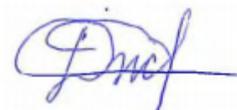


Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

На правах рукописи



Джамбаев Мерей Глеуканович

ИНДИКАТОРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

03.02.08 – Экология (биология)

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
доктор биологических наук, доцент
Барановская Наталья Владимировна

Томск – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Современная эколого-геохимическая оценка территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону	12
1.1. Геоэкологическая обстановка исследуемой территории	12
1.2. Загрязнение территории Семипалатинского испытательного полигона ...	16
1.3. Загрязнение территории за пределами Семипалатинского испытательного полигона	19
Глава 2. Элементный состав тканей человека как индикатор изменения экологической ситуации	26
Глава 3. Материалы и методика исследования	34
3.1. Исходный материал	34
3.2. Обоснование выбора объектов исследования	38
3.3. Методы отбора и подготовки проб	40
3.4. Методы аналитических исследований	43
3.5. Методика математической обработки результатов	48
Глава 4. Региональная специфика элементного состава компонентов экосистемы территории влияния Семипалатинского испытательного полигона	51
Глава 5. Отражение дозовых нагрузок на элементном составе тканей человека	64
5.1. Сравнительная оценка элементного состава сухого остатка крови человека, проживающего в зонах разного уровня радиационного риска	64
5.2. Сравнительная оценка элементного состава волос человека, проживающего в зонах разного уровня радиационного риска	77
Глава 6. Микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону	83

6.1. Состав матрицы сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.....	85
6.2. Микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории с чрезвычайным уровнем радиационного риска.....	91
6.3. Микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории с максимальным уровнем радиационного риска	100
Заключение.....	113
Список сокращений.....	116
Список литературы.....	117
Приложение А. Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы в Научно-исследовательском институте радиационной медицины и экологии НАО «МУС», г. Семей, Республика Казахстан	146

Введение

Актуальность исследования. За период своего функционирования Семипалатинский испытательный полигон (СИП) оказал мощное техногенное влияние на биосферу путем загрязнения ее компонентов долгоживущими радионуклидами, тяжелыми металлами, нарушения естественных циклов миграции химических элементов в отдельных экосистемах. Для территорий, на которых происходит интенсивное изменение химизма экосистем вследствие воздействия радиохимического фактора, актуальным является использование комплексного подхода и выявление индикаторов, наиболее четко реагирующих на происходящие изменения [Кривоуцкий и др., 1988]. На сегодняшний день прошло около 30 лет со дня закрытия СИП. С учетом естественных процессов миграции и распада радионуклидов становится актуальной задача выявления индикаторов, достоверно указывающих на радиохимическое воздействие по следовым показателям.

Из числа ученых, занимавшихся проблемой экологической оценки как самой территории СИП, так и территорий за его пределами, можно отметить работы Ю. В. Дубасова, В. И. Булатова, В. А. Логачева, В. Н. Михайлова, К. И. Гордеева, В. В. Горина, А. Ф. Кобзева, Ю. С. Степанова, Я. Н. Шойхет, В. Б. Колядо, Б. И. Гусева, Л. П. Рихванова, С. Н. Лукашенко и других.

В последние годы учеными активно изучаются различные аспекты разработки методологии экологического нормирования воздействия ионизирующего излучения на живые организмы [Larsson, 2004 ; Howard, Larsson, 2008 ; Howard, Beresford, Andersson, 2008]. Отмечается, что концепция радиационной защиты должна включать не только человека, но и компоненты экосистемы [Алексахин, 2004 ; Казаков, 2004]. Современные исследования, проводимые на территории Семипалатинского полигона и за его пределами, направлены на изучение механизмов миграции, накопления элементов и их изотопов в отдельных средах [Voigt. и др., 2001 ; Kabdyrakova и др., 2018 ; Айдарханов, 2016 ; Larionova и др., 2018 ; Какимов А. и др., 2016 ; Кожыханов, Лукашенко и др., 2016]. Особое внимание

учеными уделяется вопросу накопления химических элементов в депонирующих органах, в частности костях человека [Yamamoto и др., 2006].

Актуальность нашего исследования определяется тем, что в настоящее время отсутствует полная количественная и качественная химическая характеристика элементного состава комплекса компонентов экосистемы территории, которые подвержены воздействию Семипалатинского испытательного полигона, что является важной задачей оценки толерантности живых организмов к различным уровням радиационного риска.

Цель работы – выявление индикаторных свойств элементного состава компонентов экосистемы: почва, полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.), солевые отложения питьевой воды, молоко и мышечная ткань крупного рогатого скота (КРС), кровь и волосы человека территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.

Задачи работы:

1. Изучить региональную специфику элементного состава компонентов экосистемы: почва, полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.), солевые отложения питьевой воды, молоко и мышечная ткань крупного рогатого скота, кровь и волосы человека территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.

2. Оценить содержание химических элементов в крови и волосах человека, проживающего в населенных пунктах с различным уровнем радиационного риска, согласно существующему нормированию.

3. Изучить микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.

Научная новизна работы:

1. Впервые проведено комплексное изучение элементного состава компонентов экосистемы территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.

2. Впервые оценено содержание 28 химических элементов в крови и волосах человека, проживающего на территориях с различными уровнями дозовых нагрузок, обусловленных воздействием Семипалатинского испытательного полигона.

3. Впервые изучен микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории, ранжированной разными уровнями дозовых нагрузок, обусловленных воздействием Семипалатинского испытательного полигона.

Теоретическая значимость работы. В работе обоснованы доказательства влияния факторов антропогенеза на формирование элементного состава тканей организма человека; показаны закономерности изменения элементного состава волос и крови человека в зависимости от проживания в зонах прохождения следов взрывов при испытании ядерного оружия; представлена региональная специфика накопления химических элементов в компонентах экосистемы территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону; показана эффективность использования комплексного подхода при анализе экологического состояния территории с выявлением элементной специфики почв, накипи питьевых вод, растений, тканей животных и человека; раскрыты особенности формирования микроминерального состава крови человека в условиях проживания под влиянием длительного радиохимического воздействия; изложены доказательства связи элементного состава крови с уровнем индивидуальных эффективных эквивалентных доз облучения.

Практическая значимость работы. Сформирована база данных по элементному составу компонентов экосистемы территории воздействия Семипалатинского испытательного полигона. Полученные данные в дальнейшем могут быть применены: 1) в исследованиях, направленных на глобальный и региональный мониторинг территорий со схожей экологической ситуацией, в качестве оценочных уровней; 2) в практической медицине в целях прогнозирования заболеваемости и оздоровления населения.

Предложен комплексный подход оценки экологической ситуации территории, подвергающейся радиохимическому фактору воздействия путем сравнения элементного состава тканей человека с дозовыми нагрузками территории

(акт внедрения результатов научно-исследовательской работы в Научно-исследовательском институте радиационной медицины и экологии (НИИ РМиЭ) некоммерческого акционерного общества «Медицинский университет Семей» (г. Семей, Республика Казахстан) представлен в Приложении А).

Материалы работы частично использовались в реализации научных программ, направленных на современную оценку экологической ситуации территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.

Полученные данные могут быть использованы в качестве учебного материала по дисциплинам «Экология», «Радиобиология», «Медицинская геология» и другим.

Степень разработанности темы исследования. Достаточно большое количество исследований посвящено изучению долговременных последствий деятельности полигонов испытания ядерного оружия. Территория, прилегающая к Семипалатинскому испытательному полигону, нормирована по уровням радиационного риска, установленным с учетом дозовых нагрузок на население, которое проживает на ней. Современная концепция радиационной защиты предполагает включение не только человека, но и компонентов экосистемы, территории его обитания. В этом контексте для территории, прилегающей к СИП, не существует оценочных уровней элементного состава компонентов экосистемы, в том числе тканей человека.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа написана на основе результатов исследований, выполненных лично автором совместно с научным руководителем, профессором отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, доктором биологических наук Н. В. Барановской и с сотрудниками Научно-исследовательского института радиационной медицины и экологии некоммерческого акционерного общества «Медицинский университет Семей» (Республика Казахстан).

Исследования проводились в период с 2013 г. по 2018 г. на территориях г. Томска Российской Федерации и Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан.

Диссертация базируется на результатах анализов компонентов экосистемы, таких как почва, полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.), солевые отложения питьевой воды, молоко и мышечная ткань крупного рогатого скота, кровь и волосы человека.

При отборе каждого образца ткани (кровь, волосы) зарегистрированы данные на исследуемого человека: ФИО, дата рождения, адрес проживания, время проживания на данной территории, анамнез заболеваний и другие данные, обеспечивающие полноту информации о респондентах.

В ходе исследований применялись следующие методы анализа: метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в ядерно-геохимической лаборатории, функционирующей на базе исследовательского ядерного реактора Национального исследовательского Томского политехнического университета (аналитик – старший научный сотрудник А. Ф. Судыко); метод сканирующей электронной микроскопии в Международном инновационном научно-образовательном центре (МИНОЦ) «Урановая геология» при отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-3400N со спектрометром ЭДС Bruker X@Flash 4010/5010 и на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с приставкой EDS Bruker и Tescan Vega 3 SBU с приставками EDS фирмы Oxford, съемка в отраженных BSE и вторичных SE электронах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Региональная специфика территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, отражается в накоплении Zn и U в составе компонентов экосистемы: почва, полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.), солевые отложения питьевой воды, молоко и мышечная ткань крупного рогатого скота, кровь и волосы человека.

2. Показатели накопления химических элементов в крови и волосах человека имеют зависимость от дозовых нагрузок, установленных для территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону. В волосах человека,

проживающего на территориях, расположенных на пути прохождения следов основных дозообразующих ядерных испытаний, накапливаются такие химические элементы, как U, Lu, Ce, La.

3. Матрица сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, состоит из O, Cl, K, Na, S, Si, Ca. Для сухого остатка крови человека, проживающего на территории с зоной чрезвычайного радиационного риска, характерны содержания микроминеральных фаз, представленных фосфатами редкоземельных элементов, таких как La, Ce, Nd, Sm.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XX, XXI, XXII, XXIII ежегодных Международных научных симпозиумах имени академика М. А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2016, 2017, 2018, 2019), V Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2016), XI, XII, XIII Международных научно-практических конференциях «Экология. Радиация. Здоровье» (Семей, Республика Казахстан, 2015, 2016, 2017), III международной школе-семинаре для молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах» (Тюмень, 2018), международной научно-практической конференции «Достижения радиобиологии – медицине (Челябинск, 2018), международной научной конференции «Радиобиология: Вызовы XXI века», посвященной 30-летию Института радиобиологии (Гомель, Республика Беларусь, 2017), международной научно-практической конференции «Современные инновационные подходы в модернизации медицинского образования, науки и практики» (Семей, Республика Казахстан, 2018).

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечена достаточным количеством проб, проанализированных в лабораториях, прошедших соответствующую аттестацию и аккредитацию. Анализ проб проводился с применением стандартных образцов сравнения. При этом проводился внутренний и внешний контроль путем

дублирования. Относительная погрешность определения значительной части определяемых химических элементов не превышала 10–20 %.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты диссертационного исследования представлены в 16 публикациях, в том числе 3 статьи опубликованы в российских научных журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для опубликования основных результатов диссертаций (из них 1 статья – в российском научном журнале, входящем в международную базу данных Web of Science).

Личный вклад автора заключается: в непосредственном участии в отборе и подготовке к анализу образцов почвы, полыни холодной (*Artemisia frigida* Willd.), солевых отложений питьевой воды, молока и мышечной ткани крупного рогатого скота, крови и волос человека; в аналитической обработке полученных данных, в проведении литературного обзора и теоретическом осмыслении полученных результатов с учетом литературных данных, в формулировке защищаемых положений.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и приложения, изложена на 146 страницах, содержит 45 рисунков и 28 таблиц. Список литературы составляет 237 наименований, из которых 77 – на иностранном (английском) языке.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность научному руководителю профессору отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, доктору биологических наук, доценту Н. В. Барановской за поддержку и всестороннюю помощь в организации научно-исследовательских работ, проведенных в рамках подготовки диссертации. Отдельную благодарность автор выражает директору Научно-исследовательского института радиационной медицины и экологии некоммерческого акционерного общества «Медицинский университет Семей» (Республика Казахстан), доктору биологических наук, профессору К. Н. Апсаликову за научное консультирование по вопросам

ретроспективной оценки радиоэкологической обстановки исследуемой территории в целях определения актуальных направлений нашего исследования. Огромную признательность автор выражает ведущему научному сотруднику НИИ радиационной медицины и экологии некоммерческого акционерного общества «Медицинский университет Семей» (Республика Казахстан), кандидату биологических наук А. В. Липихиной за помощь в организации и проведении научно-исследовательской работы, за ценные советы по подготовке материалов. Отдельную благодарность автор выражает профессору отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, доктору геолого-минералогических наук, профессору Л. П. Рихванову за ценные советы в ходе проведения исследовательской работы, профессору отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, доктору геолого-минералогических наук С. И. Арбузову, доценту отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, кандидату геолого-минералогических наук И. С. Соболеву, доценту отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, кандидату геолого-минералогических наук Д. М. Юсупову за консультации при выполнении работы. Автор благодарен за аналитическую помощь в ходе проведения электронно-микроскопического анализа аналитику МИНОЦ «Урановая геология» при отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета С. С. Ильенку, доценту отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, кандидату геолого-минералогических наук Т. Ю. Якич. Автор выражает благодарность за проведение лабораторных исследований аналитику МИНОЦ «Урановая геология» А. Ф. Судыко. Отдельную благодарность и уважение автор выражает коллегам, друзьям и близким за помощь и поддержку.

Глава 1. Современная эколого-геохимическая оценка территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

1.1. Геоэкологическая обстановка исследуемой территории

Экологическая ситуация исследуемой территории, главным образом, обусловлена тем, что она находится в непосредственной близости от Семипалатинского испытательного полигона. Административно эта территория относится к Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской областям Республики Казахстан. Семипалатинский испытательный полигон расположен в 130 километрах северо-западнее г. Семей (ранее г. Семипалатинск), на левом берегу реки Иртыш (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Обзорная карта географического расположения СИП

На сегодняшний день в пределах территории СИП расположен город Курчатов, который ранее был закрытым городом. Представить уровень негативного воздействия Семипалатинского испытательного полигона на окружающую среду можно по числу произведенных на его территории испытаний ядерного оружия. В таблице 1.1 приведены сравнительные данные общего числа произведенных испытаний на полигонах бывшего СССР с аналогичными данными для испытательных полигонов ядерного оружия других стран.

Таблица 1.1 – Сравнительная оценка общего количества произведенных испытаний на полигонах бывшего СССР с мировыми данными [по Булатову, 1996]

Страна	%	Всего взрывов	В том числе в атмосфере	Мощность тротилового эквивалента, Мт
СССР	34,7	715	212	254
США	52,7	1085	200	141
Франция	8,8	182	45	–
Великобритания	2,0	42	22	–
Китай	1,7	35	22	12,7
Всего	100	2059	501	407,7

Следует отметить, что к данным, приведенным в таблице 1.1, стоит относиться как к заниженным [Булатов, 1996]. В целом из таблицы видно, что по количеству произведенных испытаний бывший СССР – на втором месте после США. При этом общая мощность тротилового эквивалента ядерных испытаний, проведенных в бывшем СССР, составляет 254 Мт, в то время как данный показатель для США составляет 141 Мт. Таким образом, видно, что бывший СССР был одним из самых мощных ядерных держав в мире.

Семипалатинский испытательный полигон не был единственным полигоном в бывшем СССР. Существовал еще один суперполигон – Новая Земля. Кроме того, функционировали: ряд подземных площадок ядерных испытаний в промышленных целях; полигоны малого масштаба, такие как Азгир, Тайсойган и Жамансор в Гурьевской области, Эмба-5 – в Актюбинской области, Капустин Яр – на стыке Уральской и Волгоградской областей, Вега – в Астраханской области, Чебаркуль – в Челябинской области, Агат – в Архангельской области. По литературным данным, на территории бывшего СССР в 1990 г. было 24 ядерных полигона, и выделение Семипалатинского и Новоземельского полигонов как суперполигонов – вполне оправданно [Информационный материал ... вооружения, 1992]. В таблице 1.2 представлена сравнительная оценка мощности Семипалатинского испытательного полигона с испытательными полигонами мира.

Таблица 1.2 – Сравнительная оценка мощности Семипалатинского полигона с испытательными полигонами мира [по Булатову, 1996]

Полигон	Всего испытаний	В том числе атмосферных	В том числе подземных	В том числе подводных
Невада (США)	925	100	825	–
Мурора (Франция)	175	41	134	–
Лобнор (Китай)	40	22	18	–
Новая земля (СССР)	129	87	42	3
Семипалатинский полигон (СССР)	478	121	357	–

Из таблицы видно, что по количеству произведенных испытаний Семипалатинский испытательный полигон занимает 2 место в мире. Согласно литературным данным, в совокупности мощность зарядов ядерного оружия, испытанного с 1949 по 1963 годы на СИП, оценивается в 2500 раз выше мощности атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму [Дубасов и др., 1994].

Таким образом, из приведенных данных видно, что Семипалатинский испытательный полигон был одним из самых масштабных полигонов мира.

В результате его деятельности были подвержены радиоактивному загрязнению обширные территории Казахстана и Российской Федерации [Гордеев, 1997 ; Логачев, 2000].

Территории, загрязненные в результате деятельности СИП, исследуются при условном разделении на две части. Первая часть – территория непосредственно самого СИП. Вторая – территория, прилегающая к СИП. Если площадь первой из рассматриваемых территорий точно известна, составляет 18500 км², то площадь второй рассматриваемой территории оценить достаточно сложно. Причиной этому является неравномерный характер загрязнения данных территорий в результате выпадения радиоактивных продуктов после ядерного взрыва.

Во время наземного ядерного взрыва образуется высокотемпературный шар, который, вовлекая в себя большое количество грунта, активизирует его и поднимает в воздух. Высота подъема активированного грунта зависит от нескольких факторов, таких как мощность взрыва и метеорологические

условия во время испытания. Так, в случае проведения взрыва мощностью 100 кт радиоактивное облако поднимается на высоту от 10 до 12 км. При испытаниях с мощностью больше 100 кт высота подъема радиоактивного облака составляет около 17 км. Выпадение продуктов ядерного взрыва начинается сразу после взрыва. В непосредственной близости от эпицентра взрыва выпадают радиоактивные частицы с диаметром ≥ 1 см. При этом радиоактивное загрязнение местности полигона не является повсеместным, а приурочено непосредственно к местам проведения наземных ядерных взрывов, которые обусловили максимальное загрязнение земной поверхности в пределах самих опытных площадок. Впоследствии в пробах почв, отобранных вблизи воронок, были обнаружены техногенные радионуклиды ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ [Айдарханов, 2016].

В течение 10–20 часов после проведения ядерного взрыва происходит выпадение мелких радиоактивных частиц, формируя локальные загрязнения. Протяженность таких следов составляет несколько сот километров.

В начальном периоде времени для определения масштабов радиоактивного загрязнения в пределах локальных выпадений достаточно применения радиометрических приборов.

Высота подъема более мелких радиоактивных частиц размерами менее 5 мк достигает верхних слоев тропосферы, образуя так называемые тропосферные радиоактивные осадки. Перенос и выпадение этих частиц с воздушными потоками достигает тысячи километров, формируя глобальное радиоактивное загрязнение. Период полуочищения тропосферы от радиоактивных частиц составляет около 20 дней. Таким образом, полное выпадение радиоактивных частиц из тропосферы происходит в течение 2 месяцев.

Риск радиационного загрязнения окружающей среды в результате ядерных испытаний сохраняется достаточно долго. Об этом свидетельствуют данные научных открытий, сделанных в 1958 году, согласно которым, в свободной атмосфере могут присутствовать радиоактивные микроскопические пылевые частицы (в диаметре от 0,01 до 0,001 мм), которые были названы «горячими

частицами». Общая радиоактивность таких «горячих частиц» варьирует от 10 до 10 000 Бк [Грейб, 1994]. «Горячие частицы» могут долго находиться в атмосфере и пероральным и ингаляционным путем поступать в организм человека. В силу наноразмерности при определении масштабов загрязненных территорий «горячими частицами» необходимо применение сложных высокоточных и чувствительных методов анализа.

Таким образом, при радиоэкологической оценке территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, необходимо учитывать, что его техногенное влияние на окружающую среду сложно и многообразно. Методы радиоэкологической оценки должны быть направлены на выявление индикаторов воздействия ядерного техногенеза на биосферу на различном расстоянии от полигона.

1.2. Загрязнение территории Семипалатинского испытательного полигона

На рисунке 1.2 представлена общая карта территории Семипалатинского полигона с указанием наиболее загрязненных участков [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана, 2010].

Видно, что характер загрязнения территории полигона имеет неравномерный, «пятнистый» характер. Наиболее загрязненные участки территории полигона имеют вид двух продольных линий, протягивающихся от «Опытного поля» к юго-востоку и к югу полигона. Стоит отметить, что на юго-восточной части Семипалатинского испытательного полигона плотно размещены зимовки, некоторые из них расположены непосредственно на наиболее загрязненных участках. В восточной части полигона расположено угольное месторождение «Каражыра».

На сегодняшний день проведена масштабная работа по оценке радиоэкологической обстановки территории полигона: выявлены наиболее радиоактивно загрязненные участки, оценены риски радиоактивного загрязнения, связанные с миграционными способностями радионуклидов. Установлено, что

^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ могут генерироваться как в грубых, так и в мельчайших фракциях почвы [Kabdyrakova и др., 2018]. Рассчитаны коэффициенты переноса радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ в системе почва – растительный покров [Larionova и др., 2018]. Результаты исследований открытых водных объектов, расположенных на территории СИП, показали, что радиоактивное загрязнение некоторых поверхностных водных объектов происходило в результате вымывания загрязненной почвы местности, на которых она образовалась [Aidarkhanova и др., 2018].

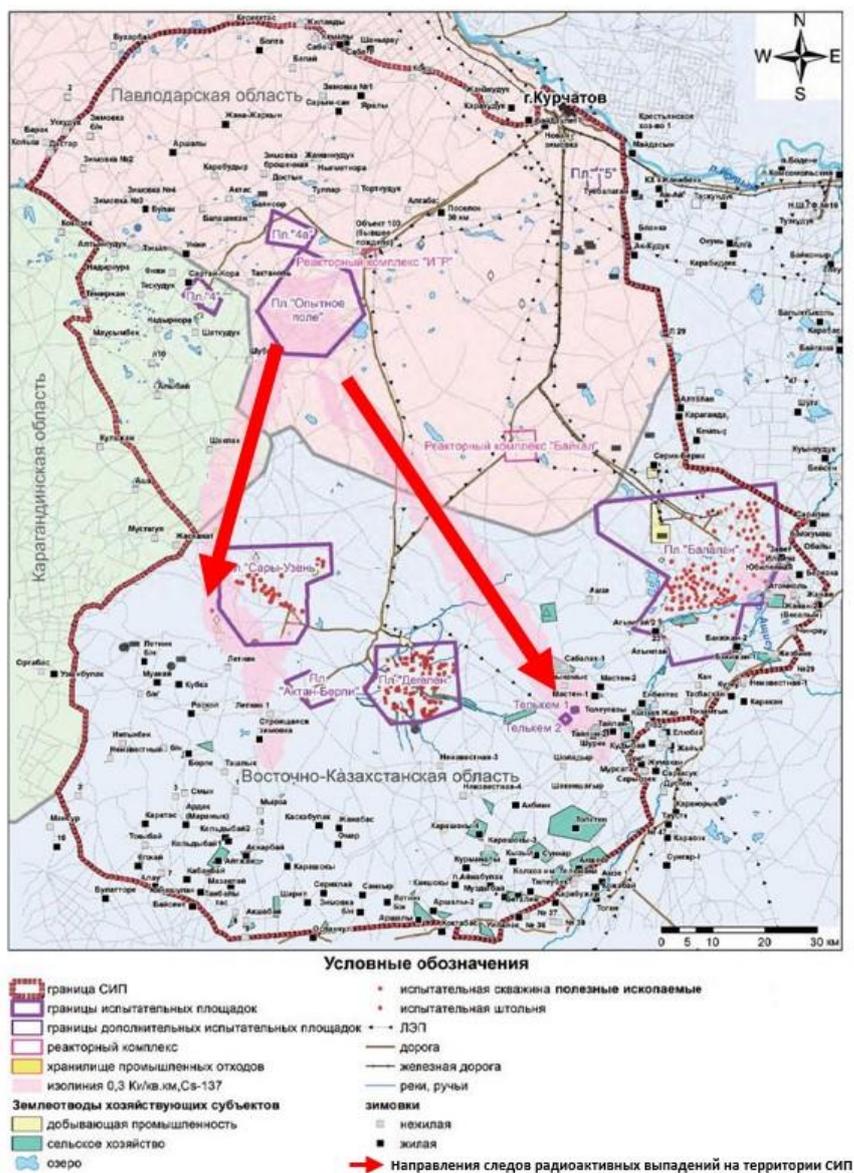


Рисунок 1.2 – Общая карта территории Семипалатинского полигона [Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана, 2010, с изменениями]

Одной из приоритетных задач радиоэкологических исследований на территории СИП является изучение гидрогеохимических процессов миграции радионуклидов в окружающей среде, которые проходят в поверхностных водотоках и подземных водах. Последние исследования показали, что интенсивность миграции радионуклидов в поверхностных водах определяется их формами нахождения. Так, показано, что ^{137}Cs в воде мигрирует в коллоидной и растворенной формах, ^{90}Sr – преимущественно в растворенной форме. Фракционирование $^{239+240}\text{Pu}$ характерно для каждого исследованного водоема на территории СИП [Торопов, 2018].

Задача эколого-геохимической оценки территории Семипалатинского испытательного полигона усложняется тем, что кроме техногенных радионуклидов в подземных водах данной территории наблюдаются аномально высокие концентрации некоторых редкоземельных элементов и тяжелых металлов, таких как бериллий и молибден. На сегодняшний день вопросу изучения возможности разработки месторождений и добычи полезных ископаемых на территории СИП ученые придают немалое значение [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана, 2011].

Согласно результатам инженерно-геологических и геофизических исследований, при проведении ядерных испытаний происходят следующие механические эффекты: 1) образование камуфлетной полости, формирующейся в результате вытеснения среды продуктами взрыва; 2) разрушение горных пород; 3) образование зон интенсивной трещиноватости; 4) нарушение режима подземных вод [Спивак, 2004]. В связи с этим, вполне возможно, что значительно высокие концентрации ряда микроэлементов в подземных водах отражают влияние природно-техногенного фактора.

Таким образом, в целом в настоящее время территорию СИП также условно разделяют на две зоны: первая – сложная, это участки непосредственного расположения технических площадок, вторая – так называемые «фоновые» участки территории. В них активности радионуклидов в объектах окружающей среды не превышают фоновых значений. Доля таких участков от всей территории

полигона составляет около 90 %. Это означает, что плотность радиационного загрязнения данной территории имеет неравномерный, «пятнистый» характер [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана, 2011].

1.3. Загрязнение территории за пределами Семипалатинского испытательного полигона

На начальном этапе проведения испытаний, с 1949 по 1959 годы, радиоэкологическая оценка территории, прилегающей к СИП, заключалась только в измерении мощности дозы гамма-излучения. Радиоэкологическая разведка проводилась целенаправленно, по следам прохождения радиоактивных облаков. Эти территории включали в себя 15 районов и 75 населенных пунктов [Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана, 2010]. В этот период все исследования проводились под грифом секретности. Многие научные данные – отчеты о результатах проведения оценки радиационной обстановки за пределами полигона в разные годы, воспоминания лиц, принимавших непосредственное участие в создании полигона, участников медико-биологических исследований после отдельных ядерных испытаний – начали публиковаться только после распада бывшего СССР [Логачев, 1997 ; Куликов, 1998].

Как показывают результаты ранее проведенных исследований, радиоактивное загрязнение территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, произошло в результате выноса радиоактивных следов 113 атмосферных испытаний за пределы полигона (1949–1962 гг.). Из них определяющий вклад в радиоактивное загрязнение природной среды и формирования доз облучения населения, проживающего на прилегающих к СИП территории, внесли 11 атмосферных ядерных взрывов [Гордеев, 1997]. Только при этих взрывах могли создаваться условия облучения населения, превышающие допустимые нормы. Одним из наиболее мощных испытаний стал термоядерный взрыв, проведенный 12.08.1953 (400 кт). После данного взрыва произошло максимально масштабное радиоактивное загрязнение, достигшее территории восточного Казахстана, юга Алтайского края, некоторых частей

Новосибирской и Кемеровской областей. По некоторым данным, след от взрыва, произведенного 12.08.1953, дошел до озера Байкал и Республики Тува [Колядо, 1998 ; Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана, 2010] (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Перечень атмосферных ядерных взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, после которых эффективная доза за пределами полигона могла составить или превысить 5 мЗв [Гордеев, 1997]

№ взрыва	Дата проведения	Вид взрыва	Тротильный эквивалент, кт
1	29.08.1949	Наземный	22
2	24.09.1951	Наземный	38
3	12.08.1953	Наземный	400
4	05.10.1954	Наземный	4
5	30.10.1954	Наземный	10
6	29.07.1955	Наземный	1,3
7	02.08.1955	Наземный	12
8	16.03.1956	Наземный	14
9	24.08.1956	Наземный	27
10	22.08.1957	Воздушный	520
11	07.08.1962	Наземный	9,9

На рисунке 1.3 изображены основные направления следов ядерных испытаний, которые внесли основной вклад в образовании доз облучения населения в результате наземных и воздушных ядерных испытаний [Дубасов и др., 1994].

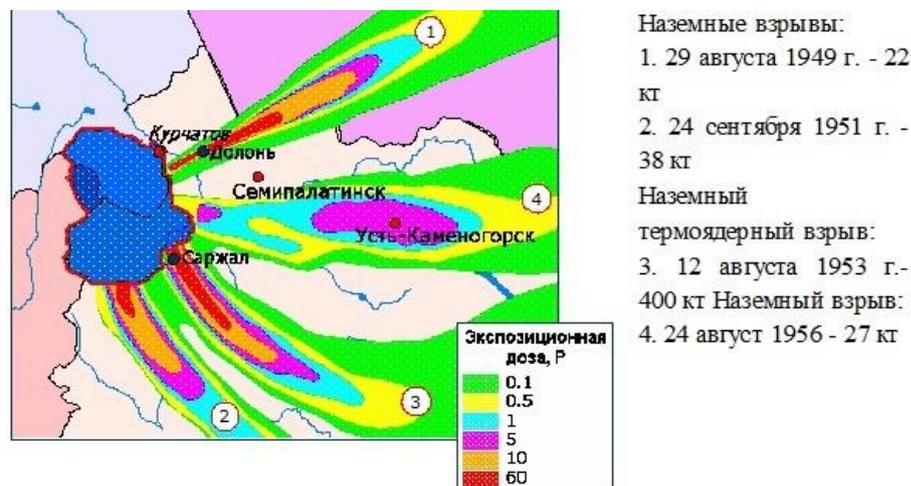


Рисунок 1.3 – Схема направления следов основных дозообразующих ядерных испытаний по Ю.В. Дубасову и др. [Дубасов и др., 1994]

Радиоэкологическая оценка территории, прилегающей к СИП, всесторонне изучалась учеными разных стран, таких как Российская Федерация, США, Австрия, Франция, Чехия, Словения, Германия, Япония, Казахстан, а также международных организаций МАГАТЭ, НАТО и др. В этих исследованиях, в основном, изучались отдаленные последствия проведенных ядерных и других испытаний в более 600 населенных пунктах, расположенных на территории, прилегающей к СИП. Первое время объектами исследования чаще всего были компоненты природной среды и продукты питания.

В период 1953–1996 гг. детальные исследования радиационной обстановки территорий за пределами СИП также проводились в Научно-исследовательском институте радиационной медицины и экологии, г. Семей (бывший Семипалатинск) Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. В годы функционирования СИП институт осуществлял свою деятельность под грифом абсолютной секретности и именовался как «Диспансер № 4» Министерства здравоохранения СССР.

Согласно архивным данным института, загрязнение поверхностного слоя грунта на территории, прилегающей к СИП, носит сложный, неравномерный характер. При этом в динамике наблюдается снижение удельной суммарной активности почвы. На рисунке 1.4 представлена динамика изменения суммарной активности радионуклидов почвы с. Саржал.



Рисунок 1.4 – Динамика изменения удельной суммарной активности почвы с. Саржал [«Отчет о научно-исследовательской работе...», 1997]

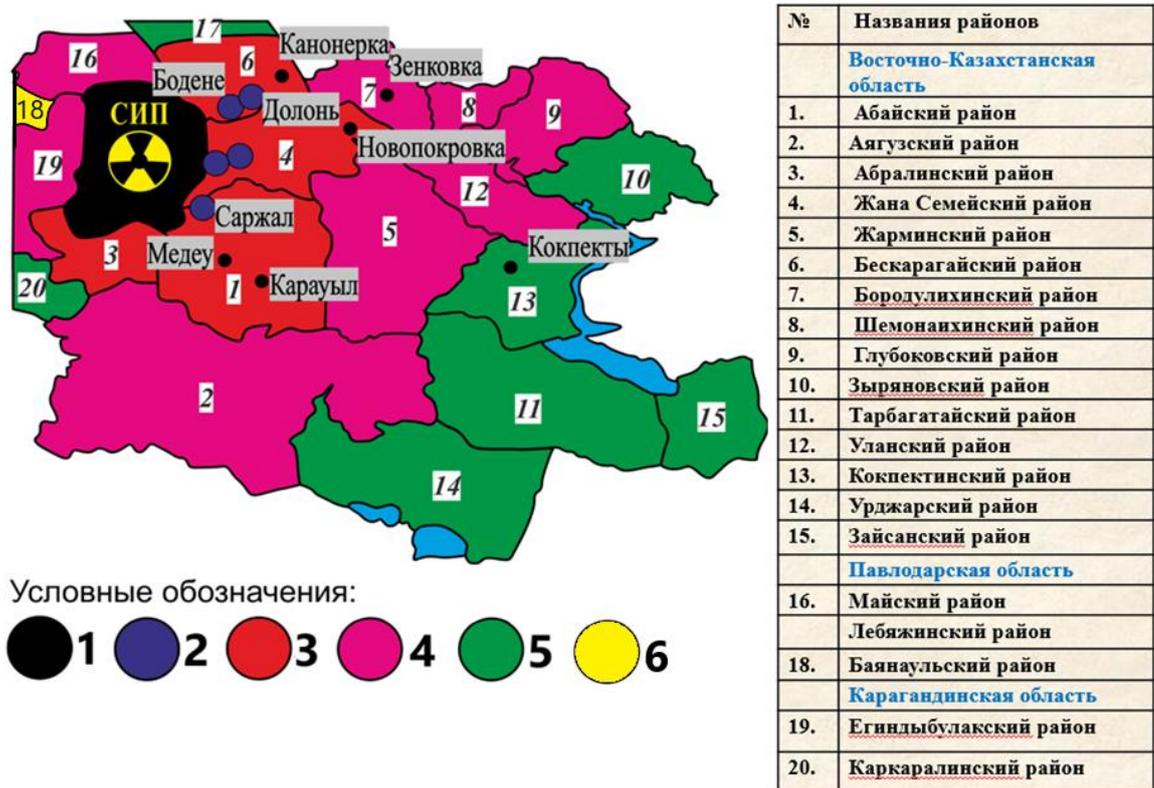
Как видно из рисунка, с 1953 по 1967 гг. удельная суммарная активность почвы на всей территории наблюдаемой зоны уменьшилась в среднем в 1774 раз, с 1965 по 1978 – в 787 раз. С 1963 по 1994 активность ^{90}Sr снизилась в среднем в 2,3 раза, ^{137}Cs – в 1,2 раза. Стоит отметить, что подобная картина наблюдалась и для остальных населенных пунктов, вошедших в наши исследования [Отчет о научно-исследовательской работе ..., 1997].

На основании всех ранее проведенных исследований в 1992 году Правительством Республики Казахстан был принят Закон «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне». Согласно данному Закону, территория, подвергшаяся влиянию Семипалатинского испытательного полигона, была нормирована по уровням радиационного риска [Закон Республики Казахстан № 1787-ХІІ, 18.12.1992]. Под словом «риск» понимается вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного последствия в результате облучения [Санитарно-эпидемиологические требования ..., 2015].

На рисунке 1.5 показана схема разделения территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, на зоны радиационного риска с указанием мест расположения населенных пунктов, вошедших в наши исследования. Как видно из рисунка, территории, нормированные по зонам радиационного риска, включают 20 районов, входящих в Восточно-Казахстанскую, Павлодарскую и Карагандинскую области Республики Казахстан.

Уровень радиационного риска характеризуется эффективной дозой (E) – величиной, которая используется как мера риска появления стохастических и детерминированных эффектов ионизирующего излучения на организм человека и отдельные его органы. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. При нормировании эффективных доз облучения человека используются миллизиверты (мЗв). Так, согласно законодательству Республики Казахстан, степень радиационной безопасности населения от природных источников оценивается исходя из следующих значений эффективных доз облучения:

при дозах < 2 мЗв/год облучение оценивается как не превышающее среднее значение доз для населения страны, при дозах от 2 до 5 мЗв/год облучение оценивается как повышенное, при дозах 5 мЗв/год – как высокое. Индивидуальная годовая эффективная доза облучения природными источниками излучения рабочего персонала производственных предприятий не должна превышать 5 мЗв [Санитарно-эпидемиологические требования ..., 2015].



