Rb, Au, Cs, Hf, Sm; в регионе же, удаленном от промышленной зоны спинной мозг, накапливает Na, Ca только Th (рис.78).

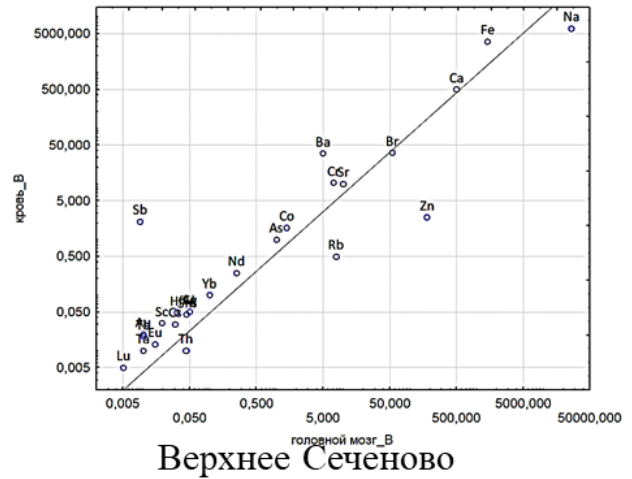
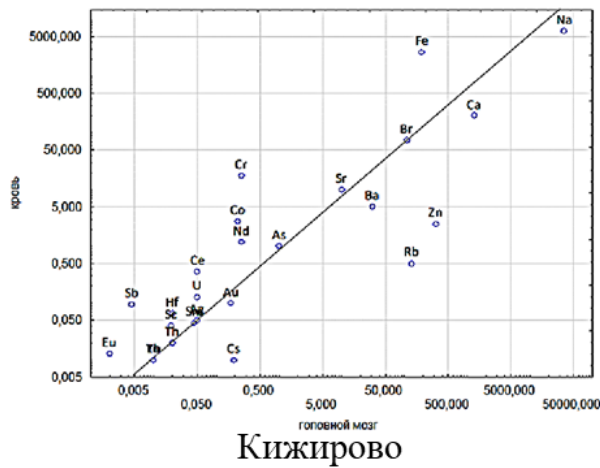


Рисунок 77. Распределение химических элементов в системе кровь-головной мозг Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томского района (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

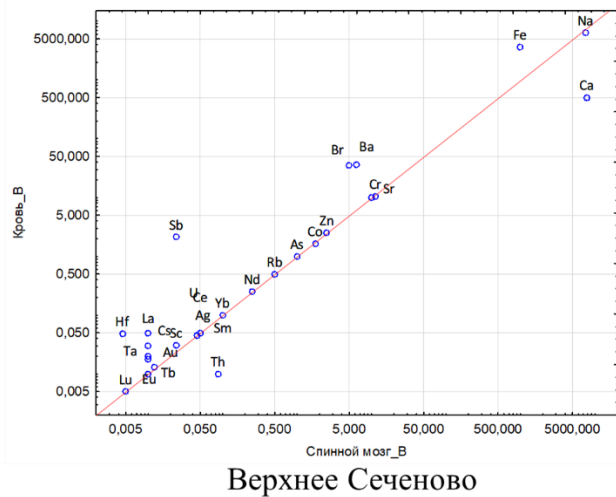
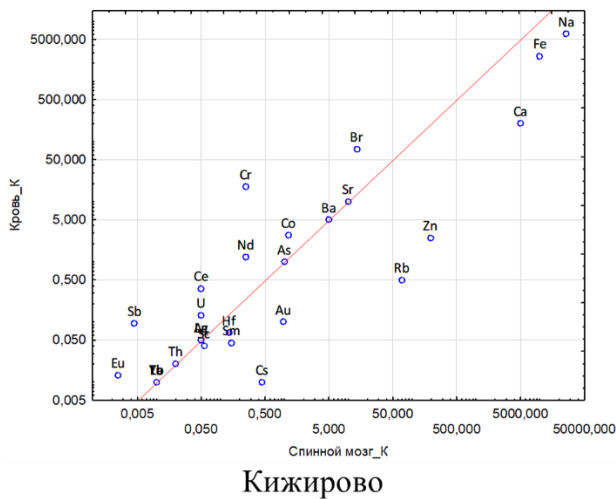


Рисунок 78. Распределение химических элементов в системе кровь-спинной мозг на территории Томского района (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

Можно отметить, что именно изменение содержания условно-токсичных элементов и цинка является индикаторным для данных проб, так как оно значительно варьирует в зависимости от регионального фона.

Несмотря на то, что ткани центральной нервной системы животного из поселка Верхнее Сеченово накапливают поступающий в кровь торий, коэффициент концентрации данного элемента в головном и спинном мозге очень низкий и равен 0,2 (табл.22).

Таблица 22. Коэффициент концентрации химических элементов в зольном остатке тканей центральной нервной системы Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), относительно среднего содержания в выборке

Территория	Биогеохимический ряд			
	Головной мозг	Количество элементов с $KK > 1$	Спинной мозг	Количество элементов с $KK > 1$
Верхнее Сеченово	Yb <sub>0,9</sub> =Co-As <sub>0,7</sub> -Fe <sub>0,5</sub> =Na-Eu <sub>0,4</sub> -Ta <sub>0,3</sub> =Br=Cr=Zn=Tb-Lu <sub>0,2</sub> =Nd=Th	-	Co <sub>1,1</sub> -Yb <sub>0,9</sub> -As <sub>0,7</sub> -Cr <sub>0,5</sub> -Th <sub>0,4</sub>	1
Кижирово	Rb <sub>1,8</sub> -Ba <sub>1,0</sub>	2	Au <sub>4,0</sub> -Fe <sub>3,7</sub> -Cs <sub>1,8</sub>	3
Путинцево	U <sub>5,2</sub> -Ce <sub>5,0</sub> -Lu <sub>2,2</sub> -Tb <sub>1,9</sub> -Fe <sub>1,5</sub> =Rb-Co <sub>1,4</sub> -Ta <sub>1,3</sub> =Zn	9	U <sub>2,3</sub> -Ta <sub>1,3</sub> =Na	3

Химический состав центральной нервной системы таким образом достаточно информативен при оценке региональных особенностей исследуемых территорий.

Сравнение таких барьерных органов, как легкие, почки, печень, органы и ткани центральной нервной системы показывает значительные различия их химического состава в зависимости от зоны пробоотбора.

Таким образом, можно предположить, что специфичность концентрирования элементов на барьерных органах наглядно демонстрирует источник их поступления в живой организм. Так, в организм животных из населенных пунктов Томского района Кижирово и Межениновка и поселка Путинцево Восточно-Казахстанской области характерен воздушный путь поступления элементов, что наглядно демонстрирует большое количество элементов с высоким коэффициентом концентрации в легких. Примечательно то, что весь организм, и легкие, в частности животного из Верхнего Сеченова, населенного пункта, удаленного от зон повышенного техногенеза, аккумулируют минимум элементов с высоким коэффициентом концентрации, которые являются эссенциальными.

#### 7.5 Особенности элементного состава костей и крови как индикаторы техногенного воздействия

Костная ткань, в которую в организме животного депонирует большое количество химических элементов, также является индикаторной при изучении техногенного воздействия на живые организмы. Так, при сравнении элементного состава костной ткани, отобранной в населенных пунктах России и Казахстана, в животных отобранных на территории России отмечаются значительно повышенные содержания практически всех исследованных элементов.

Образцы, отобранные в Павлодарской и Восточно-Казахстанской областях, накапливают в костях больше редкоземельных элементов, таких Sm, лидируют они и по содержанию U, а также Ag, Sr, Ca (рис.79). Все остальные элементы преимущественно аккумулируются в костях животных из регионов России.

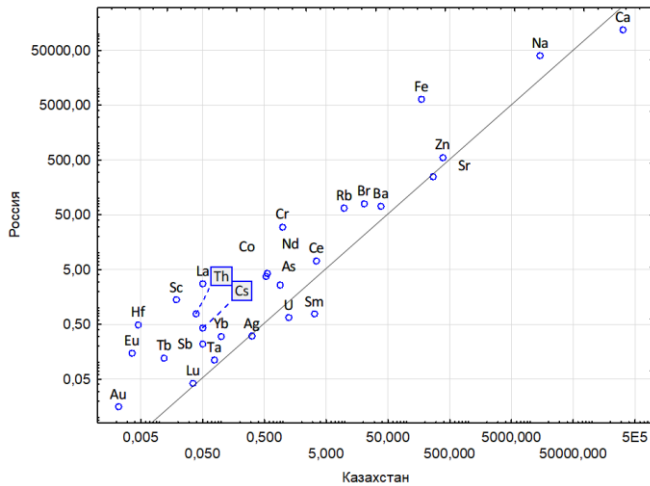


Рисунок 79. Распределение химических элементов в трубчатой кости на территории населенных пунктов России и Казахстана (мг/кг золы, шкала логарифмическая)

Поскольку как уже отмечалось выше, каждый исследованный регион обладает своей спецификой распределения элементов, для более точного выявления региональной специфики их накопления были построены сравнительные графики их распределения (рис.80-82).

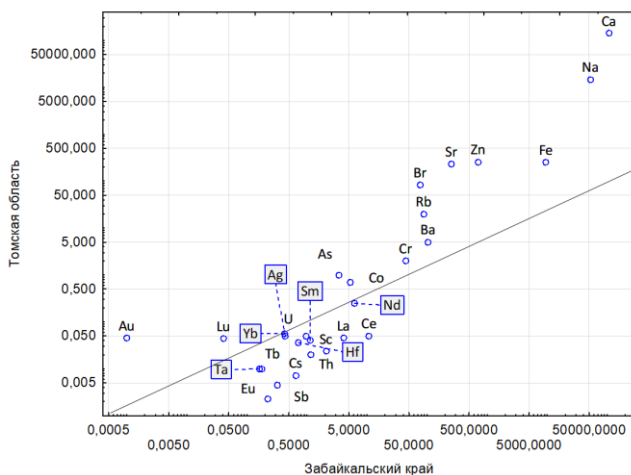


Рисунок 80. Химический состав трубчатой кости Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области и Забайкальского края, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)



Рисунок 81. Коэффициент концентрации кальция в трубчатой кости Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на разных исследуемых территориях, относительно среднего содержания в выборке

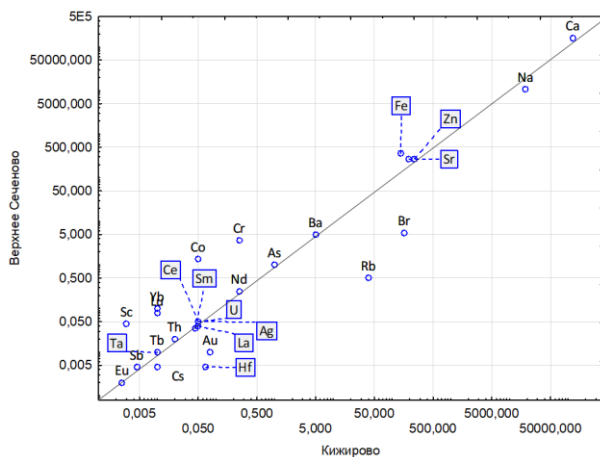


Рисунок 82. Химический состав трубчатой кости Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на территории Томской области, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Так, при сравнении костей из поселков Забайкальского края и Томской области, видно отчетливое разделение элементов на две группы. Элементной спецификой костей Забайкалья являются редкие, редкоземельные элементы, радиоактивные элементы, Ag и Cs. Эти кости отличаются заниженным содержанием макроэлементов, и кальция, как основного компонента костной ткани, в частности. Сравнивая коэффициенты его концентрации в данных регионах, можно отметить, что образцы из Томской области накапливают средние для данной выборки содержания Ca, в то время как кости из Забайкалья варьируют. Так, трубчатая кость животного из Газимуромского завода и Тайны обеднены содержанием данного макроэлемента, а из Калги, наоборот максимально обогащены.