1 – территория Семипалатинского испытательного полигона; 2 – зона чрезвычайного радиационного риска; 3 – зона максимального радиационного риска; 4 – зона повышенного радиационного риска; 5 – зона минимального радиационного риска; 6 – территория со льготным социально-экономическим статусом

Рисунок 1.5 – Схема разделения территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, на зоны радиационного риска [Закон Республики Казахстан № 1787-ХІІ, 18.12.1992]

Среднемировой показатель дозы облучения от природных источников, накопленной на душу населения за год, равен 2,4 мЗв (от 1 до 10 мЗв). Вариации доз облучения населения от природных источников по данным Организации объединенных наций (ООН) приведены в таблице 1.4 [United Nations, 2000].

Таблица 1.4 – Дозы облучения от основных природных источников [United Nations, 2000]

Источник	Доза облучения	Примечания
Космические лучи	от 0,3 до 1,0 мЗв	в зависимости от высоты над уровнем моря
Внешние источники гамма-излучения	от 0,3 до 0,6 мЗв	в зависимости от радионуклидного состава
Внутренние источники облучения от ингалируемых атмосферных радионуклидов	от 0,2 до 10 мЗв	в зависимости от концентрации радона в воздухе помещения
Внутренние источники облучения от инкорпорированных радионуклидов	от 0,2 до 0,8 мЗв	главным образом от радона, в зависимости от радионуклидного состава продуктов питания и питьевой воды

На территории Республики Казахстан по ориентировочным оценкам проживает 1 438 523 человек, пострадавших от деятельности СИП, и их потомков. Из них 607 241 человек (42,2 %) – потомки третьего и последующих поколений, родившиеся после закрытия СИП. По расчетным данным, 417 066 человек (29 %) получили дозовую нагрузку до 5 сЗв (50 мЗв). В основном это лица 2 поколения, родившиеся от облученных родителей или проживавшие на территории, прилегающей к СИП, в период проведения подземных испытаний, а также лица 1 поколения, проживавшие на территориях с минимальным уровнем радиационного риска. Кроме того, 249 464 человек (17,3 %) получили дозовую нагрузку от 5 до 25 сЗв (от 50 до 250 мЗв). Это лица 1 и 2 поколения, проживавшие в период функционирования СИП на территориях с повышенным уровнем радиационного риска. Также оценивается, что 164 752 человек (11,5 %) получили дозовую нагрузку свыше 25 сЗв (свыше 250 мЗв). Данная группа представлена лицами 1 поколения, проживавшими на территории, прилегающей к СИП, в период проведения атмосферных и наземных испытаний [Липихина, 2005].

За 34 года после формирования эффективных доз облучения среди населения Восточно-Казахстанской области зафиксировано 3606 дополнительных случаев смерти. Из общего количества зафиксированных дополнительных случаев

смерти 1156 (32 %) – от общих соматических заболеваний, 2450 (67,9 %) – от онкологических заболеваний. Всего избыток смертности среди облучавшегося населения составил 21,1 %. Уровень общей заболеваемости среди представителей облученной части населения и их потомков имеет двукратное превышение над показателями группы сравнения [Доскалиев, 2002].

Таким образом, несмотря на то, что с момента прекращения проведения испытаний на СИП прошло около 30 лет, проблема оценки радиологической ситуации на прилегающей к нему территории на сегодняшний день остается актуальной.

Согласно ретроспективным данным, в настоящее время на территории, прилегающей к СИП, наблюдается существенное снижение радиационного риска за счет снижения активности радионуклидов в окружающей среде. Вместе с тем необходимо понимать, что через десятилетия после окончания испытания ядерного оружия произошел не только распад короткоживущих и среднеживущих техногенных радионуклидов, но и их миграция в более глубокие горизонты почв, подземных вод, либо в процессе площадной эрозии в поверхностные воды, впадины и другие отрицательные формы рельефа.

Поэтому, с учетом прошедшего времени, для объективной экологической оценки состояния окружающей среды на территории, прилегающей к СИП, необходимо проведение детального изучения элементного состава компонентов экосистемы, отражающего уровень не только радиационного, но и химического загрязнения, связанного с природной спецификой данной территории. На сегодняшний день отсутствует комплексная оценка элементного состава компонентов экосистемы на территории, прилегающей к СИП.

Глава 2. Элементный состав тканей человека как индикатор изменения экологической ситуации

Население, проживающее на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, подвергается воздействию не только радиационного, но и химического загрязнения. В связи с этим, при радиоэкологической оценке данной территории, наряду с изотопным составом, необходимо изучение химического состава компонентов окружающей среды. При этом в комплексе с компонентами окружающей среды целесообразно изучение биологических объектов, в том числе тканей человека, так как, прежде всего, полифакторное воздействие окружающей среды отражается на организме человека [Барановская и др., 2015 ; Игнатова, 2010 ; Дрогобужская, 2017].

Современные исследования, проведенные как непосредственно на самом полигоне, так и на территории вокруг него, направлены на изучение механизмов миграции, накопления радионуклидов в отдельных средах на локальных участках, а также других отдаленных поствзрывных эффектов ядерных и других испытаний. Так, проведен комплексный радиоэкологический мониторинг территории, расположенной вблизи СИП, где объектами исследования являлись почва, растения и продукты питания местного производства. В данных компонентах оценены удельные активности радионуклидов, таких как ^{241}Am , ^{137}Cs и $^{239/240}\text{Pu}$ [Дюсембаев и др., 2017]. Также оценены активности ^{137}Cs в почве, воде, растительности и коровьем молоке в 10 точках трех регионов (Абай, Аягуз и Урджар), которые расположены к юго-востоку от СИП [Kakimov и др., 2016]. Показано, что содержания техногенных радионуклидов в продуктах сельскохозяйственного производства на территории, прилегающей к СИП, варьируют в пределах $n \times 10^{-2} - n \times 10^0$ Бк/кг, а в почве не превышают уровней глобальных выпадений [Кожуханов, Лукашенко, 2017]. Рассчитаны коэффициенты переноса радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ в системе почва – растительный покров [Larionova и др., 2018].

В последнее время, наряду с объектами окружающей среды, в качестве индикаторов радиоактивного воздействия изучаются ткани человека. Важность и преимущество изучения элементного состава тканей человека в решении экологических задач отмечается рядом авторов [Ковальский, 1987 ; Жук, 1991 ; Авцын, 1991 ; Скальный, 2000 ; Ревич, 2005 ; Гичев, 2003 ; Сусликов и др., 2009 ; Вольфсон, 2015 ; Рихванов и др., 2011 ; Агаджанян, 2011 ; Барановская, 2015]. Так, в качестве индикаторов радиоактивного воздействия, связанного с профессиональной деятельностью, применяются ногти и волосы человека [Brown et al., 2017].

Кроме того, изучение обмена химических элементов в организме человека дает возможность оценивать эффективность работы его морфофизиологических систем, риски появления различных патологий и может использоваться в целях донозологической диагностики [Ревич, 2005]. Отмечается, что определение элементного состава тканей человека позволяет решить ряд медико-биологических проблем, связанных с наблюдением за динамикой изменения здоровья человека, оценкой эффективности применяемых методов лечения, созданием различных когорт по состояниям дефицита и избытка микроэлементов в организме человека, скрининговыми исследованиями населения, с оценкой миграции микроэлементов в системе «окружающая среда – организм человека», нормированием территории по экологической обстановке [Аушева, 2008].

Одной из тканей организма человека, наиболее чувствительных к изменениям состояния окружающей среды, является кровь. Микроэлементный состав данной ткани во многом отражает суммарное поступление загрязняющих веществ в организм [Elinder, 1990]. Рядом ученых микроэлементный состав крови человека оценивается как звено, связывающее биогеохимические данные с результатами физиологических исследований [Савченко и др., 2000 ; Барановская, 2003 ; Дрогобужская, 2017]. Выявлено, что в районах с высокой сосредоточенностью промышленных предприятий различного профиля в крови человека в повышенных количествах накапливаются химические элементы, отражающие особенность технологического процесса производства [Саэт и др., 1991 ; Ревич, 1995 и др.].

Отмечаются также методологические преимущества отбора и подготовки, а также индикаторные свойства крови человека для определения следовых концентраций элементов, в том числе тяжелых металлов [Heitland, Koster, 2006 ; Arif, 2013 и др.].

Одной из тканей организма человека, применяемых в качестве индикаторов эколого-геохимического состояния территории, являются волосы [Жук, Кист, 1991 ; Куценогий и др., 2010]. Микроэлементный состав волос человека характеризует минеральный обмен его организма, в то время как микроэлементный состав крови экранизирует изменения, происходящие в элементном статусе [Мжельская, Ларский, 1983]. Исследования показали, что в волосах человека, проживающего на территории, прилегающей к комплексу предприятий, в том числе предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), отмечается неравномерное накопление редкоземельных элементов [Барановская, 2003].

Для целей экологического мониторинга и в работах, направленных на выявление индикаторных свойств элементного состава компонентов экосистемы, изучаются самые разные биологические объекты. Так, в работе Ю. Е. Саета с соавторами [Саета и др., 1990] представлен материал по чувствительности ряда биосубстратов человека для целей оценки воздействия избытка поступления в организм, в том числе на территориях, подверженных антропогенному воздействию. Из приведенных данных можно отметить, что по большинству элементов ткани человеческого организма являются достаточно информативными (таблица 2.1).

Таким образом, вопрос изучения элементного состава крови и волос человека как индикаторов изменения среды его проживания имеет значимое научно-теоретическое обоснование.

Индикаторные свойства крови и волос человека, выявленных в ранее проведенных исследованиях, определяют важность и необходимость их применения в экологической оценке территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, в комплексе с другими объектами экосистемы. При этом следует учитывать, что элементный состав волос человека является депонирующей средой, в то время как элементный состав крови человека формируется в зависимости от широкого спектра условий его жизни.

Таблица 2.1 – Информативность диагностических биосубстратов для оценки воздействия химических элементов на человека [по Ю. Е. Саэт и др., 1990]

Элемент	Кровь	Моча	Волосы	Ногти	Зубы
F	–	++	++	–	++
Cr	+	+	+	+	+
Mn	+	+?	++	–	–
Co	+	–	+×	+	–
Ni	+×	+×	+×	–	–
Cu	+×	+	+×	+×	+
Zn	–	+	+×	+	+
As	+×	+	++	+	–
S	–	+	+	+	–
Cd	+×	++	+	+	+?
Sb	–	–	+	–	–
Hg	+	++	+	+	–
Pb	++	+	++	+	++

Примечания: «++» увеличение содержания элементов в данном биосубстрате проявляется раньше, чем в других, и корреляционные связи с показателями среды всегда надежны; «+» увеличение содержания проявлено четко, но корреляционные связи с показателями среды выражены слабее; «+×» увеличение содержания проявлено только при высоких уровнях воздействия; «+?» данные противоречивы; «–» данные отсутствуют.

Так, специфика характера питания, обусловленная климатическими и географическими условиями жизни, во многом определяет элементный состав крови человека. Например, в крови эскимосов, коренных жителей северных регионов России, выявлены повышенные концентрации Se, что, скорее всего, связано с активным употреблением эскимосами в пищу морских продуктов, обогащенных этим элементом [Куценогий и др., 2010]. Содержание ртути в крови жителей Швеции и Италии, где традиционно высокий уровень потребления рыбы, были сравнительно выше, чем в крови жителей Германии, где уровень потребления рыбы сравнительно ниже [Becker et al., 2001]. Аналогичные заключения сделали корейские ученые Jong Wha Lee et al., исследовавшие элементный состав крови и мочи жителей Кореи. По результатам их исследований, содержание ртути в крови жителей Кореи было сравнительно

выше, чем в крови европейского и американского населения, что связано, по мнению авторов, с большим потреблением морепродуктов [Jong Wha Lee et al., 2011]. В исследованиях, ранее проведенных нами, было показано, что накопление урана в крови человека имеет прямую корреляцию с его уровнем в питьевой воде [Джамбаев и др., 2016]. Элементный состав крови может быть разным для людей с разной группой крови и даже при разном уровне гемоглобина в крови [Жук и др., 1991]. Исследования ученых разных стран показали, что элементный состав крови человека изменяется при изменении состояния его здоровья [Pasha et al., 2018 ; Hanif et al., 2017 ; Heitland, 2006]. При этом остается мало изученным вопрос о взаимосвязи элементного состава организма человека и его состояния здоровья. Так, у людей с сахарным диабетом 2 типа наблюдалось снижение уровня меди и цинка в крови, при этом не ясно, является ли дефицит этих микроэлементов причиной возникновения сахарного диабета или данное заболевание способствует снижению их уровня [Zhanga, 2017]. Результаты исследований Charu Yadav et al., проведенные в 2017 году, показали, что значительный дефицит селена, цинка и магния в крови наблюдается на гораздо более ранней доклинической фазе в патофизиологии диабета, что укрепляет гипотезу о том, что эти минералы могут играть определенную роль в метаболизме глюкозы и инсулина, а изменение их уровня способствует дефекту этих метаболических путей. Исследования A. Pyas et al. [Pyas et al., 2015] показали, что в крови больных атеросклерозом более высокие концентрации кадмия, хрома, меди, железа и марганца по сравнению с их содержанием в крови здоровых людей. Исследования S. Hanif et al. [Hanif et al., 2017] показали, что нарушение в балансе следовых и токсичных металлов в сыворотке крови может свидетельствовать о развитии и прогрессировании заболеваний щитовидной железы [Hanif et al., 2017]. Концентрации таких элементов, как Na, K, Fe, Ca, Mg и Zn в крови больных гепатитом С были ниже, чем в крови контрольной группы [Saghir et al., 2011]. В работе О. А. Денисовой и др. [Денисова и др., 2013] показана взаимосвязь понижения содержания Sc, Fe, Co, Zn, Rb ($p < 0,001$) и повышения содержания Th ($p < 0,001$), La ($p < 0,003$) в крови у больных

с первичным проявлением саркоидоза. Были показаны ассоциации выявленных индикаторных элементов с форменными элементами крови и показателями состояния иммунной системы. Особенно отмечено влияние La и Hf на развитие саркоидоза путем воздействия на клеточные элементы крови и защитные процессы организма [Денисова и др., 2013]. Исследования показали, что в сыворотке крови больных раком шейки матки повышенные концентрации хрома, железа, никеля и меди и пониженные концентрации цинка и селена [Sarita et al., 2014].

В условиях проживания в зоне влияния разнопрофильных предприятий в крови человека отмечаются повышенные концентрации элементов, отражающих специфику производств [Саеи и др., 1990 ; Паранько и др., 2002 ; Ревич, 2005]. Данное суждение нашло подтверждение в работе германских ученых, посвященной мониторингу состояния окружающей среды, когда после принятия ряда решений по контролю промышленных выбросов свинца показали снижение концентрации этого тяжелого металла в крови в динамике с 1985 по 2001 гг. [Becker et al., 2001].

Не менее важным фактором, оказывающим влияние на формирование элементного состава биосубстратов человека, является специфика профессиональной деятельности. Так, по результатам работы А. Р. Вурне и L. Benedik, концентрации урана в крови работников производства, не защищенных от облучения, были сравнительно выше, чем у работников производства, защищенного от облучения [Вурне, Benedik, 1991]. Также при накоплении некоторых химических элементов в крови человека в условиях занятости на вредных производствах отмечается развитие профессиональных заболеваний [Рашевская и др., 1968 ; Сидельникова, 1994 и др.].

Исследования показали, что уровни концентраций химических элементов в крови человека могут зависеть от пола. Так, результаты исследования причинно-следственных связей поступления в организм человека некоторых тяжелых металлов с питьевой водой, проведенного в городе Майдугури (Нигерия), показали, что сравнительно высокие концентрации F, Cd, As, Pb и Ni в крови людей были больше связаны с возрастом и полом респондентов, чем с их

содержанием в питьевой воде [Акан, 2014]. Также, по результатам некоторых исследований, концентрации марганца в крови женщин были сравнительно выше, чем у мужчин [Clark et al., 2007].

Различные системы организма человека также могут влиять на содержание химических элементов в крови человека. Так, известно, что электролитный состав крови и тканей человека зависит от уровня метаболизма [А. Эпштейн и др., 1959]. Элементный состав крови может изменяться в зависимости от преобладания тонуса симпатической или парасимпатической системы, показателей возбудимости коры головного мозга, что говорит о том, что нервная система также является его регулятором [Коломийцева и др., 1970 и др.].

Кровь человека является одним из наиболее часто используемых тканей человека при оценке отдаленных последствий облучения. Применение этой ткани в качестве индикатора воздействия ионизирующего излучения включает в себя изучение морфологического состава периферической крови, элементного состава, а также цитогенетические исследования. Так, в архивных материалах НИИ радиационной медицины и экологии (г. Семей, Республика Казахстан), занимающегося изучением последствий облучения населения в результате деятельности СИП на протяжении более 50 лет, имеются литературные данные об оценке состояния периферической крови и состояния хромосомного аппарата лимфоцитов периферической крови у людей, в прошлом подвергшихся действию локальных радиоактивных осадков, выпавших после испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне. По результатам данных исследований, через 14 лет после воздействия ионизирующего излучения при расчетной дозе 42 рентгена внешнего гамма-излучения (без учета других видов облучения) у лиц основной группы было отмечено некоторое снижение числа эритроцитов, цветного показателя и тромбоцитов. Также при дозе внешнего гамма излучения 42–150 рентген (без учета других видов облучения) через 16–20 лет после воздействия у лиц, подвергшихся облучению, достоверно чаще встречались аберрантные клетки, и процент их выше, чем в контрольной группе. Число аберраций и разрывов на клетку было также достоверно выше у лиц

основных групп [Степучева, 1972]. Исследования показали, что количество хромосомных aberrаций на 500 клеток был выше в крови жителей со сравнительно высоким уровнем дозовых нагрузок по сравнению с контрольной территорией [Гусев, 2011]. Частота встречаемости дицентриков на 1 клетку имеет прямую зависимость от уровней облучения [Ильинских и др., 2014].

Таким образом, литературный обзор показал, что вопрос изменения элементного состава крови человека в зависимости от условий его жизни достаточно широко изучен. При этом содержания эссенциальных элементов, тяжелых металлов, токсичных элементов изучены больше, в то время как об оценочных уровнях редкоземельных элементов в крови человека в литературе данных практически нет.

Одним из наиболее сложных по своему механизму воздействия на организм человека является ионизирующее излучение. Вопрос его влияния на элементный состав крови человека мало изучен. Известно лишь то, что в условиях длительного проживания человека на территориях воздействия предприятий ядерно-топливного цикла наблюдаются накопления редкоземельных элементов, при этом остаются нерешенными ряд вопросов касательно порогов дозовых нагрузок, при которых происходит их накопление. Данный вопрос представляется актуальным при радиоэкологической оценке территории, находящейся под долговременным воздействием различных уровней дозовых нагрузок, каковой является территория, прилегающая к СИП.

Глава 3. Материалы и методика исследований

3.1. Исходный материал

Объектами исследования послужили компоненты экосистемы: почва, полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.), солевые отложения питьевой воды, мышечная ткань крупного рогатого скота (КРС), молоко КРС (коров казахской белоголовой породы), а также биосубстраты человека: волосы и кровь. Исследуемые населенные пункты – Бодене, Долонь, Канонерка, Новопокровка, Зенковка, Саржал, Медеу, Караул и Кокпекты (условно фоновая территория) Восточно-Казахстанской области – расположены на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону.

Часть материалов исследования отобрана в рамках выполнения научно-технической программы «Элементный состав природных сред и биосубстратов человека в районе влияния Семипалатинского испытательного ядерного полигона», организованной НИИ Радиационной медицины и экологии, г. Семей Восточно-Казахстанской области совместно с Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в 2013 году. Полученные данные послужили научной основой для продолжения исследований в данном направлении, требующих дополнительного отбора проб компонентов экосистемы с применением дополнительных методов анализа, а также обобщения и глубокого осмысления результатов, что послужило предпосылкой для подготовки кандидатской диссертации. Отбор проб проводился при согласовании с администрацией отделов здравоохранения исследуемых населенных пунктов по официальному обращению руководства НИИ РМиЭ.

Пробоотбор проводился в жилых дворах населенных пунктов Бодене, Долонь, Канонерка, Новопокровка, Зенковка, Саржал, Медеу, Караул и Кокпекты (фоновая территория) Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. Сводные данные о количестве отобранных компонентов экосистемы и применяемых аналитических методах исследования приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сводные данные о материалах и методах исследования

Объект исследования	Количество проб	Метод анализа
Почва	53	ИНАА
Полынь холодная (<i>Artemisia frigida</i> Willd.)	26	ИНАА
Солевые отложения питьевой воды (накипь)	27	ИНАА
Мышечная ткань крупного рогатого скота	16	ИНАА
Волосы человека	50	ИНАА
Кровь человека	60	ИНАА, СЭМ, ЭРС
Итого 232		

На рисунке 3.1 отмечены территории, на которых был проведен пробоотбор компонентов экосистемы – населенные пункты с различной дозовой нагрузкой на население, а также пути прохождения основных следов дозообразующих ядерных и термоядерных испытаний.



Рисунок 3.1 – Обзорная схема размещения опробованных населенных пунктов по отношению к Семипалатинскому испытательному полигону

Из рисунка видно, что населенные пункты Бодене, Долонь и Канонерка расположены на пути прохождения следа испытания, проведенного 29.08.1949. Населенные пункты Саржал, Медеу и Карауыл расположены на пути прохождения следа испытания, проведенного 12.08.1953. Населенные пункты Новопокровка, Зенковка и Кокпекты расположены вне путей прохождения основных следов дозообразующих ядерных испытаний.

В каждом жилом дворе, вошедшем в наше исследование, по возможности отбирался весь комплекс исследуемых компонентов экосистемы. Главным критерием при выборе респондентов был юридически подтвержденный факт проживания на исследуемых территориях не менее 10 лет. Критерием исключения из группы исследования послужили факты наличия у респондентов органического поражения ЦНС, соматических заболеваний в стадии нарушения нормального функционирования отдельного органа, вирусного гепатита В и С в анамнезе.

Возраст респондентов варьировал в пределах 30–50 лет. Средний возраст составил 40 лет. Всего было отобрано 60 респондентов, из них 32 женщины, 28 мужчин. Для оценки дозовых нагрузок жителей территории, подверженной радиационному воздействию, наряду с тканями человека отбирается комплекс компонентов экосистемы [Хомутинин и др., 2001]. Компоненты экосистемы отбирались на участках проживания респондентов. Количество каждого отбираемого компонента в одном населенном пункте варьировало от 5 до 10 проб. При отсутствии какого-нибудь компонента показания усреднялись по населенному пункту.

Исследуемые нами населенные пункты расположены на территории, нормированной по уровням радиационного риска согласно Закону Республики Казахстан «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне» от 18.12.1992 № 1787-ХІІ.

Согласно установленным зонам радиационного риска, дозовые нагрузки населения, проживающего в исследуемых населенных пунктах, варьируют от 0,1 сЗв до свыше 100 сЗв (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Дозовые нагрузки населения, проживающего в различных зонах радиационного риска [Закон Республики Казахстан от 18.12.1992 № 1787-ХІІ]

Исследуемый населенный пункт	Район	Зона радиационного риска	Доза воздействия на население за весь период испытания
Саржал	Абайский	чрезвычайного	свыше 100 сЗв
Бодене	Бескарагайский		
Долонь			
Караул	Абайский	максимального	от 35 до 100 сЗв
Медеу			
Канонерка	Бескарагайский		
Новопокровка	Бородулихинский	повышенного	от 7 до 35 сЗв
Зенковка			
Кокпекты	Кокпектинский	минимального	от 0,1 до 7 сЗв

Индивидуальные дозы облучения населения рассчитываются с применением автоматизированной программы для расчета индивидуальных доз облучения, внедренной в структуру Государственного научного автоматизированного медицинского регистра (ГНАМР) [Липихина, 2005].

Информационная база ГНАМР специально создана для регистрации лиц, пострадавших от радиационного воздействия и подвергшихся радиационному облучению в результате радиационных аварий и инцидентов, а также для определения приоритетных мер, направленных на охрану здоровья граждан этих категорий по Республике Казахстан. Каждому лицу, включенному в регистр, присвоен идентификационный код, под которым обобщена регистрационная, медицинская и дозиметрическая информация. Регистрационная информация включает: паспортные данные, возраст, пол, семейное положение, уровень образования, трудовую деятельность, жизненный статус. К медицинским данным относится: анамнез заболеваний, причины смерти, результаты медико-лабораторных исследований. В настоящее время в Государственном научном автоматизированном медицинском регистре зарегистрировано более 360000 человек (лица, непосредственно подвергавшиеся облучению и их потомки, имеющие различный жизненный статус). Информация о лицах, включенных в базу данных регистра, каждый год обновляется [Apsalikov et al., 2019].

3.2. Обоснование выбора объектов исследования

Почва. Причина выбора почвы как объекта исследования заключается в том, что почва – базовый компонент биосферы, ее природный ресурс [Почвенно-экологический ..., 1984]. Почвенные исследования позволяют детально изучить химический и минеральный состав почв и подстилающих материнских пород, подвижных и валовых форм макро- и микроэлементов, радионуклидов и других показателей, а также охарактеризовать и оценить процентное соотношение нарушенных земель в процессе хозяйственной деятельности [Язиков, Шатилов, 2004]. При этом в мониторинговых исследованиях элементный состав почвы должен исследоваться в комплексе с другими компонентами экосистемы, так как одна из его главных экологических функций заключается в том, что она обеспечивает нормальное функционирование естественных биогеоценозов [Мотузова, 2001].

Изучаемые нами типы почв по признаку физической преобразованности можно отнести к культуроземам, так как пробоотбор был осуществлен на участках ведения подсобного хозяйства – огородах, садах и других. Данные участки являются частью агроландшафта – сложно организованной многомерной экосистемы земли с определенным обликом и соответствующей структурой, функционирующей в зависимости от системы земледелия.

В целом характер ландшафта и виды почвы территории, примыкающей к Семипалатинскому испытательному полигону, определены несколькими морфоструктурами: равниной Западно-Сибирской плиты, возвышенными равнинами, плато, мелкосопочником и островными горами Казахского щита. В пределах рассматриваемой территории в сухостепном типе ландшафта доминирует аллювиальная плоская равнина, сложенная лессовидными суглинками, супесями, песками, каштановыми, светло-каштановыми и темно-каштановыми типами почв.

Полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.). Выбор полыни холодной (*Artemisia frigida* Willd.) как одного из объектов, изучаемых в комплексе с другими компонентами экосистемы, обосновывается тем, что данный вид полыни является преобладающим видом растений, растущим повсеместно

на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону. Согласно литературным данным, растительность исследуемого региона разнообразна, что обусловлено сложным строением рельефа (равнины разного генезиса, мелкосопочки низкие и высокие, низкогорья, речные долины) и сменой климатиков. На обширных равнинах на этой территории и на склонах низких мелкосопочников широко распространены караганово-холоднополыннотырсовые степи (*Stipa capillata* L., *Artemisia fridiga* Willd., *Caragana pumila* Pojark.) [Актуальные вопросы радиэкологии Казахстана, 2010].

Мышечная ткань крупного рогатого скота (казахская белоголовая порода коров). Крупный рогатый скот, находясь в пищевой цепи между почвой, растительностью и человеком, является важным объектом для характеристики рассматриваемой экосистемы. Мышечная ткань крупного рогатого скота была включена в состав исследуемых компонентов в связи с тем, что мясо крупного рогатого скота является одним из основных продуктов питания, производимых местным населением. Согласно методическим рекомендациям, при выборе животных в качестве объекта экологических исследований целесообразно использование фоновых, наиболее многочисленных для данного региона видов, что дает возможность получения выборок одного и того же вида во всех изучаемых точках [Язиков, Шатилов, 2004]. Казахская белоголовая порода является основной породой крупного рогатого скота мясного направления, которую разводят в хозяйствах Восточно-Казахстанской области [Бугримов, 1952].

Молоко крупного рогатого скота (казахская белоголовая порода коров). Известно, что продукты питания являются одним из главных источников попадания химических элементов в организм человека [Скальный, 1997]. Следовательно, для объективной оценки биогеохимической специфики экосистемы, частью которой является человек, целесообразно изучение элементного состава основных продуктов его питания. В исследуемом регионе молоко крупного рогатого скота также является одним из основных продуктов питания, производимых и потребляемых местным населением.

Солевые отложения питьевой воды. Солевые отложения питьевой воды образуются в бытовой нагревательной посуде в результате кипячения. Данный

объект исследовался нами в качестве компонента, характеризующего качество питьевой воды, так как питьевая вода является одним из основных источников поступления химических элементов. Преимущество применения данного компонента заключается в его депонирующем свойстве, которое отражает долговременную гидрогеохимическую специфику питьевой воды, а также в относительной простоте отбора [Язиков и др., 2004 ; Тапхаева и др., 2010 ; Монголина и др., 2011 ; Соктоев и др., 2014].

Кровь человека. Выбор данного биосубстрата в качестве объекта, исследуемого в комплексе с другими объектами, заключается в том, что его элементный состав отражает не только состояние здоровья человека, но и биогеохимическую специфику среды его проживания [Bowen, 1966 ; Iyengar, 1978]. Ранее элементный состав крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому полигону, не изучался.

Волосы человека. По признанию многих ученых, волосы человека также являются весьма информативным биоиндикатором недостатка или избыточного поступления химических элементов в организм человека [Агаджанян, 2011 ; Скальный, 2011]. Преимущество выбора данного биосубстрата в качестве объекта комплексного экологического исследования заключается в том, что он обладает депонирующим свойством, что позволяет оценить химическую картину среды длительного проживания человека. Кроме того, рядом авторов отмечается сравнительная простота отбора и подготовки данного объекта к анализу [Жук, 1991 ; Барановская, 2011 ; Наркович, 2012].

3.3. Методы отбора и подготовки проб

Почва. Пробы почвы отобраны на участках приусадебных хозяйств местных жителей исследуемых населенных пунктов в комплексе с другими компонентами экосистемы [Методические указания ..., 2003]. Согласно нормативным данным, отбор проводился методом конверта со стороной 10x10 метров, из верхнего горизонта, на глубине 0–20 см [ГОСТ 17.4.2.01–81, 2008]. Из проб почв, отобранных в 5 точках, формировалась одна проба. Первичная

масса пробы составляла 500–600 г. Проба помещалась в бумажный пакет. При пробоподготовке на ИНАА почва просеяна через 1 мм сито и измельчена с применением виброистирателя. Далее из измельченных проб брали навески по 10 мг, упаковывали их в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5х3,5 см), предварительно обработанные спиртом в объеме 100 мг, и отправляли на анализ.

Полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.). Отбор проб полыни производили в комплексе с другими компонентами экосистемы на участках, где были отобраны пробы почвы. Отбор проводился в конце июля – в период цветения полыни холодной, перед уборкой урожая [Титова и др., 2011]. Пробы были составными из нескольких кустов одного вида. Отбиралась наземная часть растений на высоте 3–5 см над поверхностью почвы с использованием ножниц из нержавеющей стали. Масса одной пробы составляла 100–200 г сырого вещества. Каждой пробе присваивали шифр, где указывали дату отбора и условный номер населенного пункта. После доставки в лабораторию пробы высушивались при комнатной температуре, а затем подвергались озолению. Озоление проб проводилось в муфельной печи при температуре 250–450 °С в течение 2–3 часов [Ковалевский и др., 1967 ; Алексеенко, 2000]. Далее из озоленных проб брали навески по 100 мг, упаковывали в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5х3,5 см), предварительно обработанные спиртом, и отправляли на ИНАА.

Мышечная ткань крупного рогатого скота (казахская белоголовая порода коров). Отбор проб мышечной ткани крупного рогатого скота производили в комплексе с другими компонентами экосистемы [Хомутинин и др., 2001]. Однородность выборки обеспечена одинаковым полом и возрастом забойного скота – как правило, забивались бычки 1,5-годовалого возраста. Мышечную ткань отбирали с помощью ножа из нержавеющей стали у свежезабитого животного. Пробу помещали в полиэтиленовый пакет, данные о животном заносили в реестр (пол, возраст, дату забоя, условия кормления, применение специальных кормов и др.). Вес пробы составлял от 30 до 50 г. Время между пробпоотбором и пробоподготовкой не превышало 2 суток. До пробоподготовки пробы хранились в морозильной камере. Пробы подвергали озолению в муфельной печи

по следующей схеме: в течение 1 часа температуру повышали до 200 °С; после 1 часа озоление продолжали при температуре 550–600 °С до состояния золы. Общее время процесса озоления составило 3–4 часа. Из озоленной пробы мышечной ткани брали навеску 100 мг, упаковывали в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5x3,5 см), предварительно обработанные спиртом, и отправляли на ИНАА.

Молоко крупного рогатого скота (казахская белоголовая порода коров). Отбор проб молока производили в комплексе с другими компонентами экосистемы. Однородность выборки обеспечена тем, что пробоотбор был осуществлен максимально сближенно во времени и пространстве. Отбирали молоко крупного рогатого скота одной породы, с одинаковыми условиями питания. Кроме того, отбирали только свежее, не кипяченое молоко. Объем пробы составлял 30–50 мл. Время между пробоотбором и пробоподготовкой не превышало 2 суток. До пробоподготовки пробы хранились в холодильной камере. До анализа пробы подвергались высушиванию в муфельной печи при температуре 60 °С в течение 2–3 часов до кристаллообразного состояния. После высушивания пробы истирали в агатовой ступке до порошкообразного состояния. Измельченные пробы (навеска 100 мг) упаковывали в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5x3,5 см), предварительно обработанные спиртом, и отправляли на ИНАА.

Солевые отложения питьевой воды. Солевые отложения отбирали из бытовой нагревательной посуды путем постукивания или с помощью инструмента из нержавеющей стали. Пробу помещали в герметично закрывающийся полиэтиленовый пакет. Первичная масса пробы составляла 20–50 г. Высушивание пробы проводилось в муфельной печи при температуре 20 °С в течение 2 часов. После высушивания пробы измельчали в агатовой ступке до порошкообразного состояния. После измельчения проб из них брали навески по 100 мг, упаковывали в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5x3,5 см), предварительно обработанные спиртом, и отправляли на ИНАА.

Кровь. У каждого респондента отбирали по 10 мл крови. Анализировался сухой остаток крови. До высушивания кровь хранили при температурах от -3 до +3 °С. Высушивание проводили при температуре +60 °С в течение 2 часов.

Далее пробы развешивали по 100 мг, упаковывали в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5x3,5 см), предварительно обработанные спиртом, и отправляли на ИНАА.

Для изучения на сканирующем электронном микроскопе (Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром Bruker XFlash 4010) применяли порошковые препараты, подготовленные из сухого остатка крови, высушенной при температуре +60 °С в течение 2 часов. Пыль сухой крови наносили на углеродную ленту неплотно. Это позволило предотвратить скопление частиц. Изучение минеральных форм химических элементов в крови производили в режиме низкого вакуума с использованием детектора обратно-рассеянных электронов.

Волосы. Отбор и подготовка проб волос проводилась согласно рекомендациям МАГАТЭ [Element analysis ..., 1980]. Методика подготовки проб волос включала процедуры промывания от внешних загрязнителей, высушивания и измельчения. Для промывания использовали чашки Петри (2 шт. для промывки одной пробы). Пробу промывали попеременно в ацетоне (50 мл) и дистиллированной воде (50 мл) два раза по 2 минуты. При повторной промывке ацетон и дистиллированную воду заменяли. Высушивание пробы происходило при комнатной температуре в течение не менее 20 часов, на чистой подстилающей поверхности, предварительно обработанной спиртом. После высушивания пробы волос измельчали до длины 2–5 мм с помощью пинцета и ножниц из нержавеющей стали, предварительно обработанных спиртом. Измельченные пробы (по 100 мг) упаковывали в пакеты из алюминиевой фольги (размер 3,5x3,5 см), предварительно обработанные спиртом.

3.4. Методы аналитических исследований

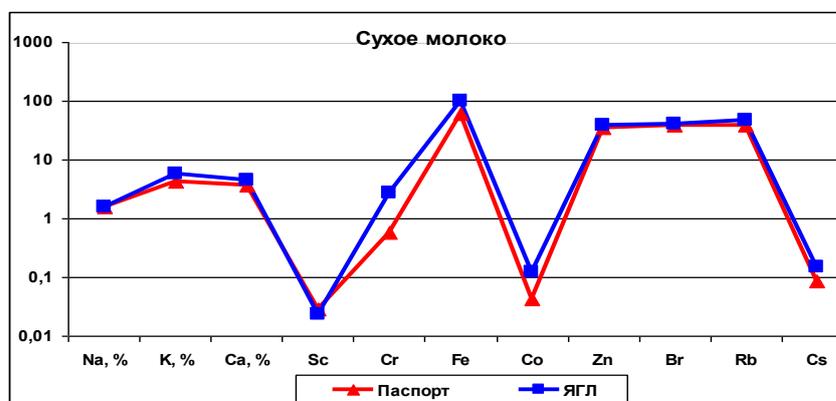
Выбор методологических подходов в целях эколого-геохимической оценки исследуемой территории основан на следующих принципах: 1) исследования выполняются комплексно и базируются на использовании литохимических, гидрогеохимических и биогехимических методов; 2) отбор различных компонентов экосистемы (почва, полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.),

солевые отложения питьевой воды, мышечная ткань крупного рогатого скота (казахская белоголовая порода коров), молока КРС (казахская белоголовая порода коров), волосы и кровь человека) в исследуемых населенных пунктах осуществляется максимально сближенно во времени; 3) отбор и подготовка компонентов экосистемы производится согласно стандартным методикам и нормативным документам. Использовались современные высокоточные методы анализа, качество которых проверялось внутрилабораторным контролем и путем сравнения с аттестованными стандартными образцами.