Сравнивая содержание химических элементов в костной ткани животных, отобранной на территории Томской области, можно отметить, что кости из Кижирово концентрируют больше

Br, Rb, Au, Hf, а из Верхнего Сеченово Fe, Zn, Co, Cr, Sc, Yb, Lu. Кости из Верхнего Сеченово также содержат больше кальция, чем пробы из Кижирова.

Общий химический состав трубчатых костей, отобранных на территории России, демонстрирует, что зоны с низким содержанием кальция накапливают большее количество других микроэлементов. Данная тенденция отмечается для проб из Газимуромского завода и Тайны, что демонстрирует падение содержания кальция в костях и организме в целом, спровоцированное избыточным поступлением токсических элементов из окружающей среды (N.A. Chernuh, J.I. Baeva 2004).

Эта же тенденция свойственна и костям животных из Казахстана. Хотя образцы из села Путинцево Восточно-Казахстанской области содержат больше кальция, чем пробы из Экибастуза, в костях из Экибастуза Ca имеет максимальный коэффициент концентрации в выборке, а в селе Путинцево он замещается Sm (рис.83).

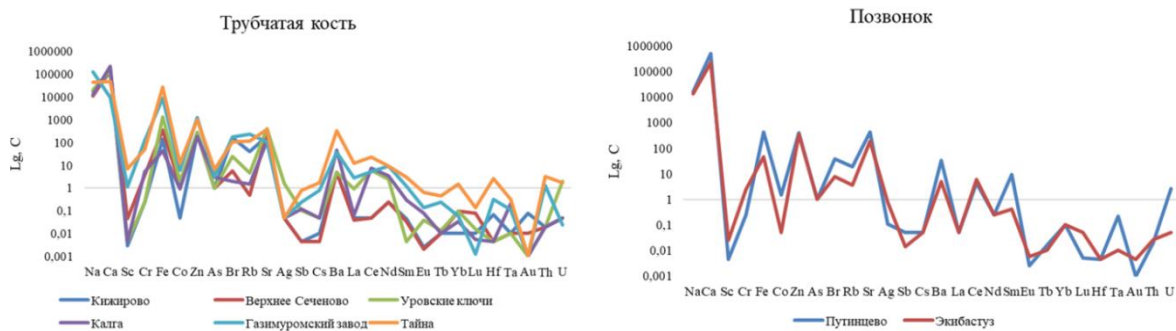


Рисунок 83. Химический состав трубчатой кости Свины домашней (*Sus scrofa domesticus*) на разных исследуемых территориях, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Вне всякого сомнения, техногенез оказывает воздействие на природный состав костной ткани. Кальций, как основной компонент костной ткани замещается другими макро и микроэлементами, в зависимости от зоны отбора проб (табл.23). В костях из Уровских ключей кальций замещается серебром, ураном и стронцием. В образцах из Газимуромского завода и Тайны данный макроэлемент имеет крайне низкий коэффициент концентрации и замещается большим количеством элементов. Максимальные коэффициенты концентрации Ca имеет только в образцах из трех населенных пунктов: Кижирово, Верхнее Сеченово и Экибастуз, однако в Кижирово он равен коэффициенту концентрации стронция.

Особое внимание на себя обращает факт концентрирования урана в костной ткани животного из села Путинцево Восточно-Казахстанской области, и ранее отмечалось повышенное накопление данного элемента тканями легких и почек. Поступая в организм

животного с воздухом, данный элемент попадает в кровь из легких, одна часть выводится почками, однако значительная его часть депонирует в костную ткань.

Таблица 23. Коэффициент концентрации химических элементов в зольном остатке костной ткани и костного мозга Свиньи домашней (*Sus scrofa domesticus*), относительно среднего содержания в выборке

Территория исследования	Биогеохимический ряд костная ткань	Биогеохимический ряд костный мозг
Уровские ключи (трубчатая кость)	Ag <sub>3,7</sub> -U <sub>2,1</sub> -Sr <sub>1,6</sub> -Ca <sub>1,4</sub>	Co <sub>6,0</sub> -Fe <sub>5,9</sub> -Zn <sub>4,8</sub> -Ce <sub>4,3</sub> -Cr <sub>4,1</sub> -Eu <sub>4,0</sub> -Cs <sub>3,9</sub> -Sb <sub>3,0</sub> -As <sub>2,9</sub> -Rb <sub>2,8</sub> -La <sub>2,7</sub> -Lu <sub>2,3</sub> -Th <sub>1,9</sub> -Nd <sub>1,8</sub> -Ag <sub>1,5</sub>
Газимуромский завод (трубчатая кость)	Cr <sub>2,8</sub> -Rb <sub>2,6</sub> -Na <sub>2,5</sub> -Br <sub>2,3</sub> -Zn <sub>1,8</sub> -Nd <sub>1,5</sub> -...-Ca <sub>0,1</sub>	Ca <sub>5,5</sub> -Nd <sub>5,1</sub> -Ce <sub>4,0</sub> -Sr <sub>3,2</sub> -Co <sub>2,8</sub> -Lu <sub>1,8</sub> -Cr <sub>1,7</sub>
Тайна (трубчатая кость)	Yb <sub>3,5</sub> =Hf=Sc-Lu <sub>3,4</sub> -Ba <sub>3,1</sub> =La-Fe <sub>2,9</sub> -Th <sub>2,8</sub> =Eu-Sm <sub>2,7</sub> -Cs <sub>2,6</sub> -Sb <sub>2,5</sub> =Tb-Co <sub>2,3</sub> -Ce <sub>2,2</sub> -Ta <sub>1,9</sub> =As-U <sub>1,8</sub> -Nd <sub>1,5</sub> =Sr=Zn-...-Ca <sub>0,5</sub>	Co <sub>4,4</sub> -Tb <sub>3,5</sub> -Nd <sub>2,0</sub> -Lu <sub>1,9</sub> =Cr-Ta <sub>1,8</sub> =Ag <sub>1,8</sub> -Ce <sub>1,6</sub>
Калга (трубчатая кость)	Ta <sub>6,4</sub> -Ca <sub>5,6</sub> -Ce <sub>3,0</sub> -Nd <sub>2,8</sub> -As <sub>2,3</sub> -Eu <sub>2,1</sub> -Sr <sub>1,8</sub>	Ca <sub>5,4</sub> -Sr <sub>2,6</sub> -Nd <sub>2,4</sub> -Co <sub>1</sub>
Кижирово (трубчатая кость)	Sr <sub>3,1</sub> =Ca	
Верхнее Сеченово (трубчатая кость)	Ca <sub>4,1</sub> =Sr=Lu	
Путинцево (позвонок)	Sm <sub>19</sub> -Ca <sub>13</sub> -Sr <sub>6,7</sub> -Ta <sub>6,4</sub> -U <sub>6,1</sub> -Ce <sub>1,7</sub>	
Экибастуз (позвонок)	Ca <sub>5,6</sub> -Sr <sub>3</sub> -Ce <sub>2,4</sub> -Lu <sub>1,9</sub>	

Состав красного костного мозга в некоторых случаях отражает состав трубчатой ткани. Так, например костный мозг из Калги аккумулирует те же элементы, что накапливаются в кости. Красному костному мозгу свойственно накопление Ca, Sr, Lu, Ag, Co, которые также депонируют в костную ткань. Общими компонентами костного мозга на всех исследуемых зонах являются Co, Fe, Nd, Ag, а специфичными Fe, Zn, Eu, Cs, Sb, As, Rb, La, Th для Урова, и Tb, Ta для Тайны. Рассматривая особенности распределения элементов в костном мозге животного из Уровских ключей, можно отметить высокий коэффициент концентрации тория, которого нет в костной ткани. Это можно объяснить сродством тория к жировой ткани, из которой состоит красный костный мозг. Депонирование тория в жировую ткань ранее отмечалось на примере зольного остатка организма человека (Барановская, 2011; Игнатова, 2010). Помимо тория, костный мозг животного из Уровских ключей включает в себя такие элементы как физиологические макрокомпоненты, отвечающие за функцию кроветворения (Fe, Co, Rb, Zn), так и условно токсичные элементы (редкоземельные металлы, мышьяк, сурьма).

Другим индикаторным биоматериалом при оценке антропогенного воздействия является кровь. Кровь, как соединительная ткань, обладающая относительно постоянным составом

способна тонко реагировать на изменения в окружающей среде изменением своего элементного статуса. Состав крови поросёнка также значительно варьирует в зависимости от степени антропогенного воздействия (рис.84). Кровь поросенка из Кижирова содержит больше урана, тория, неодима, редкоземельных элементов, брома. Данные элементы являются индикаторами техногенного воздействия, ранее фиксированными в биологических объектах при изучении зоны влияния СХК. Повышенное концентрирование урана и редкоземельных элементов характерно для организмов амфибий, проживающих на территории северной части Томского района (Kurajova, Baranovskaja, Rikhvanov, 2003). В крови жителей приближенных к СХК поселений также фиксировались повышенные концентрации Вг, Аи, редких земель (Барановская, 2011).

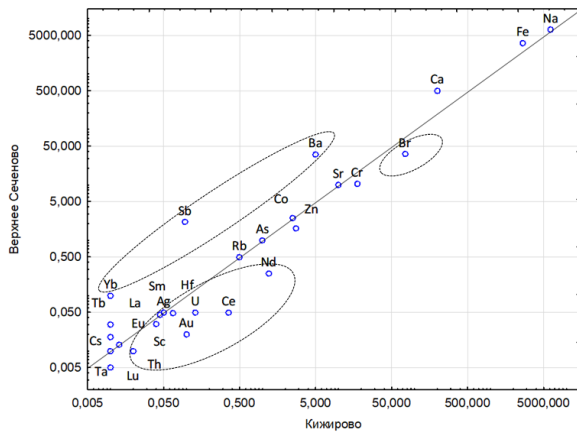


Рисунок 84. Химический состав крови Свины домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Томской области, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Образцы из Верхнего Сеченово отличаются по содержаниям сурьмы и бария. Отсутствие объектов промышленного производства в близлежащих к территории поселения зонах и ветрового переноса приводит к выводу о наличии природного источника поступления данных элементов в кровь.

Сравнивая коэффициенты концентрации элементов в крови Свины домашней на территории трех исследованных регионов, можно отметить обогащение крови животных из Экибастуза макро- (Fe, Na, Ca, Zn, Rb) и микроэлементами (Br, Ta, Nd, Lu, U). Согласно проведенным исследованиям, весь организм животного из Экибастуза обогащен этими элементами, они фиксируются во всех изученных системах органов, и особенно в костной ткани и желудочно-кишечном тракте (рис.85).