Характеристика инструментального нейтронно-активационного анализа. Инструментальный нейтронно-активационный анализ является одним из высокочувствительных современных методов анализа. На рисунке 3.2 приведено сравнение результатов элементного анализа различных компонентов экосистемы методом ИНАА с национальными и международными паспортными данными стандартных образцов.



а



б

а – стандарт «Лист березы», б – стандарт МАГАТЭ «Сухое молоко»

Рисунок 3.2 – Сопоставление результатов ИНАА (мг/кг)

Инструментальный нейтронно-активационный анализ является достаточно эффективным для определения редкоземельных и радиоактивных элементов в биологических объектах (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Сравнение результатов анализа, полученных методом ИНАА, с национальными и международными паспортными данными [Барановская, 2015]

Элемент	ЭК–1		ЗУК–1 (Россия)		БИЛ–1 (Россия)		SD-M2/ТМ (МАГАТЭ)	
	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ
Na (%)	0,69	0,64	0,24	0,205	1,93	1,74	1,35	1,35
Ca (%)	2,9	2,8	20,98	12,04	1,86	6,76	11,2	7,9
Sc	0,38	0,41	12,6	13	13	16	10,3	10,5
Cr	5,2	5,6	45	44	67	69	77,2	79,0
Fe (%)	0,26	0,29	6,26	6,28	7,01	7,13	2,71	2,87
Co	1,5	1,6	17	14	18,5	17	13,6	14,4
Zn	20,6	–	–	–	–	–	–	–
As	0,76	–	–	–	–	–	–	–
Br	32,6	25,0	–	–	–	–	–	–
Rb	3,5	3,2	16	45,6	96	118	99,7	104
Sr	175	198	–	–	–	–	–	–
Sb	–	–	1,58	1,58	1,5	1,52	0,99	1,19
Cs	0,11	0,12	2,25	2,25	5,9	6,7	8,05	8,3
Ba	0,008	0,01	2380	2500	670	864	252	247
La	2,05	2,03	23	18,8	51	40	26,2	27,2
Ce	3,4	4,0	39	31	81,5	70	54,3	50,3
Sm	0,31	0,38	4,6	3,75	7,9	6,79	4,27	4,78
Eu	0,045	0,05	1,2	1,3	1,65	1,96	0,85	0,92
Tb	0,04	0,05	0,8	0,8	0,95	0,94	0,52	0,58
Yb	0,11	0,15	2,8	2,4	3	2,44	1,62	1,69
Lu	0,019	0,015	0,44	0,44	0,44	0,46	0,243	0,26
Ta	–	–	0,57	0,57	0,9	0,9	0,84	0,95
Hf	–	–	2,7	3,74	4,1	5,13	2,83	2,95
Th	0,4	0,4	5,25	5,67	12	12,5	8,15	8,2
U	1,4	1,3	3,5	4,6	12	10,7	2,49	2,76

Примечание: ЭК–1 – элодея канадская, ЗУК – зола углей каменных, БИЛ–1 – байкальский ил, SD-M2/ТМ – морские осадки, ЯГЛ – ядерно-геохимическая лаборатория

Преимущества применения ИННА, описанные в исследованиях других ученых в области биогеохимии, стали причиной выбора именно этого метода анализа в наших исследованиях [Кист 1964, 1969 ; Бояркина и др., 1980 ; Дубинская и др., 1967, 1980 ; Коробенкова и др., 1980 ; Колесник и др., 1987 ; Жук и др., 1990 ; Барановская, 2011]. В этом методе анализа сигнал снимается с ядер химических элементов, поэтому физическое состояние пробы не влияет на результат. Это позволяет определить широкий спектр элементов – не менее 28 на практике и до 74 – в теории в разнообразных биологических и других объектах. Изменение состава матрицы пробы отражается только интерферирующими и нейтронно-поглощающими элементами содержания элементов [Барановская, 2015]. Стоит отметить, что метод ИННА достаточно точно определяет в биологическом материале редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы. Пределы обнаружения элементов ИННА с использованием стандартных образцов сравнения приведены в таблице 3.4.

Анализ проводился в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования Национального исследовательского Томского политехнического университета на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т (аналитик – старший научный сотрудник А. Ф. Судыко).

Таблица 3.4 – Пределы обнаружения содержания химических элементов в различных компонентах экосистемы методом инструментального нейтронно-активационного анализа [Барановская, 2015]

Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг
Na	20	Cs	0,5
Ca	300	Ba	3,0
Sc	0,002	La	0,007
Cr	0,1	Ce	0,01
Fe	10,0	Sm	0,01
Co	0,1	Eu	0,03
Zn	2	Tb	0,001
As	1,0	Yb	0,05
Br	0,3	Lu	0,01
Rb	0,6	Hf	0,01
Sr	1,0	Au	0,002
Ag	0,02	Th	0,01
Sb	0,007	U	0,01

Характеристика сканирующей растровой электронной микроскопии.

Изучение минеральных форм химических элементов в крови человека проводилось в Международном инновационном научно-образовательном центре «Урановая геология» в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета. Для анализа использовался сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N с приставкой EDS Bruker X@Flash 4010/5010. Контроль качества результатов анализа осуществлялся путем проведения параллельного анализа на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с приставкой EDS Bruker и Tescan Vega 3 SBU с приставками EDS фирмы Oxford, съемка в отраженных BSE и вторичных SE электронах.

Разрешение микроскопа S-3400N составляет 3 нм при глубоком вакууме и 4 нм при 270 Па. С помощью моторизованного столика осуществляется перемещение по 5 осям, при этом наклон образца варьирует в пределах от -20 до +90 градусов. Размеры исследуемых образцов высотой до 80 мм и шириной до 200 мм. В зависимости от форм и плотности образцов используются низкий и высокий режимы вакуума от 6 до 160 Па.

Для изучения минеральных форм химических элементов в крови человека применялся низкий режим вакуума, что позволило предотвратить зарядку рассматриваемой поверхности за счет ионизации газа, который образуется на поверхности образца. В различных случаях давление в вакуумной камере варьирует от 6 до 60 Па. Для изучения поверхности образца применялись детекторы обратно-рассеянных (отраженных) электронов. Именно этот режим позволяет изучить фазовый состав образца по контрасту.

Характеристика энергодисперсионной рентгеновской спектрометрии.

Этот вид анализа, позволяющий определить качественный состав микроминеральных фаз в составе образца, был проведен энергодисперсионным спектрометром ЭДС Bruker X@Flash 4010/5010, встроенным к микроскопу S-3400N. Качественный состав микроминеральных фаз определяется за счет регистрации рентгеновских квантов, которые выделяются при воздействии электронов.

В литературных данных описываются технические характеристики, отмечающие ряд достоинств применения данного метода анализа, а именно: 1) по сравнению с рядом других методов, это неразрушающий аналитический метод; 2) погрешность определения основных элементов составляет 1 %; 3) одинаковая погрешность и предел обнаружения определения всех элементов с атомными номерами выше 10; 4) низкий предел обнаружения для большинства элементов (порядка 50 ppm), позволяющий определить следовые концентрации элементов-примесей; 5) короткий отрезок времени, истрачиваемый на один анализ (от 1 до 5 мин); 6) возможность изучения отдельных зерен минералов с учетом специфики их строения; 7) простота и короткое время смены образца [Рид, 2008].

Для точности идентификации обнаруженного минерала была использована методика последовательного снятия спектра вмещающей матрицы, которая позволяет определить состав матрицы минерала [Ильенок, 2017]. Выявленные микроминеральные фазы были изучены по степени встречаемости в составе образца, сравнены со стандартными спектрами известных минералов с использованием известной электронной базы минералов (mindat.org). В случаях сходимости спектров определенных минералов с результатами поиска в базе минералу присваивалось данное название. В тех случаях, когда обнаруживались несколько минералов, схожих по составу, проводилась дополнительная диагностика, которая заключалась в изучении габитусов кристаллов. В случае идентификации минерала ему присваивалось соответствующее название, в случае малой информативности такой диагностики минерал именовался согласно элементам, которые входили в его состав (оксид, силикат, сульфид и т.д.) [Ильенок, 2017].

3.5. Методика математической обработки результатов

Аналитическая обработка и графический экспорт полученных данных проводились на стандартном персональном компьютере с использованием такого программного обеспечения, как Microsoft Word XP, STATISTIKA 10.0., Microsoft Excel XP, Paint, Corel DRAW 13, PowerPoint. Выборки создавались по населенным

пунктам, а также по зонам радиационного риска в зависимости от решаемой задачи. Статистическая обработка данных заключалась в определении: среднего значения, геометрического среднего, стандартной ошибки, медианы, моды, стандартного отклонения, дисперсии, минимального и максимального значения, коэффициента вариации, а также в оценке ряда других математических показателей данных. Оценка принадлежности к нормальному закону распределения осуществлялась с помощью тестов Колмогорова–Смирнова и Хи-квадрат. Для выборок, относящихся к нормальному закону распределения, в качестве среднего значения принималось среднее арифметическое, тогда как для выборок, относящихся логнормальному закону распределения, за среднее принималось среднее геометрическое. Оценка разности выборочных совокупностей содержания химических элементов проводилась параметрическим критерием Колмогорова–Смирнова и непараметрическим критерием Манна–Уитни, в зависимости от распределения содержания химических элементов в тех или иных компонентах.

Уровни значимости различий средних содержаний химических элементов определялись согласно уровню значимости – α , где незначимые различия – при $\alpha \geq 0,1$, слабо значимые – при $0,1 > \alpha \geq 0,05$, значимые – при $0,05 > \alpha \geq 0,01$, сильно значимые – при $0,01 > \alpha \geq 0,001$ и высоко значимые различия – при $\alpha < 0,001$ [Боровиков, 2003].

При выполнении аналитических исследований концентрации некоторых элементов в различных компонентах были ниже предела обнаружения. Для избегания искусственного завышения среднего значения концентрации химических элементов заменялись на половину предела обнаружения.

Для построения биогеохимического ряда накопления химических элементов в исследуемых компонентах был проведен расчет коэффициентов их накопления (К) относительно фоновых значений по формуле (1):

$$K = \frac{C_i}{C_{\phi}}, \quad (1)$$

где C_i – среднее содержание i -го элемента в исследуемом образце, мг/кг;
 C_{ϕ} – фоновое значение содержания химических элементов.

При оценке уровней загрязненности территорий используются показатели суммарного загрязнения [Сагет и др., 1990]. В наших исследованиях оценка уровня экологической напряженности территории по элементному составу биологических объектов была осуществлена с помощью аддитивного показателя – суммарного показателя накопления. Так, в главе 5 приведены данные по суммарному показателю накопления химических элементов в крови, которые рассчитаны по сумме концентраций всех химических элементов, определенных методом ИНАА, рассчитанной по формуле (2):

$$Z = \sum K , \quad (2)$$

где K – концентрация химического элемента в конкретной пробе.

Таким образом, результаты исследований получены с помощью применения современных, высокоточных аналитических методов анализа, а также стандартных методов математической обработки.

Глава 4. Региональная специфика элементного состава компонентов экосистемы территории влияния Семипалатинского испытательного полигона

В результате проведенного инструментального нейтронно-активационного анализа в составе почвы, полыни холодной (*Artemisia frigida* Willd.), солевых отложений питьевой воды (накипи), мышечной ткани крупного рогатого скота, молока крупного рогатого скота, крови и волос человека были измерены концентрации 28 химических элементов: 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. Изучен комплекс компонентов экосистемы. Содержания Ag, Cr были ниже пределов обнаружения более чем в 50 % случаев в составе солевых отложений питьевой воды и волос человека, содержания Cr и Sb – в составе волос человека, содержания Cr и Sr – в составе мышечной ткани животных (рисунок 4.1).

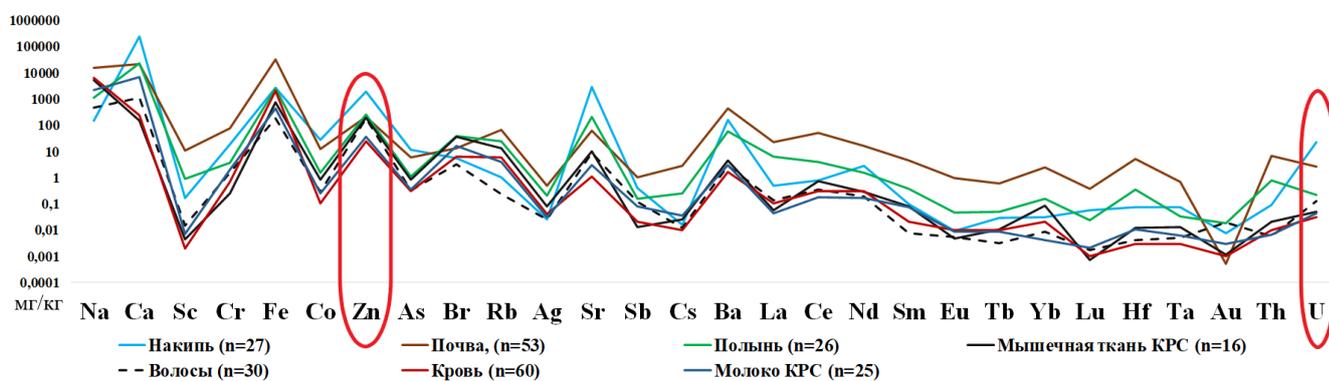


Рисунок 4.1 – Уровни накопления химических элементов в составе различных компонентов экосистемы территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, мг/кг

Из рисунка видно, что в целом различные компоненты неравномерно накапливают химические элементы. Стоит отметить, что именно Zn и U имеют тенденцию концентрирования на данной территории во всех компонентах в сравнении с закономерностями, характерными для всех природных сред во Вселенной, при том, что каждый из компонентов характеризуется своей спецификой [Франк-Каменецкий, Надежин, 1986].

В таблице 4.1 приведены основные параметры накопления химических элементов в составе полыни холодной (*Artemisia frigida* Willd.), молока КРС, мышечной ткани КРС, солевых отложений питьевой воды (накипи), крови и волос человека, отобранных на данной территории.

Таблица 4.1 – Химические элементы в составе компонентов экосистемы территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, мг/кг

Элемент	Полынь холодная (<i>Artemisia frigida</i> Willd.) (n = 26), зола	Молоко (n = 25), сухое вещество	Мышечная ткань животных (n = 16), зола	Накипь (n = 27)	Кровь человека (n = 53), сухое вещество	Волосы человека (n = 50)
Na	$\frac{1101 \pm 132}{40 - 4827}$	$\frac{2173 \pm 165}{1130 - 4210}$	$\frac{5190 \pm 457}{2570 - 9501}$	$\frac{148 \pm 18,0}{6,0 - 402}$	$\frac{6477 \pm 240}{2300 - 10565}$	$\frac{792 \pm 120}{74,0 - 3623}$
Ca	$\frac{22712 \pm 3470}{1781 - 65030}$	$\frac{6623 \pm 339}{3730 - 10938}$	$\frac{152 \pm 38}{37,0 - 447}$	$\frac{237719 \pm 9604}{94400 - 322400}$	$\frac{231 \pm 30,0}{20,0 - 1243}$	$\frac{1859 \pm 255}{340 - 8920}$
Sc	$\frac{0,9 \pm 0,1}{0,1 - 2,6}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,0004 - 0,03}$	$\frac{0,004 \pm 0,001}{0,0002 - 0,01}$	$\frac{0,2 \pm 0,05}{0,03 - 1,1}$	$\frac{0,002 \pm 0,0003}{0,0002 - 0,01}$	$\frac{0,02 \pm 0,003}{0,001 - 0,1}$
Cr	$\frac{3,6 \pm 0,9}{0,3 - 14,0}$	$\frac{2,0 \pm 0,7}{0,3 - 9,9}$	< 0,3	$\frac{18,6 \pm 4,3}{0,2 - 86,0}$	$\frac{0,7 \pm 0,3}{0,02 - 17,4}$	< 0,3
Fe	$\frac{2473 \pm 516}{150 - 8238}$	$\frac{428,3 \pm 49,4}{3,0 - 990}$	$\frac{736 \pm 207}{70,0 - 2820}$	$\frac{2664 \pm 1057}{20,0 - 28243}$	$\frac{1974 \pm 52,0}{500 - 3328}$	$\frac{620 \pm 86,1}{150 - 3728}$
Co	$\frac{1,5 \pm 0,2}{0,4 - 3,9}$	$\frac{0,2 \pm 0,02}{0,1 - 0,5}$	$\frac{0,8 \pm 0,04}{0,5 - 1,2}$	$\frac{28,0 \pm 10,0}{0,02 - 175}$	$\frac{0,1 \pm 0,02}{0,002 - 1,3}$	$\frac{1,0 \pm 0,1}{0,1 - 2,8}$
Zn	$\frac{250 \pm 35,2}{56,4 - 630}$	$\frac{35,7 \pm 1,9}{20,4 - 56,4}$	$\frac{194 \pm 14,0}{38,1 - 279}$	$\frac{1845 \pm 319}{45,0 - 6829}$	$\frac{23,2 \pm 1,0}{4,1 - 49,4}$	$\frac{174 \pm 15,2}{14,0 - 512}$
As	$\frac{1,1 \pm 0,3}{0,01 - 5,3}$	$\frac{0,4 \pm 0,04}{0,02 - 0,5}$	$\frac{0,8 \pm 0,08}{0,06 - 1,0}$	$\frac{12,0 \pm 2,1}{0,3 - 34,0}$	$\frac{0,3 \pm 0,03}{0,005 - 0,5}$	$\frac{0,3 \pm 0,03}{0,03 - 0,7}$
Br	$\frac{38,2 \pm 9,7}{0,05 - 186}$	$\frac{16,5 \pm 1,7}{7,1 - 37,0}$	$\frac{34,7 \pm 2,3}{22,6 - 50,9}$	$\frac{6,0 \pm 0,4}{0,8 - 10,0}$	$\frac{6,2 \pm 0,4}{1,8 - 17,0}$	$\frac{2,6 \pm 0,4}{0,3 - 13,0}$
Rb	$\frac{23,6 \pm 3,1}{6,7 - 70,8}$	$\frac{3,9 \pm 0,2}{2,1 - 6,5}$	$\frac{13,3 \pm 1,6}{6,0 - 26,0}$	$\frac{1,0 \pm 0,3}{0,03 - 7,0}$	$\frac{5,8 \pm 0,2}{2,1 - 11,1}$	$\frac{0,3 \pm 0,04}{0,02 - 1,6}$
Sr	$\frac{210 \pm 35,6}{30 - 634}$	$\frac{2,9 \pm 0,8}{0,5 - 13,0}$	< 10	$\frac{2922 \pm 358}{339 - 6026}$	$\frac{1,1 \pm 0,3}{0,5 - 8,3}$	$\frac{9,3 \pm 1,8}{3,0 - 47,0}$
Ag	$\frac{0,2 \pm 0,004}{0,2 - 0,3}$	$\frac{0,03 \pm 0,003}{0,002 - 0,1}$	$\frac{0,08 \pm 0,01}{0,05 - 0,2}$	< 0,05	$\frac{0,04 \pm 0,004}{0,01 - 0,1}$	< 0,05
Sb	$\frac{0,2 \pm 0,03}{0,002 - 0,5}$	$\frac{0,1 \pm 0,03}{0,003 - 0,6}$	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,005 - 0,05}$	$\frac{0,4 \pm 0,2}{0,04 - 3,2}$	$\frac{0,02 \pm 0,004}{0,003 - 0,2}$	< 0,01
Cs	$\frac{0,2 \pm 0,1}{0,003 - 0,9}$	$\frac{0,03 \pm 0,003}{0,001 - 0,005}$	$\frac{0,02 \pm 0,005}{0,006 - 0,1}$	$\frac{0,02 \pm 0,01}{0,0002 - 0,1}$	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,0004 - 0,03}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 - 0,1}$
Ba	$\frac{58,0 \pm 13,0}{5,9 - 230}$	$\frac{3,0 \pm 0,6}{0,5 - 10,3}$	$\frac{4,3 \pm 0,3}{0,6 - 5,0}$	$\frac{154 \pm 18,0}{31,4 - 487}$	$\frac{2,0 \pm 0,3}{0,1 - 14,0}$	$\frac{5,5 \pm 0,6}{1,0 - 16,2}$
La	$\frac{6,1 \pm 0,6}{1,7 - 13,0}$	$\frac{0,04 \pm 0,01}{0,003 - 0,22}$	$\frac{0,06 \pm 0,01}{0,006 - 0,2}$	$\frac{0,5 \pm 0,1}{0,01 - 2,0}$	$\frac{0,1 \pm 0,07}{0,01 - 4,0}$	$\frac{0,2 \pm 0,03}{0,02 - 1,3}$
Ce	$\frac{4,0 \pm 0,6}{0,5 - 11,3}$	$\frac{0,2 \pm 0,03}{0,05 - 0,5}$	$\frac{0,7 \pm 0,2}{0,03 - 3,0}$	$\frac{0,8 \pm 0,2}{0,03 - 3,2}$	$\frac{0,3 \pm 0,2}{0,001 - 12,0}$	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,1 - 3,4}$

Окончание таблицы 4.1

Элемент	Полынь холодная (<i>Artemisia frigida</i> Willd.) (n = 26), зола	Молоко (n = 25), сухое вещество	Мышечная ткань животных (n = 16), зола	Накипь (n = 27)	Кровь человека (n = 53), сухое вещество	Волосы человека (n = 50)
Nd	$\frac{1,5 \pm 0,3}{0,4 - 4,9}$	$\frac{0,2 \pm 0,06}{0,02 - 1,4}$	$\frac{0,3 \pm 0,05}{0,0003 - 0,8}$	$\frac{2,8 \pm 0,3}{0,2 - 4,7}$	$\frac{0,3 \pm 0,1}{0,01 - 6,2}$	$\frac{0,3 \pm 0,1}{0,05 - 2,2}$
Sm	$\frac{0,4 \pm 0,1}{0,02 - 1,4}$	$\frac{0,08 \pm 0,02}{0,003 - 0,34}$	$\frac{0,08 \pm 0,02}{0,008 - 0,3}$	$\frac{0,1 \pm 0,03}{0,001 - 0,7}$	$\frac{0,02 \pm 0,01}{0,0005 - 0,9}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 - 0,1}$
Eu	$\frac{0,05 \pm 0,01}{0,001 - 0,3}$	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,003 - 0,04}$	$\frac{0,005 \pm 0,001}{0,0007 - 0,01}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 - 0,04}$	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,0001 - 0,2}$	$\frac{0,004 \pm 0,001}{0,001 - 0,04}$
Tb	$\frac{0,1 \pm 0,01}{0,002 - 0,2}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 - 0,03}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,003 - 0,03}$	$\frac{0,03 \pm 0,02}{0,002 - 0,4}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,0002 - 0,1}$	$\frac{0,005 \pm 0,001}{0,001 - 0,03}$
Yb	$\frac{0,2 \pm 0,04}{0,01 - 0,7}$	$\frac{0,004 \pm 0,001}{0,0002 - 0,02}$	$\frac{0,08 \pm 0,01}{0,003 - 0,1}$	$\frac{0,03 \pm 0,01}{0,002 - 0,2}$	$\frac{0,02 \pm 0,006}{0,0003 - 0,3}$	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,002 - 0,04}$
Lu	$\frac{0,02 \pm 0,005}{0,001 - 0,1}$	$\frac{0,002 \pm 0,001}{0,001 - 0,01}$	$\frac{0,001 \pm 0,0001}{0,0005 - 0,002}$	$\frac{0,1 \pm 0,01}{0,003 - 0,1}$	$\frac{0,001 \pm 0,0001}{0,0002 - 0,003}$	$\frac{0,004 \pm 0,001}{0,001 - 0,02}$
Hf	$\frac{0,4 \pm 0,1}{0,03 - 1,3}$	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,002 - 0,07}$	$\frac{0,01 \pm 0,006}{0,0002 - 0,1}$	$\frac{0,1 \pm 0,02}{0,003 - 0,5}$	$\frac{0,003 \pm 0,001}{0,001 - 0,04}$	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,0004 - 0,2}$
Ta	$\frac{0,03 \pm 0,01}{0,004 - 0,2}$	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,003 - 0,01}$	$\frac{0,01 \pm 0,003}{0,0004 - 0,04}$	$\frac{0,1 \pm 0,04}{0,01 - 1,0}$	$\frac{0,003 \pm 0,0004}{0,0001 - 0,01}$	$\frac{0,01 \pm 0,0003}{0,003 - 0,02}$
Au	$\frac{0,02 \pm 0,005}{0,001 - 0,1}$	$\frac{0,003 \pm 0,001}{0,0001 - 0,01}$	$\frac{0,001 \pm 0,0002}{0,0002 - 0,003}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 - 0,05}$	$\frac{0,001 \pm 0,0005}{0,0002 - 0,02}$	$\frac{0,1 \pm 0,02}{0,001 - 0,7}$
Th	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,03 - 2,3}$	$\frac{0,01 \pm 0,001}{0,0001 - 0,03}$	$\frac{0,02 \pm 0,002}{0,007 - 0,1}$	$\frac{0,09 \pm 0,03}{0,005 - 0,5}$	$\frac{0,01 \pm 0,007}{0,0001 - 0,1}$	$\frac{0,01 \pm 0,002}{0,001 - 0,1}$
U	$\frac{0,2 \pm 0,1}{0,004 - 1,0}$	$\frac{0,04 \pm 0,1}{0,001 - 0,3}$	$\frac{0,05 \pm 0,004}{0,0004 - 0,1}$	$\frac{22,3 \pm 2,0}{3,2 - 41,0}$	$\frac{0,03 \pm 0,008}{0,001 - 0,4}$	$\frac{0,5 \pm 0,07}{0,003 - 1,2}$

Примечание: < – ниже указанного предела обнаружения; в числителе – среднее арифметическое содержание \pm стандартная ошибка среднего, в знаменателе – минимальное и максимальное значение.

Сравнительный анализ уровней накопления химических элементов в составе исследованных сред позволяет выявить объекты, которые выполняют функцию концентраторов, являясь возможным источником поступления определенных элементов в организм человека. Видно, что накипь является основным концентратором Zn и U. Кроме того, в данном объекте наблюдается сравнительно высокое концентрирование Ca, Cr, Fe, Co, As, Sr, Sb, Ba, Nd, Lu, Ta. В полыни наблюдается концентрирование Sc, Br, Rb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf и Th. Для биологических объектов характерны небольшие вариации макрокомпонентов и относительно одинаковые содержания редкоземельных элементов. Среди биологических объектов максимальное концентрирование Zn и U наблюдается в составе полыни и волос человека.

В целях выявления региональной биогеохимической специфики нами были рассчитаны накопления химических элементов в составе изучаемых компонентов экосистемы. Нормирование проводили: для почв территории, прилегающей к СИП, относительно кларка по А. А. Ярошевскому [Ярошевский, 1990], для солевых отложений питьевой воды – относительно солевых отложений воды озера Байкал, вода которого принята как эталон чистой воды [Монголина, Соктоев и др., 2014], для крови человека – относительно данных по G. V. Iengar и др. [Iengar et al., 1978], для волос человека – относительно среднего на территории Павлодарской области Республики Казахстан по данным Н. П. Корогод [Корогод, 2008], для полыни – относительно состава покрытосеменных видов растений по Н. J. М. Bowen [Bowen, 1966], для молока – относительно элементного состава организма млекопитающих по Н. J. М. Bowen [Bowen, 1966], для тканей животных – относительно мускульных тканей млекопитающих по Н. J. М. Bowen [Bowen, 1966] (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Биогеохимические ряды накопления химических элементов в компонентах экосистемы на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

Компонент экосистемы	Биогеохимические ряды	Суммарный показатель накопления
Почва	Zn _{3,4} Na _{2,5} U _{1,7} Ca _{1,5} Sc _{1,4} Co _{1,3} Cr _{1,3} Lu _{1,1} Sb _{1,1} Th _{1,0} Ce _{1,0} Rb _{1,0} As _{1,0} Cs _{1,0} Sm _{1,0} Eu _{1,0} Ba _{1,0} Tb _{1,0} Yb _{1,0} Fe _{1,0} Sr _{1,0}	Z _{СПН} =6,9
Накипь	Zn ₁₁₅ Ta _{7,3} U _{4,9} Lu _{3,5} Tb _{3,2} Nd _{2,9} As _{2,8} Cr _{2,2} Fe _{1,8} Sr _{1,8} Co _{1,5} Eu _{1,1} Sb _{1,1} Ca _{1,0}	Z _{СПН} =137
Полынь холодная (<i>Artemisia frigida</i> Willd.)	Yb ₂₁₁ , Sc ₁₁₁ , Au ₈₁ , La ₇₂ , Sm ₆₉ , Tb ₆₇ , Fe ₁₈ , Cr ₁₆ , Sr ₈ , U _{5,6} As _{5,5} Ba _{4,1} Co _{3,2} Ag _{2,6} Sb _{2,6} Br _{2,5} Eu _{2,2} Zn _{1,6}	Z _{СПН} =665
Молоко	Cr _{13,6} Ag _{4,9} Br _{4,1} Fe _{2,7} U _{2,0} As _{1,8} Ba _{1,3} Sc _{1,2}	Z _{СПН} =24
Мышечная ткань животных	Ag _{13,2} Br _{8,7} Fe _{4,6} As _{4,2} Co _{2,8} U _{2,2} Ba _{2,0} Ce _{1,5} Zn _{1,2} Rb _{1,0} Na _{1,0}	Z _{СПН} =32
Кровь человека	Sr _{21,2} As _{11,2} Ba _{9,2} U _{5,8} Fe _{4,3} Na _{3,1} Zn _{3,1} Ca _{2,7} Th _{2,3} Sb _{2,2} Rb _{2,2} Au _{1,5} Br _{1,2} Cs _{1,0}	Z _{СПН} =57
Волосы человека	Fe ₁₄ Co ₁₀ Ce ₅ Sc ₃ Rb ₃ Na ₂ La ₂ U ₂ Lu ₁ Ca ₁ Ta ₁ Au ₁ Zn ₁	Z _{СПН} =34
Примечание: красным цветом выделены химические элементы, имеющие общую специфику накопления для всех рассматриваемых сред.		

Из таблицы видно, что общей чертой всех рассматриваемых компонентов экосистемы является накопление U. Кроме того, коэффициенты концентрации $Zn \geq 1$ в составе почти всех рассматриваемых сред, за исключением молока. Суммарные показатели накопления химических элементов, концентрируемых ≥ 1 , максимальны для пыли и накипи, что говорит о том, что данные компоненты являются основными концентраторами химических элементов. Следующей средой, активно накапливающей химические элементы, является кровь человека. Далее следуют волосы человека и мышечная ткань животных. Для молока характерен минимальный показатель накопления, равный 24. Почва является средой, концентрирующей химические элементы в наименьшей степени. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее чувствительным компонентом, реагирующим на состояние окружающей среды накоплением химических элементов, является живой организм.

Анализ коэффициентов концентрации элементов в изучаемых компонентах, полученных при нормировании к единому кларку, показал, что наблюдается занижение значений всех показателей, поскольку кларк является весьма специфичным для многих из изучаемых компонентов [Глазовская, 1988]. В целях подтверждения цинк-урановой специализации для исследуемой территории нами детально был исследован состав почв территории как основной буферной среды. В таблице 4.3 приведены основные математические параметры накопления 28 химических элементов в составе почвы исследуемой территории в целом.

Таблица 4.3 – Статистические показатели химических элементов (мг/кг) в почвах территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (N = 53)

Элемент	m	σ	G	X_{med}	S	min	max	V, %
Na	15549	352	2560	15100	2560	9900	23083	16
Ca	20686	1514	11020	18100	11020	1200	52800	53
Sc	10,8	0,5	3,4	11,1	3,4	4,4	19,6	31
Cr	75,4	2,9	21	81,0	21,4	7,0	106	28
Fe	31104	1216	8856	31400	8856	13955	54858	28
Co	12,0	0,8	5,7	12,7	5,7	0,1	25,2	48
Zn	205	12,4	90	210	90,1	52,3	391	44
As	5,7	0,3	2	5,6	2,5	1,4	11,1	43
Br	12,8	1,2	8,8	145	8,8	0,5	42,4	69

Окончание таблицы 4.3

Элемент	m	σ	G	X_{med}	S	min	max	V, %
Rb	67,4	5,1	37	70,4	37,3	2,5	193	55
Sr	159	18,7	136	10,5	136	30,0	470	85
Ag	<1	-	-	-	-	-	-	-
Sb	1,0	0,1	1,0	70,4	1,0	0,03	5,0	93
Cs	2,8	0,2	1,4	0,9	1,4	0,1	4,5	51
Ba	437	15,5	113	3,3	113	27,4	684	26
La	22,9	0,7	5,0	450	5,0	8,6	31,2	22
Ce	49,9	2,0	14,2	22,6	14,2	1,5	68,9	29
Nd	16,2	1,5	11,0	51,6	11,0	0,5	49,5	68
Sm	4,5	0,2	1,1	19,9	1,1	2,3	7,8	25
Eu	0,9	0,1	0,5	4,4	0,5	0,01	2,2	55
Tb	0,6	0,05	0,4	1,1	0,4	0,03	1,3	64
Yb	2,5	0,08	0,6	0,7	0,6	0,8	3,5	24
Lu	0,4	0,01	0,1	2,4	0,1	0,2	0,5	22
Hf	5,2	0,2	1,6	0,4	1,6	2,1	8,0	31
Ta	0,7	0,07	0,5	4,9	0,5	0,01	2,6	80
Au	0,01	0,003	0,02	0,8	0,02	0,001	0,2	334
Th	6,8	0,3	2,5	0,001	2,5	2,6	16,8	37
U	2,6	0,1	0,7	6,4	0,7	0,1	4,2	28

Примечание: m – среднее, σ – стандартная ошибка среднего, G – геометрическое среднее, X_{med} – медиана, S – стандартное отклонение, min – минимум, max – максимум, V – коэффициент вариации, < – ниже указанного предела обнаружения

Согласно методическим рекомендациям, по уровню коэффициентов вариаций $\leq 50\%$ различают однородный характер распределения содержания химических элементов [Михальчук, Языков, 2014]. Из таблицы 4.3 видно, что коэффициенты вариации Zn и U $\leq 50\%$, что говорит об их нормальном законе распределения. В целом вариативность большинства химических элементов в составе почвы исследуемой территории не превышает 50%. Коэффициенты вариаций таких элементов, как Ca, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Nd, Eu, Tb, Ta, Au $> 50\%$ (от 50 до 100%), что свидетельствует о неоднородном характере их распределения [Шестаков, 1988]. Концентрации Ag были ниже пределов обнаружения.

На рисунке 4.2 представлены гистограммы распределения химических элементов в составе почв исследуемой территории. Из гистограмм также видно, что содержания Zn и U относятся к нормальному закону распределения, что дает

возможность судить о природности характера их поступления. В целом содержания большинства химических элементов в составе почвы исследуемой территории также близки к нормальному закону распределения.