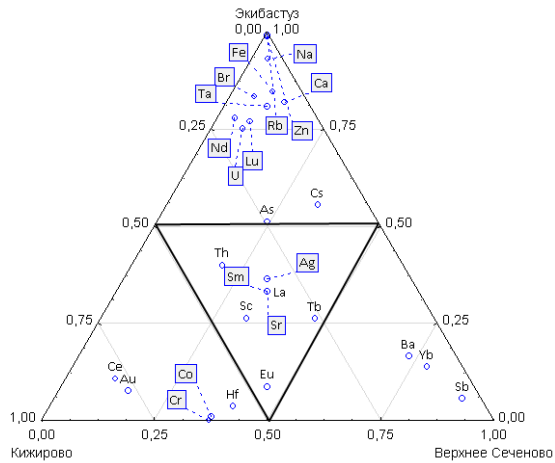


Рисунок 85. Химический состав крови Свиньи домашней (*Sus scrofa domestica*) на территории Томской области и г. Экибастуза, (мг/кг зольного остатка, шкала логарифмическая)

Высокий уровень нагрузки на экологическое состояние региона также подтверждает концентрирование в крови животных из Экибастуза Cs, As, U. Состав крови поросёнка из г. Экибастуза отражает геохимическую специфику пресной воды этого поселения (по данным Арыновой Ш.Ж.), накапливая высокие концентрации Zn, Ta, U, Fe, Lu.

## ГЛАВА 8. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ USETOX ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ И ВОЗДУХЕ НА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДУЕМЫХ РЕГИОНОВ

Результаты проведенных исследований показывают, что организм животного в зоне техногенного воздействия накапливает значительное количество элементов, в том числе токсичных и условно токсичных, что представляет потенциальную угрозу для здоровья человека. В связи с этим, необходимо провести оценку токсичности отдельных элементов для организма человека. Для реализации данной цели была выбрана экологическая модель USEtox, преимущества которой подробно рассматривались в главе 2 данной работы, а основные методико-технологические аспекты – в главе 3.

Для расчета характеристического коэффициента токсичности, учитывающего геоэкологическую специфику изучаемого региона методика вычислений была модифицирована с помощью собственных и литературных данных. В качестве примера расчета коэффициента токсичности был выбран тяжелый металл хром (Cr).

Хром демонстрирует токсическое воздействие на живые организмы посредством вмешательства в обмен веществ и мутагенеза (Fantke et al., 2017; Guertin, 2005; Zhao, 2016). Cr также является индикатором активной промышленной деятельности. Свиная как органический источник хрома обладает большей биодоступностью, чем неорганические источники (NRC, 1997; Zhao, 2016). Биодоступность хрома связана со способностью организмов-конечных звеньев биологической миграции микроэлементов концентрировать последние. Нормальное содержание хрома в свинине составляет 2-3 мг/кг (Chromium Content of Meats, 2018).

### 8.1 Модификация модели USEtox с использованием результатов геоэкологических исследований

Учитывая необходимость внедрения в модель локальных данных, для сравнения токсического воздействия на уровне стран нами был проведен литературный обзор исследований элементного состава свинины на территории разных географических зон. Так, пользуясь научными базами данных (Science direct, Scoopus, Springer и т. д.) была получена информация о содержании Cr в образцах свинины в 9 странах, проанализированная методом ИСП-МС в 2013, 2016 и 2017 годах (рис.86).

Данное исследование представляет выборку результатов изучения содержания хрома в 5 из 17 географических зон, представленных в модели USEtox, что позволяет сравнить

характеристический коэффициент, представленный в модели, с данными, полученными с помощью экспериментального подхода. Результаты, полученные методом ИСП-МС, были выбраны для сравнения, так как данный тип анализа более распространен и шире используется в исследованиях подобного рода.

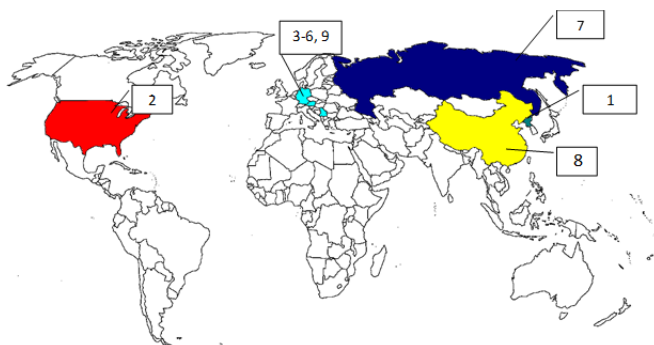


Рисунок 86. Карта отбора проб свинины по результатам собственных исследований и литературных данных

Прим.: 1. Корея; 2. США; 3. Германия; 4. Австрия; 5. Нидерланды; 6. Бельгия (Kim, 2017); 7. Россия (Барановская 2011); 8. Китай (Demirezen, 2006; Zhao, 2016); 9. Сербия (Nikolic, 2017)

Страны, полученные из литературных источников, представляют 4 географических района в модели USEtox (табл. 24) Исследованные географические зоны имеют разные природные условия, экономику, законодательство о загрязнении и, следовательно, разную антропогенную нагрузку на население, варьируется и содержание хрома в мясе каждого географического объекта. Содержание Cr в странах, входящих в геозону «Европа» в основном близко друг к другу, исключение составляют пробы из Сербии. Исходные данные для расчета фактора экспозиции и характеристического фактора токсичности представлены в таблицах 24, 25.

Данные, полученные из литературных источников, используются для сравнения различных геозон модели USEtox по результатам экспериментальных исследований. Как было упомянуто в главе 2. характеристический коэффициент (CF) рассчитываются в соответствии с документацией USEtox, при его расчете используются значения по умолчанию для фактора судьбы (FF) и эффект фактора (EF) используются при расчете CF. Фактор экспозиции (XF) рассчитывается для каждой исследуемой области с использованием результатов анализа ИСП-МС, значения XF по умолчанию также принимаются для сравнения между полученными результатами и данными, представленными моделью.

Таблица 24. Содержание Cr по данным ИСП-МС анализа в свинине по литературным источникам и собственным исследованиям, мг/кг

№	Страна	Cr ср.арифм., [мг/кг]	Ст.ош.	Количество проб	Дата отбора проб [год]	Географическая зона в модели USEtox	Ссылка
1	Корея	0,003	0,0001	227	2016	Япония и Корейский полуостров	(Kim, 2017)
2	Соединенные Штаты Америки	0,0009	0,0001	36	2016	США и Южная Канада	(Nikolic, 2017)
3	Германия	0,0006	0,0001	12	2016	Европа	
4	Австрия	0,00007	0,00001	15			
5	Нидерланды	0,0005	0,0001	14			
6	Бельгия	0,0005	0,00001	19			
7	Сербия	0,08	0,01	192	2017		
9	Китай	2,01	0,2	100	2016	Южный Китай	
10	Россия (Томская область)	0,5	0,3	17	2013	Центральная Азия	(Барановская 2011)

Таблица 25. Исходные данные для расчета фактора экспозиции, [кг<sub>потребления вещества</sub>/день на кг<sub>в компоненте окружающей среды</sub>]

Территория	Площадь [км <sup>2</sup> ]	Высота [м]		Объем [м <sup>3</sup> ]		Население	По данным:
		Воздух	Почвы	Воздух	Почвы		
Данные по умолчанию USEtox	9013369	1000	0,1	9E+12	9E+08	2000000	Представлено в модели (P. Usetox 2013)
Центральная Азия	16876936	1000	0,1	2E+13	2E+09	1471446	
США и Южная Канада	14489980			1E+13	1E+09	1317367	
Европа	8566214			9E+12	9E+08	1414561	
Южный Китай	6426356			6E+12	6E+08	1470937	
Япония и Полуостров Корея	597600			6E+11	6E+07	4557951	

Результаты расчета характеристического коэффициента токсичности для поступления элементов с почвами и воздухом для населения исследованных регионов представлены в таблице 26.

Таблица 26. Характеристический коэффициент хрома в свинине через почву и воздух, [Дали/кг]

N	Географическая зона в модели USEtox	Страна	ID в модели	Почвы [Дали/кг]		Воздух [Дали/кг]	
				Модифицированный CF	CF по умолчанию	Модифицированный CF	CF по умолчанию
1	Япония и Корейский полуостров	Корея	JAP	6,3E-08	1,4E-07	5,4E-07	6,9E-08
2	США и Южная Канада	Соединенные Штаты Америки	W10	1,4E-11	1,1E-07	8,9E-15	8,7E-08
3	Европа	Германия	W13	6,7E-11	4,3E-07	7,7E-10	1,7E-07
		Австрия		7,8E-12		9,0E-11	
		Нидерланды		5,6E-11		6,4E-10	
		Бельгия		5,6E-11		6,5E-10	
		Сербия		8,9E-12		1,0E-10	
4	Центральная Азия	Россия	W1	2,7E-03	4,6E-08	1,9E-07	2,1E-08
5	Южный Китай	Китай	South east Asia	1,5E-09	2,4E-07	2,8E-07	2,0E-07

Результаты расчетов характеристического коэффициента при нормализации к почвам показывают, что коэффициент, рассчитанный с использованием собственных данных, превышает CF предложенный моделью. Можно отметить, что разница между величиной характеристического коэффициента для Cr рассчитанного для различных географических зон не соответствует той же пропорции, что и изначально предложена моделью USEtox. Модифицированные значения следуют в следующем порядке: Европа <США <Южный Китай <Япония и Корея <Центральная Азия. Модель предполагает максимальный CF для территории Южного Китая, в то время как согласно собственным исследованиям наибольшую величину коэффициент имеет на территориях Центральной Азии и Кореи.

При расчете величины CF для хрома при нормализации на воздух, модель также предполагает наибольшее влияние для территории Центральной Азии и Кореи, в то время как максимальный модифицированный CF приходится на население Кореи и Южного Китая (рис.87). Данная несогласованность связана с отсутствием локальных данных в модели, не учитывающей геоэкологические особенности регионов. Сравнивая между собой токсическое воздействие хрома на разных географических зонах, можно также отметить, что

модифицированный коэффициент и CF предложенный моделью учитывающий поступление через воздух, в отличие от почвы, ближе друг к другу.

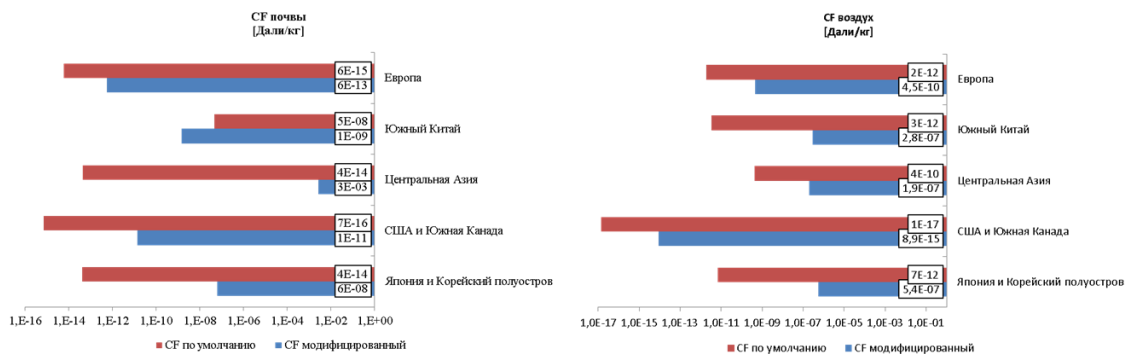


Рисунок 87. Характеристический коэффициент, рассчитанный для Cr для исследованных территорий, воздействие через почву и воздух, Дали/кг

Порядок величины воздействия между различными географическими областями различен для модифицированного CF и CF по умолчанию. Для CF по умолчанию, полученного с помощью  $SS_{Cr}$ , это США < Европа < Южный Китай < Япония и Корея < Центральная Азия, для самостоятельно рассчитанного CF - США < Европа < Центральная Азия < Южный Китай < Япония и Корея. Южный Китай, Япония и Корея имеют самый большой CF Cr по воздуху из всех наблюдаемых районов.

При детальном изучении характеристического коэффициента для стран, входящих в географический регион "Европа", можно отметить, что страны Европы показывают близкие результаты, которые, однако, гораздо менее представлены в модели. Однако разные страны географического региона, обозначенные в модели как «Европа», имеют разные CF, несмотря на их территориальную близость, намного меньшую, чем коэффициент по умолчанию модели USEtox. Это также доказывает важность местных данных в процессе оценки воздействия.

Мы наблюдаем для всех изученных областей, что воздействие Cr на население с почвами значительно выше по сравнению с воздухом (рис.88). Это может быть связано с основным путем поступления Cr в организм и естественным поведением изучаемых животных. Токсикологические исследования подтверждают, что обычными путями попадания Cr в организм являются, потребление пищи, питьевая вода и проглатывание загрязненной почвы (NRC 1997). Поведение свинины в естественной среде включает в себя рытье, поэтому поглощение загрязненных почв может быть более значительным, чем вдыхание.

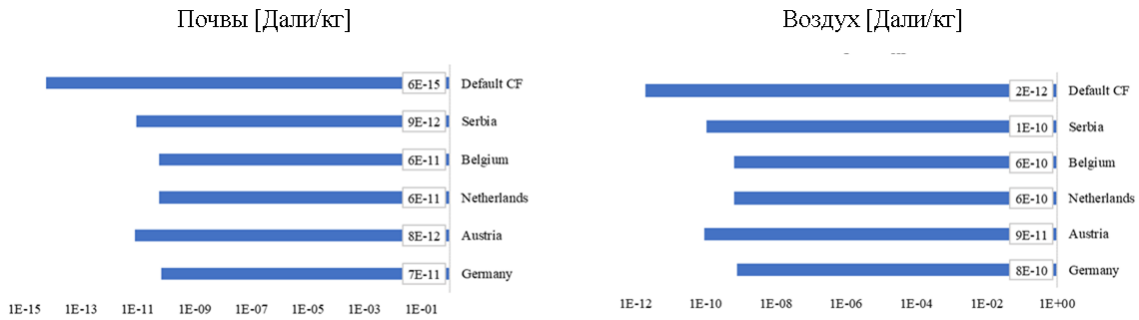


Рисунок 88. Характеристический коэффициент, рассчитанный для Cr для исследованных территорий, воздействие через почву и воздух, Дали/кг

Результаты данной работы демонстрируют важность регионального аспекта для оценки воздействия хрома, как с почвами, так и воздухом, и также подчеркивают важность использования надлежащих источников литературы.

Внутри геозоны «Европа» мы можем видеть разницу между результатами расчетов CF для обоих типов привноса (через почвы, через воздух), высоким CF по сравнению с другими районами отбора проб для Германии и аналогичным характеристическим коэффициентом для Нидерландов, Бельгии и Сербии. Наоборот, значение по умолчанию, определенное USEtox, значительно ниже, чем все значения, рассчитанные вручную. Различие между данными по умолчанию модели USEtox также заметно при сравнении характеристического фактора для двух текущих типов потребления (через почву и через воздух).

Информация, предоставляемая моделью USEtox, отражает перенос металлов только с определенным влиянием в виде загрязнения пылью или углем, и не охватывает огромный спектр неорганических элементов. Предполагается, что чтобы результаты исследований элементного состава различных видов мяса, и особенно - свинины, могли бы расширить базу данных модели более актуальной информацией. Вероятнее всего несоответствие между результатами собственного исследования и данными, предлагаемыми моделью, может быть связано с тем, что модель использует данные о теоретическом содержании хрома в загрязненной среде, и в результате преувеличивает или недооценивает результат. Таким образом, использование результатов анализа элементного состава мясных продуктов вместо теоретического расчета его содержания является более эффективным способом оценки биологического накопления данного тяжелого металла живым веществом.

## 8.2 Применение модифицированных расчетов характеристического фактора токсичности для сравнения рисков для здоровья населения на региональном уровне

Для оценки воздействия на здоровье населения разных исследуемых регионов применялась описанная выше методика. Таким образом, фактор экспозиции был модифицирован с использованием данных, полученных методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА).

Поскольку база данных модели USEtox включает широкий спектр элементов (3000 органических соединений и 25 неорганических элементов-металлов), для анализа токсичности были выбраны условно-токсичные микроэлементы входящие в базу данных модели USEtox и чье содержание было проанализировано методом ИНАА в результате исследования: Cr, Zn, Sb, As, Ba.

Данные элементы были выбраны для сравнительного анализа токсичности в связи с токсичностью их воздействия на живой организм, так, все перечисленные элементы, за исключением Ba способны вызывать мутации у млекопитающих (Chernuh, 2004; Вишневецкий, 2012; Гусева, 2016). Избыточное поступление цинка представляет онкогенную и мутагенную опасность, приводит к поражению сердечно-сосудистой системы. Длительное вдыхание цинка приводит к нарушениям функционирования легких, избыток цинка в организме также может оказывает негативное воздействие на периферическую нервную систему (Tubek, 2007; Tubek, 2008; Lovell, 2006; Cuajungco, 1998). Среди соединений хрома наибольшую опасность представляет шестивалентный хром, однако в биологических системах Cr (VI) легко восстанавливается до Cr(III), а обратной реакции редокс-потенциал не благоприятствует (Фендорф, 1995; Рай, 1989; Котас, 2000). Однако шестивалентные соединения хрома эффективнее всасываются организмами, что связано с высокой растворимостью Cr (IV) при физиологически значимых рН. При постоянном поступлении в организм хром оказывает острое токсическое воздействие на пищеварительную систему, приводит к нарушениям обмена веществ. Соединения хрома признаны как потенциально канцерогенными для человеческого организма (Barceloux, 1999; Remy, 1990; Быкорез). Избыточное поступление As в организм млекопитающих приводит к нарушениям функционирования и токсическим повреждениям тканей, раковым поражениям лимфатической, дыхательной систем, мочеполовой и желудочно-кишечного тракта (Chernuh, 2004). Мышьяк влияет на здоровье кишечника, как основного органа всасывания, нарушая барьерную функцию и вызывая воспалительные реакции (Calatayud, 2015). Мышьяк также является разрушителем эндокринной системы организма (О влиянии сурьмы на организм человека...). Сурьма (Sb) похожа на мышьяк по своим свойствам; было обнаружено, что сурьма оказывает ингибирующее влияние на ферменты, которые



участвуют в метаболизме углеводов, жиров и липидов. Так же, как мышьяк, сурьма реагирует с сульфгидрильными группами, обладает токсическими свойствами, может вызывать иммунодефицит (Биологическая роль сурьмы в организме человека, 2019) и вызывает функциональные нарушения в различных органах (сердце, почки, ЦНС, печень, легкие, кишечник, лимфатическая система и др.) (Turbinsky, 2018; Чонбашева и др., 2014) Барий относящийся к группе микроэлементов, имеет очень низкий процент всасывания в желудочно-кишечном тракте, однако очень быстро выводится из организма (Лысиков, 2009). Все растворимые соединения бария высокотоксичны, и приводят к острым отравлениям организма, несущим летальный исход.

Данные элементы активно накапливаются в барьерных органах и тканях млекопитающего на всех изученных территориях. Пищеварительный тракт, как мощнейший барьер живого организма в пробах отобранные на территории Павлодарской области содержит высокие концентрации всех выбранных элементов, а в Томском районе только As. В депонирующих же средах, а именно в костной ткани выбранные элементы особенно интенсивно накапливаются в пробах из Забайкальского края, причем в пробах из Газимурского завода Cr демонстрирует максимальный коэффициент концентрации, в этих же пробах активно накапливается Zn. Ba, Sb аккумулируются в костной ткани, отобранной в поселке Тайна. В костном мозге Sb накапливается только в животном из Уровских ключей, в то время как Cr аккумулируется во всех пробах котского мозга. Следует отметить, что кроме костной ткани, некоторые из выбранных элементов способны накапливаться даже в центральной нервной системе, так ранее было отмечено концентрирование Ba в головном мозге животного из поселка Кижирово. Такие элементы как Sb, Cr, Ba имеют высокий коэффициент биологического поглощения, что демонстрируется на примере сравнения обезвоженного органа и воды биологической, полученной из животного города Экибастуз.

Потенциальное токсическое воздействие в рамках версии USEtox 2.02 и соответствующими ей методическими указаниями, с использованием результатов собственных исследований, используя методику расчета, описанную в главе 3. Для данных элементов рассматривалось исключительное не канцерогенное токсическое воздействие ввиду неполноты данных по канцерогенности элементов. Исходные данные для расчета токсичности и регистрационные номера в модели приведены в таблицах 27, 28.

Таблица 27. Регистрационный номер элемента и исходные данные для расчета фактора экспозиции, коэффициент концентрации относительно ноосферного кларка [КГ<sub>потребления</sub> вещества/день на КГ<sub>в</sub> компоненте окружающей среды]

X /э	Кларк ноосферы по Глазовски м [мг/кг]	C <sub>Cr</sub>					CAS регистрац ионный номер элемента в модели
		д. Кижирово, Верхнее Сеченово, Томская область, Россия	г. Экибастуз, Павлодарс кая область, Казахстан	п. Тайна, Уровские ключи, Газимурск ий завод, Забайкальс кий край, Россия	п. Хову- Аксы, Республика Тыва, Россия	с. Путинцево, Восточно- Казахстанс кая область, Казахстан	
С r	0,00007	5,75	46,75	62,24	49,97	2,73	18540-29- 9
Z n	0,002	359,20	1201,73	1008,18	1063,60	535,07	23713-49- 7
A s	0,000006	1,08	1,41	2,67	1,33	1,00	22541-54- 4
S b	0,0000002	0,13	0,43	0,32	0,54	0,02	22537-51- 5
B a	0,0009	10,77	65,94	65,97	38,30	12,62	22541-12- 4

Таблица 28. Исходные данные для расчета фактора экспозиции [КГ<sub>потребления</sub> вещества/день на КГ<sub>в</sub> компоненте окружающей среды], табличные значения, предлагаемые для расчета в модели

Исследуемая территория	Население [человек]	Потребление мяса [кг/душу население]	P <sub>i</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]		V <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	
			Воздух	Почва	Воздух	Почва
Томская область	1074453	0,1	1,3	1500	3E+14	3E+10
Павлодарска я область	749516				1E+14	1E+10
Забайкальски й край	1065969				1E+14	1E+10
Тыва	171928				2E+14	2E+10
Восточно- Казахстанска я область	1394000				3E+15	3E+10

Сравнительный анализ фактора экспозиции для каждого исследуемого региона представлен графически в виде сравнительных диаграмм (рис.89, 90).