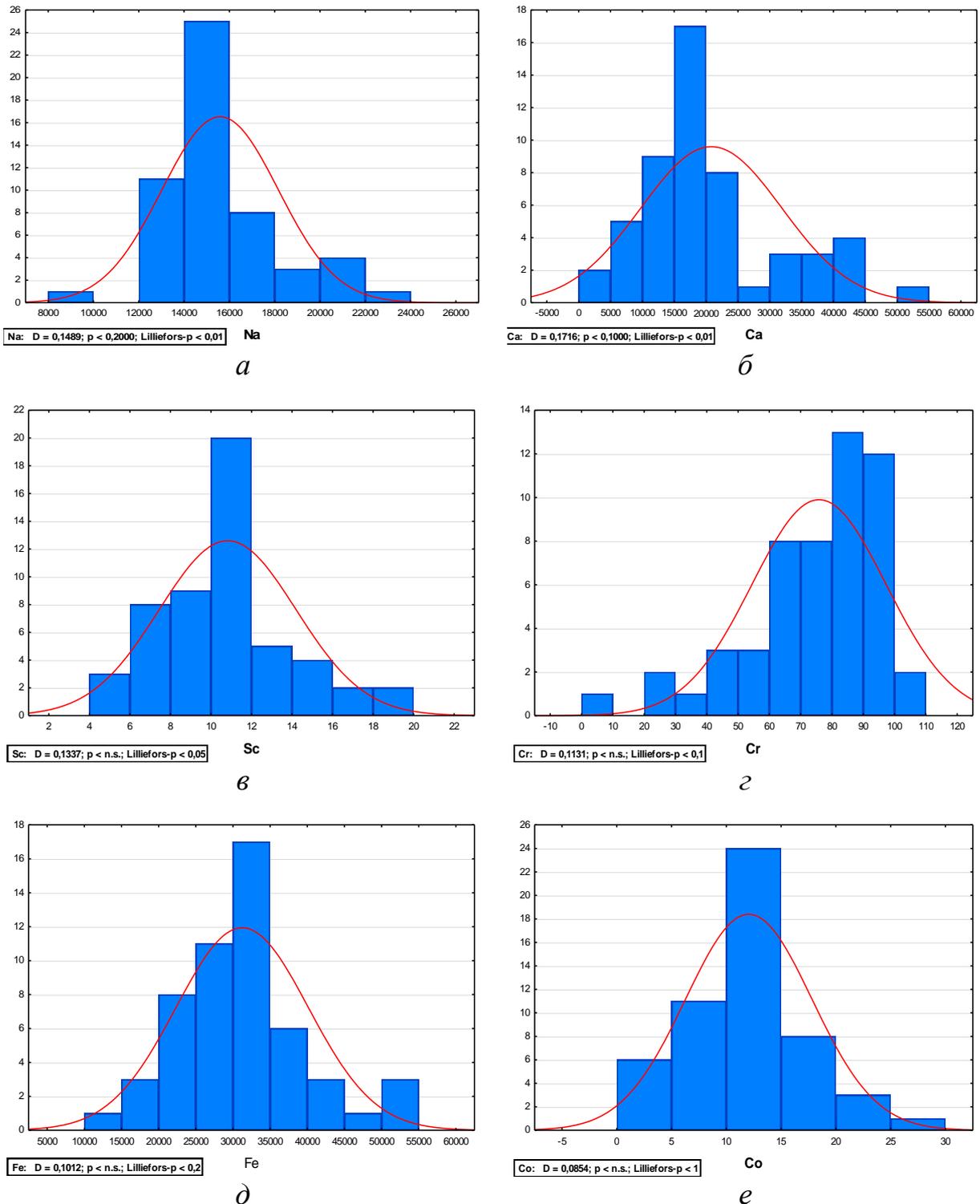
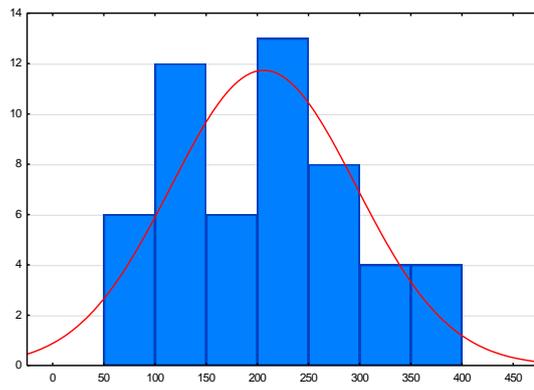
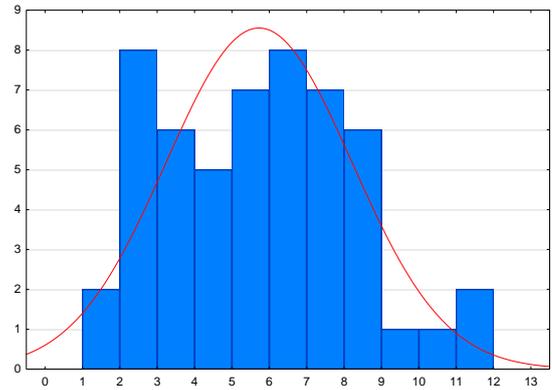


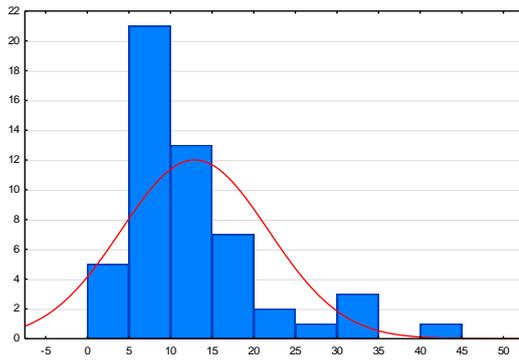
Рисунок 4.2, *a-e* – Гистограммы распределения химических элементов в составе почв территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону



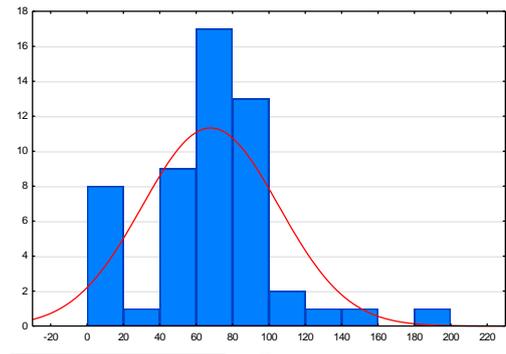
Ж



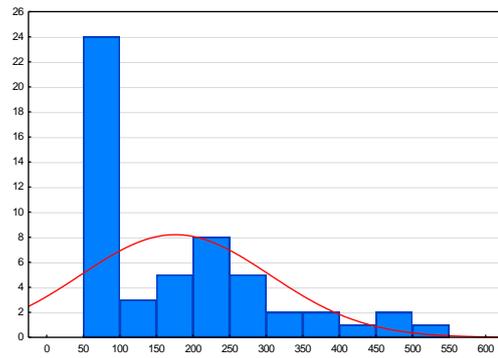
З



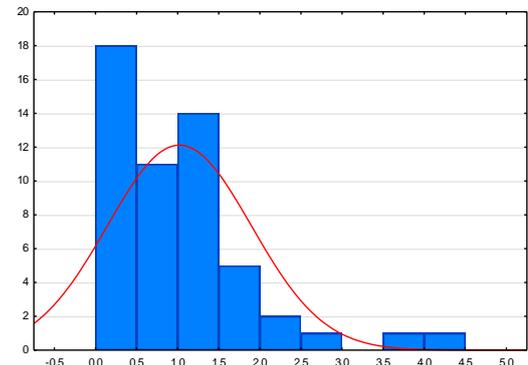
И



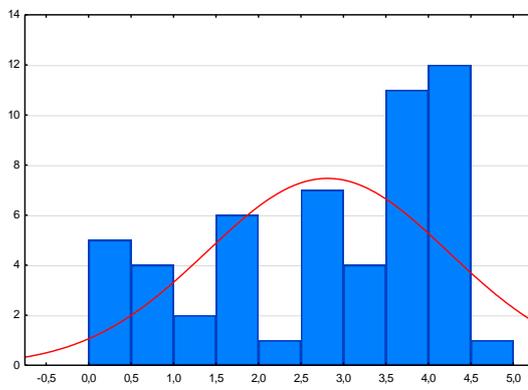
К



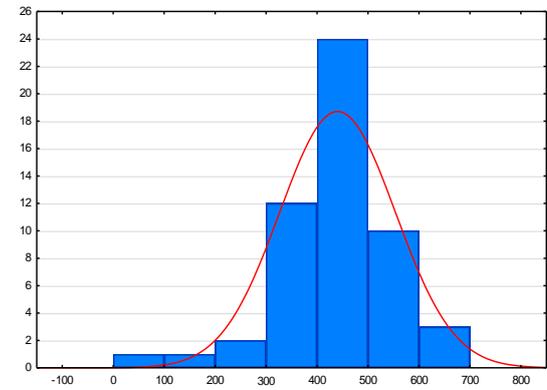
Л



М



Н



О

Рисунок 4.2, *ж-о* – Гистограммы распределения химических элементов в составе почв территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

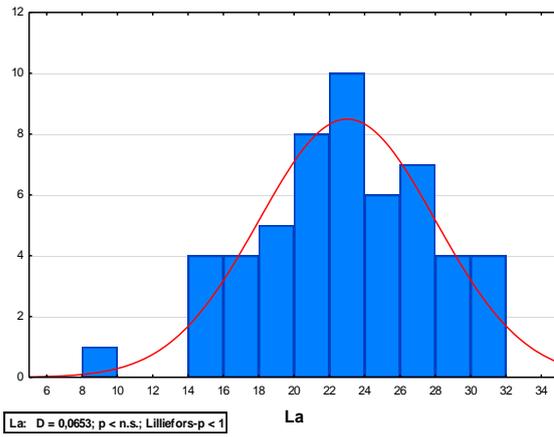
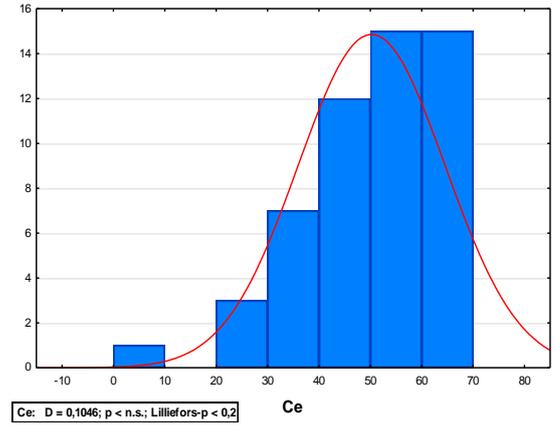
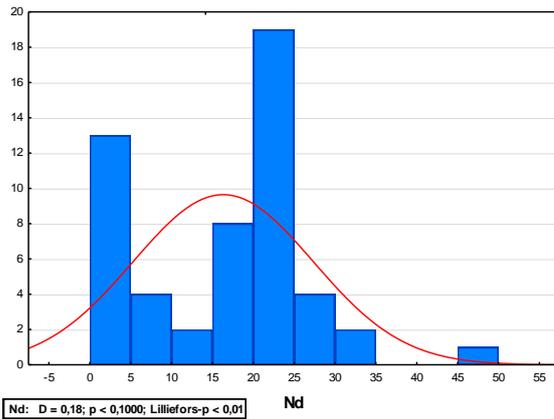
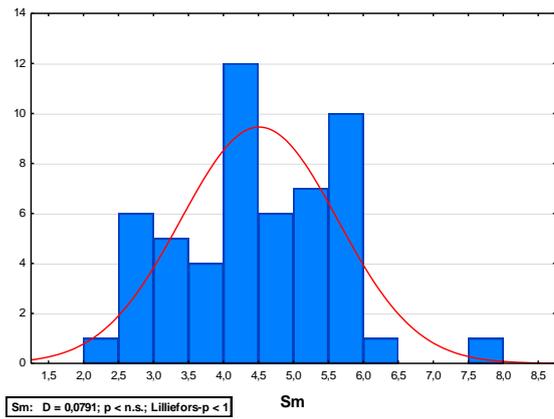
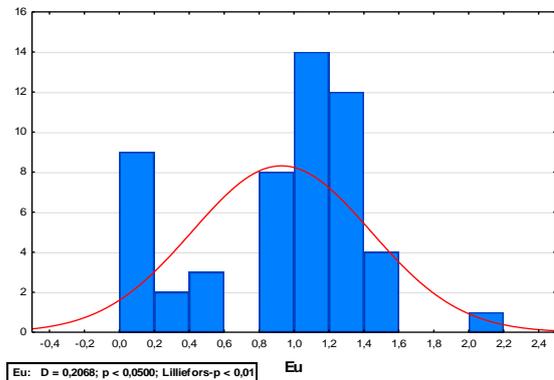
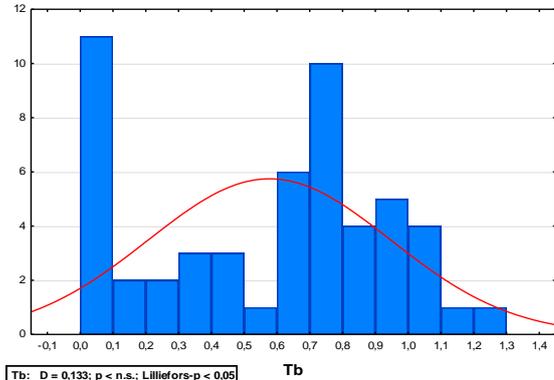
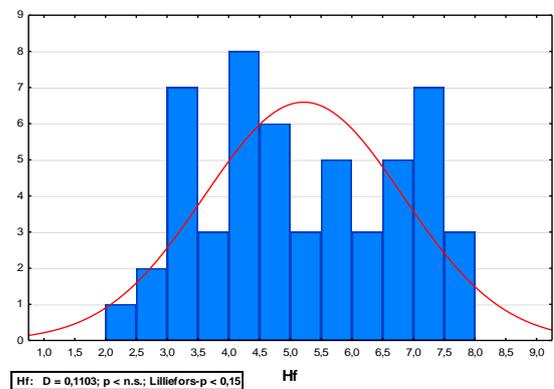
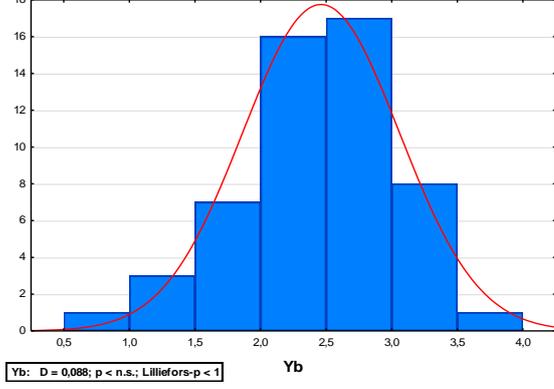
 n  p  c  m  y  ϕ  x  ζ

Рисунок 4.2, $n-\zeta$ – Гистограммы распределения химических элементов в составе почв территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

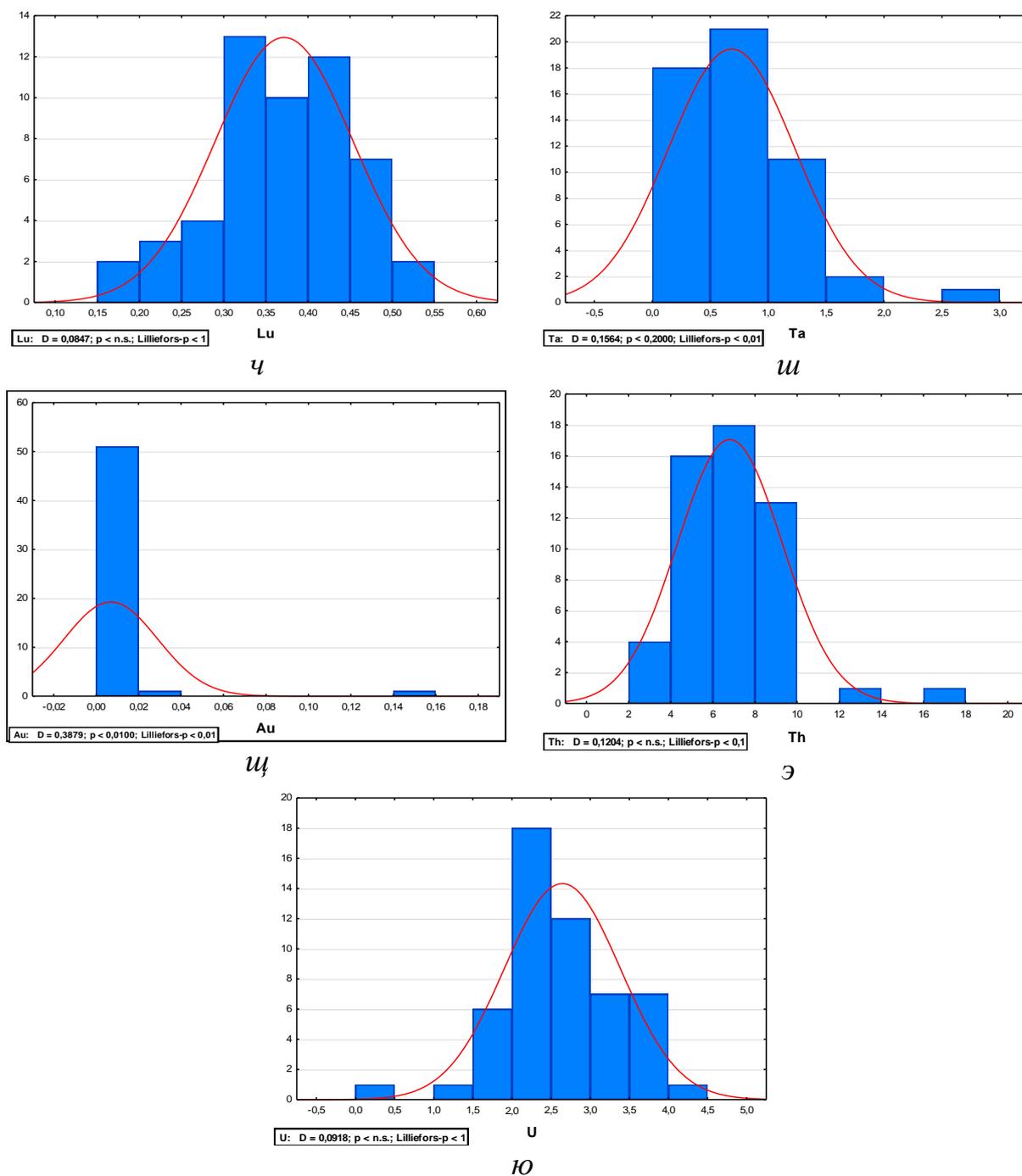


Рисунок 4.2, ψ – ю – Гистограммы распределения химических элементов в составе почв территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

Специфика накопления Zn и U для почв данной территории на фоне общей химической загрузженности приведена на рисунке 4.3. Так, при сравнении с почвой Томской области (ТО) как территории со схожей техногенной нагрузкой, определенной воздействием ядерного техногенеза, а также с почвой Тюменского федерального заказника (ТФЗ), установленной нами как условно фоновой, было установлено, что элементный состав почв территории, прилегающей к СИП, и почв территории Томской области имеет схожую специфику, которая проявляется

в более высоком содержании всех элементов, за исключением Au, по сравнению с территорией Тюменского федерального заказника [Боев, Барановская, 2018].

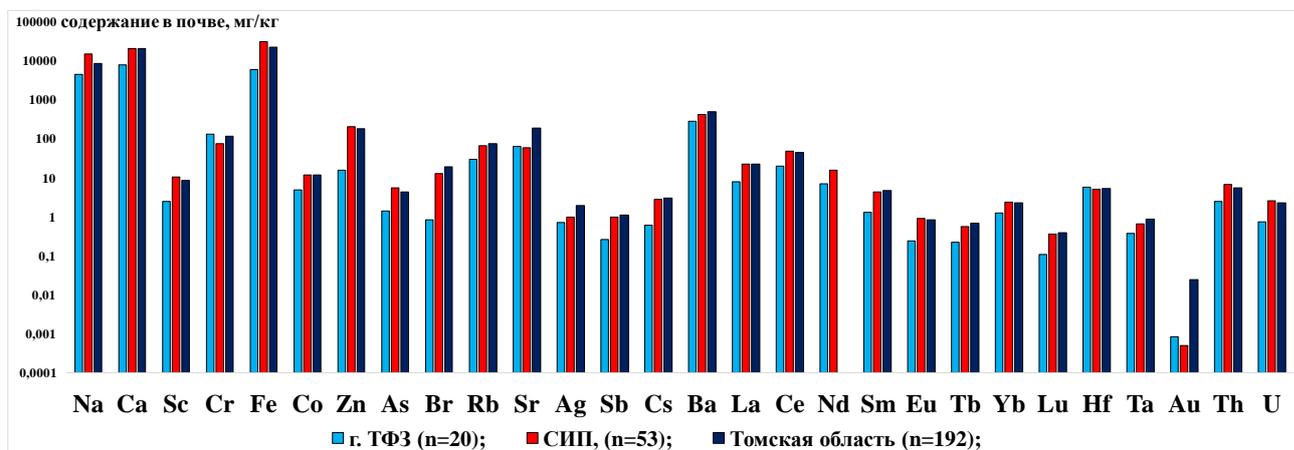
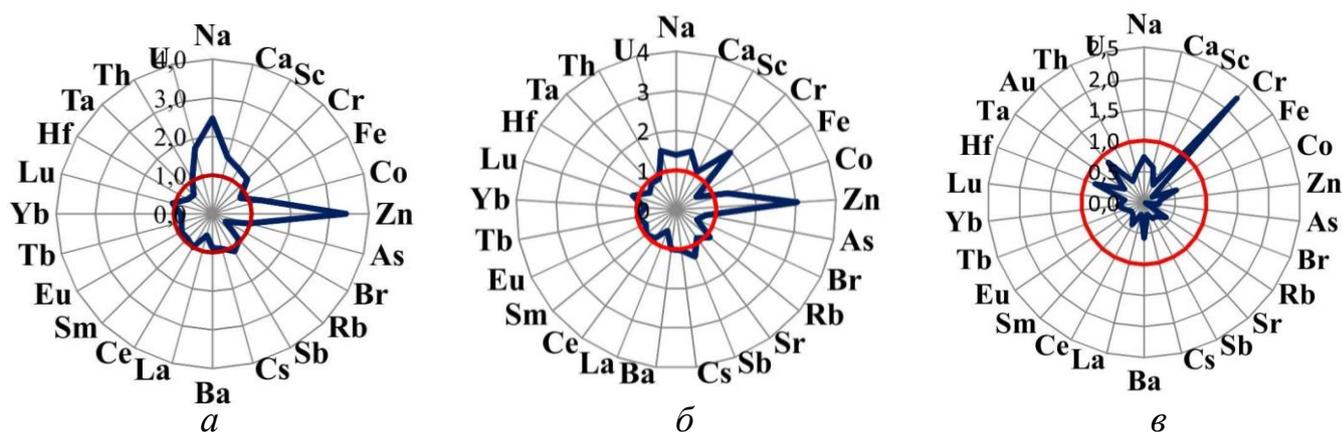


Рисунок 4.3 – Сравнительные данные содержания химических элементов в почвах локальных территорий, мг/кг

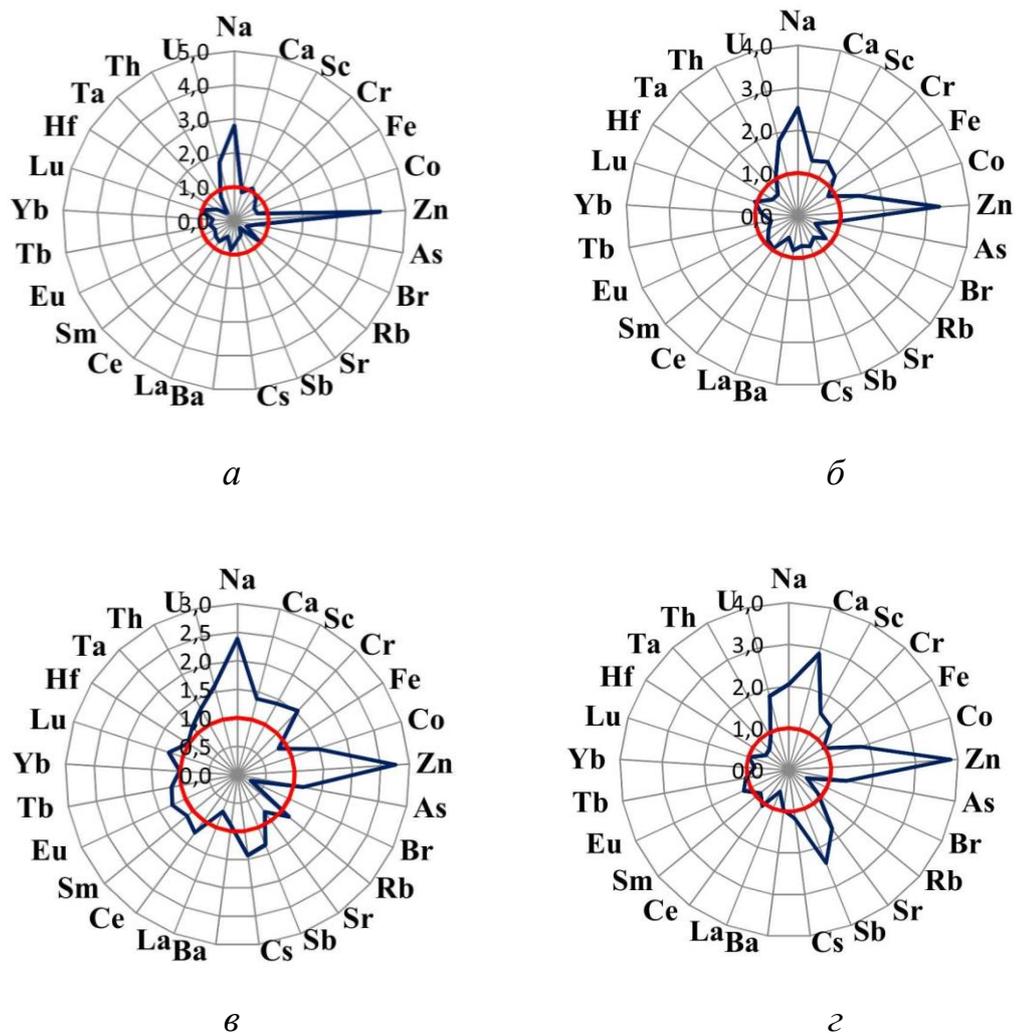
Анализ нормированных показателей относительно кларковых содержаний химических элементов по А. А. Ярошевскому [Ярошевский, 1990] также показал наличие схожей картины накопления химических элементов на территориях воздействия ядерного техногенеза (предприятие ядерно-топливного цикла Сибирского химического комбината в Томской области и Территория СИП), которая проявляется в концентрировании Zn, U, а также Na, Ca, Sc, Cr, Co, As, Sb, Lu (рисунок 4.4).



а – территория, прилегающая к Семипалатинскому испытательному полигону;
б – Томская область; *в* – Тюменский федеральный заказник

Рисунок 4.4 – Коэффициенты концентраций химических элементов в почвах территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, относительно кларка по А. А. Ярошевскому [Ярошевский, 1990]

В целях оценки изменчивости элементного состава почв исследуемой территории в зависимости от уровней дозовых нагрузок нами рассмотрены концентрации химических элементов в почвах различных зон радиационного риска, рассчитанных относительно кларка по А. А. Ярошевскому [Ярошевский, 1990] (рисунок 4.5).



a – зона чрезвычайного радиационного риска, $Z_{\text{CIP3}} = 6,9$;

б – зона максимального радиационного риска, $Z_{\text{CIP3}} = 7,2$;

в – зона повышенного радиационного риска, $Z_{\text{CIP3}} = 9,2$;

г – зона минимального радиационного риска, $Z_{\text{CIP3}} = 12,2$

Рисунок 4.5 – Коэффициенты концентрации химических элементов в почвах территорий, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону, ранжированных по уровню радиационного риска, относительно кларка по А. А. Ярошевскому [Ярошевский, 1990]

Из рисунка видно, что для почвы зоны чрезвычайного радиационного риска характерно накопление Na, Sc, Zn и U (4 элемента), для почвы зоны максимального радиационного риска – Na, Ca, Sc, Cr, Co, Zn, Lu, Th и U (9 элементов). В почве зоны с повышенным уровнем радиационного риска накапливается максимальный спектр элементов, таких как Na, Ca, Sc, Cr, Co, Zn, As, Rb, Sb, Cs, Ce, Sm, Eu, Tb, Lu, Ta, Th и U (18 элементов). Специфика элементного состава почвы данной территории отражается в накоплении Rb, Ce, Sm, Tb, Ta. Для почвы зоны минимального радиационного риска характерно накопление Na, Ca, Sc, Cr, Co, Zn, As, Sr, Sb, Cs, Eu и U (12 элементов). Специфичным для почвы зоны минимального радиационного риска является накопление Sr.

В целом, суммарные показатели загрязнения сравниваемых территорий не соответствуют их рангам, установленным по уровню радиационного риска. Максимальный уровень суммарных показателей загрязнения характерен для почв в зонах повышенного и минимального радиационного риска. Учитывая тот факт, что выделенные нами Zn и U, наряду с Na, Sc одинаково значимо ($KK \geq 1$) накапливаются во всех зонах радиационного риска, можно сделать вывод об их региональной специфичности для почв исследуемой территории в целом.

Таким образом, региональная специфика территории, прилегающей к СИП, складывается из воздействия природно-техногенных факторов с общими элементами Zn и U. Региональная геохимическая специфика элементного состава почв территории, прилегающей к СИП, выражается в накоплении Na, Sc, Zn и U. Территории, расположенные наиболее удаленно от СИП, отличаются максимальной химической загруженностью. Суммарные показатели загрязнения почв территорий, ранжированных по уровням дозовых нагрузок, максимальны для почв зон с повышенным и минимальным уровнем радиационного риска.

Солевые отложения питьевой воды и полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.) являются основными концентраторами химических элементов, в том числе Zn и U. Наиболее чувствительными индикаторами, активно концентрирующими химические элементы, являются живые системы.

Глава 5. Отражение дозовых нагрузок на элементном составе тканей человека

5.1. Сравнительная оценка элементного состава сухого остатка крови человека, проживающего в зонах разного уровня радиационного риска

В главе 2 было показано, что взаимосвязь элементного состава крови человека с условиями его жизни, такими как социально-бытовые условия, здоровье, состояние окружающей среды, достаточно широко изучена. При этом выяснилось, что чаще всего изучаются содержания эссенциальных элементов, тяжелых металлов, токсичных элементов в различных условиях жизни человека.

Элементный состав крови человека, проживающего в условиях воздействия предприятий ядерного техногенеза, изучен недостаточно. Так, отдельные авторы приводят данные о том, что длительное проживание в регионах воздействия ядерного техногенеза способствует накоплению ряда редкоземельных элементов в крови человека [Барановская, 2015]. Показано, что концентрации отдельных радиоактивных элементов в крови человека повышаются в условиях трудовой деятельности на предприятиях ядерно-топливного цикла [Burne, Benedik 1991]. При этом остаются нерешенными ряд закономерных вопросов: «Каковы пороги дозовых нагрузок, при которых в крови человека концентрируются редкоземельные и радиоактивные элементы?», «Какова значимость хронического воздействия малых доз ионизирующего излучения на элементный состав крови человека в условиях его длительного проживания с низким уровнем дозовой нагрузки?». На эти и другие вопросы мы попытались ответить в ходе наших исследований.

В результате проведенного инструментального нейтронно-активационного анализа в сухом остатке крови жителей исследуемой территории были измерены концентрации 28 химических элементов: 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. Полученный массив данных был подвергнут статистической обработке.

На рисунке 5.1 представлена диаграмма размаха крайних значений концентраций химических элементов в сухом остатке крови человека для общей выборки. Из рисунка видно, что концентрации основного количества элементов, за исключением Na, Fe, Zn, Br, Rb, Lu, характеризуются большим разбросом крайних значений.

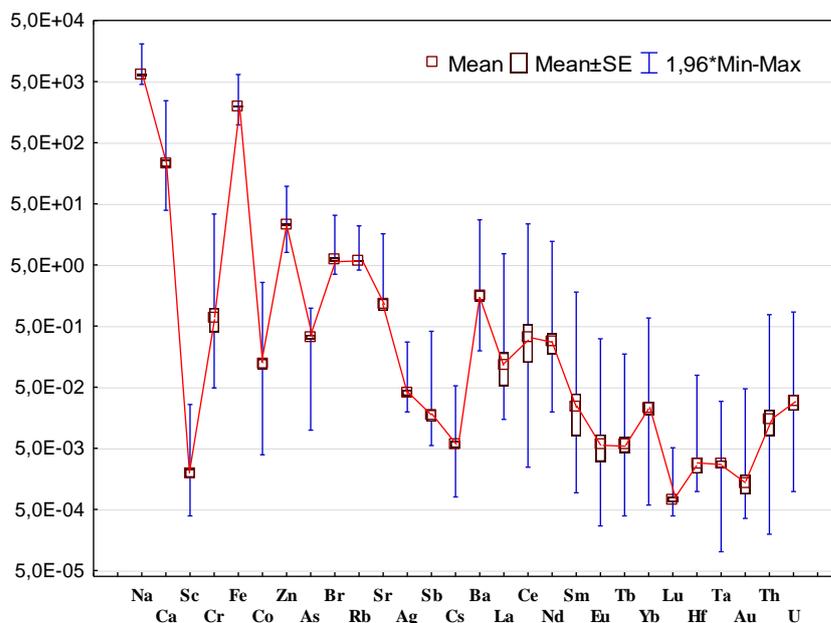


Рисунок 5.1 – Оценка среднего содержания химических элементов в сухом остатке крови жителей территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (объем выборки – 60 проб), мг/кг

Кривая распределения элементов в сухом остатке крови человека исследуемой территории подчиняется основному закону В. И. Вернадского о распространении химических элементов во Вселенной, а также правилу Оддо–Гаркинса о преобладании четных элементов над нечетными [Гринвуд, Эрншо 2008].

Статистическая обработка результатов аналитических исследований позволила провести количественную оценку содержания элементов в сухом остатке крови человека. Судя по рассчитанным математическим параметрам содержания химических элементов в сухом остатке крови человека, проживающего на территории, прилегающей к СИП, не подчиняется нормальному закону распределения. Коэффициенты вариации всех химических элементов, определенных методом ИНАА, за исключением Na, Fe, Zn, Br и Rb, характеризуются большим разбросом крайних значений (коэффициент вариации больше 50) (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Статистические параметры распределения элементов в сухом остатке крови жителей территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (объем выборки – 60 проб)

Элемент	m	σ	X_{med}	S	min	max	V, %
Na	6477	240	6397	1859	2300	10565	29
Ca	231	29,6	192	229	20,0	1243	99
Sc	0,002	0,0003	0,002	0,002	0,0002	0,01	123
Cr	0,7	0,3	0,3	2,2	0,02	17,4	325
Fe	1974	52,0	2000	402,4	500	3328	20
Co	0,1	0,02	0,1	0,2	0,002	1,3	145
Zn	23,2	1,0	22,8	7,7	4,1	49,4	33
As	0,3	0,03	0,5	0,2	0,005	0,5	62
Br	6,2	0,4	5,5	3,1	1,8	16,6	50
Rb	5,8	0,2	5,8	1,7	2,1	11,1	29
Sr	1,1	0,3	0,5	2,0	0,5	8,3	172
Ag	0,04	0,004	0,03	0,03	0,01	0,1	79
Sb	0,02	0,004	0,01	0,03	0,003	0,2	169
Cs	0,01	0,001	0,01	0,01	0,0004	0,03	94
Ba	1,6	0,3	0,50	2,4	0,1	14,0	151
La	0,1	0,07	0,03	0,5	0,01	3,9	429
Ce	0,3	0,2	0,03	1,6	0,001	12,0	477
Nd	0,3	0,1	0,2	0,8	0,01	6,2	287
Sm	0,02	0,015	0,001	0,12	0,0005	0,9	511
Eu	0,01	0,003	0,001	0,02	0,0001	0,2	360
Tb	0,01	0,002	0,001	0,01	0,0002	0,1	217
Yb	0,02	0,006	0,03	0,04	0,0003	0,3	189
Lu	0,001	0,0001	0,001	0,001	0,0002	0,003	71
Hf	0,003	0,001	0,001	0,01	0,001	0,04	225
Ta	0,003	0,0004	0,001	0,003	0,0001	0,01	105
Au	0,001	0,0005	0,001	0,004	0,0002	0,02	270
Th	0,01	0,007	0,005	0,05	0,0001	0,4	347
U	0,03	0,008	0,006	0,07	0,001	0,4	224

Примечание: m – среднее, σ – стандартная ошибка среднего, X_{med} – медиана, S – стандартное отклонение, min – минимум, max – максимум, V – коэффициент вариации

В таблице 5.2 приведены концентрации химических элементов, накапливаемых в сухом остатке крови человека зон различного уровня радиационного риска.

Таблица 5.2 – Содержание химических элементов в сухом остатке крови человека, проживающего в зонах различного уровня радиационного риска

Элемент	Зоны радиационного риска			
	Зона чрезвычайного радиационного риска (n = 15)	Зона максимального радиационного риска (n = 25)	Зона повышенного радиационного риска (n = 10)	Зона минимального радиационного риска (n = 10)
Na	* 8120 ± 305	* 6664 ± 320	* 5870 ± 395	4150 ± 327
Ca	* 243 ± 29	155 ± 20	* 502 ± 135	134 ± 29
Sc	< 0,003	< 0,003	0,001 ± 0,0004	< 0,003
Cr	* 2,0 ± 1,1	0,3 ± 0,06	0,2 ± 0,01	< 0,5
Fe	* 1840 ± 81	* 1942 ± 106	2040 ± 67	2190 ± 48
Co	* 0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,05	* 0,2 ± 0,04	0,04 ± 0,01
Zn	22 ± 1,5	24 ± 1,9	25 ± 1,8	23 ± 2,5
As	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,04	< 1	0,3 ± 0,07
Br	* 8,2 ± 0,8	* 6,7 ± 0,6	* 5,0 ± 0,4	3,2 ± 0,2
Rb	6,3 ± 0,5	5,7 ± 0,3	5,0 ± 0,4	6,3 ± 0,4
Sr	0,5 ± 0,01	0,8 ± 0,2	3,3 ± 1,2	0,9 ± 0,4
Ag	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,005	0,05 ± 0,01
Sb	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,002	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,003
Cs	* 0,01 ± 0,002	* 0,01 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,002
Ba	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,6	2,1 ± 1,1	0,8 ± 0,3
La	* 0,4 ± 0,3	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,002	< 0,05
Ce	* 1,2 ± 0,8	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nd	* 0,7 ± 0,4	0,2 ± 0,7	0,1 ± 0,003	0,1 ± 0,05
Sm	* 0,1 ± 0,06	0,001 ± 0,0004	0,001 ± 0,0005	0,001 ± 0,0006
Eu	* 0,004 ± 0,01	0,003 ± 0,0005	0,001 ± 0,0007	0,001 ± 0,0003
Tb	0,01 ± 0,006	0,01 ± 0,001	0,002 ± 0,0008	0,01 ± 0,003
Yb	0,01 ± 0,003	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,003	0,01 ± 0,004
Lu	< 0,05	* 0,001 ± 0,0001	0,001 ± 0,0001	0,0004 ± 0,0003
Hf	0,003 ± 0,001	0,002 ± 0,002	0,002 ± 0,001	0,004 ± 0,002
Ta	* 0,004 ± 0,001	* 0,004 ± 0,001	< 0,01	0,001 ± 0,0004
Au	0,001 ± 0,0002	0,001 ± 0,0001	* 0,01 ± 0,003	0,0004 ± 0,00004
Th	0,01 ± 0,03	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,0002	0,01 ± 0,002
U	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	* 0,07 ± 0,02	0,01 ± 0,007

Примечание: < – ниже указанного предела обнаружения; * – элементы со значимыми уровнями различия по сравнению с их содержанием в сухом остатке крови жителей зоны минимального радиационного риска, p < 0,05 (по результатам теста Манна–Уитни)

Из таблицы видно, что в составе сухого остатка крови жителей из зоны чрезвычайного радиационного риска по сравнению с составом сухого остатка крови жителей из зоны минимального радиационного риска содержания таких элементов, как Na, Ca, Cr, Fe, Co, Br, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Ta, имеют значимые уровни различия ($p < 0,05$). В зонах максимального и повышенного радиационного риска в составе сухого остатка крови человека по сравнению с составом сухого остатка крови человека из зоны минимального радиационного риска значимые уровни различия имеют такие элементы, как Na, Fe, Br, Cs, Lu, Ta и Na, Ca, Co, Br, Au, U. Все значимые различия, за исключением содержания Fe, выражаются в сравнительно высоких содержаниях указанных химических элементов в сухом остатке крови жителей сравниваемых зон радиационного риска по сравнению с таковыми в сухом остатке крови жителей зоны минимального радиационного риска. Содержания Fe в крови жителей зон чрезвычайного, максимального и повышенного радиационного риска сравнительно ниже, чем в сухом остатке крови жителей зоны минимального радиационного риска.

Элементный состав сухого остатка крови жителей разных зон радиационного риска был пронормирован к литературным данным [Iengar et al., 1978] (рисунок 5.2).

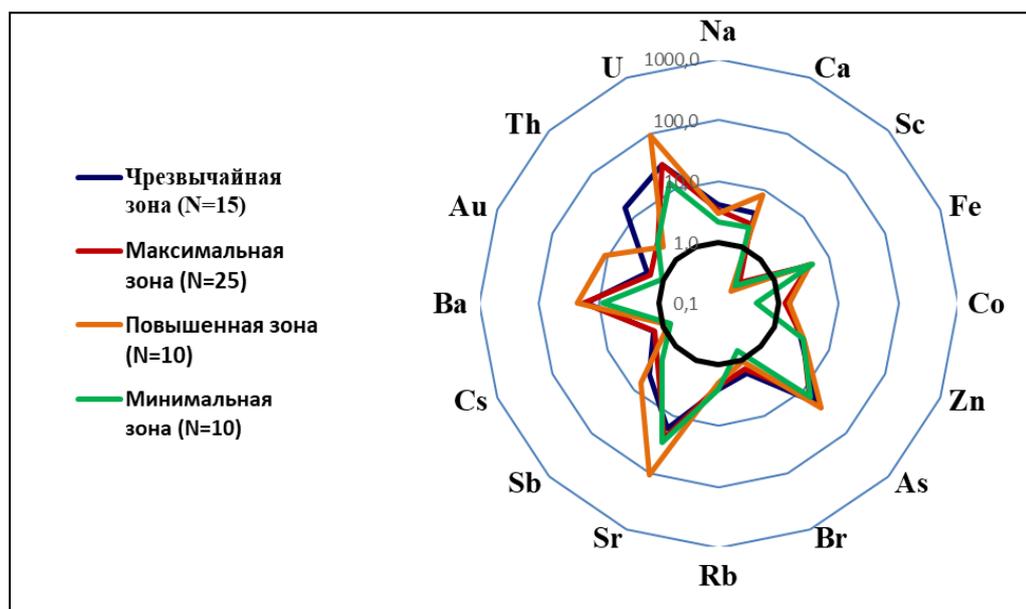


Рисунок 5.2 – Коэффициенты накопления элементов в сухом остатке крови населения, проживающего в зонах различного уровня радиационного риска на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, относительно литературных данных по G. V. Iengar (Iengar et al., 1978), мг/кг

Из рисунка 5.2 можно увидеть, что практически во всех зонах радиационного риска наблюдается накопление всех химических элементов, определяемых методом ИНАА, больше 1, за исключением Sc для всех зон, Co, Br и Cs для зоны минимального радиационного риска. Следует отметить, что в литературных данных отсутствуют нормы содержания редкоземельных элементов в крови человека, что значительно сужает спектр элементов, для которых могли бы быть рассчитаны коэффициенты накопления.

В целях проведения оценки накопления полного спектра элементов, определенных методом ИНАА, сухой остаток крови жителей исследуемых территорий был пронормирован относительно среднего содержания по выборке (рисунок 5.3).

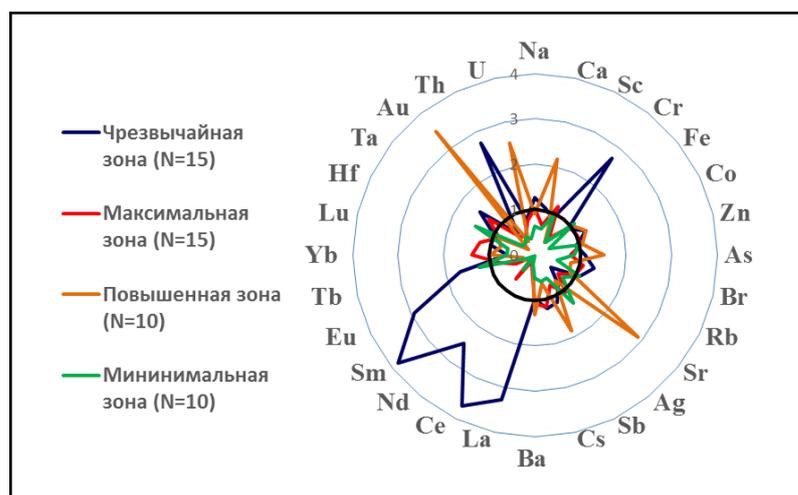


Рисунок 5.3 – Коэффициенты накопления элементов в сухом остатке крови населения, проживающего в разных зонах радиационного риска территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, относительно среднего по выборке, мг/кг

Из рисунка 5.3 можно выделить следующие спектры элементов с коэффициентом накопления выше 1: для сухого остатка крови жителей зоны чрезвычайного радиационного риска – Na, Cr, Rb, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Ta, Th; для сухого остатка крови жителей зоны максимального радиационного риска – Sc, Br, Ag, Cs, Yb, Lu, Ta; для сухого остатка крови жителей зоны повышенного радиационного риска – Ca, Co, Zn, As, Sr, Sb, Ba, Au, U; для сухого остатка крови жителей зоны минимального радиационного риска – Fe, Rb, Ag, Tb, Hf.

В дальнейшем сравнение элементного состава сухого остатка крови было проведено по аддитивному показателю – сумме содержания всех элементов, определяемых методом ИНАА (рисунок 5.4).

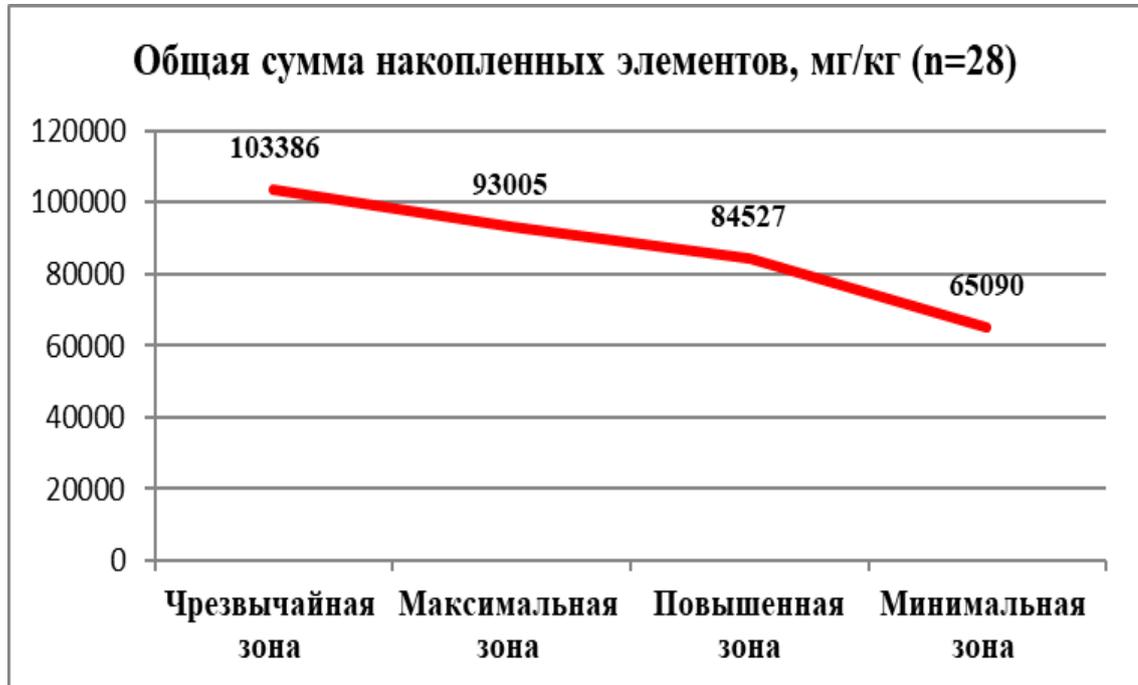


Рисунок 5.4 – Сравнение элементного состава сухого остатка крови населения, проживающего в зонах различного уровня радиационного риска, по суммарному показателю накопления

Применение такого рода показателя позволяет исключить некоторые индивидуальные факторы накопления химических элементов, позволяя тем самым увидеть территориальные особенности накопления химических элементов в организме человека [Барановская, 2015]. Так, из рисунка 5.4 видно, что сумма содержаний 28 химических элементов в сухом остатке крови человека, проживающего в зонах различного уровня радиационного риска, прямо пропорциональна дозам облучения человека сравниваемых территорий.

В таблице 5.3 приведены биогеохимические ряды накопления химических элементов, построенных относительно общего среднего по выборке.

Таблица 5.3 – Биогеохимические ряды накопления химических элементов в сухом остатке крови жителей зон различного уровня радиационного риска

Зона радиационного риска	Населенный пункт	Биогеохимические ряды	Суммарные показатели накопления
чрезвычайного, > 100 сЗв	Бодене	Ce_{68,8} Sm_{64,5} Eu _{13,6} La _{12,1} Th _{9,8} U _{9,6} Nd _{4,2} Cr _{3,7} Tb _{2,7} Ta _{2,3} Co _{2,3} Hf _{1,9} Br _{1,8} As _{1,6} Cs _{1,6}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 201$
	Долонь	Ce _{11,0} Sm _{10,1} Nd _{2,6} Cr _{2,5} La _{2,0} Cs _{1,8} Ta _{1,8} Eu _{1,7}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 33$
	Саржал	Co _{2,3} Ta _{2,0} Ba _{2,0} Ce _{1,9} Sb _{1,8} Nd _{1,7}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 1,7$
максимального, 35–100 сЗв	Канонерка	Ta _{2,9} Nd _{2,0} Cs _{1,7} Br _{1,6}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 8,2$
	Новопокровка	Lu _{2,2} Ba _{1,7} Sc _{1,5} Eu _{1,5} Yb _{1,5}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 8,4$
	Медеу	Tb _{3,8} Ta _{3,2} Nd _{2,0} Co _{1,6}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 10,6$
	Караул	Co _{2,6} Br _{1,7}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 4,3$
повышенного, 7–35 сЗв	Зенковка	U _{10,1} Ca _{2,5} As _{2,3} Sr _{2,3} Au _{2,2} Co _{1,7} Tb _{1,5}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 22,6$
минимального, 0,1–7 сЗв	Кокпекты	Yb _{1,4} Ag _{1,3} Hf _{1,2} Fe _{1,1} Rb _{1,1}	$\sum_{KK \geq 1,5} = 201$
Примечание: красным цветом выделены элементы с аномально высокими коэффициентами накопления			

Из таблицы видно, что для элементного состава сухого остатка крови жителей зоны чрезвычайного радиационного риска характерен максимально широкий спектр элементов, накапливаемых $\geq 1,5$. При этом основной вклад в суммарный показатель накопления вносит церий, встречающийся в крови жителей всех трех населенных пунктов данной зоны. Также этот высокий показатель формирует самарий, концентрация которого в 64 раза выше среднего в н. п. Бодене и в 10 раз выше в н. п. Саржал. Кроме того, следует отметить резко выделяющуюся геохимическую специфику н. п. Бодене, в котором отмечается максимальное значение общей суммы аномальных концентраций химических элементов, количество которых составляет 15. Общей особенностью биогеохимических рядов накопления химических элементов в сухом остатке крови жителей зоны чрезвычайного радиационного риска является накопление

Ce, Nd и Ta. Примечательно, что в сухом остатке крови жителей населенного пункта Зенковка, относящегося к зоне повышенного радиационного риска, отмечено аномальное накопление U, что, возможно, связано с индивидуальными эффективными эквивалентными дозами облучения (ЭЭД) отдельных респондентов. Данный вопрос требует проведения дополнительных исследований.

В целях выявления основных факторов воздействия на элементный состав сухого остатка крови жителей исследуемых территорий был проведен факторный анализ. При анализе использовался метод выделения главных компонент, с нагрузкой $> 0,7$. Было выделено два основных фактора, которые определяют большую часть суммарной изменчивости элементного состава крови (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Основные факторы воздействия на элементный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, ранжированной по уровням дозовых нагрузок

Параметры	Фактор 1	Фактор 2
Зона чрезвычайного радиационного риска, свыше 100 сЗв (п. Бодене, п. Долонь, п. Саржал)		
Элементы, нагрузка $> 0,7$	Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Th, U;	Cr, Ag, Cs, Au;
Зона максимального радиационного риска, от 35 до 100 сЗв (п. Медеу, п. Канонерка, п. Новопокровка, п. Караул)		
Элементы, нагрузка $> 0,7$	Na, Ca, Co, Br, Lu;	Ba;
Зона повышенного радиационного риска, от 7 до 35 сЗв (п. Зенковка)		
Элементы, нагрузка $> 0,7$	Cr, Sr, Cs, Ce;	Na, Br, Sb, Ba, La;
Зона минимального радиационного риска, от 0,1 до 7 сЗв (п. Кокпекты)		
Элементы, нагрузка $> 0,7$	As, Ag, Tb, Yb;	Na, Au;

Из таблицы видно, что для крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска, наиболее значимым является первый фактор, который объединяет ряд редкоземельных элементов, а также Th и U. Второй, наименее значимый фактор, объединяет в себе такие элементы, как Cr, Ag, Cs, Au. Для крови человека, проживающего в зоне максимального радиационного риска, наиболее значимым также является первый фактор, который объединяет такие элементы, как Na, Ca, Co, Br, Lu. Второй фактор в данном случае был значимым только для Ba. В зоне повышенного радиационного риска первый и второй факторы нагрузки на элементный состав в сухом остатке крови человека объединили такие элементы, как Cr, Sr, Cs, Se и Na, Br, Sb, Ba, La соответственно. В сухом остатке крови жителей зоны минимального радиационного риска наиболее значимым оказался первый фактор, который определяет уровни накопления таких элементов, как As, Ag, Tb, Yb. Второй фактор в данном случае объединяет такие элементы, как Na, Au. Судя по характеру выделяемых элементов в крови жителей зон чрезвычайного и повышенного радиационного риска, первый фактор, скорее всего, является радиационным [Барановская, 2015]. По характеру элементов, выделяемых в крови жителей зон максимального и минимального радиационного риска, факторы воздействия на элементный состав крови человека в данных зонах, скорее всего, носят смешанный характер.

Таким образом, по результатам факторного анализа можно сделать вывод, что воздействие дозовых нагрузок на элементный состав крови человека наиболее ярко отражается при дозовых нагрузках свыше 100 сЗв. При дозовых нагрузках ниже 100 сЗв основные факторы нагрузки объединяют как эссенциальные, так и радиоактивные, и редкоземельные элементы. Возможно, при оценке воздействия дозовых нагрузок ниже 100 сЗв следует учитывать индивидуальные эффективные эквивалентные дозы облучения. Так, человек, проживающий в зоне повышенного радиационного риска, в зависимости от его радиационного маршрута (периода проживания в зонах различного уровня радиационного риска, профессии и т.д.) может иметь такую же индивидуальную ЭЭД облучения, что и человек, проживающий в зонах максимального и чрезвычайного радиационного риска.

В таблице 5.5 приведены уровни индивидуальных доз облучения респондентов, согласно установленным уровням радиационного риска.

Таблица 5.5 – Индивидуальные дозы облучения респондентов за весь период проживания на исследуемой территории, согласно установленным уровням радиационного риска

Зоны радиационного риска	Населенный пункт	Индивидуальные ЭЭД, сЗв
чрезвычайного (> 100 сЗв)	Саржал (n = 5)	$\frac{85,8 \pm 5,5}{68,6 - 99,0}$
	Бодене (n = 5)	$\frac{74,7 \pm 14,2}{25,8 - 100}$
	Долонь (n = 5)	$\frac{55,7 \pm 8,3}{39,0 - 86,7}$
максимального (35–100 сЗв)	Караул (n = 5)	$\frac{69,5 \pm 18,4}{23,8 - 100}$
	Медеу (n = 5)	$\frac{54,1 \pm 13,0}{12,9 - 87,7}$
	Канонерка (n = 5)	$\frac{98,9 \pm 0,92}{95,2 - 100}$
	Новопокровка (n = 10)	$\frac{9,5 \pm 1,2}{0,6 - 15,4}$
повышенного (7–35 сЗв)	Зенковка (n=10)	$\frac{6,9 \pm 2,9}{0,3 - 27,8}$
минимального (0,1–7 сЗв)	Кокпекты (n = 10)	$\frac{0,9 \pm 0,2}{0,3 - 2,9}$
Примечание: в числителе приведены среднеарифметическое значение \pm стандартная ошибка среднего, в знаменателе – минимальные и максимальные значения соответственно.		

Как видно из таблицы, индивидуальные ЭЭД облучения жителей зон чрезвычайного и максимального радиационного риска варьируют в пределах 54,1–98,9 сЗв, за исключением населенного пункта Новопокровка, где среднее значение индивидуальных ЭЭД облучения составляет 9,5 сЗв. Среднее значение индивидуальных ЭЭД облучения респондентов зоны минимального радиационного риска составляет 0,9 сЗв.

При оценке уровня взаимосвязи элементного состава крови человека с индивидуальными ЭЭД облучения следует учитывать тот факт, что расчет ЭЭД облучения человека при хроническом воздействии ионизирующего излучения основан на его радиационном маршруте. Радиационный маршрут отражает сроки пребывания респондентов в зонах различного уровня радиационного риска с момента рождения по настоящее время. Следовательно, чем старше человек, тем больше возможность повышения его индивидуальной ЭЭД облучения (рисунок 5.5).

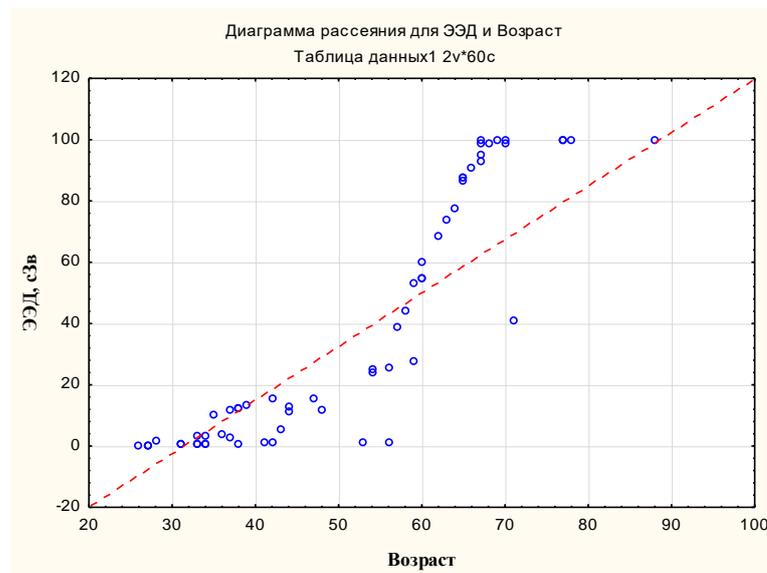


Рисунок 5.5 – Зависимость индивидуальных эффективных эквивалентных доз облучения от возраста

В целях оценки уровня зависимости элементного состава крови человека от уровней его индивидуальной дозы облучения был проведен корреляционный анализ. В качестве переменной, зависимой от индивидуальных ЭЭД облучения человека, был применен суммарный показатель накопления (СПН) 28 химических элементов в составе его крови. В результате линейная форма зависимости от индивидуальной ЭЭД облучения была выявлена для основного количества проб крови, отобранных в населенных пунктах Кокпекты, Зенковка и Бодене, а также для некоторых проб крови, отобранных в населенном пункте Новопокровка (пробы №№ 1, 3, 7). При этом для основного количества

проб крови, отобранных в населенных пунктах Кокпекты и Зенковка, низким значениям СПН (в пределах 0–0,3 мг/кг) соответствуют низкие уровни ЭЭД облучения (в пределах 0–1 сЗв). Уровни корреляции между сравниваемыми параметрами для данных населенных пунктов составляют $r = 0,89$ и $r = 0,67$ соответственно, при значимости коэффициента корреляции $\leq 0,6$. Для основного количества проб крови, отобранных в населенном пункте Новопокровка, характерны суммарные показатели накопления химических элементов в пределах 0,1–0,7 мг/кг при ЭЭД облучения в пределах 3–15 сЗв ($r = -0,11$). Для основного количества проб крови, отобранных в населенных пунктах Бодене, характерны сравнительно высокие суммарные показатели накопления химических элементов в пределах 2,5–25 мг/кг при сравнительно высоких уровнях ЭЭД облучения в пределах 25–80 сЗв ($r = 0,85$). Населенные пункты Саржал, Долонь, Канонерка, Медеу и Караул характеризуются значениями суммарных показателей накопления химических элементов в пределах 0,2–0,9 мг/кг при ЭЭД облучения в пределах 2–100 сЗв ($r = 0,17$; $r = -0,02$; $r = 0,17$; $r = -0,16$; $r = -0,6$) (рисунок 5.6).

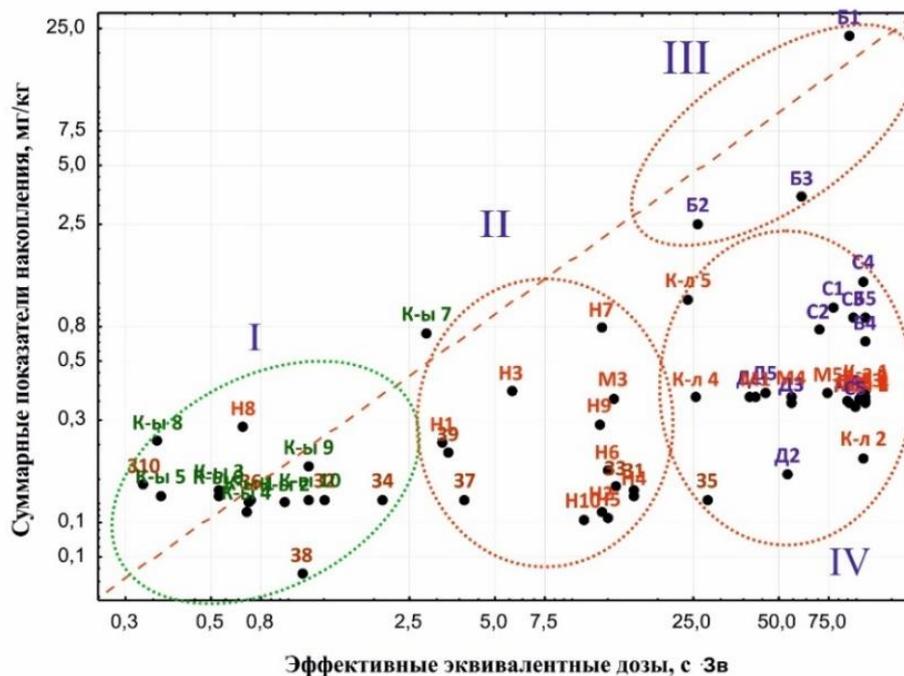


Рисунок 5.6 – Ранжирование исследуемых территорий по эффективным эквивалентным дозам облучения и суммарному показателю накопления химических элементов в сухом остатке крови человека, мг/кг

В целом результаты корреляционного анализа позволяют судить о том, что рассматриваемые населенные пункты можно разделить на четыре группы по характеру разброса сравниваемых параметров. При этом наличие как прямой, так и обратной корреляционной зависимости между суммарными показателями накопления химических элементов в крови и индивидуальными ЭЭД облучения жителей исследуемых населенных пунктов показывает, что при оценке воздействия дозовых нагрузок на организм человека следует учитывать биогеохимическую специфику территории его проживания.

Таким образом, суммарные показатели химических элементов, определяемых ИНАА, имеют прямую корреляцию с уровнями дозовых нагрузок, что показывает применимость крови человека в оценке радиэкологической ситуации территории. В зоне чрезвычайного радиационного риска наблюдается максимальный спектр накопления химических элементов. При этом основной вклад в СПН вносят Ce, Sm, Eu, La, Th и U.

5.2. Сравнительная оценка элементного состава волос человека, проживающего в зонах разного уровня радиационного риска

Содержания 28 химических элементов, определенных методом ИНАА, в составе волос человека исследуемых территорий также были подвергнуты статистической обработке, за исключением Cr, Ag, Sb, концентрации которых определены ниже пределов обнаружений больше чем в 50 % случаях (таблица 5.6).

По рассчитанным показателям можно судить о том, что содержания химических элементов в составе волос относятся к логнормальному закону распределения.

Таблица 5.6 – Статистические параметры распределения содержания элементов в волосах жителей территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (объем выборки – 50 проб)

Элемент	m	σ	X_{med}	S	min	max	V, %
Na	792	120	417	849	74,0	3623	107
Ca	1859	255	1165	1800	340	8920	96,8
Sc	0,02	0,003	0,01	0,02	0,001	0,12	134
Fe	620	86,1	640	609	150	3728	98,2
Co	0,9	0,1	0,6	0,7	0,1	2,8	83,8
Zn	174	15,2	153	107	14	512	61,7
As	0,3	0,03	0,2	0,2	0,03	0,7	70,2
Br	2,6	0,35	1,9	2,5	0,3	12,5	94,8
Rb	0,3	0,04	0,2	0,3	0,02	1,6	103
Sr	9,3	1,75	4,0	12,4	3	46,5	133
Cs	0,01	0,002	0,003	0,01	0,001	0,1	130
Ba	5,5	0,54	4,1	3,8	1	16,2	69,1
La	0,2	0,03	0,2	0,2	0,02	1,3	103
Ce	0,7	0,08	0,6	0,6	0,1	3,4	85,5
Nd	0,3	0,07	0,05	0,5	0,05	2,2	142
Sm	0,01	0,002	0,002	0,01	0,001	0,1	216
Eu	0,004	0,001	0,002	0,01	0,001	0,04	149
Tb	0,005	0,001	0,003	0,01	0,001	0,03	110
Yb	0,01	0,001	0,01	0,01	0,002	0,04	109
Lu	0,004	0,001	0,003	0,004	0,001	0,02	105
Hf	0,01	0,003	0,003	0,02	0,0004	0,2	283
Ta	0,01	0,0003	0,01	0,002	0,003	0,02	40,0
Au	0,1	0,02	0,01	0,2	0,001	0,7	218
Th	0,01	0,002	0,01	0,01	0,001	0,1	112
U	0,5	0,07	0,4	0,5	0,003	1,2	86,9

Примечание: m – среднее, σ – стандартная ошибка среднего, X_{med} – медиана, S – стандартное отклонение, min – минимум, max – максимум, V – коэффициент вариации

Волосы человека, проживающего на данной территории, как и солевые отложения питьевой воды, отличаются высокой вариативностью накопления химических элементов, что говорит об их высокой генеративной способности. Именно это свойство волос человека отмечали Л. И. Жук и А. А. Кист [Жук, Кист, 1990] как особое достоинство данного биосубстрата с точки зрения применения в качестве индикатора при экологической оценке территорий со сложной геохимической обстановкой. Индикаторные свойства волос нами использованы для выявления специфики волос человека, проживающего на локальных территориях, нормированных по уровням дозовых нагрузок, а также расположенных на путях прохождения следов основных дозообразующих ядерных испытаний (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Населенные пункты по отношению к путям прохождения следов основных дозообразующих испытаний, проведенных на Семпалатинском испытательном полигоне

Исследуемый населенный пункт	Дата испытания, образовавшего радиоактивные следы	Зона радиационного риска
Саржал	12.08.1953 , 400 кт	чрезвычайного, свыше 100 сЗв
Бодене	29.08.1949, 22 кт	
Долонь	29.08.1949, 22 кт	
Караул	12.08.1953 , 400 кт	максимального, 35–100 сЗв
Медеу	12.08.1953 , 400 кт	
Канонерка	29.08.1949, 22 кт	
Новопокровка	Вне следа	повышенного, 7–35 сЗв
Зенковка	Вне следа	
Кокпекты	Вне следа	минимального, 0,1–7 сЗв

Элементный состав волос жителей населенных пунктов, расположенных на пути прохождения следа дозообразующего ядерного испытания, проведенного 29.08.1949, был сравнен с литературными данными. В результате выявлено, что

в волосах жителей рассматриваемых территорий наблюдаются сравнительно высокие концентрации таких элементов, как Na, Ca, Fe, Co, La, Ce, Lu и U. При этом следует отметить, что концентрации Na, Fe, La, Ce, и U превышают литературные данные на один порядок. Концентрация Co превышает литературные данные на два порядка. В то же время в волосах жителей данных территорий наблюдаются сравнительно низкие концентрации относительно литературных данных таких элементов, как As, Br, Cs, Sm, Eu, Tb, Hf, Ta и Au. (рисунок 5.7).

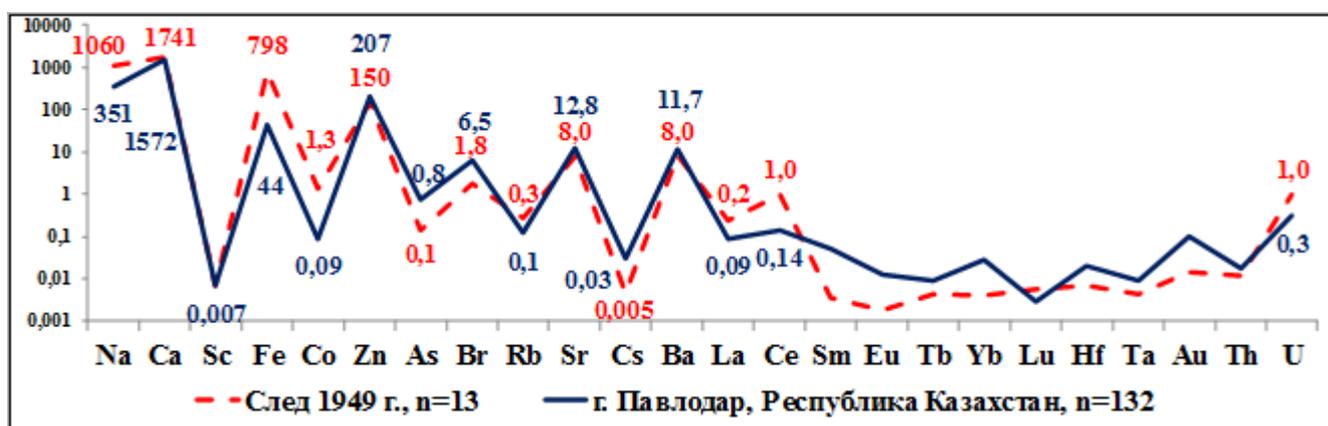


Рисунок 5.7 – Сравнение элементного состава волос жителей территорий, расположенных на пути прохождения следа дозообразующего ядерного испытания, проведенного 29.08.1949, со средними по г. Павлодар, Республика Казахстан, мг/кг, по данным Н. П. Корогод [Корогод, 2008]

Элементный состав волос жителей населенных пунктов, расположенных на пути прохождения следа дозообразующего термоядерного испытания, проведенного 12.08.1953, был сравнен с литературными данными. В результате выявлено, что для волос жителей рассматриваемых территорий характерны сравнительно высокие концентрации таких элементов, как Na, Ca, Fe, Co, La, Ce, Lu, Au, U. Примечательно, что концентрации Co, Ce, Lu и U превышают литературные данные на один порядок. Сравнительно низкие концентрации в волосах жителей данных территорий относительно литературных данных отмечаются для таких элементов, как As, Br, Cs, Sm, Eu, Tb, Yb, Hf, Ta (рисунок 5.8).

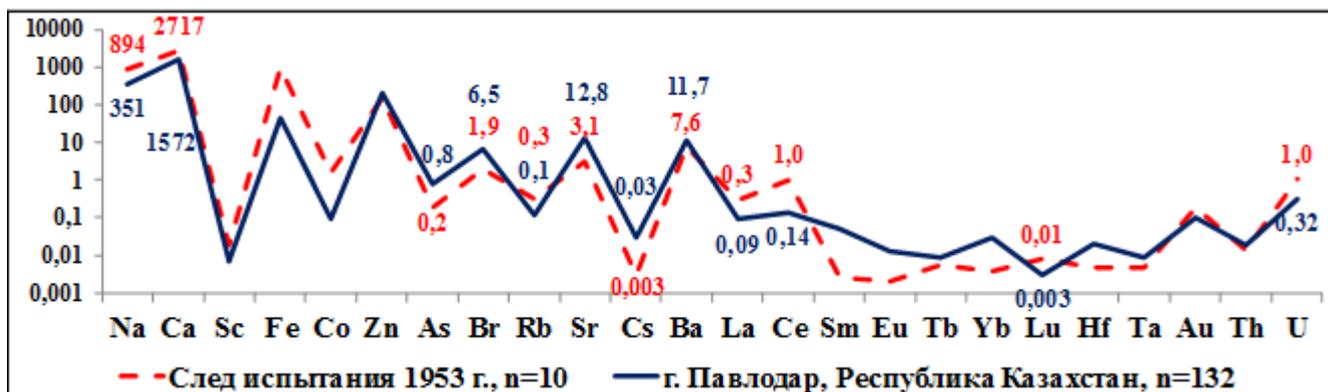


Рисунок 5.8 – Сравнение элементного состава волос жителей территорий, расположенных на пути прохождения следа дозобразующего термоядерного испытания, проведенного 12.08.1953, со средними по г. Павлодар, Республика Казахстан, мг/кг, по данным Н. П. Корогод [Корогод, 2008]

На рисунке 5.9 приведен график сравнения элементного состава волос человека, проживающего на локальных территориях, расположенных на путях прохождения следов основных дозобразующих испытаний и вне их.

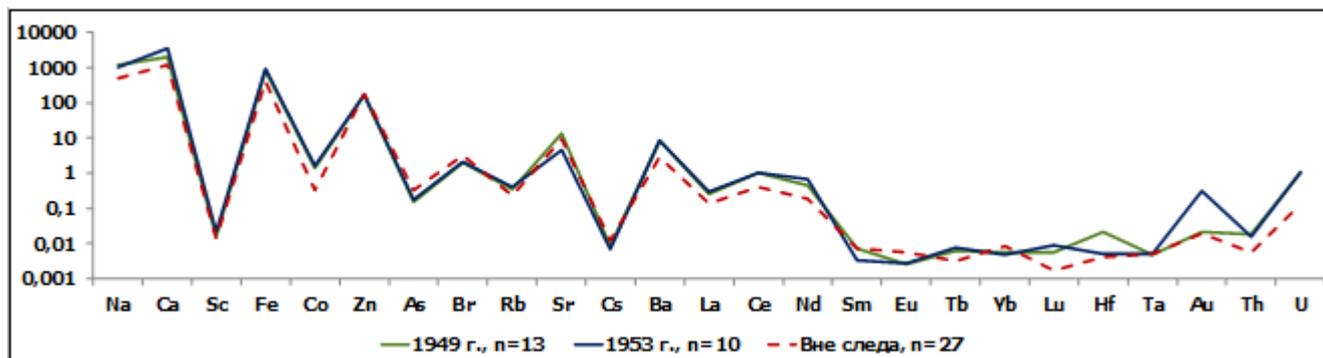


Рисунок 5.9 – Сравнение элементного состава волос населения территорий, расположенных на путях прохождения следов основных дозобразующих испытаний и вне их, мг/кг

Из рисунка видно, что для волос человека, проживающего на путях прохождения следов испытаний, проведенных 29.08.1949 и 12.08.1953, характерны повышенные уровни накопления Na, Ca, Fe, Co, Ba, La, Ce, Nd, Lu, Th и U.