## Почвы

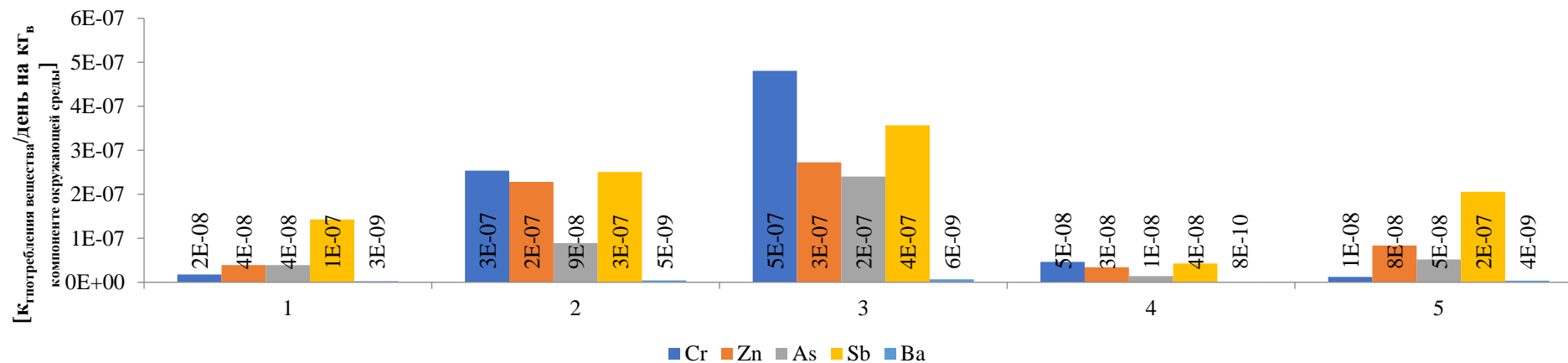


Рисунок 89. Фактор экспозиции, рассчитанный для Cr, Zn, As, Sb, Ba для исследованных территорий, воздействие через почвы,  $[kg_{\text{потребления}} \text{ вещества} / \text{день на } kg_{\text{в}} \text{ компоненте окружающей среды}]$

Прим.: 1 - д. Кижирово, Верхнее Сеченово, Томская область, Россия; 2 - г. Экибастуз, Павлодарская область, Казахстан; 3 - п. Тайна, Уровские ключи, Газимурский завод, Забайкальский край, Россия; 4 - п. Хову-Аксы, Республика Тыва, Россия; 5 - с. Путинцево, Восточно-Казахстанская область, Казахстан

## Воздух

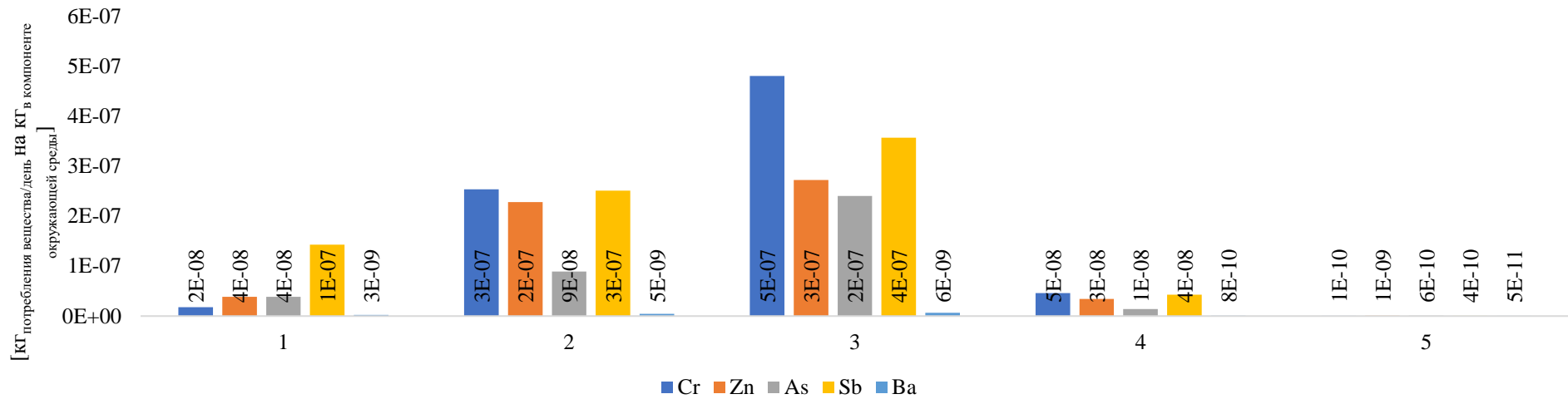


Рисунок 90. Фактор экспозиции, рассчитанный для Cr, Zn, As, Sb, Ba для исследованных территорий, воздействие через воздух, [кг<sub>потребления</sub> вещества/день на кг<sub>в</sub> компоненте окружающей среды]

Прим.: 1 - д. Кижирово, Верхнее Сеченово, Томская область, Россия; 2 - г. Экибастуз, Павлодарская область, Казахстан; 3 - п. Тайна, Уровские ключи, Газимурский завод, Забайкальский край, Россия; 4 - п. Хову-Аксы, Республика Тыва, Россия; 5 - с. Путинцево, Восточно-Казахстанская область, Казахстан

Поселки Забайкальского края и город Экибастуз Павлодарской области являются территориями с наивысшим эффективным потреблением вне зависимости от пути поступления или типа исследуемого элемента. Наименьший фактор экспозиции рассчитанный при нормализации на воздух отмечается для села Путинцево Восточно-Казахстанской области, а на почву для поселка Хову-Аксы Республики Тыва. Для села Путинцево Восточно-Казахстанской области также отмечается наибольшая разница между потреблением элементов с почвой и воздухом.

Можно отметить, что в целом привнос элементов в организм при нормализации на почвы значительно выше, чем при нормализации на воздух. По поступлению с почвами хром и сурьма выделяются в ряду изученных элементов по наиболее высокому фактору экспозиции для всех населенных пунктов, с исключением для села Путинцево Восточно-Казахстанской области, где на второе место выходит цинк.

При расчете фактора с нормализацией на воздух лидирующую позицию для всех регионов занимает сурьма, затем следуют хром, цинк, мышьяк и барий, также с исключением для населения села Путинцево Восточно-Казахстанской области. Самый высокий фактор экспозиции в данном регионе рассчитывается для цинка, затем мышьяка, сурьмы, хрома и бария. Барий имеет самый низкий фактор экспозиции из всех изученных элементов.

Описанная выше тенденция выглядит логичной, и отражает биологическую доступность элементов и региональные особенности исследуемых областей. Высокие факторы экспозиции Sb, Zn, As в мясе, отобранном в селе Путинцево, которое находится в близости от Малеевского рудника, элементами примесями которого являются сурьма, цинк, мышьяк. Эта же тенденция отражается при нормализации на воздух и почвы. Схожие тенденции поступления элементов для исследуемых зон вероятно отражает химизм элементов и активность их поступления в организм.

Сравнивая результаты расчета фактора экспозиции с данными о потреблении мяса жителями разных регионов России (рис.91), можно отметить, что прямая зависимость между потреблением мясных продуктов и величиной фактора экспозиции не наблюдается. Отсюда можно сделать вывод, что основное влияние на попадание элементов в человеческий организм имеет не количество потребляемого мяса, а его элементный состав.



Рисунок 91. Потребление мяса жителями изучаемых регионов в 2011 году по данным Росстата

Модифицированный фактор экспозиции был экстраполирован в расчеты характеристического коэффициента токсического воздействия (CF), и по его результатам были построены сравнительные диаграммы (рис.92, 93).

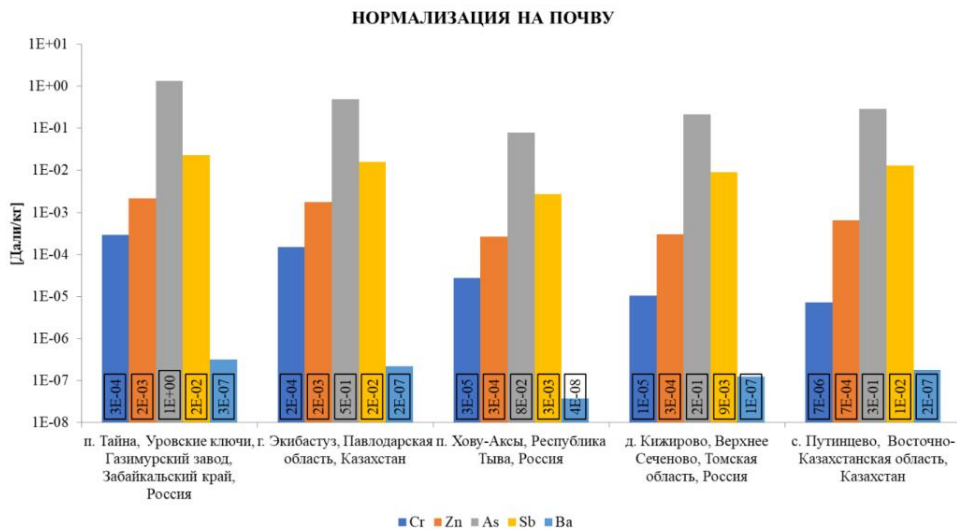


Рисунок 92. Характеристический коэффициент, рассчитанный для Cr, Zn, As, Sb, Ba для исследованных территорий, нормализация на воздух, Дали/кг

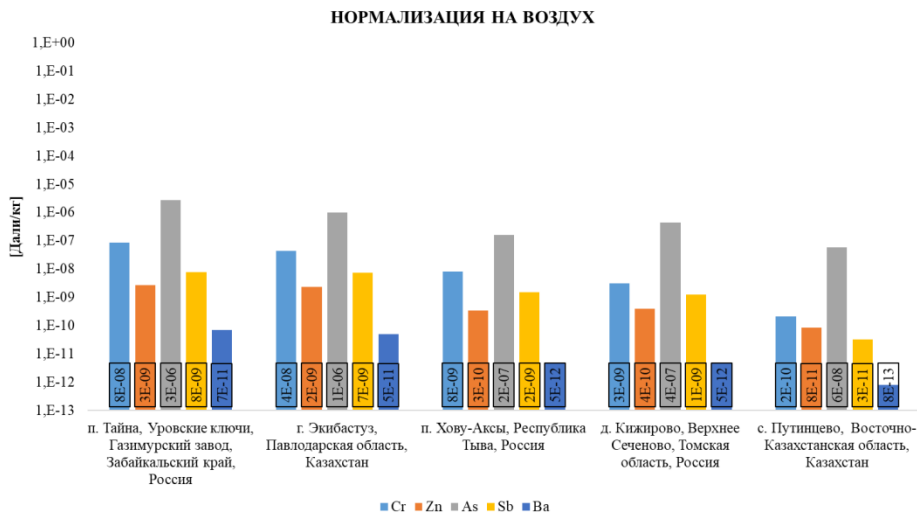


Рисунок 93. Характеристический коэффициент, рассчитанный для Cr, Zn, As, Sb, Ba для исследованных территорий, нормализация на почву, Дали/кг

Расчитанный с использованием модифицированного коэффициента экспозиции характеристический коэффициент токсичности отражает потенциальную опасность веществ на здоровье населения с учетом экологических особенностей каждого региона. Согласно проведенным расчетам можно отметить, что большинство элементов имеют наивысший уровень токсичности на территории поселков Забайкальского края, как при нормализации на воздух, так и на почвы. Можно отметить, что за исключением хрома минимальный коэффициент токсичности для здоровья человека выбранные элементы представляют для жителей поселка Хову-Аксы Республики Тыва.

Для большинства элементов ранжирование индекса токсичности для поступления с территории через почвы выглядит следующим образом: Забайкальский край>Палодарская область> Восточно-Казахстанская область> Томская область>Тыва. Для хрома взаимоотношение меняется, на третье место по опасности для населения выходит Республика Тыва, а на последнее Восточно-Казахстанская область.

Риски для здоровья населения при нормализации на воздух имеют другой порядок величин, на последнем месте по величине характеристического коэффициента для всех оказывается село Путинцево Восточно-Казахстанской области. На третье место по величине характеристического коэффициента для цинка и мышьяка выходят деревни Кижирово и Верхнее Сеченово Томской области, а для хрома, сурьмы и бария поселок Хову-Аксы Республики Тыва. Основной вклад в величину характеристического коэффициента для изученных регионов вносит мышьяк, а минимальное воздействие оказывает барий. Для всех исследованных территорий кроме села Путинцево Восточно-Казахстанской области элементы

по уровню токсичности выстраиваются таким образом:  $As > Cr > Sb > Zn > Ba$ , для Восточно-Казахстанской области на третье место по токсичности становится Zn, а на четвертое Ba.

Таким образом, результаты оценки токсичности элементов на разных исследуемых территориях согласуются с исследованиями, проведенными ранее, и показывают потенциальную токсичность элементов не только в зависимости от концентрации элементов в биоматериалах, но и размера территории и плотности населения.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. В условиях локальных территорий России и Казахстана в организме млекопитающих происходит концентрирование специфических химических элементов и изменяются их соотношения, что может служить индикаторов геоэкологической обстановки района. Для организма Свины домашней, отобранных на территории города Экибастуза Павлодарской области характерно концентрирование таких элементов как Na, Zn, Rb, Ag, Sm, Lu, с их преимущественным аккумулярованием в органах пищеварительной и опорно-двигательной системы. Для Томского района характерно концентрирование Au, Br, с их концентрированием в органах дыхательной и кровеносной системы.

2. Независимо от региона в организме млекопитающих образуются устойчивые корреляционные связи элементов с хромом. Техногенные условия среды обитания формируют различные ассоциации данного элемента, для города Экибастуза Павлодарской области Республики Казахстан и населенных пунктов Томского района России – положительные, для поселений Забайкальского края – отрицательные.

3. В условиях повышенного антропогенного воздействия нарушается работа барьерных органов. Начинается аккумулярование химических элементов в головном мозге, плацентарной ткани и эмбрионах млекопитающих.

4. Модифицированный характеристический коэффициент токсичности позволяет ранжировать локальные территории России и Казахстана по степени токсичности отдельных элементов для здоровья населения. В целом, данный показатель характеризует поселения Забайкальского края, как зоны наиболее напряженной нагрузки для человека.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын, А.П. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш и др. - М.: Медицина, 1991. - 496 с.
2. Андрейчик М.Ф. Эколого-географическая диагностика природно-хозяйственных систем межгорных котловин Республики Тыва // 2012.
3. Антипанова Н.А. Гигиенические аспекты онкологической безопасности населения промышленного центра черной металлургии в системе социально-гигиенического мониторинга. Москва: Директ-Медиа, 2013. 521 с.
4. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. Томск: Д. Принт, 2007. 468 с.
5. Архив погоды в Кызыле / URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/kyzyl/> (дата обращения: 23.04.2019).
6. Арынова, Ш.Ж. Элементный состав солевых образований из природных пресных вод как индикатор экологической безопасности водопользования: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Арынова Шынар Жаныбековна. - Томск, 2016. - 151 с
7. Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Элементный состав органов и тканей домашних животных (*Sus scrofa domesticus* (Artiodactyla, Mammalia)) как индикатор состояния среды обитания // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2011. Т. 3. № 17. С. 78-84.
8. Барановская, Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: дисс. ...д-ра биол. наук: 03.02.08 / Барановская Наталья Владимировна. - Томск, 2011. - 373 с.
9. Безель В.С. Оценка состояния природных популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения // Экология. 1987. Т. 4. С. 39-49.
10. Безель В.С., Мухачева С.В. Трофические уровни мелких млекопитающих?: мультиэлементный состав и токсическая нагрузка В . С . Безель, С. В . Мухачева // 2012. С. 3-13.
11. Бернатонис, В.К. Бром в торфах Томской области / В.К. Бернатонис, В.С. Архипов, В.И. Резчиков, Д.Ю. Балабаев // Рациональное использование природных ресурсов Сибири: тезисы докладов научной конференции, г. Томск, 1989. - С. 28.
12. Бизнес справочник NEDRADV Савкинское месторождения URL: <https://nedradv.ru/nedradv/ru/invest/> (дата обращения: 23.04.2019).
13. Биологическое и токсикологическое действие химических элементов и их неорганических соединений на организм человека: Учеб. пособие / Под ред. к.х.н. Т.И. Рыбкиной НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева. - Новомосковск, 1999. - 96 с.

14. Быкорез А.И. Р.Б.Л. Причины рака: факты и гипотезы. -Киев. -Наукова думка. - 1987. -115 с.
15. Вернадский В.И. Избранные сочинения: в 5 т. - М.?: Изд-во АН СССР, 1954. - Т. 1. Очерки геохимии. - 624 с. 91. Вернадский В.И. Избранные сочинения: в 5 т. - М.?: Изд-во АН СССР, 1954. - Т. 1. Очерки геохимии. - 624 с.
16. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры. Москва: , 1922. Вып. Время. 183 с.
17. Вишневецкий В., Ледяева В.С. Экспериментальные исследования загрязнений тяжелыми металлами в донных отложениях в Таганрогском заливе // Электронный научный журнал "Инженерный вестник Дона". 2012. Т. 4. № 1.
18. Вишневецкий, В.Ю. Ледяева В.С. Выбор маркерных тяжелых металлов для оценки степени токсичности воздействия на организм человека // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. С. 170-176.
19. Восточно-казахстанская область URL: <https://ayagoz.kz/vko.html> (дата обращения: 23.04.2019).
20. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества / под ред. Филов В.А. : Справочные издание, 1990. 464 с.
21. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. Москва: Наука, 1982. 7-28 с.
22. Гольдшмидт В.М. Геохимические принципы распределения редких элементов / под ред. В.В. Щербина. Москва: , 1952. С. 9-16. с.
23. Государственный доклад "О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году". - М., 2014. - 387 с.
24. Гречищев О.К. К вопросу об условиях формирования редкометалльных месторождений Тувы как крупной редкометалльной провинции России (краткий обзор) // Геология и металлогения. - 2012. - Вып. 12. - С. 49-52.
25. Гусева К.С. Влияние легкой промышленности на экологию // Биоэкономика и экобиополитика. 2016. № 2. С. 107-110.
26. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. - М.?: Мысль, 1983. - 265 с.
27. Евсеева Н.С. География Томской области. Природные условия и ресурсы Томск. Томск: Изд-во Томского университета, 2001. 223 с.
28. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв?: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. - Томск, 2009. - 22 с.

29. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ / В.Ф. Журавлев. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 336 с.
30. Забелин В.И. Распределение токсичных химических элементов в природных и антропогенных средах на территории бывшего ГОКа "Тувакобальт" // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы.
31. Зыряновск // Казахстан. Национальная энциклопедия. - Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2005. - Т. II. - ISBN 9965-9746-3-2.
32. Игнатова, Т.Н. Элементный состав организма человека и его связь с факторами среды обитания: дис. ... геол.-мин. наук: 25.00.36 / Игнатова Татьяна Николаевна. - Томск, 2010. - 228 с.
33. Ильинских Н.Н., Юркин А.Ю. Результаты гамма - спектрометрических, нейтронно-активационных и цитогенетических исследований голубей, отловленных в радиационно загрязняемой местности вблизи от СХК // Актуальные проблемы экологии. - Тюмень, 1998. - С. 84-92.
34. Ильинских Н.Н., Юркин А.Ю., Ильинских Е.Н. Мониторинг цитогенетических и клинических последствий аккумуляции в организме человека радиостронция и радиоцезия // Материалы конференции. - М., 2001. - С. 529.
35. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. - М.: Наука, 1982. - 315 с.
36. Ковальский В.В. Геохимическая экология. - М.: Наука, 1974. - 300 с.
37. Ковальский В.В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии: избранные труды / отв. ред., авт. вступ. ст. Л.К. Эрнст?; сост. Ю.В. Ковальский. - М.: Россельхозакадемия, 2009. - 357с.
38. Комлацкий В.И., Величко Л.Ф., Величко В.А. Биология и этология свиней. Учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2017. Вып. 1. 1-134 с.
39. Котас Д., Статика З. Комментарии: Распространение хрома в окружающей среде и методы его спецификации. Загрязнение окружающей среды. -2000. -107/263-283.
40. Кохонов Е.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук Томск ? 2005 // 2005.
41. Криволуцкий Д.А., Степанов А.М., Тихомиров Ф.А. Ф.Е.А. Экологическое нормирование на примере радиоактивного и химического загрязнения экосистем Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. Москва: Наука, 1988. 4-16 с.
42. Куранова В.Н. Биоиндикационные показатели амфибий // Экология промышленного города. - Томск, 1992. - С.48-51.