В таблице 5.8 приведены биогеохимические ряды накопления химических элементов в волосах человека территорий, расположенных на путях прохождения следов основных дозобразующих ядерных испытаний, проведенных 29.08.1949

и 12.08.1953, рассчитанных относительно среднего по территории г. Павлодар, Республики Казахстан (по данным Н. П. Корогод) [Корогод, 2008].

Таблица 5.8 – Биогеохимические ряды накопления химических элементов в волосах человека, проживающего на локальных территориях, расположенных на путях прохождения следов основных дозообразующих ядерных испытаний, проведенных 29.08.1949 и 12.08.1953

На следе испытания	Биогеохимические ряды	Суммарный показатель накопления
29.08.1949	$\text{Hf}_{15,7}$ $\text{U}_{14,0}$ $\text{Nd}_{9,9}$ $\text{Lu}_{8,8}$ $\text{Sr}_{8,4}$ $\text{Th}_{8,3}$ $\text{Sm}_{8,0}$ $\text{Na}_{8,0}$ $\text{Co}_{7,6}$ $\text{Sc}_{6,6}$ $\text{Ce}_{6,5}$ $\text{Tb}_{6,2}$ $\text{Fe}_{6,1}$ $\text{La}_{5,9}$ $\text{Ba}_{5,5}$ $\text{Cs}_{5,4}$ $\text{Rb}_{4,9}$	$Z_{\text{СПН}} = 152,1$
12.08.1953	$\text{Au}_{53,2}$ $\text{U}_{15,0}$ $\text{Lu}_{12,9}$ $\text{Nd}_{12,9}$ $\text{Co}_{9,3}$ $\text{Sc}_{8,4}$ $\text{Ca}_{8,2}$ $\text{Tb}_{7,9}$ $\text{La}_{7,2}$ $\text{Th}_{7,0}$ $\text{Fe}_{6,9}$ $\text{Ce}_{6,6}$ $\text{Na}_{6,3}$ $\text{Rb}_{6,0}$ $\text{Ba}_{4,9}$	$Z_{\text{СПН}} = 197,6$
Вне следа	$\text{Cs}_{7,2}$ $\text{Sm}_{7,1}$ $\text{Eu}_{5,3}$ $\text{Sc}_{5,3}$ $\text{As}_{5,2}$ $\text{Yb}_{5,1}$ $\text{Sr}_{4,9}$	$Z_{\text{СПН}} = 90,4$
Примечание: красным цветом выделены химические элементы, имеющие общую специфику накопления для всех рассматриваемых территорий		

Из таблицы видно, что элементный состав волос жителей населенных пунктов территорий, расположенных на путях прохождения следов дозообразующих испытаний, проведенных 29.08.1949 и 12.08.1953, имеет общую специфику, которая выражается в концентрировании таких элементов, как La, Ce, Lu и U. Кроме того, элементный состав данных территорий характеризуется сравнительно высокими значениями суммарного накопления химических элементов.

Таким образом, изучен элементный состав волос человека, проживающего на локальных территориях со сложной радиоэкологической обстановкой, обусловленной радиоактивным загрязнением в результате проведения испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне. Выявлено, что волосы человека, проживающего на локальных территориях, расположенных на путях прохождения следов основных дозообразующих ядерных испытаний, проведенных 29.08.1949 и 12.08.1953, имеют общую специфику накопления La, Ce, Lu, U.

Глава 6. Микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

В настоящее время внимание уделяется проблемам биоминералообразования в организме человека. Из авторов, изучающих проблемы биоминералогии, следует отметить С. С. Потапова, Н. А. Пальчик, Н. В. Паршину, В. И. Каткову, В. И. Ракина, Т. Н. Мороз, А. Ю. Чиглинцева, О. В. Франк-Каменецкую, У. И. Борняка, А. А. Каздым. Как отмечают ученые, в ряде случаев процессы биоминералообразования в организме человека обусловлены воздействием техногенеза, проживания на экологически неблагоприятных территориях [Голованова, 2007]. С точки зрения необходимости выявления путей поступления химических элементов в организм человека, в частности радиоактивных, становится актуальным вопрос выявления форм их нахождения в тканях человека, в том числе крови.

Изучение микроминерального состава крови человека, в основном, проводится в целях изучения морфологии клеток крови при различных видах заболеваний. Так, с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) показаны изменения форм клеток при гипертензии различного генеза. При этом установлены достоверные различия в содержании кислорода, хлора и серы в составе крови группы с гипертонической болезнью по сравнению с контрольной группой [Павлова и др., 2012]. Исследования, направленные на изучение морфологии эритроцитов больных гематурией, показали, что при определенных заболеваниях наблюдаются изменения морфологии эритроцитов и наличие на их поверхности нанообъектов. Было предположено, что эти объекты имеют органическое происхождение, поскольку многие органические объекты являются диэлектриками и при изучении с помощью РЭМ могут быть видны как яркие светящиеся объекты [Мамаева и др., 2016]. При изучении микроминерального состава тромбов, образовавшихся в крови пациентов с заболеванием крови, выявлены инородные, в некоторых случаях наноразмерные тела. Химический

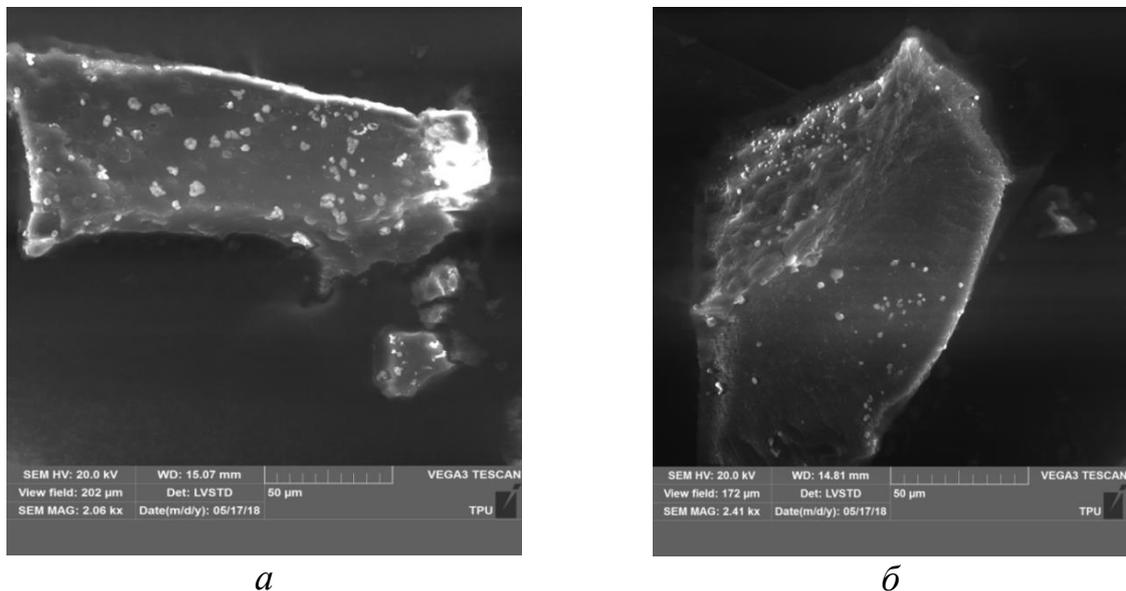
состав этих частиц был различен и состоял из таких небιологических элементов как висмут, свинец, вольфрам. Ученые предположили, что данные микрочастицы способствуют образованию тромбов в крови человека [Гатти и др., 2004].

Изучение микроминерального состава крови человека, проживающего на территории, прилегающей к СИП, проводится впервые. Посылком для этого послужили ряд факторов: 1) высокий уровень аналитических возможностей современной лабораторной техники дает возможность для более детального исследования механизмов влияния абиотических факторов на организм человека в природных и лабораторных условиях с целью установления пределов толерантности и оценки устойчивости организма человека к внешним воздействиям, в том числе ионизирующему излучению. В частности, применение сканирующих электронных микроскопов в комплексе со встроенным энергодисперсионным спектрометром на сегодняшний день является одним из перспективных лабораторных методов анализа микроминерального состава объектов окружающей среды и биосубстратов; 2) формы нахождения химических элементов, в том числе и радиоактивных, в крови человека, подверженного хроническому воздействию ионизирующего излучения, представляют большой интерес с точки зрения изучения миграции небιологических элементов в системе среда – организм человека. Как известно, одним из малоизученных вопросов в области экологии организма человека являются уровни концентраций редкоземельных элементов.

Нами установлено (глава 5), что в крови человека, проживающего на территории с чрезвычайным уровнем радиационного риска (ЭЭД свыше 100 сЗв) наблюдаются накопления таких элементов, как La, Ce, Sm, Eu, Th и U. В связи с этим возникает резонный вопрос о формах нахождения данных химических элементов в крови человека. Для решения этого вопроса нами изучен микроминеральный состав сухого остатка крови жителей исследуемой территории, которые получили различные эффективные эквивалентные дозы облучения.

6.1. Состав матрицы сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

В ходе проведения электронно-микроскопического анализа с использованием СЭМ (Hitachi S-3400N с приставкой EDS Bruker и Tescan Vega 3 SBU с приставками EDS фирмы Oxford, съемка в отраженных BSE и вторичных SE электронах) изучен микроминеральный состав крови жителей населенных пунктов, расположенных на территории, прилегающей к СИП. В результате, обнаружены микроминеральные фазы, которые расположены как на ровной поверхности, так и на участке разлома образца сухого остатка крови (рисунок 6.1, а, б).



- а) изображение поверхности образца, наблюдение при 20.0 кV, детектор LVSTD;
 б) изображение участка разлома образца, наблюдение при 20.0 кV, детектор LVSTD.

Рисунок 6.1 – Пространственное распределение микроминеральных фаз в образце сухого остатка крови населения, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

Плотный характер размещения обнаруженных микрофаз именно на участке разлома дает возможность судить о природной приуроченности микрофаз к сухому остатку крови человека. Всего изучено 30 порошковых образцов сухой крови, по 5 образцов в каждом населенном пункте. В отдельных образцах крови рассматривалось от 15 до 30 микрофаз, размерностью от 1–3 мк. В результате проведено 501 определение на 30 образцах крови человека.

Состав матрицы сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к СИП, определялся путем проведения площадного и профильного картирования. На рисунке 6.2 *а, б* представлены результаты площадного картирования участка микроминеральной фазы, обнаруженной в сухом остатке крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска (свыше 100 сЗв).

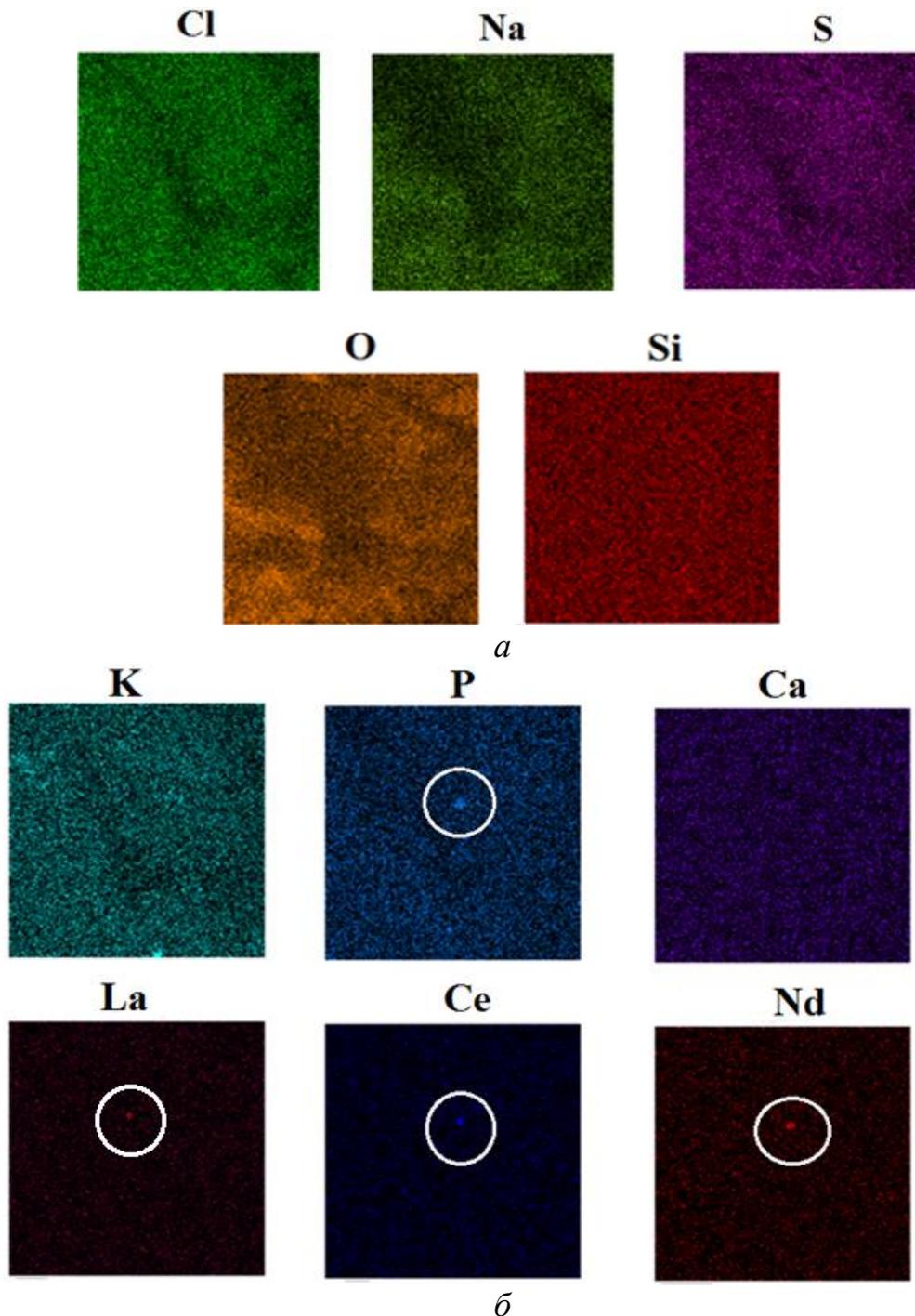


Рисунок 6.2 – Площадное картирование матрицы сухого остатка крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска (ЭЭД свыше 100 сЗв)

Как видно из рисунка 6.2 *а, б*, идентификационные цвета таких элементов, как Cl, Na, S, O, Si, K, Ca, распределены равномерно по участку проведения картирования, в то время как идентификационные цвета P, Se, Nd имеют ярко выраженные ореолы на участке размещения микрофазы (рисунок 6.2 *б*).

На рисунке 6.3 показан профильный снимок расположения микронного включения (~ 1,6 мк), обнаруженного в составе сухого остатка крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска.

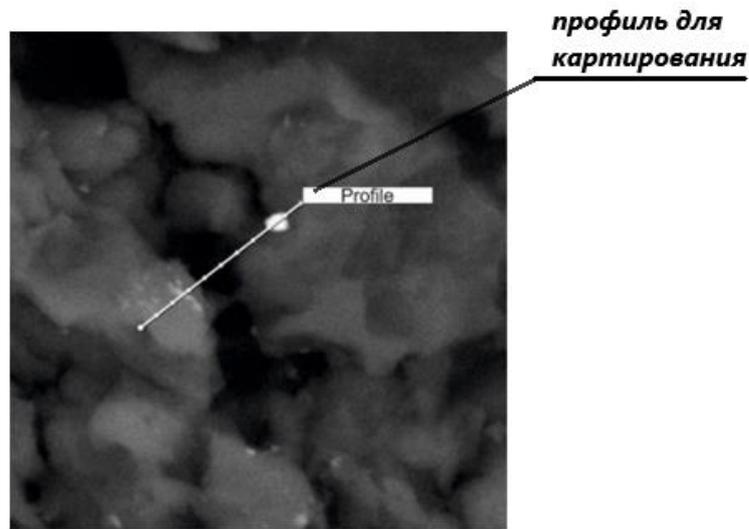
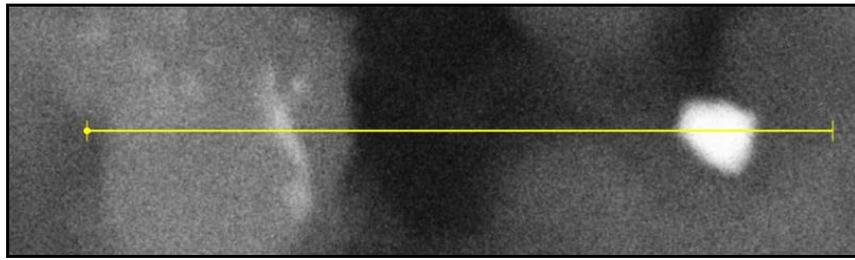
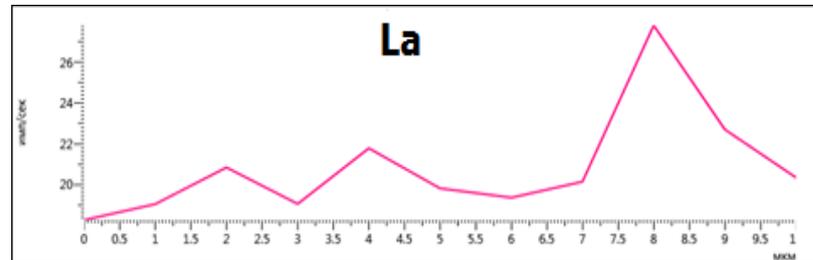


Рисунок 6.3 – Изображение микроминеральной фазы в составе сухого образца крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска, наблюдение при 20.0 кV, детектор BSE

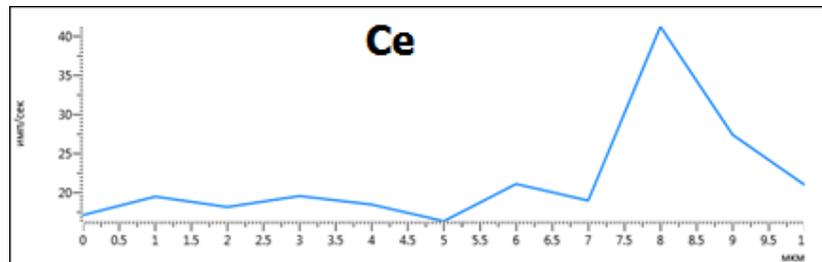
По данному профилю также было проведено картирование. Результаты картирования приведены на рисунке 6.4. Как видно из рисунка, максимальные энергетические спектры La, Ce, Nd, P отмечаются непосредственно на участке расположения микроминеральной фазы, в то время как максимальные энергетические спектры структурных элементов, таких как O, S, K, Na, фиксируются на участках вне расположения рассматриваемой фазы. Аналогичные результаты получены в ходе проведения картирования матрицы сухого остатка крови человека, проживающего в зоне максимального радиационного риска (ЭЭД 35–100 сЗв).



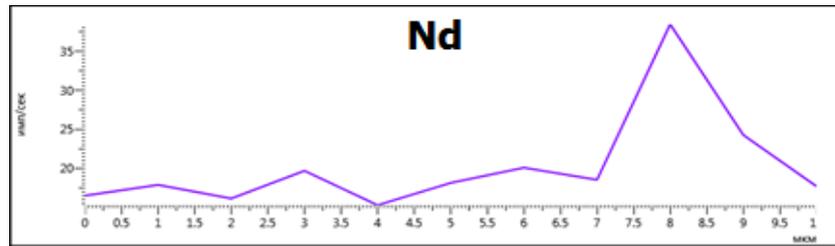
a



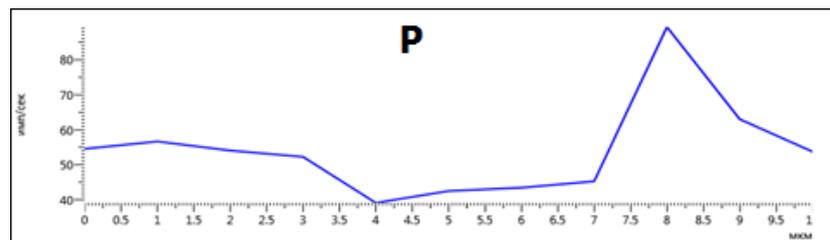
б



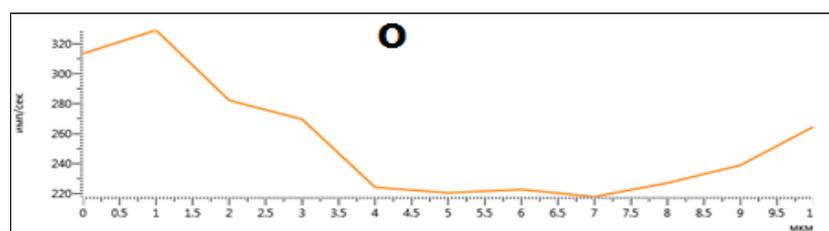
в



г



д



е

Рисунок 6.4, а–е – Профильное картирование матрицы сухого остатка крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска (ЭД свыше 100 сЗв)

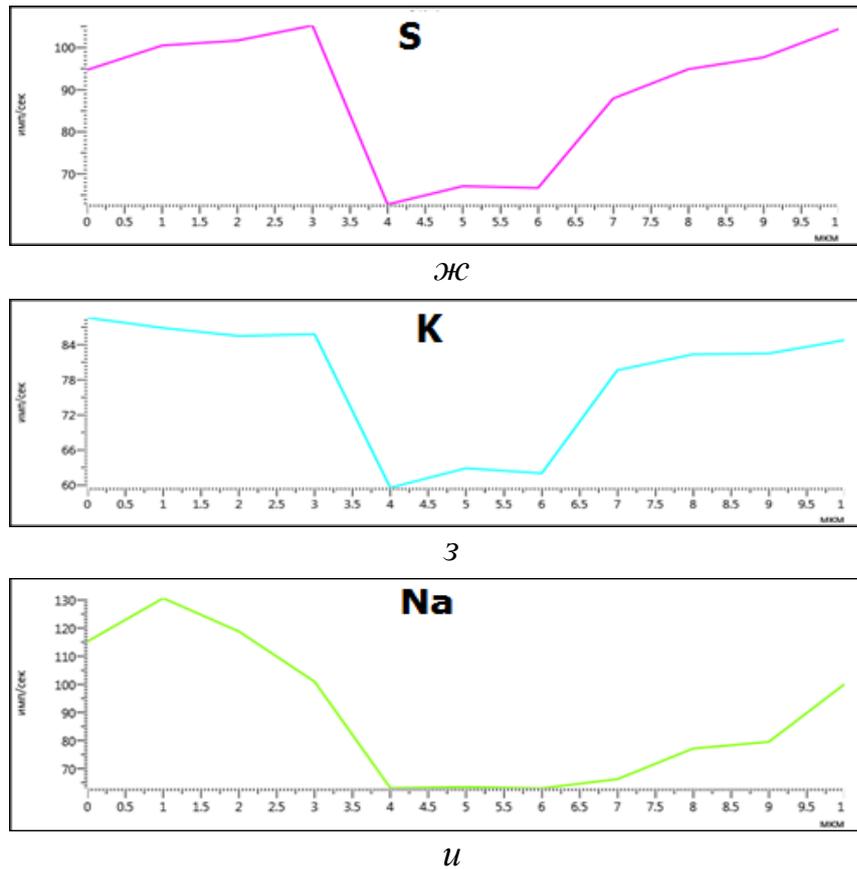


Рисунок 6.4, ж–и – Профильное картирование матрицы сухого остатка крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска (ЭЭД свыше 100 сЗв)

Таким образом, результаты картирования показали, что матрица сухого образца крови человека, проживающего на территории, прилегающей к СИП, состоит из структурных элементов, таких как O, Cl, K, Na, S, Si, Ca, тогда как отдельные микрочастицы характеризуются специфичным составом.

В целом, частота встречаемости химических элементов в микроминеральных фазах приведена в таблице 6.1. Встречаемость рассчитана для общего объема обнаруженных микроминеральных фаз, количество которых в каждом образце сухого остатка крови варьировало в пределах от 15 до 30 определений. Суммарное количество изученных микроминеральных фаз составило 501 определение.

Таблица 6.1 – Встречаемость химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

Элемент	Встречаемость на 501 определение	
	Всего, количество раз	%
O	501	100
Cl	303	60,5
Al	280	55,9
Fe	223	44,5
Cr	168	33,5
K	158	31,5
Si	129	25,7
Ca	100	20,0
P	67	13,4
Na	65	13,0
Ce	44	8,8
S	34	6,8
Mg	25	5,0
Nd	21	4,2
La	15	3,0
Ti	11	2,2
Sm	10	2,0
Cu	7	1,4
Sr	6	1,2
Zn	5	1,0
Ba	4	0,8
Ni	3	0,6
Ag	2	0,4
F	1	0,2
Gd	1	0,2
Zr	1	0,2

Из таблицы видно, что в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в составе крови жителей исследуемых территорий, наиболее встречаемыми являются именно структурные элементы. Так, максимум приходится на O, определяющий состав всего живого, а также Cl, Al, Fe, Cr, K, Si, Ca, P, Na – являющиеся макрокомпонентами изучаемой ткани и организма человека в целом. В то же время следует отметить присутствие микрофаз редкоземельных

элементов, F, Gd, Zr в единичных случаях, что, по-видимому, определяет специфику территории проживания человека, в том числе воздействие техногенеза. Встречаемость остальных химических элементов, скорее всего, примесей, варьируют в пределах 1–44 раза на 501 определений (0–3 %).

6.2. Микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории с чрезвычайным уровнем радиационного риска

Нами предпринята попытка установить региональный фактор формирования микроминерального состава крови, обусловленного спецификой техногенного воздействия. Изучение микроминерального состава сухого остатка крови человека было проведено по зонам радиационного риска.

На рисунке 6.5 представлен график сравнения элементного состава образцов крови человека, проживающего в населенном пункте Бодене, который относится к зоне чрезвычайного радиационного риска (ЭЭД свыше 100 сЗв). Как видно из графика, элементный состав образцов крови, отобранных в данном населенном пункте, имеют неравномерный характер распределения в сравниваемых образцах крови, который, главным образом, выражается в максимальном накоплении Sc, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Th и U в образце крови Бодене 1. При этом в накоплении макроэлементов в образцах крови жителей данного населенного пункта существенные различия не наблюдаются.

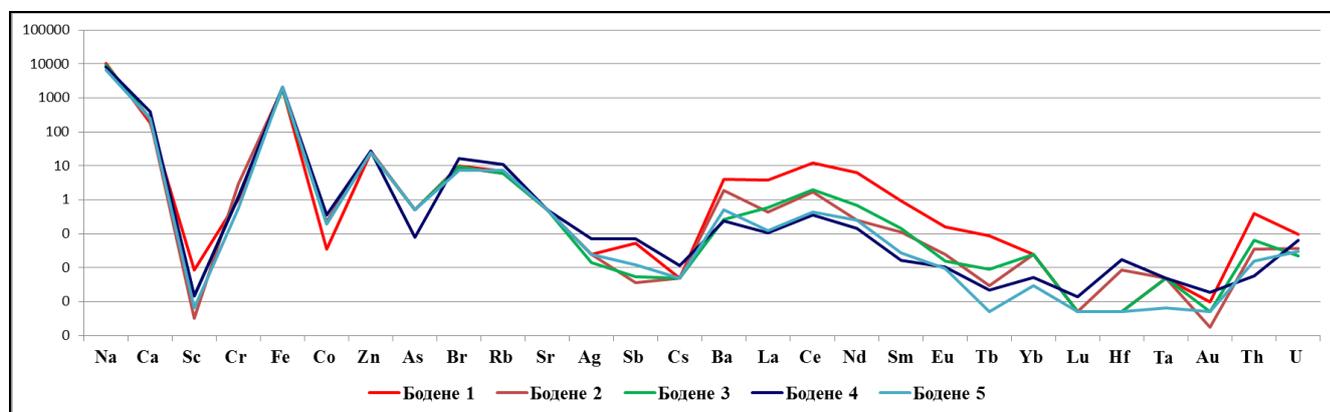


Рисунок 6.5 – Распределение химических элементов в образцах крови жителей населенного пункта Бодене (ЭЭД свыше 100 сЗв), мг/кг

Учитывая одинаковые критерии отбора проб крови, обеспечивающие максимально возможную однородность выборки, можно предположить, что неравномерность накопления редкоземельных и радиоактивных элементов в сравниваемых образцах крови вызвана индивидуальными особенностями организма респондентов, к примеру, таких как индивидуальная радиочувствительность, генетические особенности организма и т.д.

Химические элементы, вовлекаясь в сложный процесс миграции в системе природная среда – организм человека, образуют сложные соединения, состав которых может отражать биогеохимическую специфику среды его проживания. В связи с этим нами с помощью кластерного анализа были изучены ассоциации химических элементов в составе исследуемых образцов крови.

На рисунке 6.6 представлены результаты кластерного анализа элементного состава крови жителей населенного пункта Бодене. Как видно из рисунка, можно выделить три кластера элементов, имеющих тесную взаимосвязь: 1) Au–Sb; 2) Lu–Cs–Ag–Rb–Br; 3) Eu–Tb–Nd–Sm–Ce–La–Sc.

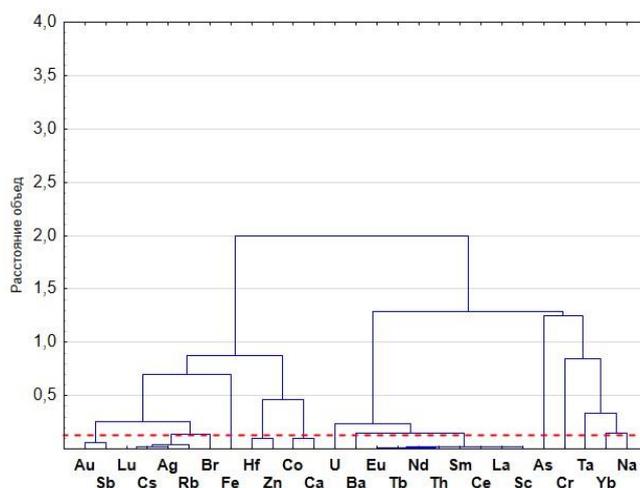
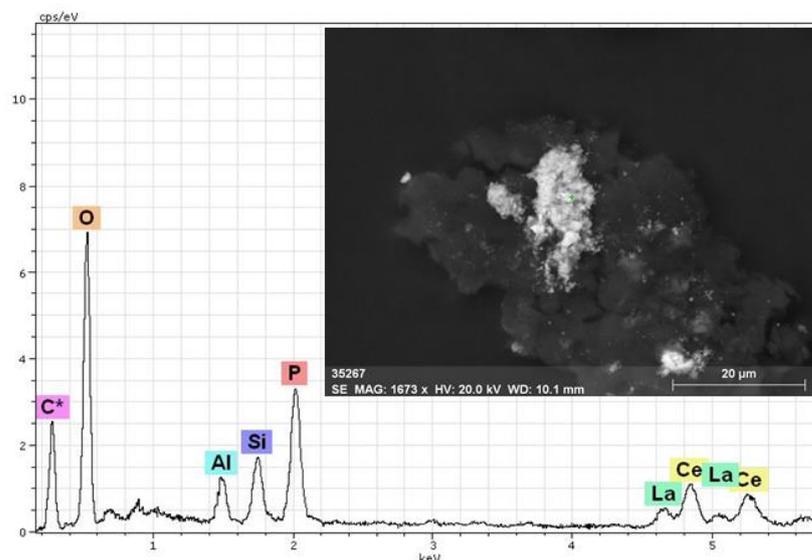


Рисунок 6.6 – Кластеризация элементного состава крови жителей населенного пункта Бодене, $r = 0,13$

Выявленные ассоциации элементов отражают биогеохимическую специфику среды проживания человека на данной территории, которая, главным образом, обусловлена повышенной дозой нагрузки. Как известно, в крови человека, проживающего на территории воздействия ядерного техногенеза, наблюдается накопление редкоземельных элементов [Барановская, 2015].

В целях идентификации форм нахождения выявленных ассоциаций химических элементов в составе крови жителей изучаемых территорий нами проведена электронная микроскопия сухого остатка отобранных образцов крови.

С помощью сканирующей растровой электронной микроскопии нами изучен микроминеральный состав образцов крови жителей населенного пункта Бодене. Особое внимание уделено образцу крови Бодене 1, где выявлены сравнительно высокие концентрации Ва и ряда редкоземельных элементов, определенных методом ИНАА. В результате нами выявлено, что образец крови Бодене 1 отличается высокой встречаемостью микроминеральных фаз, предположительно фосфатов редкоземельных элементов, в сухом остатке (рисунок 6.7).



(% масс: O – 40,0; Ce – 29,4; La – 11,9; P – 11,3; Si – 4,1; Al – 3,4)

Рисунок 6.7 – Снимок и спектр микроминеральной фазы, обнаруженной в сухом остатке образца крови Бодене 1 (зона чрезвычайного радиационного риска, ЭЭД свыше 100 сЗв)

В таблице 6.2 представлены ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных частиц, обнаруженных в сухом остатке образцов крови жителей населенного пункта Бодене. Из таблицы видно, что образец крови Бодене 1 отличается сравнительно высокой встречаемостью Р и Се в составе микроминеральных частиц. Следует отметить, что концентрация Се в данном образце крови составила 11,9 мг/кг, в то время как в других сравниваемых образцах крови концентрация Се варьировала в пределах 0,4–2,0 мг/кг.

Таблица 6.2 – Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Бодене

Образец крови	Ряды встречаемости (n = 15)
Бодене 1	$P_{14}Ce_{14}Al_7Na_7Cl_7Si_3La_2S_2K_2Cr_1Fe_1Ca_1$
Бодене 2	$Cl_{11}Al_{10}K_6Fe_5P_3Ce_3Si_2S_2Cr_2Nd_1Ca_1Mg_1$
Бодене 3	$Al_8Cl_8Cr_8Fe_7P_6Ce_5K_3Sr_3Si_2La_2Nd_2Na_1S_1Ca_1$
Бодене 4	$Al_{10}Fe_7Cl_6P_5K_5Si_4Cr_4Ce_2Nd_2Na_1Ca_1Mg_1Ti_1$
Бодене 5	$Cl_{14}K_{14}Si_3Na_2Al_1Fe_1Mg_1Ca_1Cr_1$

Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных фаз, красным цветом обозначены химические элементы, которые отражают индивидуальную специфику микроминерального состава конкретной пробы, n = 15.

Аналогичным образом были изучены образцы крови респондентов населенных пунктов Долонь и Саржал, которые также расположены на территории с чрезвычайным уровнем радиационного риска. На рисунке 6.8 представлен график сравнения элементного состава крови жителей населенного пункта Долонь.

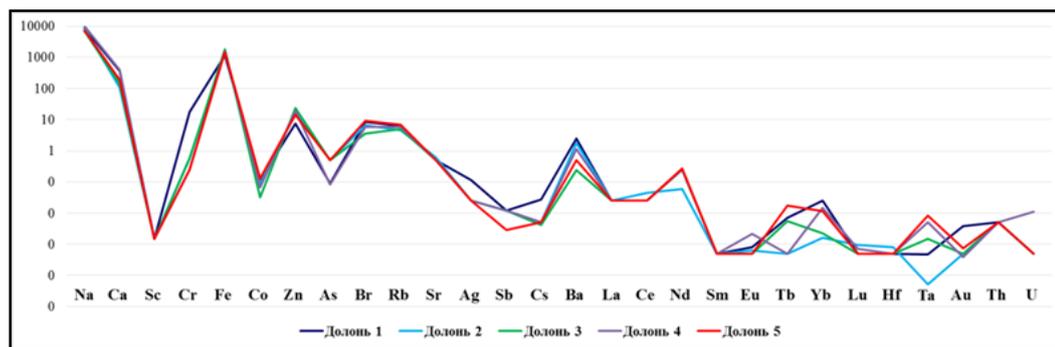


Рисунок 6.8 – Распределение химических элементов в образцах крови жителей населенного пункта Долонь (ЭЭД свыше 100 сЗв), мг/кг

Из графика видно, что среди сравниваемых образцов крови существенные различия наблюдаются в накоплении таких элементов, как Cr, As, Ag, Sb, Cs, Nd, Eu, Tb, Yb, Ta, Au и U. При этом в сравниваемой группе выделяется образец крови Долонь 1 с аномальным содержанием Cr, концентрация которого составила 17,4 мг/кг, в то время как в других образцах крови концентрация Cr варьировала в пределах 0,3–0,6 мг/кг.

На рисунке 6.9 представлены результаты кластерного анализа элементного состава крови жителей населенного пункта Долонь. Как видно из рисунка, можно

выделить два кластера элементов, имеющих тесную взаимосвязь: 1) Ce–La; 2) Cs–Tb–U–Th–Eu–Au.