43. Ларионов Г.А. Система мероприятий по снижению содержания тяжелых металлов в цепи: почва - растение - животное - продукция // 2005.
44. Лысыков Ю.А. Макро- и микроэлементов в питании человека // Экспериментальная или клиническая гастроэнтерология. 2009. Т. 2. С. 120-131.
45. Малеевский рудник (Казцинк) URL: <http://www.minerjob.ru/company.php?id=1088> (дата обращения: 23.04.2019).
46. Мамаджанов Роман Хасанович, Сидоренко Сергей Николаевич, Латушкина Елена Николаевна Экологические аспекты термической переработки твердых бытовых отходов: Российский и американский опыт // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 20.
47. Мамбетказиева Р.А., Данилова А.Н., Мабетказиев Е.А. Региональные особенности природной среды Восточного Казахстана // Вестник КАСУ. - 2011. - №6. - С.35-39.
48. Межибор, А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Межибор Антонина Михайловна- Томск, 2009. - 22 с.
49. Министерство энергетики Республики Казахстан. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов // 2017. С. 462.
50. Михальчук, А. А. Статистический анализ эколого-геохимической информации: учебное пособие / А. А. Михальчук, Е. Г. Язиков, В. В. Ершов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. - 235 с.
51. Михеева Н.А. Проницаемость биологических барьеров для золотых наночастиц и вызываемые ими морфофизиологические изменения: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 06.02.01 / Михеева Наталья Александровна Саранск, 2018. - 22с.
52. Монголина, Т. А. Геохимические особенности солевых отложений (накипи) питьевых вод как индикатор природно-техногенного состояния территории: дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Монголина Татьяна Александровна. - Томск, 2011. - 148 с.
53. Москвитина Н.С. Популяционная экология мелких млекопитающих юго - востока Западной Сибири : автореф. дис. ... докт. биол. наук. - Томск, 1999. - 70 с.
54. Нестеркова Д.В. Распространение и численность европейского крота (*Talpa europaea* L.) в районах воздействия двух медеплавильных заводов на Урале // Экология. 2014. № 5. С. 385-392.
55. Николаева, И.В. Бакчарское месторождение оолитовых железных руд / И.В. Николаева. - Новосибирск: АН СССР, 1967. - 129 с.
56. Ньюман У., Ньюман М. Минеральный обмен кости пер. с англ. О. Я. Терещенко, Л. Т. Туточкиной / под ред. Н.П. Демин. Москва, 1961. 270 с.

57. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. Санкт-Петербург: , 2004. Вып. Изд-во Сан. 354 с.
58. Парначёв В.П., Парначев С.В. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска = материалы к полевой геологической экскурсии?: справочное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. 142 с.
59. Пенькова И.Н., Шишкунов В.М., Онистратенко Н.В. Тяжелые металлы в пастбищных цепях сельскохозяйственных животных при техногенной нагрузке // Сельскохозяйственная экология. 2008. Т. 1. С. 108-113.
60. Перельман А.И. Геохимия. - М. : Высшая школа, 1979. - 423 с.
61. Перминова Татьяна Анатольевна. Бром в компонентах природной среды Томской области и оценка его токсичности: канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Перминова Татьяна Анатольевна - Томск, 2017. - 22 с.
62. Покаржевский А.Д., Ван Страален, Н.М. Филимонова Ж.В. Трофическая структура экосистем и экотоксикология почвенных организмов // Экология. 2000. Т. 3. С. 211-218.
63. Покровский А.А., Конь И.Я., Ширина Л.И. Микроэлементы и их роль в жизнедеятельности организма. // Справочник по диетологии. -Москва. -1981. -560 с.
64. Правительство Забайкальского края, Министерство природных ресурсов Забайкальского Края. Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2017 год // 2017. С. 240.
65. Притужалова, О.А. 2007 Оценка экологического воздействия жизненного цикла продукции / О.А. Притужалова // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2007. – №3. – С. 152–158.
66. Пшеничкин, А.Я. Петрографо-геохимические особенности руд Бакчарского месторождения / А.Я. Пшеничкин, В.А. Домаренко // Вестник науки Сибири. - 2011. - №1 (1). - С. 13-18.
67. Радиоактивное загрязнение биологических объектов и природных сред в районе пос. Муслюмово (Челябинская область) / И.Г. Берзина, В.А. Чечеткин, М.В. Хотулева и др. // Радиоактивная биология. Радиоэкология. - 1993. - № 2. - С. 33.
68. Рай Д., Эари Л.Е., Захара Д.М. Действующий на окружающую среду химический состав хрома. SciTotalEnviron. -1989. -86/15-23.
69. Рихванов Л.П. и др. Элементный состав воды биологической как индикатор техногенеза // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 2. С. 214-223.

70. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. - Томск: Изд - во ТПУ, 1997. - 384 с.
71. Рихванов Л.П. Особенности геохимического поля в районе расположения предприятий ядерного топливного цикла / Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Матер. Межд. науч. - практ. конф. - Семипалатинск: СГУ им. Шакарима, 2000. - с. 226 - 228.
72. Рихванов Л.П., Языков Е.Г., Сухих Ю.И. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения. Tomsk, 2006. 216 с.
73. Рихванов, Л.П. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения - как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов, С.С. Кропанин, С.А. Бабенко и др.; отв. ред. Е.Н. Трибунский, М.С. Провинчак. - Кемерово?: Сарс, 2001. - 214 с.
74. Русина Е.Ю. Техногенная трансформация растительности на территории экибастузского угольного бассейна // Научное сообщество студентов XXI столетия. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ сб. ст. по мат. XXXI междунар. студ. науч.-практ. конф. 2018. Т. 5. С. 30.
75. Сембаев Ж.Х. Экологическая характеристика состояния окружающей среды г. Экибастуз // Вестник КазНМУ. 2014. Т. 3. № 3. С. 225-230.
76. Сидоренко Г.И., Михеев П.Ю. Оценка энергетической эффективности жизненных циклов энергетических объектов на основе ВИЭ // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". 2017. Т. 1-3. С. 101-110.
77. Смольянинов С.И., Бернатонис В.К., Архипов В.С. Микроэлементы в верховом торфе Томской области // Исследование свойств и технологии добычи торфа. Ленинград: Изд-во ВНИИП, 1990. С. 15-21.
78. Снегин Э.А., Шаповалова Е. А. Польшов В. А., А. Ш.С. Состояние генофондов и оценка эффективной численности популяций индикаторных видов мышевидных грызунов в условиях влияния горнорудных предприятий // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2014. Т. N14. С. 188.
79. Старостина В.Ю., Уланова О.В. Использование методов оценки воздействия на окружающую среду при выборе перспективного способа обращения с отходами производства и потребления // Современные проблемы науки и образования. 2013. Т. 5.
80. Таловская, А.В. Оценка эколого-геохимического состояния районов г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей: автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук: спец. 25.00. 36 / Таловская Анна Валерьевна. - Томск. дис. - 2008. - 23 с.

81. Тектоника. СССР. Масштаб: 1:20000000. 1964 г. Карта разработана в Геологическом институте АН СССР А.Е. Шлезингером под руководством М.В. Муратова, под общей редакцией А.Л. Яншина. Составлена в Научно-редакционной картосоставительской части ГУГК ГГК СССР по авторскому макету / Физико-географический атлас мира. М.: Академия наук СССР и Главное управление геодезии и картографии ГГК СССР. 1964.
82. Ткачев, Ю.А. Статистическая обработка геохимических данных / Ю.А. Ткачев, Я.Э. Юдович. - Л.: - Наука, 1975. - 233 с.
83. Тогузова М.М. Экологические проблемы Восточного региона Казахстана // Перспективные разработки науки и техники - 2006, 2006.
84. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация: Учебное Пособие. Тверь: 2004. 260 с.
85. Фендорф С. Поверхностные реакции хрома в почве и воде. -Геодерма. -67/55-71. - FION (Финский институт гигиены труда). Отчет об оценке риска для здоровья по металлическому хрому и трехвалентному хрому. -1995. -ICDA.
86. Химическая энциклопедия в пяти томах / Главный редактор И.Л. Кнунянц. - том 1. - М.: Советская Энциклопедия, 1988. - С. 66-67. - 600 с.
87. Хорева С.А., Москвитина Н.С., Тавгень Т.А. Мышевидные грызуны как объективный и химического загрязнения // 1958. Т. 65. С. 144-146.
88. Чонбашева Ч.К. и др. Хроническая сурьмяная интоксикация у работников современного производства кыргызстана // Вестник КРСУ. 2014. Т. 5. № 14. С. 188-190.
89. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / Гл. ред. А. М. Адам, редкол.: В.А. Коняшкин, А.В. Дмитриев, Ю.В. Лулева. - Томск: Графика DTP, 2012. - 166 с.
90. Ялалтдинова, А.Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска: дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Ялалтдинова Альбина Рашидовна. - Томск, 2015. - 172 с.
91. Adei E., Forson-Adaboh K. Toxic (Pb, Cd, Hg) and essential (Fe, Cu, Zn, Mn) metal content of liver tissue of some domestic and bush animals in ghana // Food Addit. Contam. Part B Surveill. 2008. Т. 1. № 2. P. 100-105.
92. Barceloux D.G. Chromium // J. Toxicol. Clin. Toxicol. 1999. Т. 37. № 2. P. 173-194.
93. Bare J. TRACI 2.1: User Manual // US Environ. Prot. Agency. 2012. P. 1-24.
94. Bare J., Young D., Hopton M. Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI) // GaBi LCIA Doc. 2018. P. 1.
95. Belyanovskaya A. et all. A regional approach for the calculation of characteristic toxicity factors using the USEtox model / Belyanovskaya A., Laratte B., Perry N., Baranvskaya N. // Sci. Total Environ. - Т. 343. - №. 3. - P. 2019.



96. Budis H. et al. / Budis, H., Kalisinska E., Lanocha N., Kosik-Bogacka D. // The concentration of manganese, iron and strontium in bone of red fox *vulpes vulpes* (L. 1758) // *Biol. Trace Elem. Res.* 2013 T. 155. - № 3. - P. 361-369. 2013
97. Calatayud, M., & Laparra Llopis, J. M. Arsenic Through the Gastrointestinal Tract. *Handbook of Arsenic Toxicology*, 2005 P. 281-299
98. Carpen? E., Andreani G., Isani G. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* Trace elements in unconventional animals: A 40-year experience // 2017. T. 43. P. 169-179.
99. Chernuh N.A., Baeva J.I. Tjzhelye metally i zdorov'e cheloveka in Russian [Heavy metals and human health] // *Vestn. Rudn. Ser. Jekologija i Bezop. zhiznidejatel'nosti Russ.* [Bulletin Rudn. Ser. Ecol. life safety]. 2004. T. 10. № 1. P. 125-130
100. Chromium Content of Meats / URL: <https://wholefoodcatalog.info/nutrient/chromium/meats> (Дата обращения 25.05.2019)
101. Cuajungco M. P. and Lees G. J., *Brain Res.* 799 (1), 97 (1998).
102. Demirezen D., Uru? K. Comparative study of trace elements in certain fish, meat and meat products // *Meat Sci.* 2006. T. 74. № 2. P. 255-260.
103. Denisova O. (T.P.U. Ecogeochemical factors and diseases of a thyroid gland of the population in Tomsk region // 33-rd International Geological Congress (IGC) Oslo, Norway, 2008. P. 122-123.
104. Dreyer L.C., Niemann A.L., Hauschild M.Z. Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and eco-indicator 99: Does it matter which one you choose? // *Int. J. Life Cycle Assess.* 2003. T. 8. № 4. P. 191-200.
105. Durkalec M. et al. Trace elements in the liver of captive and free-ranging European bison (*Bison bonasus* L.) // *Chemosphere.* 2018. T. 193. P. 454-463.
106. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, 2010. 417 P.
107. Falandysz J. Some toxic and essential trace metals in swine from Northern Poland // *Sci. Total Environ.* 1993. T. 136. № 1-2. P. 193-204.
108. Fantke P. et al. USEtox® 2.0, Documentation version 1, 2017. 1-208 P.
109. Franke B.M. et al. Geographic origin of meat-elements of an analytical approach to its authentication // *Eur. Food Res. Technol.* 2005. T. 221. № 3-4. P. 493-503.
110. Gastroscan.ru / URL: [//www.gastroscan.ru/handbook/117/406](http://www.gastroscan.ru/handbook/117/406) (дата обращения: 09.05.2018).
111. Gauthier-Lafaye F. et al. Radioisotope contaminations from releases of the Tomsk-Seversk nuclear facility (Siberia, Russia) // *J. Environ. Radioact.* 2008. T. 99. № 4. P. 680-693.

112. Guertin J. Toxicity and Health Effects of Chromium (All Oxidation States) // Chromium Handb. 2005. P. 215-234.
113. Haldimann M. et al. Vorkommen von Selen in Lebensmitteln tierischer Herkunft des Schweizer Marktes // Mitteilungen aus Leb. und Hyg. 1999. T. 90. № 3. P. 241-281.
114. Hamers T. et al. Risk assessment of metals and organic pollutants for herbivorous and carnivorous small mammal food chains in a polluted floodplain (Biesbosch, The Netherlands) // Environ. Pollut. 2006. T. 144. № 2. P. 581-595.
115. Hauschild M., Potting J. Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment - The EDIP2003 methodology. Report for the Danish Environmental Protection Agency // 2000. P. 1-195.
116. Henderson, A.D. USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties / A.D. Henderson, M.Z. Hauschild, D. Van de Meent et al. // The international journal of Life 2011. №16. P. 701-709
117. Huang L. et al. Determination of heavy metal chromium in pork by laser-induced breakdown spectroscopy // Opt. Soc. Am. 2017. T. 56. № 1. P. 24-28.
118. Huijbregts M.A.J. et al. ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level - Report 1?: characterization // Natl. Inst. Public Heal. Environ. 2016. P. 194.
119. Ilyinskikh N.N. et al. An assessment of frequencies of micronucleated erythrocytes in peripheral blood of pigeons (*Columba livia* gm) living in the polluted Radioactive area around the Siberian chemical plant // Environ. Pollut. 1998. T. 98. № 1. P. 119-122.
120. Johnson M.S., Roberts R.D. Distribution of Lead , Zinc and Cadmium in Small Mammals from Polluted Environments Distribution of lead , zinc and cadmium in small mammals from polluted environments // 2012. T. 30. № 1. P. 153-159.
121. Kim J.S. et al. Geographical origin authentication of pork using multi-element and multivariate data analyses // Meat Sci. 2017. T. 123. P. 13-20.
122. Kuranova V., Baranovskaja N. V., Rikhvanov L.P. The Content of Chemical Elements in the Organism of Anura, Amphibia, as an Indicator of the Environmental Conditions // Herpetol. Petropolitana. 2003. № June. P. 167-170.
123. Lamborg C.H. et al. A global ocean inventory of anthropogenic mercury based on water column measurements // Nature. 2014. T. 512. № 1. P. 65-68.
124. Lee, D.Y. Brewer, G.J. Wang Y. Treatment of Wilson's disease with zinc. VII. Protection of the liver from copper toxicity by zinc-induced metallothionein in a rat model. // J Lab Clin Med. 1989. T. 114. № 6. P. 639-45.
125. Lopez-Alonso M et al. Cattle as biomonitors of soil arsenic, copper and zinc concentrations in Galicia (NW Spain). // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2002. № 43. P. 103-108.

126. Lopez-Alonso M. et al. Toxic and essential metals in liver, kidney and muscle of pigs at slaughter in Galicia, north-west Spain // *Food Addit. Contam.* 2007. T. 24. № 9. P. 943-954.
127. Lovell M. A., Smith J. L., and Markesbery W. R., *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 65 (5), 489 (2006).
128. Markert B., Oehlmann J., Roth M. General Aspects of Heavy Metal Monitoring by Plants and Animals // 2009. P. 19-29.
129. Meurens F. et al. The pig: A model for human infectious diseases // *Trends Microbiol.* 2012. T. 20. № 1. P. 50-57.
130. Monteiro H., Freire F. Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods // *Energy Build.* 2012. T. 47. P. 572-583.
131. Nikolic D. et al. Mineral composition and toxic element levels of muscle, liver and kidney of intensive (Swedish Landrace) and extensive (Mangulica) pigs from Serbia // *Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* 2017. T. 34. № 6. P. 962-971.
132. NRC. *The Role of Chromium in Animal Nutrition* / A. Press. Washington, DC, 1997.
133. Ortiz de Garc?a S., Garc?a-Encina P.A., Irusta-Mata R. The potential ecotoxicological impact of pharmaceutical and personal care products on humans and freshwater, based on USEtox<sup>TM</sup> characterization factors. A Spanish case study of toxicity impact scores // *Sci. Total Environ.* 2017. T. 609. P. 429-445.
134. Park Y.M. et al. Origin discrimination of defatted pork via trace elements profiling, stable isotope ratios analysis, and multivariate statistical techniques // *Meat Sci.* 2018. T. 143. P. 93-103.
135. Pe?a N. et al. Modeling ecotoxicity impacts in vineyard production: Addressing spatial differentiation for copper fungicides // *Sci. Total Environ.* 2018. T. 616-617. P. 796-804.
136. Penakalapati G. et al. Exposure to Animal Feces and Human Health: A Systematic Review and Proposed Research Priorities // *Environ. Sci. Technol.* 2017. T. 51. № 20. P. 11537-11552.
137. Petersson-Grawe, K Thierfelder T., Jorhem L., Oskarsson A. Cadmium levels in kidneys from Swedish pigs in relation to environmental factors - temporal and spatial trends. // *Sci. Total Environ.* 1997. № 208. P. 111-122.
138. Pizzol M. et al. Impacts of "metals" on human health: A comparison between nine different methodologies for Life Cycle Impact Assessment (LCIA) // *J. Clean. Prod.* 2011. T. 19. № 6-7. P. 646-656.
139. Popov P.A., Vizer A.M., Androsova N. V. Metal content in muscular tissue of commercially important fish from Novosibirsk reservoir and near dam on Ob' River // *Contemp. Probl. Ecol.* 2012. T. 5. № 4. P. 352-355.

140. Potting J.J., Hauschild M.Z. Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment // *Int. J. Life-Cycle Assess.* 2006. T. 11. № 1. P. 11-13.
141. Pu Y. et al. Fate and Characterization Factors of Nanoparticles in Seventeen Subcontinental Freshwaters: A Case Study on Copper Nanoparticles // *Environ. Sci. Technol.* 2016. T. 50. № 17. P. 9370-9379.
142. Rahman S.M. et al. Comparative Life Cycle Assessment of Advanced Wastewater Treatment Processes for Removal of Chemicals of Emerging Concern // *Environ. Sci. Technol.* 2018. T. 52. № 19. P. 11346-11358.
143. Remy F. Atmospheric pollution and heavy metals. // -1990. -Vol.10. -N.6. -P.286-287. // *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 1990. T. 10. № 6. P. 286-287.
144. Rosenbaum R.K. et al. USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment // *Int. J. Life Cycle Assess.* 2008. T. 13. № 7. P. 532-546.
145. Rosenbaum R.K. et al. USEtox human exposure and toxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: Sensitivity to key chemical properties // *Int. J. Life Cycle Assess.* 2011. T. 16. № 8. P. 710-727.
146. Rosenbaum R.K., Margni M., Jolliet O. A flexible matrix algebra framework for the multimedia multipathway modeling of emission to impacts // *Environ. Int.* 2007. T. 33. № 5. P. 624-634.
147. Salieri B. et al. Fate modelling of nanoparticle releases in LCA: An integrative approach towards "USEtox4Nano" / Hisher R., Quik J.T.K., Joillet O. // *J. Clean. Prod.* - 2019. T. 206. P. 701-712.
148. Sanchez-Chardi A, Lopez-Fuster MJ. Metal and metalloid accumulation in shrews (*Soricomorpha*, *Mammalia*) from two protected Mediterranean coastal sites. // *Env. Pollut.* 2009. № 157. P. 1243-1248.
149. Santhi D. et al. Presence of heavy metals in pork products in Chennai (India) // *Am. J. Food Technol.* 2008. T. 3. № 3. P. 192-199.
150. Saouter E. et al. Improving substance information in USEtox ®, part 2: Data for estimating fate and ecosystem exposure factors // *Environ. Toxicol. Chem.* 2017. T. 36. № 12. P. 3463-3470.
151. Sheppard S.C. Review of "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments" // *J. Environ. Radioact.* 2011. T. 102. № 2. P. 217.
152. Shimako A.H., Tiruta-Barna L., Ahmadi A. Operational integration of time dependent toxicity impact category in dynamic LCA // *Sci. Total Environ.* 2017. T. 599-600. P. 806-819.

153. Standards T.I. International Standard ISO 14042 // 1991. T. 1991. P. 8.
154. Starostina V.Y. Assessment features of waste management system life cycle // *Науки о земле*. 2011. T. 11. № 58. P. 81-88.
155. Sur'ma "Rvotnyikamen" ["Emetic stone" antimony]. Available at: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/makro-i-mikro-chudesa/surma-rvotniy-kamen> (21.12.2019) (in Russian)".
156. Tubek S. Role of zinc in hemostasis: a review. / Tubek S., Grzanka P., and Tubek I., *Biol. Trace Elem. Res.* - 2007. T.121 №1. P. 3-6
157. Tubek, S. Role of trace elements in primary arterial hypertension: is mineral water style or prophylaxis? / Tubek S. // *Biol. Trace Elem. Res.* - 2007. T. 117 № 39 P. 1-3
158. Turbinsky V.V., Bortnikova S.B. Proportions of arsenic and antimony in biogeochemical provinces as health risk factors // *Sci. Rev. Heal. Risk Anal.* 2018. T. 3. P. 136.
159. Usetox P. USEtox TM Model Documentation 3 . Population Exposure // 2013. P. 2013.
160. Veen N.G., Vreman K. Transfer of cadmium, lead, mercury and arsenic from feed into various organs and tissues of fattening lambs // *Nether. Jour. Agric. Sci.* 1986. T. 1. № 34. P. 134-153.
161. Vliyanie sur'my na organizm cheloveka (kratkii obzor literatury) [On influence exerted by antimony on a human body (short literature review)]. DocPlayer.ru. Available at: <https://docplayer.ru/82958586-O-vliyanie-surmy-na-organizm-cheloveka-kratkiy-obzor>.
162. Wang M.Q. et all. Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, carcass characteristics, pork quality, and lipid metabolism in finishing pigs // *Livest. Sci.* 2014. T. 161. № 1. P. 123-129.
163. Westh, T.B. The USEtox story: A survey of model developer visions and user requirements / T.B. Westh, M.Z. Hauschild, M. Birkved et al. // *The international journal of Life cycle assessment.* - 2015. - Vol. 20, No.2. - P. 299-310.
164. Wu Y. et all. Concentrations and health risk assessment of trace elements in animal-derived food in southern China / Wu, Y., Zhang H., Liu G., Zhang J., Wang J., Yu Y., Lu S. // *Chemosphere.* 2016. T. 144. P. 564-570.
165. Yamagata N. The Concentration of Common Cesium and Rubidium in Human Body. // *J. Radiat. Res.* 1962. T. 3. № 1. P. 21.
166. Zhao Y., Wang D., Yang S. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork // *Meat Sci.* 2016. T. 118. P. 103-107.