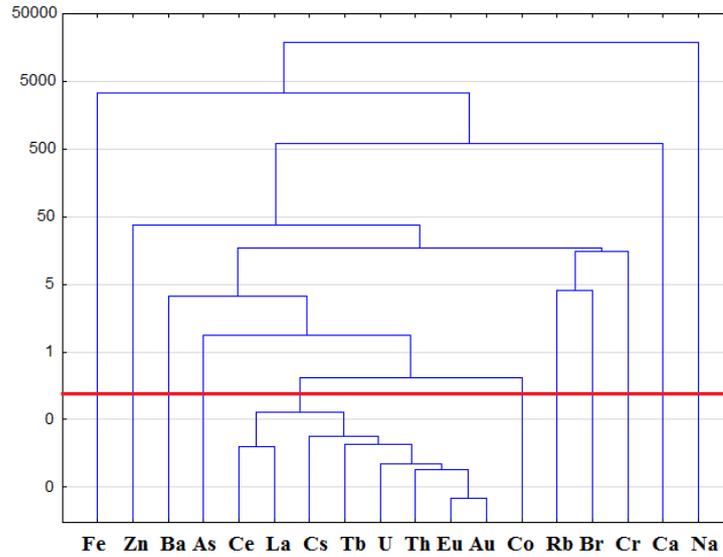
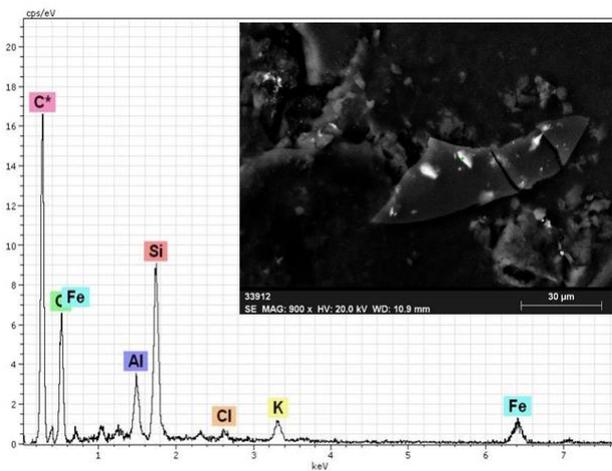


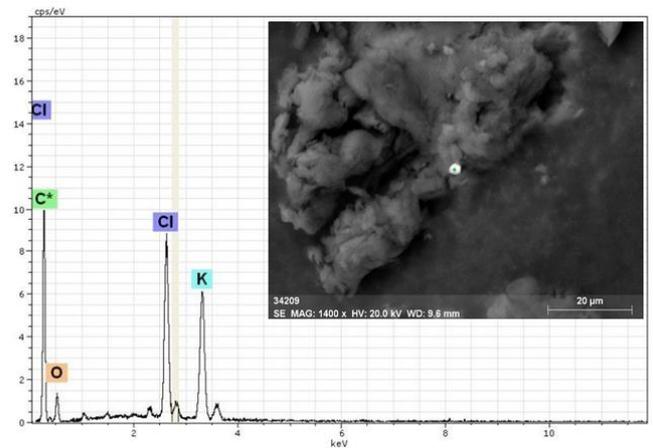
Рисунок 6.9 – Кластеризация элементного состава крови жителей населенного пункта Долонь, $r = 0,13$

На рисунке 6.10 представлены снимки некоторых микроминеральных частиц и их энергодисперсионные спектры, которые были обнаружены в составе сухого остатка крови жителей с. Долонь 1 и Долонь 2 (рисунок 6,10 а, б соответственно).



а

(% масс: O – 47,5; Fe – 20,8; Si – 18,6;
Al – 6,3; K – 5,2; Cl – 1,5)



б

(% масс: K – 35,2; O – 34,1; Cl – 30,6)

Рисунок 6.10 – Снимки и энергодисперсионные спектры микроминеральных фаз, характерных для сухого остатка крови жителей населенного пункта Долонь (ЭЭД свыше 100 сЗв)

Судя по энергодисперсионному спектру микрофазы, представленной на рисунке 6.10 а, основными компонентами данной микрофазы являются O–Fe–Si, в то время как Al–K–Cl являются примесями. Микроминеральная фаза, представленная на рисунке 6.10 б, судя по спектрам, является хлоридом калия. Следует отметить, что микроминеральные фазы, представленные на рисунке 6.10, являются одними из наиболее часто встречаемых соединений, обнаруженных в сухом остатке крови жителей населенных пунктов, расположенных в зоне чрезвычайного радиационного риска.

В таблице 6.3 представлены ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Долонь. Из таблицы видно, что состав изученных микро-минеральных фаз, обнаруженных в разных образцах сухого остатка крови жителей с. Долонь существенно не различается, за исключением содержания S, Ti в образце Долонь 1, а также Zn, Mg, Cu в образце Долонь 3.

Таблица – 6.3 Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Долонь

Образец крови	Ряды встречаемости (n = 15)
Долонь 1	Al ₇ Si ₆ Ca ₆ S ₄ Fe ₄ Na ₃ Cl ₃ K ₃ P ₂ Ti₁
Долонь 2	Al ₁₀ Cl ₇ K ₇ Fe ₂ Ca ₁
Долонь 3	Cl ₇ K ₆ Al ₃ Si ₃ Fe ₃ Ca ₃ Cr ₂ Zn₂ Na ₁ Mg ₁ Cu₁
Долонь 4	Cl ₇ K ₆ Al ₅ Fe ₄ Cr ₃ Ca ₂ Si ₁ P ₁ Na ₁
Долонь 5	Cl ₁₀ K ₅ Cr ₄ Fe ₄ Al ₂ Na ₁
Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных фаз; красным цветом обозначены химические элементы, которые отражают индивидуальную специфику микроминерального состава конкретной пробы, n = 15	

На рисунке 6.11 представлен график сравнения элементного состава крови жителей населенного пункта Саржал.

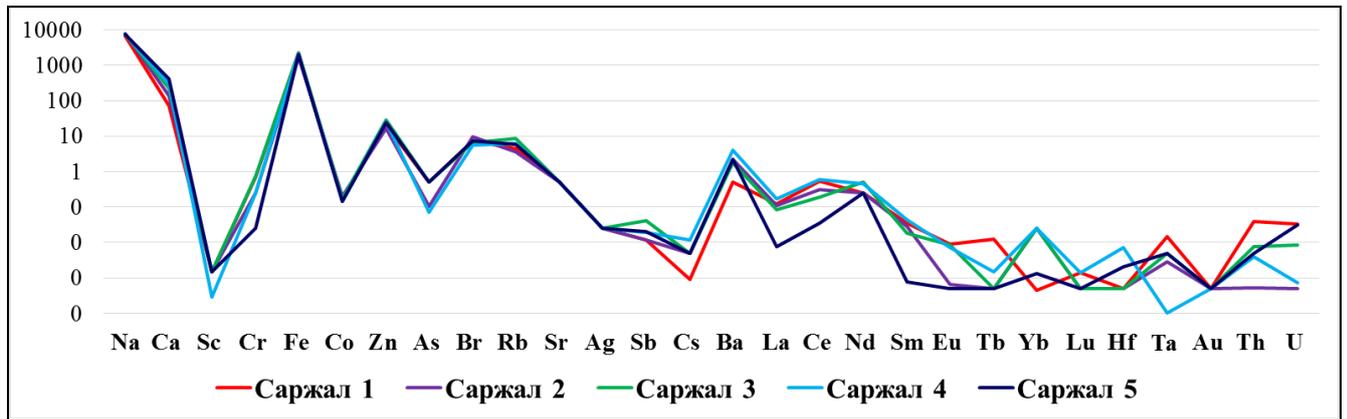


Рисунок 6.11 – Распределение химических элементов в образцах крови жителей населенного пункта Саржал, мг/кг (ЭЭД свыше 100 сЗв), мг/кг

Как видно из графика, высокой вариативностью концентраций отличаются As, Ba, группа РЗЭ и радиоактивных элементов. При этом концентрация Ba максимальна в образце крови Саржал 4, которая составляет 4 мг/кг, в то время как в других сравниваемых образцах концентрации Ba варьируют в пределах 0,5–2,2 мг/кг.

Результаты кластерного анализа элементного состава крови жителей населенного пункта Саржал позволили выделить две группы ассоциаций химических элементов, имеющих тесную взаимосвязь: 1) U–Th; 2) Cs–Eu–Tb–Au (рисунок 6.12).

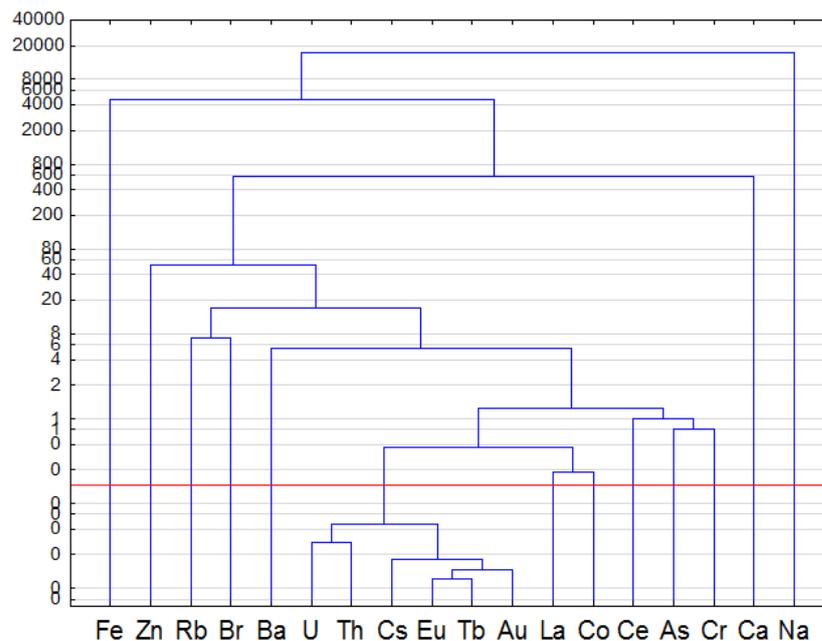
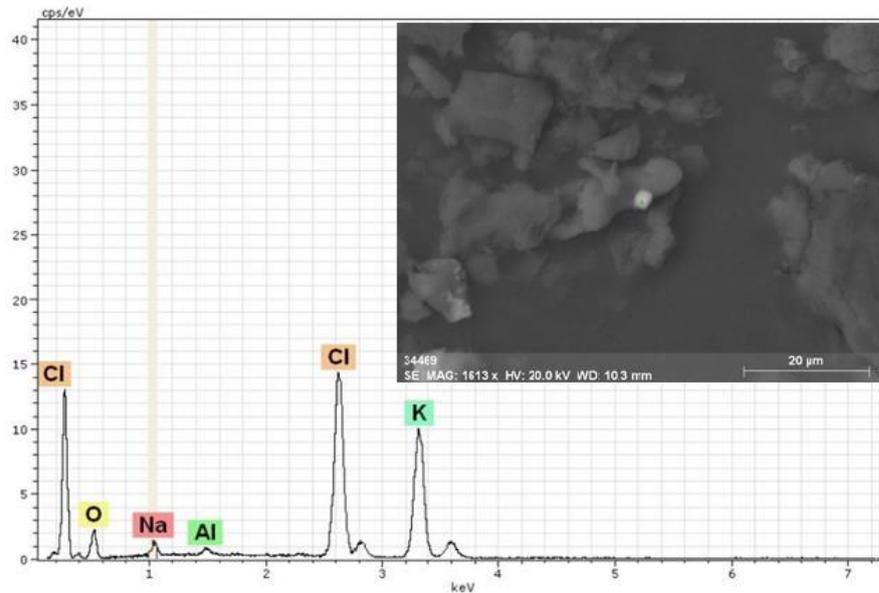


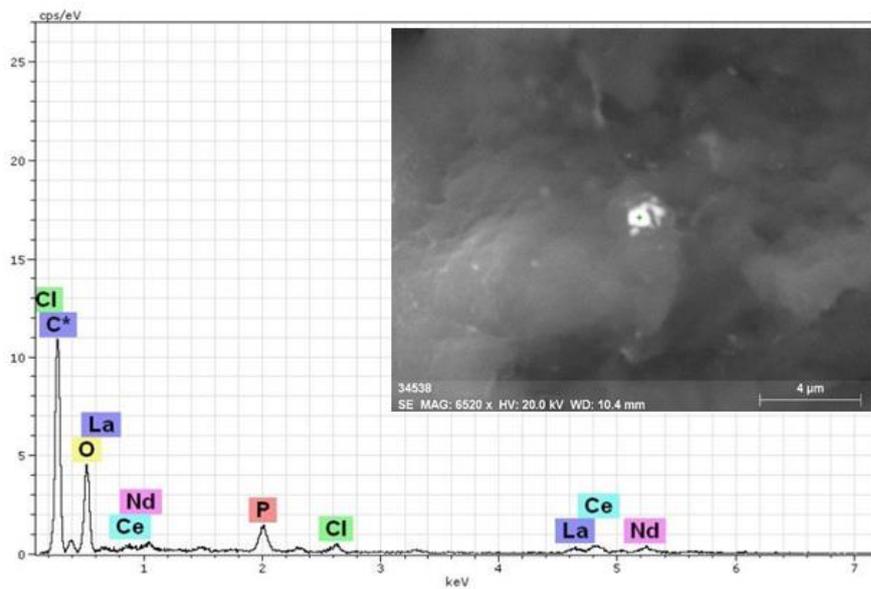
Рисунок 6.12 – Кластеризация элементного состава крови жителей населенного пункта Саржал, $r=0,13$

На рисунке 6.13 представлены снимки некоторых микроминеральных фаз и их энергодисперсионных спектров, обнаруженных в составе образца крови жителей населенного пункта Саржал. Как видно из энергодисперсионных спектров, обнаруженные микроминеральные фазы можно идентифицировать как хлорид калия и фосфат редкоземельных элементов.



а

(% масс: К – 36,7; О – 31,4; Cl – 29,5; Na – 1,7; Al – 0,7)



б

(% масс: О – 52,3; Ce – 20,9; La – 12,1; Nd – 6,4; P – 6,1; Cl – 2,3)

Рисунок 6.13 – Снимки и энергодисперсионные спектры микроминеральных фаз, характерных для сухого остатка крови жителей населенного пункта Саржал (ЭЭД свыше 100 сЗв)

В таблице 6.4 представлены ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Саржал. Из таблицы видно, что встречаемость редкоземельных элементов в микроминеральных фазах крови жителей данного населенного пункта минимальна. Различия представлены встречаемостью S, Mg, Cu в образце Саржал 1, P, Nd, Ba в образце Саржал 4, а также La в составе образца Саржал 5.

Таблица 6.4 – Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Саржал

Образец крови	Ряды встречаемости (n = 15)
Саржал 1	Cl ₈ Fe ₇ Ca ₆ Si ₄ Al ₃ K ₂ Na ₁ S ₁ Mg ₁ Cu₁
Саржал 2	Cl ₁₄ K ₁₂ Ca ₅ Al ₄ Cr ₃ Fe ₂
Саржал 3	Cl ₁₅ K ₁₅ Ca ₁₅ Al ₇
Саржал 4	Al ₁₂ Si ₁₁ Ca ₆ K ₄ Na ₃ Cl ₃ P ₂ Fe ₂ Nd ₁ Cr ₁ Ti ₁ Ba₁
Саржал 5	Cl ₉ Al ₇ Cr ₅ Fe ₅ Ca ₄ Si ₃ P ₃ Ce ₃ Na ₂ La ₁ Nd ₁ S ₁ K ₁ Mg ₁ Ti ₁
Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных частиц; красным цветом обозначены химические элементы, которые отражают индивидуальную специфику микроминерального состава конкретной пробы, n = 15	

Формы нахождения химических элементов в организме человека, в частности в крови, являются малоизученной темой. В связи с этим, судить о конкретных классах минералов в составе сухого остатка крови человека достаточно сложно. Тем не менее, судя по полученным спектрам, можно предположить, что микроминеральный состав сухого остатка крови жителей населенных пунктов, расположенных в зоне чрезвычайного радиационного риска, главным образом, представлен фосфатами редкоземельных элементов. При этом для образцов крови всех рассматриваемых населенных пунктов данной зоны характерно неравномерное распределение редкоземельных и радиоактивных элементов, что говорит о том, что уровни накопления данных групп химических элементов отражают индивидуальные особенности организма человека.

Также для данной зоны радиационного риска характерна высокая встречаемость хлорида калия и соединений O-Fe-Si, которые являются макрокомпонентами крови и организма человека в целом.

6.3. Микроминеральный состав сухого остатка крови человека, проживающего на территории с максимальным уровнем радиационного риска

С помощью сканирующего электронного микроскопа также был изучен микроминеральный состав сухого остатка крови жителей зоны максимального радиационного риска (ЭЭД от 35 до 100 сЗв.). К данной зоне радиационного риска отнесены населенные пункты Канонерка, Медеу и Караул.

Населенный пункт Канонерка расположен в северо-восточном направлении от полигона, в то время как населенные пункты Медеу и Караул расположены в юго-восточном направлении от территории СИП.

На рисунке 6.14 представлен график сравнения элементного состава крови жителей населенного пункта Канонерка.

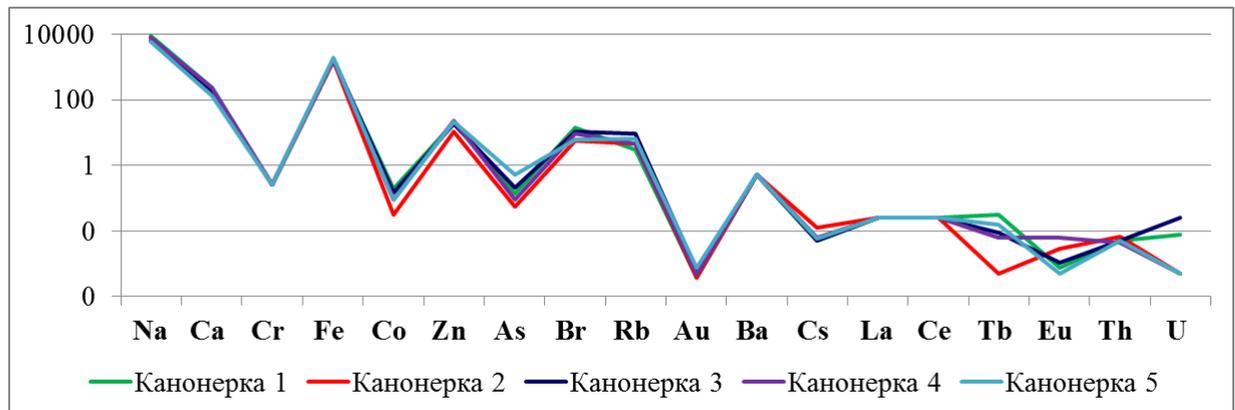


Рисунок 6.14 – Распределение химических элементов в образцах крови жителей населенного пункта Канонерка (ЭЭД от 35 до 100 сЗв), мг/кг

Из графика видно, что индивидуальные особенности элементного состава исследуемых образцов крови выражаются в неравномерном накоплении Co, As, Cs, Tb, Eu и U, что также, возможно, отражает индивидуальные особенности организма человека.

В целях исследования предположительных путей поступления химических элементов в кровь человека нами проведен кластерный анализ и изучены формы нахождения химических элементов в сухом остатке крови человека.

На рисунке 6.15 представлены результаты кластерного анализа элементного состава крови жителей населенного пункта Канонерка. Как видно из рисунка, можно выделить один кластер химических элементов, имеющих тесную взаимосвязь: Ce–La–Tb–U–Th–Cs–Eu–Au. В целом выявленный кластер химических элементов имеет сходный состав с кластерами химических элементов, выявленных в составе крови жителей зоны чрезвычайного радиационного риска.

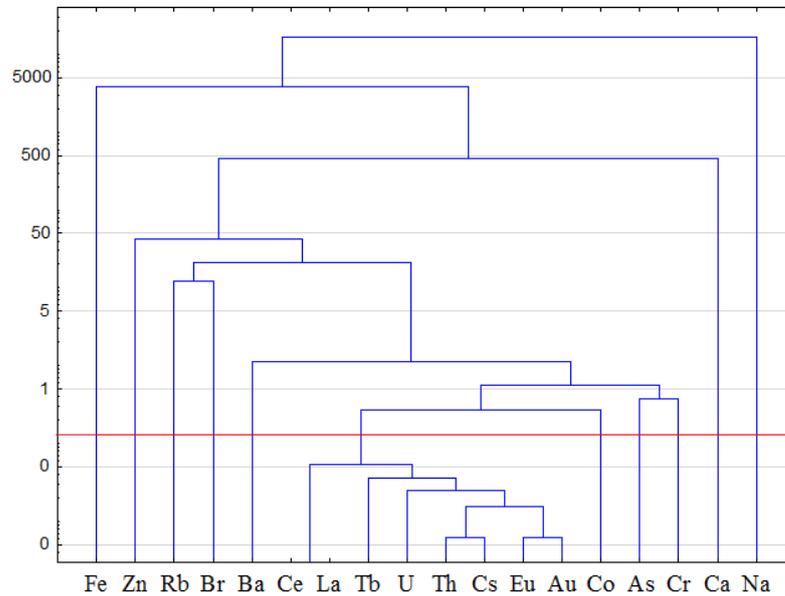
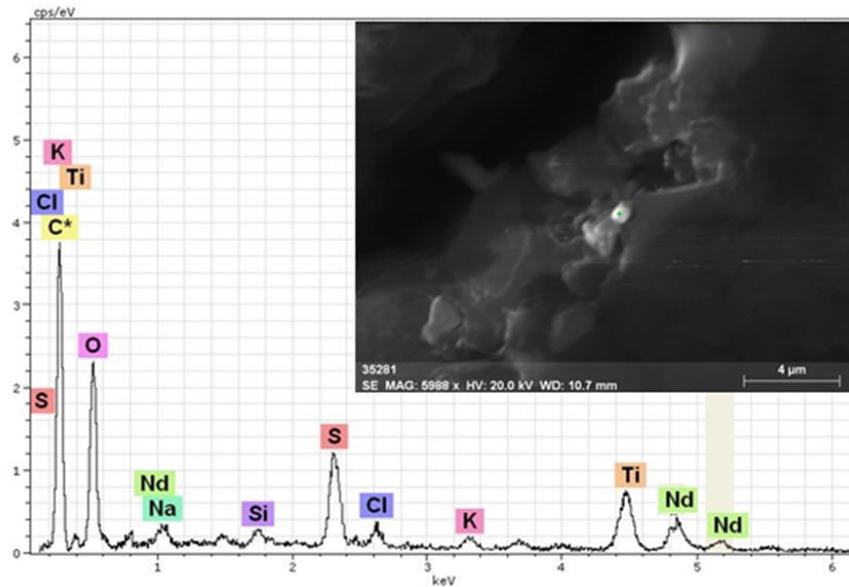


Рисунок 6.15 – Кластеризация элементного состава крови жителей населенного пункта Канонерка, $r = 0,13$

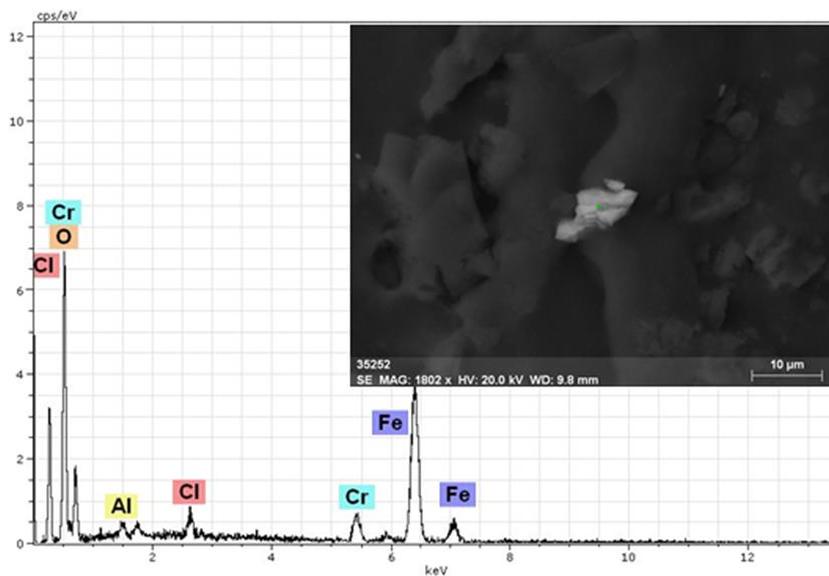
В результате электронной микроскопии в составе сухого остатка образцов крови жителей населенного пункта Канонерка определены микроминеральные фазы, состав которых входят как структурные, так и из небиологические элементы. Так, на рисунке 6.16 *a* представлен снимок микроминеральной фазы, которая является соединением O–Ti–S с их % масс 63,7, 15,8 и 8,3 соответственно. Доли % масс Na, K, Cl и Si в данной микроминеральной фазе составляют 2,7, 1,8, 1,7 и 0,8 соответственно. Также в сухом остатке крови жителей данного

населенного пункта определены микроминеральные соединения Fe–O–Cr–Cl–Al с их долей % масс 55,9; 35,7; 6,0; 1,4 и 1,0 соответственно (рисунок 6.16).



a

(% масс: O – 63,7; Ti – 15,8; S – 8,3; Na – 2,7; K – 1,8; Cl – 1,7; Si – 0,8)



б

(% масс: Fe – 55,9; O – 35,7; Cr – 6,0; Cl – 1,4; Al – 1,0)

Рисунок 6.16 – Снимки и энергодисперсионные спектры микроминеральных фаз, характерных для сухого остатка крови жителей населенного пункта Канонерка (ЭЭД от 35 до 100 сЗв)

Результаты оценки встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей

н.п. Канонерка, приведены в таблице 6.5. Из таблицы видно, что состав обнаруженных микроминеральных фаз, главным образом, представлен структурными элементами. Индивидуальные особенности микроминерального состава исследуемых образцов крови выражаются во встречаемости Ti, Nd, Ag, Sr в составе отдельных образцов сухого остатка крови в единичных случаях.

Таблица 6.5 – Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с.Канонерка

Образец крови	Ряды встречаемости (n = 15)
Канонерка 1	Fe ₁₁ Al ₁₀ Cl ₁₀ Cr ₉ Na ₁ K ₁ Ca ₁ Mg ₁ Ti ₁ Cu ₁
Канонерка 2	Cr ₁₂ Al ₁₀ Fe ₁₀ Cl ₇ S ₃ Si ₁ Na ₁ Ca ₁ Cu ₁ Zn ₁
Канонерка 3	Fe ₁₂ Cr ₁₁ Cl ₈ Al ₆ K ₃ Na ₂ S ₂ Si ₁ Nd ₁ Ti ₁ Ag ₁
Канонерка 4	Cr ₁₁ Fe ₁₁ Cl ₉ Al ₇ Si ₂ S ₁ K ₁ Ca ₁ Sr ₁
Канонерка 5	Fe ₁₅ Cl ₁₂ Cr ₁₂ Al ₁₁ Si ₃ Na ₁ Cu ₁ Zn ₁ Sr ₁

Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных фаз; красным цветом обозначены химические элементы, которые отражают индивидуальную специфику микроминерального состава конкретной пробы, n = 15

Аналогичный алгоритм исследования применен и для населенных пунктов Медеу и Караул. В результате выявлены некоторые территориальные особенности элементного состава крови жителей данных населенных пунктов. Так, на рисунке 6.17 представлен график сравнения элементного состава крови жителей населенного пункта Медеу.

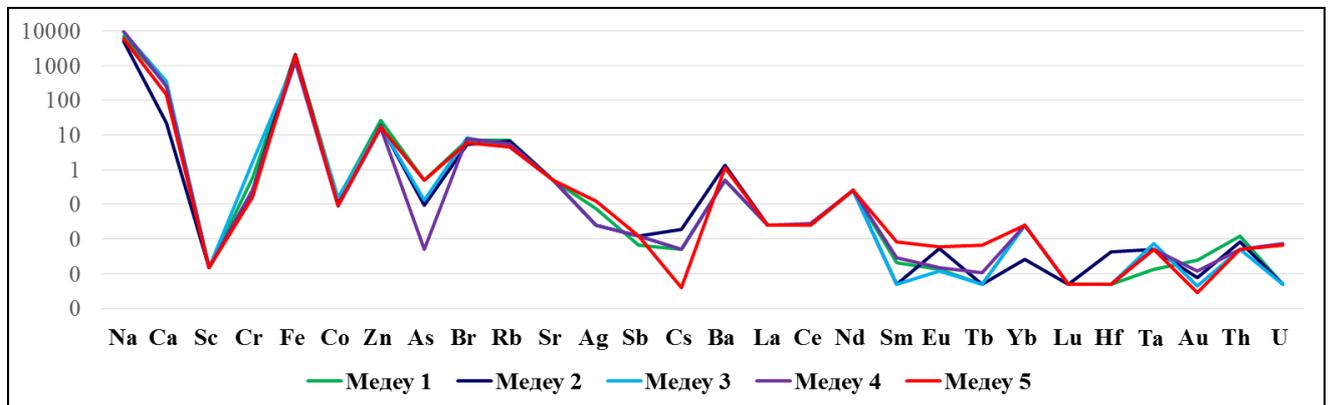


Рисунок 6.17 – Распределение химических элементов в образцах крови жителей населенного пункта Медеу, мг/кг (ЭЭД от 35 до 100 сЗв),

Из рисунка видно, что элементный состав образцов крови человека данной территории отличается высокой вариативностью широкого спектра химических элементов, включающего в себя структурные элементы (Ca, Cr), металлы (Ag, Ba, Sb, Au), группы РЗЭ и радиоактивных элементов, а также рассеянный элемент As. Высокая вариативность элементного состава крови жителей населенного пункта Медеу позволяет судить о сложной биогеохимической специфике данной территории.

На рисунке 6.18 представлены результаты кластерного анализа элементного состава крови жителей населенного пункта Медеу.

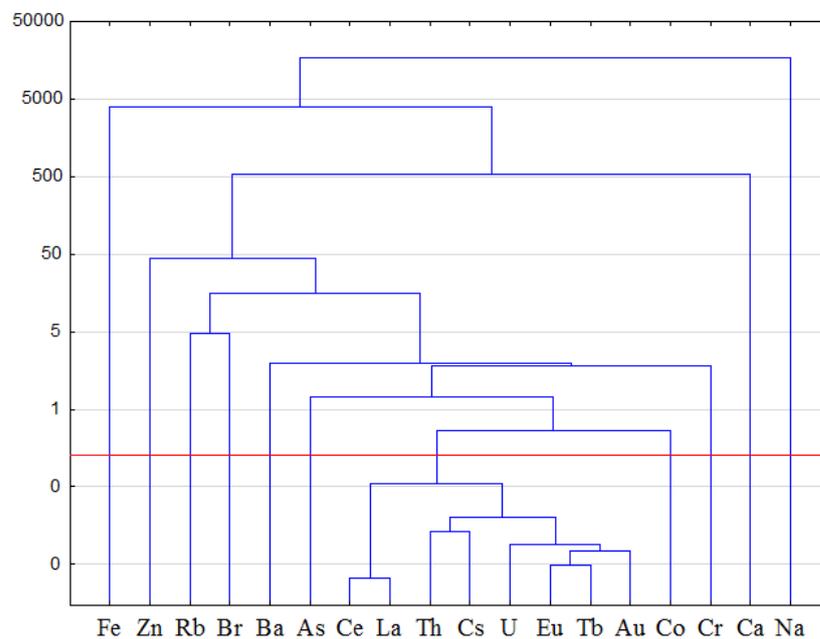
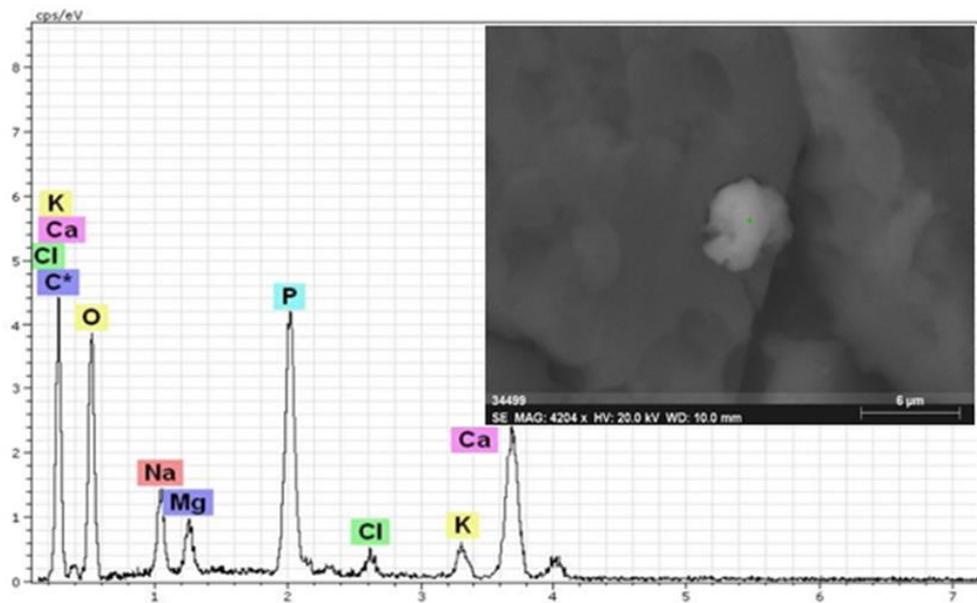


Рисунок 6.18 – Кластеризация элементного состава крови жителей населенного пункта Медеу, $r = 0,13$

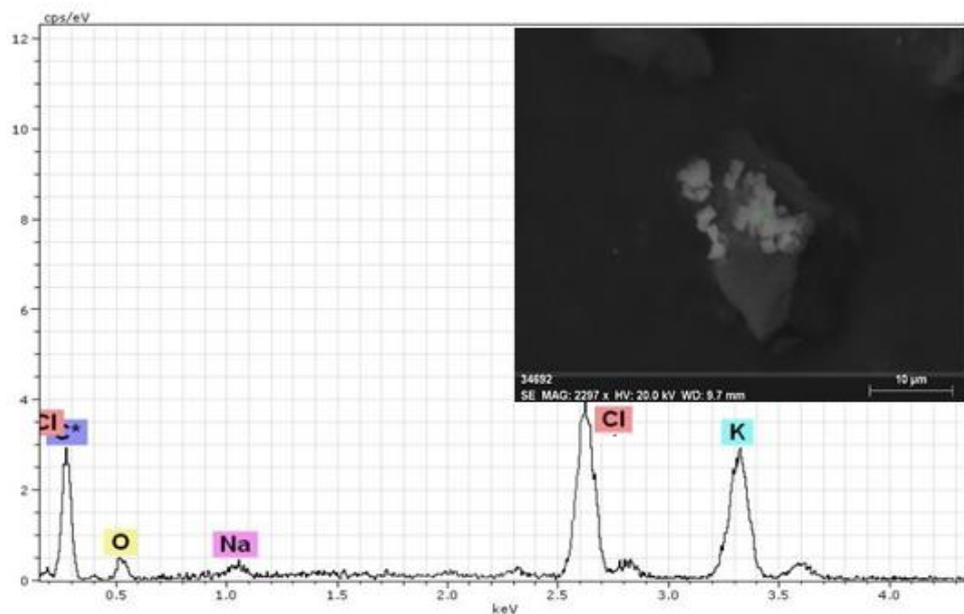
Как видно из рисунка, можно выделить три кластера химических элементов, имеющих тесную взаимосвязь: 1) Ce–La; 2) Th–Cs; 3) U–Eu–Tb–Au.

В результате проведения электронной микроскопии было установлено, что для состава сухого остатка крови жителей населенного пункта Медеу характерны микроминеральные фазы структурных элементов, представленных соединениями O–Ca–P–Na–K–Mg–Cl с их долями % масс 54,5; 19,8; 13,5; 5,1; 3,2; 2,6 и 1,2 соответственно (рисунок 6.19 а). Также для сухого остатка крови жителей населенного пункта Медеу характерны хлориды калия (рисунок 6.19 б).



a

(% масс: O – 54,5; Ca – 19,8; P – 13,5; Na – 5,1; K – 3,2; Mg – 2,6; Cl – 1,2)



б

(% масс: K – 40,6; Cl – 29,8; O – 27,4; Na – 2,2)

Рисунок 6.19 – Снимки и энергодисперсионные спектры микроминеральных фаз, характерных для сухого остатка крови жителей населенного пункта Медеу (ЭЭД от 35 до 100 сЗв)

В таблице 6.6 представлены ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных частиц, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Медеу. Из таблицы видно, что различия микроминерального состава

сухого остатка крови жителей с. Медеу представлены встречаемостью S, Ti и Ni образцах крови Медеу 2, Медеу 3 и Медеу 4 соответственно.

Таблица 6.6 – Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Канонерка

Образец крови	Ряды встречаемости (n = 15)
Медеу 1	Cl ₁₁ Fe ₉ Cr ₇ K ₆ Al ₅ Na ₅ Si ₄ P ₄ Ca ₃ Mg ₃ Ce ₁
Медеу 2	Cl ₁₁ Al ₁₀ Cr ₆ Fe ₆ K ₅ Ca ₃ Si ₁ S ₁
Медеу 3	Al ₁₅ K ₁₅ Cl ₁₁ Si ₁₀ Fe ₄ Ca ₄ Mg ₃ Na ₂ P ₁ Cr ₁ Ti ₁
Медеу 4	Al ₁₂ Si ₈ Ca ₄ Cl ₃ P ₂ Na ₂ K ₂ Fe ₂ Ce ₁ Cr ₁ Ni ₁
Медеу 5	Al ₁₁ Fe ₁₀ Cr ₆ Ca ₅ Na ₄ Cl ₄ S ₃ Si ₂ P ₁ K ₁ Mg ₁

Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных фаз; красным цветом обозначены химические элементы, которые отражают индивидуальную специфику микроминерального состава конкретной пробы, n = 15.

На рисунке 6.20 представлен график сравнения элементного состава крови жителей населенного пункта Караул.

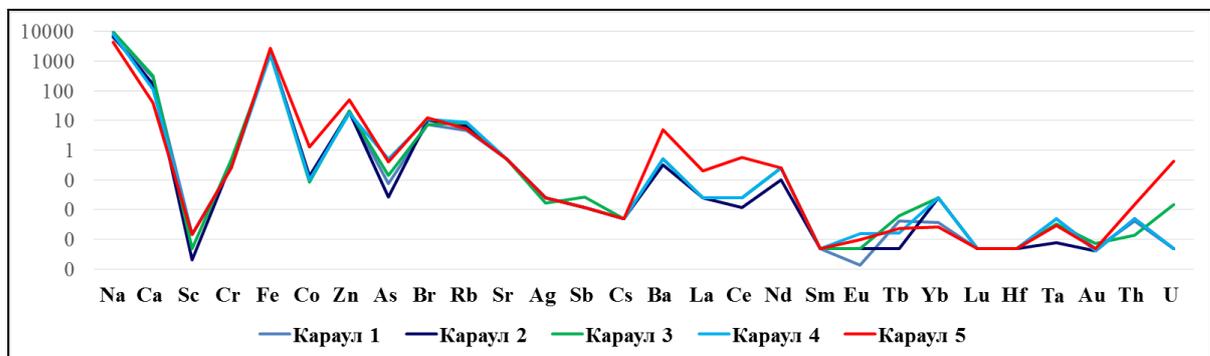


Рисунок 6.20 – Распределение химических элементов в образцах крови жителей населенного пункта Караул, мг/кг (ЭЭД от 35 до 100 сЗв.),

Как видно из графика, высокой вариативностью концентраций в образцах крови данного населенного пункта отличаются Ca, Sc, Co, Zn, As, Ba, группа P3Э, Th и U. Примечательно, что для элементного состава крови жителей населенных пунктов Медеу и Караул характерен широкий спектр химических элементов

с высокой вариативностью накопления по сравнению с элементным составом крови жителей Канонерка. Можно предположить, что это является следствием разности биогеохимической обстановки сравниваемых территорий, обусловленной дальностью их расположения друг от друга.

На рисунке 6.21 представлены результаты кластерного анализа элементного состава крови жителей населенного пункта Караул. Как видно из рисунка, в элементном составе крови жителей данного населенного пункта можно выделить один кластер химических элементов, имеющих тесную взаимосвязь: Th–Tb–Cs–U–Au.

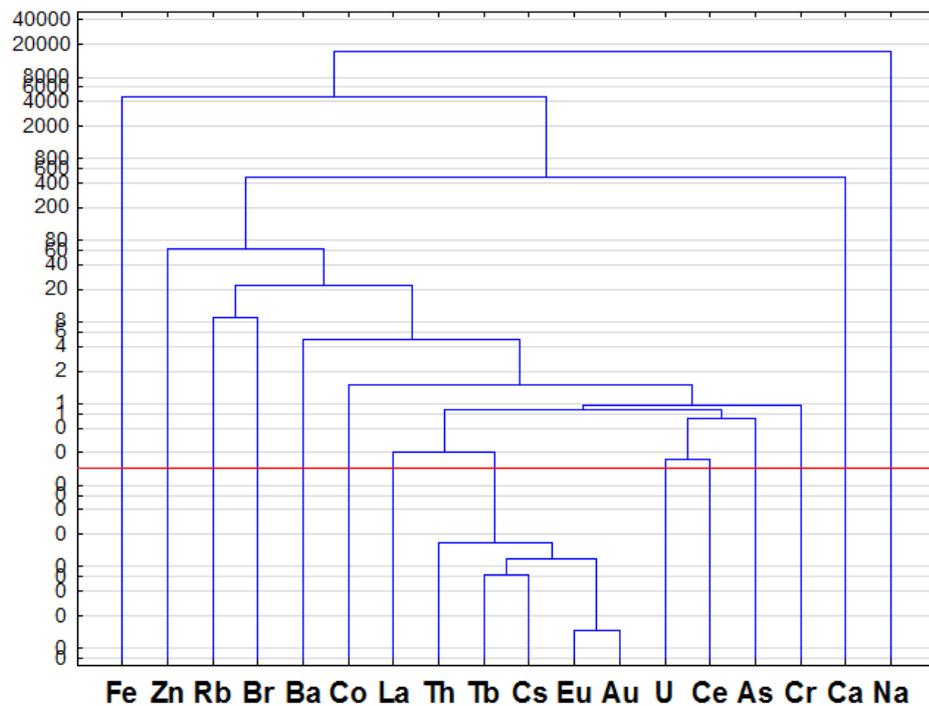
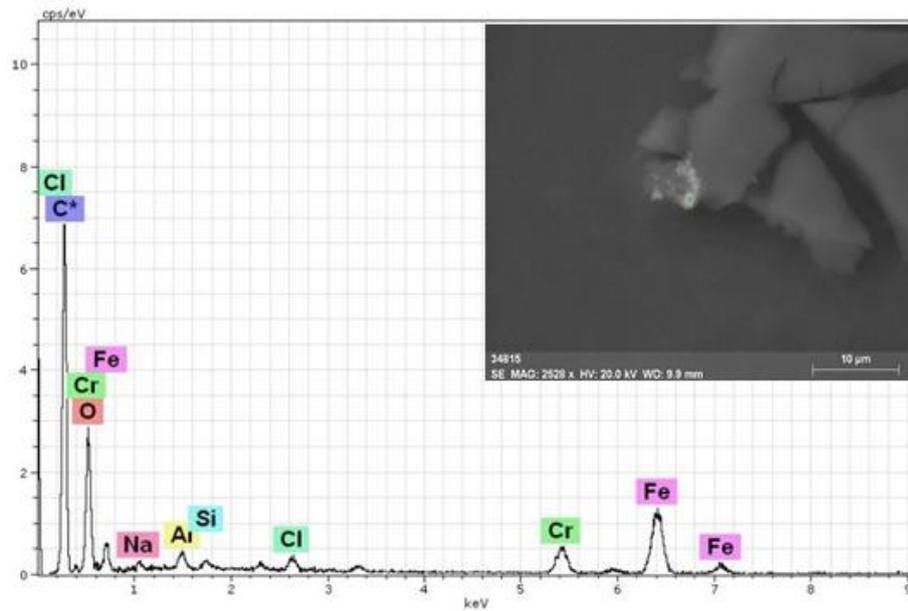


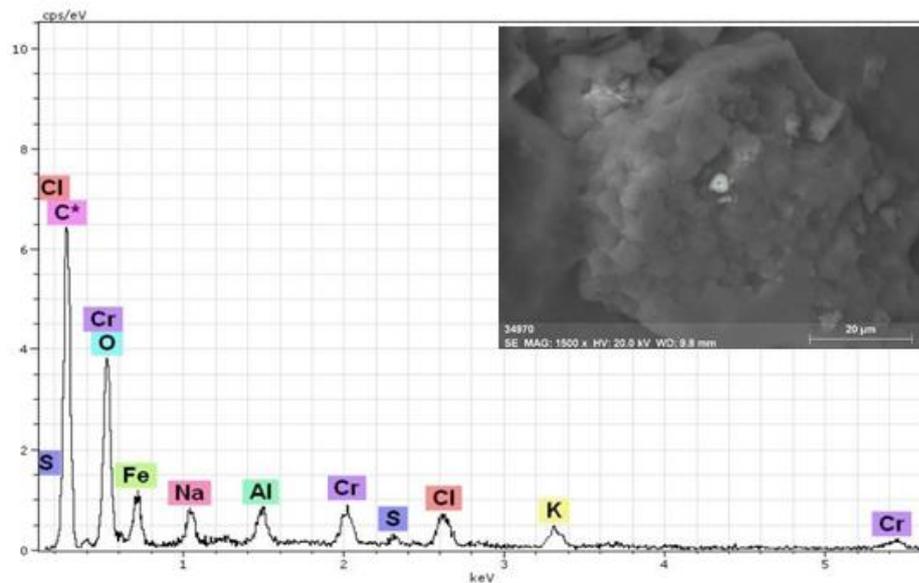
Рисунок 6.21 – Кластеризация элементного состава крови жителей населенного пункта Караул, $r = 0,13$

На рисунке 6.22 представлены снимки некоторых микрофаз и их энергодисперсионные спектры, обнаруженных в составе образца крови Караул. Как видно из рисунка, для крови жителей данного населенного пункта характерны микроминеральные соединения структурных элементов.



a

(% масс: Fe – 48,1; O – 36,0; Cr – 48,1; Al – 1,9; Cl – 1,7; Si – 0,7; Na – 0,6)



б

(% масс: O – 41,6; Fe – 37,3; Na – 6,1; Cr – 3,5; Al – 3,2; Cl – 4,3; S – 0,6)

Рисунок 6.22 – Снимки и энергодисперсионные спектры микроминеральных фаз, характерных для сухого остатка крови жителей населенного пункта Караул (ЭЭД от 35 до 100 сЗв)

Особенности состава микроминеральных соединений, определенных в сухом остатке крови жителей населенного пункта Караул, отражаются в рядах встречаемости химических элементов, представленных в таблице 6.7. Из таблицы видно, что различия микроминерального состава сухого остатка крови жителей

с. Караул представлены встречаемостью Zr и Ti в образце крови Караул 1 и Ti в образце крови Караул 2. Размеры микроминеральных фаз варьируют в пределах 1,5–2,5 мкм.

Таблица 6.7 – Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей с. Караул

Образец крови	Ряды встречаемости (n = 15)
Караул 1	Al ₁₀ Cl ₈ Fe ₇ Cr ₅ Si ₂ K ₂ Ce ₁ Mg ₁ Ti ₁ Zr ₁
Караул 2	Al ₈ Si ₇ Fe ₅ Na ₂ Cl ₂ Cr ₂ Ca ₂ Mg ₂ Ti ₁
Караул 3	Cr ₈ Fe ₈ Cl ₇ Al ₄ Si ₄ Na ₃ P ₁ S ₁ K ₁ Cu ₁₁ Zn ₁
Караул 4	Al ₁₀ Fe ₈ Cl ₇ Cr ₇ K ₃ Na ₂ S ₂ Ca ₂ Si ₁ P ₁ Mg ₁
Караул 5	Si ₄ Fe ₄ Cr ₃ Cl ₁ Na ₁ Mg ₁ Cu ₁ Zn ₁
Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных фаз, n = 15	

В результате исследования микроминерального состава сухого остатка крови жителей зоны максимального радиационного риска было установлено, что для данной зоны в большей степени характерны соединения структурных элементов, таких как Fe–O–Cr–Cl–Al; Cl–K–O–Na; O–Mg–P–Cl–K–Ca и O–Fe–Na–Cr–Al–Cl–S. В меньшей степени в составе сухого остатка крови жителей данной зоны встречаются соединения биологических и небиологических элементов, таких как O–Ti–S–Na–K–Cl–K–Nd, которые можно отнести к индивидуальным особенностям микроминерального состава некоторых образцов крови. В целом обобщение полученного по двум зонам радиационного риска материала показало, что наблюдаются значительные различия во встречаемости химических элементов в микроминеральных фазах, обнаруженных в сухом остатке крови жителей сравниваемых территорий. На рисунке 6.23 представлен график сравнения элементного состава микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови человека, проживающего на локальных территориях с различным уровнем дозовой нагрузки. Как видно из рисунка, для территории зоны чрезвычайного радиационного риска характерны сравнительно высокие встречаемости P, La, Ce, Nd, Sm, Na, Cl, K, Ca и сравнительно низкие встречаемости Cr и Fe.

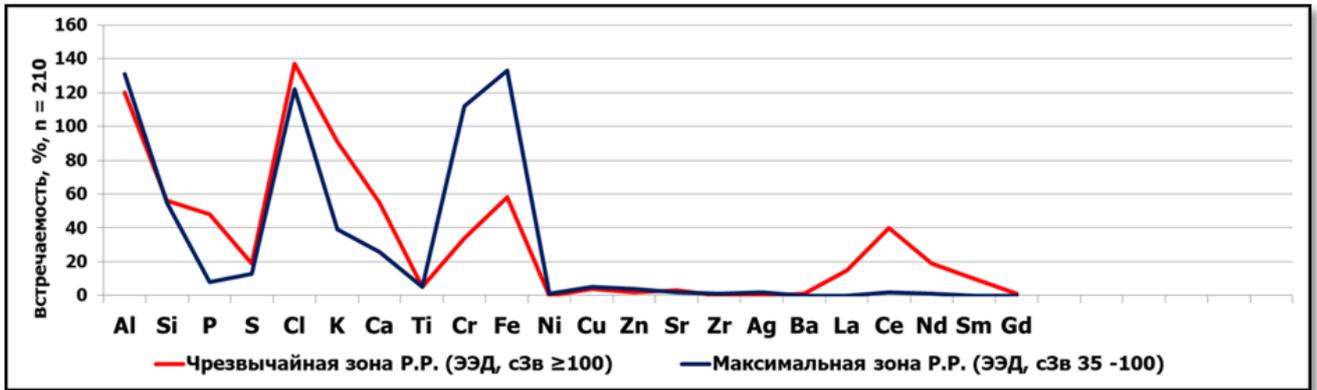


Рисунок 6.23 – Встречаемость химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей локальных территорий с различным уровнем ЭЭД облучения, $n = 210$

В таблице 6.8 представлены ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови человека, проживающего на территориях, нормированных по уровням радиационного риска ($n = 70$).

Таблица 6.8 – Ряды встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови человека, проживающего в зонах различного уровня радиационного риска

Зона радиационного риска	Н.п.	Ряды встречаемости ($n = 70$)
чрезвычайного (> 100 сЗв)	Бодене	Cl ₄₆ Al ₄₅ P ₃₈ Ce ₃₇ K ₂₈ Si ₂₃ Nd ₁₇ Fe ₁₆ Na ₁₅ La ₁₄ Cr ₁₂ S ₁₁ Sm ₁₀ Ca ₇
	Долонь	Cl ₄₆ Al ₄₅ K ₂₉ Fe ₂₈ Cr ₁₅ Ca ₁₅ Si ₁₅ Na ₁₀ P ₆ S ₆ Mg ₃ Cu ₃ Ti ₂ Zn ₂
	Саржал	Cl ₄₅ K ₃₄ Ca ₃₃ Al ₃₀ Si ₁₈ Fe ₁₄ Cr ₇ Na ₅ P ₄ Ce ₃ Mg ₃ Nd ₂ S ₂ Ti ₂ La ₁
максимального (35–100 сЗв)	Канонерка	Fe ₅₆ Cr ₅₃ Al ₄₃ Cl ₄₃ Si ₆ S ₆ K ₅ Na ₄ Ca ₃ Cu ₃ Ti ₂ Zn ₂ Nd ₁ Mg ₁ Sr ₁ Ag ₁
	Медеу	Al ₄₆ Cl ₃₈ K ₂₈ Fe ₂₈ Si ₂₅ Cr ₂₀ Ca ₁₇ Na ₁₂ Mg ₇ P ₆ S ₃ Ce ₁ Ti ₁ Ni ₁
	Караул	Fe ₄₉ Al ₄₂ Cl ₄₁ Cr ₃₉ Si ₂₄ Na ₈ K ₆ Ca ₆ Mg ₆ S ₄ P ₂ Ti ₂ Cu ₂ Zn ₂ Ce ₁ Sr ₁
Примечание: индикаторы ниже каждого химического элемента отражают его количество встречаемости в составе микроминеральных фаз, $n = 70$		

Как видно из таблицы, различия элементного состава микроминеральных фаз проявлены в том, что только в зоне чрезвычайного радиационного риска встречаются Sm, La и в единичных случаях F, Gd, Ba. Примечательно, что Се отличается аномальным показателем встречаемости в составе сухого остатка крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска, в частности населенного пункта Бодене. В сухом остатке крови жителей зоны максимального радиационного риска в единичных случаях встречаются Ag, Zr, Ni.

В процентном соотношении встречаемость химических элементов в составе микроминеральных фаз, определенных в сухом остатке крови жителей территории, прилегающей к СИП, представлена на рисунке 6.24.

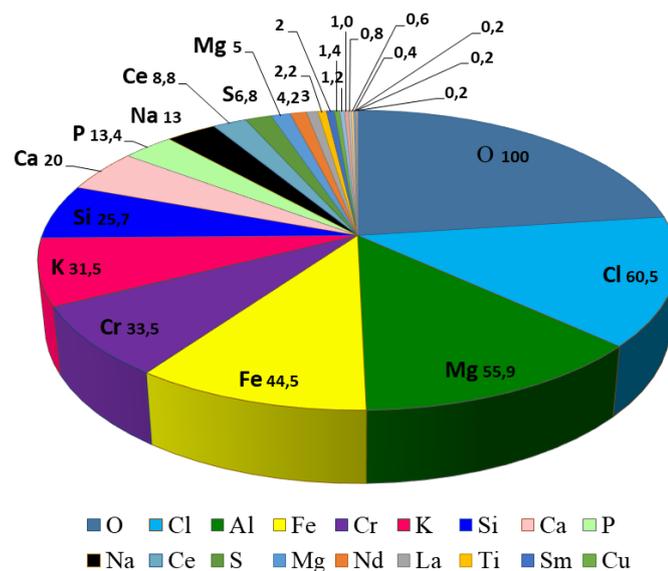


Рисунок 6.24 – Соотношение встречаемости химических элементов в составе микроминеральных фаз, обнаруженных в сухом остатке крови жителей территорий, прилегающих к СИП, %

Из рисунка видно, что основной состав микрофаз представлен структурными элементами, такими как O, Cl, Mg, Al, Fe, Cr, K, Si, Ca. Такие химические элементы, как P, Na, Ce, S, Mg, представляют группу элементов, встречаемость которых варьирует в пределах 5,0–13,4 %. При этом важно отметить, что попадание Се в данную группу элементов обусловлено его повышенной встречаемостью в населенном пункте Бодене, относящемся к зоне

чрезвычайного радиационного риска. Встречаемость таких химических элементов, как La, Ti, Sm, Cu, Sr, Zn, варьирует в пределах 1,0–4,2 %.

Таким образом, в результате исследований выявлено, что матрица сухого образца крови человека, проживающего на территории, прилегающей к СИП, состоит из структурных элементов, таких как O, Cl, K, Na, S, Si, Ca.

Для состава сухого остатка крови человека, проживающего в зоне чрезвычайного радиационного риска, характерна высокая встречаемость микроминеральных соединений в форме фосфатов редкоземельных элементов.

Микроминеральный состав крови человека, проживающего в зоне максимального радиационного риска, главным образом представлен соединениями K–Cl и другими структурными элементами, такими как Fe, Ca, Na, Mg, Cr и Al.

Различия элементного состава микроминерального состава сухого остатка крови респондентов зон чрезвычайного и максимального радиационного риска проявлены в том, что только в зоне чрезвычайного радиационного риска встречаются Sm, La и в единичных случаях F, Gd, Ba, а в сухом остатке крови респондентов зоны максимального радиационного риска в единичных случаях встречаются Ag, Zr, Ni.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить элементный состав целого комплекса компонентов экосистемы на территории, прилегающей к СИП. Установлено, что для исследуемой территории характерны накопления Zn и U в составе почвы, полыни холодной (*Artemisia frigida* Willd.), солевых отложений питьевой воды, молока и мышечной ткани крупного рогатого скота, крови и волос человека.

В ходе работы было выявлено, что ткани человека, в частности кровь и волосы, отражают изменения, происходящие в среде его обитания, обусловленные радиохимическим фактором воздействия. Суммарные показатели химических элементов имеют прямую корреляцию с уровнями дозовых нагрузок. В зоне чрезвычайного радиационного риска наблюдается максимальный спектр накопления химических элементов. При этом основной вклад в СПН вносят Ce, Sm, Eu, La, Th и U.

Волосы человека могут отражать фактор техногенной нагрузки, обусловленной проживанием на путях прохождения следов ядерных испытаний. Так, только в волосах человека, проживающего на локальных территориях, расположенных на путях прохождения следов основных дозообразующих ядерных испытаний, накапливаются такие химические элементы, как La, Ce, Lu, U.

Исследование микроминерального состава сухого остатка крови человека, проживающего на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, проводилось впервые. Формы нахождения химических элементов в организме человека, в частности в крови, являются малоизученной темой. В связи с этим, судить о конкретных классах минералов в составе сухого остатка крови человека достаточно сложно. Тем не менее, важным результатом наших исследований стал факт определения химических элементов в сухом остатке крови человека в форме микроминеральных фаз. Как было показано, матрица сухого остатка крови человека представлена такими элементами, как O, Cl, K, Na, S, Si, Ca.

Специфичностью сухого остатка крови респондентов зоны чрезвычайного радиационного риска являются микроминеральные соединения в форме фосфатов редкоземельных элементов. Микроминеральный состав крови респондентов зоны максимального радиационного риска главным образом представлен соединениями К–Сl и другими структурными элементами, такими как Fe, Ca, Na, Mg, Cr и Al.

Таким образом, в целом можно отметить, что изучаемая территория характеризуется, с одной стороны, различным концентрированием элементов в каждом из изучаемых компонентов, с другой стороны, проявлением ее специфичности в накоплении определенных элементов и микроминеральных фаз в тканях человека, в частности в крови и волосах.

На основании проведенных экспериментальных и аналитических исследований были получены результаты, которые позволяют сформулировать следующие практические рекомендации:

1. Органам экологического контроля для оценки современной радиоэкологической обстановки на территориях, подвергавшихся радиационному загрязнению в результате деятельности Семипалатинского испытательного полигона, рекомендуется провести региональное картирование с применением методов биодозиметрии, с целью выявления наиболее неблагоприятных зон для обитания человека.

2. Научно-исследовательским учреждениям, занимающимся оценкой отдаленных последствий радиационного загрязнения территорий, прилегающих к предприятиям ядерно-топливного цикла, рекомендуется в качестве индикаторов в комплексе с другими компонентами природной среды использовать кровь и волосы человека.

3. Научно-исследовательским учреждениям, занимающимся оценкой отдаленных последствий радиационного загрязнения территорий, прилегающих к предприятиям ядерно-топливного цикла, в качестве индикаторов воздействия малых доз радиации на организм человека рекомендуется использовать суммарные показатели накопления химических элементов в крови человека.

4. Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать научным и образовательным учреждениям в процессе подготовки специалистов в области радиационной медицины и экологии.

Перспективы дальнейшей разработки темы представлены возможностью продолжения исследований в данном направлении в НИИ радиационной медицины и экологии некоммерческого акционерного общества «Медицинский университет Семей» (г. Семей, Республика Казахстан). Будут разработаны научно-исследовательские программы, направленные на проведение современной оценки радиозоологической ситуации в Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской областях Республики Казахстан, которые были подвержены радиационному загрязнению в результате деятельности Семипалатинского испытательного полигона.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ГНАМР – Государственный научный автоматизированный медицинский регистр
- ГОУ ВПО – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
- ИНАА – Инструментальный нейтронно-активационный анализ
- ИРТ-Т – Исследовательский реактор тепловой-Томский
- КРС – Крупный рогатый скот
- МИНОЦ – Международный инновационный научно-образовательный центр
- НАТО – Организация Североатлантического договора (NATO, North Atlantic Treaty Organization)
- НИИ – научно-исследовательский институт
- НИИ РМиЭ – Научно-исследовательский институт Радиационной медицины и экологии
- ООН – Организация Объединенных Наций
- РЗЭ – редкоземельные элементы
- РЭМ – растровая электронная микроскопия
- СИП – Семипалатинский испытательный полигон
- СПН – суммарный показатель накопления
- СССР – Союз Советских Социалистических Республик
- США – Соединенные штаты Америки
- СЭМ – Сканирующая электронная микроскопия
- ТПУ – Томский политехнический университет
- ЦНС – центральная нервная система
- ЭДС – энергодисперсионный спектрометр
- ЭЭД – эффективная эквивалентная доза
- ЯТЦ – ядерно-топливный цикл

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А. П. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш, Л. С. Строчкова. – М. : Медицина, 1991. – 496 с. – (Фундаментальные науки – медицине).
2. Агаджанян Н. А. Референтные значения содержания химических элементов в волосах взрослых жителей Республики Татарстан / Н. А. Агаджанян, А. В. Скальный, Е. С. Березкина, В. А. Демидов, А. Р. Грабеклис, М. Г. Скальная // Экология человека. – 2016. – № 4. – С. 38–44.
3. Агаджанян Н. А. Сравнительный анализ содержания макро- и микроэлементов в волосах детей и подростков, проживающих в южных и северных регионах России / Н. А. Агаджанян, С. П. Лысенков, Г. А. Егорова, Р. Ш. Ожева // Новые технологии. – 2011. – № 3. – С. 1–7.
4. Айдарханов А. О. Радиоэкологическая обстановка в Республике Казахстан и особенности ее формирования / Современные проблемы радиологии и агроэкологии, пути реабилитации техногенно-загрязненных угодий : сборник докладов международной конференции. Обнинск, 15 декабря 2016 г. – Обнинск, 2016. – С. 37–69.
5. Аклеев А. В. Реакция тканей на хроническое воздействие ионизирующего излучения / А. В. Аклеев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – Т. 49, № 1. – С. 5–20.
6. Акопян К. А. Казахский белоголовый скот на Юго-Востоке СССР / К. А. Акопян. – Чкалов : Кн. изд-во, 1956. – 116 с.
7. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. – Павлодар: Дом печати, 2010. – Вып. 2 : Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. / под рук. С. Н. Лукашенко. – 528 с.
8. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. – Павлодар: Дом печати, 2011. – Изд-е 2. – Вып. 1 : Радиоэкологическое состояние «северной» части территории Семипалатинского испытательного полигона / под рук. С. Н. Лукашенко. – 296 с.

9. Алексахин Р. М. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы / Р. М. Алексахин, С. В. Фесенко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44, № 1. – С. 93–103.

10. Алексеенко В. А. Экологическая геохимия : учебник / В. А. Алексеенко. – М. : Логос, 2000. – 627 с. – (Учебник для XXI века).

11. Арынов М. А. Ежегодник по изучению режима и баланса подземных вод на территории Семипалатинской области за 1982 год / М. А. Арынов, А. А. Третьяков, К. Е. Богданова. – Алматы : [Б.и.], 1983. – 82 с.

12. Арынова Ш. Ж. Элементный состав солевых образований из природных пресных вод как индикатор экологической безопасности водопользования : дис. ... канд. геол-минерал. наук : 25.00.36 / Арынова Шынар Жаныбековна. – Томск, 2016. – 151 с.

13. Аушева В. А. Технология и автоматизированный комплекс для оценки концентрации биосубстратов / В. А. Аушева, З. М. Юлдашев // Информационно-управляющие системы. – 2008. – № 1 (32). – С. 51–53.

14. Афтанас Л. И. Элементный статус населения России / Л. И. Афтанас [и др.]. – СПб. : Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2011. – Ч. 2 : Элементный статус населения Центрального федерального округа. – 423 с.

15. Афтанас Л. И. Элементный статус населения России / Л. И. Афтанас [и др.]. – СПб. : Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2012. – Ч. 3 : Элементный статус населения Северо-Западного, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. – 448 с.

16. Бакаева Е. А. Селеновый статус детей дошкольного возраста города Ярославля / Е. А. Бакаева, А. В. Еремейшвили // Экология человека. – 2017. – № 3. – С. 26–30.

17. Барановская Н. В. Очерки геохимии человека / Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов, Т. Н. Игнатова, Д. В. Наркович, О. А. Денисова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.

18. Барановская Н. В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенно-измененных территорий (на примере

южной части Томской области) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.36 / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, 2003. – 23 с.

19. Барашков В. А. Химические элементы в организме человека: справочные материалы / В. А. Барашков, Т. С. Копосова, А. И. Белых, Н. В. Звягина, С. Ф. Лукина, Л. В. Морозова, Л. В. Соколова. – Архангельск : Поморский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 2001. – 43 с.

20. Барашков Г. К. Медицинская бионеорганика. Основы, аналитика, клиника / Г. К. Барашков. – М. : Изд-во БИНОМ, 2011. – 512 с.

21. Богдан В. Г. Тромбоцитарные концентраты: особенности биологических характеристик и структуры / В. Г. Богдан, Д. А. Толстов, М. М. Зафранская, Т. М. Студеникина, И. А. Мельников, С. А. Новаковская // Военная медицина. – 2015. – № 9. – С. 17–20.

22. Борисова Е. Я. Химические основы жизни : учебное пособие / Е. Я. Борисова, Т. П. Колобова, Н. Ю. Борисова. – М. : МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2007. – Ч. 1. – 80 с.

23. Бугримов Е. И. Казахская белоголовая порода крупного рогатого скота / Е. И. Бугримов. – М. : Сельхозгиз, 1952. – 218 с.

24. Будников Г. К. Определение следовых количеств веществ как проблема современной аналитической химии / Г. К. Будников // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – № 3. – С. 45–51.

25. Булатов В. И. Россия радиоактивная / В. И. Булатов. – Новосибирск : ЦЭРИС, 1996. – 271 с.

26. Василенко И. Я. Риски, связанные с ликвидацией ядерных боеприпасов / И. Я. Василенко // Бюллетень по атомной энергии. – 2001. – № 10. – С. 55–59.

27. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера : сборник / В. И. Вернадский / отв. ред. А. Л. Яншин. – М. : Наука, 1994. – 672 с. – (Библиотека трудов академика В. И. Вернадского).

28. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана / А. П. Виноградов. – М. : Наука, 1967. – 215 с.

29. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – М. : АН СССР, 1957. – 237 с.

30. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в горных породах / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
31. Вольфсон И. Ф. Химические элементы в организме человека и методы их определения / И. Ф. Вольфсон // Химический анализ и медицина : сборник тезисов I Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 09–12 ноября 2015 г. – М., 2015. – С. 22–24.
32. Геология СССР / гл. ред. А. В. Сидоренко. – 12-е изд. – М. : Недра, 1967. – Т. 41 : Восточный Казахстан, ч. 1 : Геологическое описание. – 467 с.
33. Гергошидзе Б. Е. Вопросы медицинской элементологии и значение определения микроэлементов в биосубстратах для диагностики и профилактики заболеваний репродуктивной системы / Б. Е. Гергошидзе, И. З. Харисчаришвили // Экспериментальная и клиническая медицина. – 2006. – № 6 (31). – С. 60–63.
34. Гичев Ю. П. Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека : аналитический обзор / Ю. П. Гичев. – Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2003. – 138 с. – (Экология; вып. 68).
35. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР : учебное пособие для университетов по специальности «География» / М. А. Глазовская. – М. : Высшая школа, 1988. – 327 с.
36. Голованова О. А. Патогенные минералы в организме человека / О. А. Голованова. – Омск : изд-во ОмГУ, 2007. – 395 с.
37. Голохваст К. С. Нано- и микрочастицы в городской атмосфере (на примере городов Владивосток и Уссурийск) / К. С. Голохваст, Е. В. Соболева, П. А. Никифоров, Е. Ю. Чекрыжев, П. П. Сафронов, Т. Ю. Романова, Н. К. Христофорова, В. В. Чайка, А. М. Паничев, А. Н. Гульков // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. – № 21. – С. 129–134.
38. Горбунов А. В. Ядерно-физические методы анализа в медицинской геологии: Оценка влияния факторов внешней среды на здоровье человека / А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов, О. И. Окина, М. В. Фронтасьева, С. С. Павлов, И. Н. Ильченко // Физика элементарных частиц атомного ядра. – 2015. – Т. 46, № 3. – С. 770–809.

39. Гордеев К. И. Реконструкция эффективных доз облучения населения в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне / К. И. Гордеев. – М. : ГНЦ РФ-ИБФ, 1997. – 25 с.

40. Горин В. В. Семипалатинский полигон: хронология подземных ядерных взрывов и их первичные радиационные эффекты (1961–1989 гг.) / В. В. Горин, Г. А. Красилов, А. М. Матущенко // Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – 1993. – № 9. – С. 21–32.

41. ГОСТ 17.4.2.01–81. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния. – М. : Стандартинформ, 2008. – Введ. 1982–08–01. – 4 с.

42. Гресь Н. А. Информативность спектроскопии волос при изучении микроэлементных нарушений в организме человека / Н. А. Гресь, Т. М. Юрага, А. Г. Романюк, С. Хамад, В. П. Сокол // Медицинские новости. – 2013. – № 4. – С. 77–80.

43. Гринвуд Н. Химия элементов : учебник : в 2 т. / Н. Гринвуд, А. Эрншо. – М. : Бином, 2008. – Т. 1 : 607 с.; Т. 2 : 670 с. – (Лучший зарубежный учебник).

44. Гущина Ю. Ю. Исследование различий морфологических параметров клеток крови человека методом сканирующей зондовой микроскопии / С. Н. Плескова, М. Б. Звонкова // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2005. – № 1. – С. 48–53.

45. Демидов В. А. Элементный состав волос и заболеваемость взрослого населения / В. А. Демидов, Е. В. Лакарова, М. Г. Скальная, А. В. Скальный // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 15 (134). – С. 45–48.

46. Денисова О. А. Особенности микроэлементного состава крови больных с саркоидозом / О. А. Денисова, К. К. Егорова, Г. Э. Черногорюк, Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов, Г. М. Чернявская, А. Н. Голощапова // Практическая медицина. – 2013. – № 5 (74). – С. 72–74.

47. Джамбаев М. Т. Изменение элементного состава почв и крови жителей территорий с неравномерной дозовой нагрузкой (на примере локальных территорий, прилегающих к Семипалатинскому ядерному полигону) /

М. Т. Джамбаев // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. Тюмень, 23–28 апреля 2018 г. – Тюмень, 2018. – С. 223–227.

48. Джамбаев М. Т. Индивидуальные эффективные эквивалентные дозы облучения и элементный состав крови человека / М. Т. Джамбаев, Н. В. Барановская, А. В. Липихина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 167–174.

49. Джамбаев М. Т. Индикаторы ядерного техногенеза на примере территории, прилегающей к бывшему Семипалатинскому испытательному полигону / М. Т. Джамбаев, Н. В. Барановская, А. В. Липихина, В. В. Боев, М. К. Райымкулова, З. С. Апсаликова, А. Ф. Судыко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 4. – С. 217–229.

50. Джамбаев М. Т. Минеролого-геохимический состав крови жителей территорий с различной дозовой нагрузкой / М. Т. Джамбаев, Ю. Ю. Брайт // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 155-летию со дня рождения академика В. А. Обручева, 135-летию со дня рождения академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, и 110-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири. Томск, 02–07 апреля 2018 г. – Томск, 2018. – Т. 1. – С. 774–776.

51. Джамбаев М. Т. Особенности элементного состава крови человека в условиях проживания на территориях с различной дозовой нагрузкой / М. Т. Джамбаев, Н. В. Барановская, А. В. Липихина // Самарский научный вестник. – 2018. – Т. 7, № 1 (22). – С. 31–37.

52. Джамбаев М. Т. Уран в питьевой воде и крови человека в зоне влияния Семипалатинского ядерного полигона / М. Т. Джамбаев, Ш. Б. Жакупова, Ю. Ю. Брайт // Проблемы геологии и освоения недр : труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. Томск, 04–08 апреля 2016 г. – Томск, 2016. – Т. 2. – С. 122–124.

53. Джапаридзе А. И. Определение тяжелых металлов в волосах человека методами дифференциальной импульсной полярографии и рентгеновской флуоресцентной спектроскопии / А. И. Джапаридзе, Н. В. Шавгулидзе, Н. С. Хавтаси, Л. Г. Енукидзе, И. З. Харисчаришвили, Е. К. Кириленко, С. Н. Гальченко // Украинский журнал проблем медицины. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 58–63.

54. Динамика параметров радиационно-гигиенической обстановки, сформированной в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне в прилегающих регионах Семипалатинской области // Ретроспективная оценка за 1953–1996 гг. : отчет о НИР / НИИ радиационной медицины и экологии ; исполн. Гусев Б.И. [и др.]. – Семипалатинск, 1997. – 75 с. – Инв. № 149.

55. Дрогобужская С. В. Методы определения химических элементов в биосубстратах и окружающей среде / С. В. Дрогобужская // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2017. – № 4 (9). – С. 50–57.

56. Дрозд Е. С. Атомно-силовая микроскопия структурно-механических свойств мембран эритроцитов / Е. С. Дрозд, С. А. Чижик, Е. Э. Константинова // Российский журнал биомеханики. – 2009. – Т. 13, № 4 (46). – С. 22–30.

57. Дубасов Ю. В. Радиационная обстановка за пределами Семипалатинского испытательного полигона / Ю. В. Дубасов, Л. С. Кривохатский, Н. П. Филонов, К. В. Харитонов // Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – 1993. – № 9. – С. 5–12.

58. Дубасов Ю. В. Семипалатинский испытательный полигон: оценивая радиологические последствия / Ю. В. Дубасов, А. М. Матущенко, Н. П. Филонов // Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – 1993. – Спец. выпуск. – С. 22–34.

59. Дубасов Ю. В. Хронология ядерных испытаний в атмосфере на Семипалатинском полигоне и их радиационная характеристика / Ю. В. Дубасов, С. А. Зеленцов, Г. А. Красилов // Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай». – 1994. – № 4. – С. 78–86.

60. Дюсембаев С. Т. Содержание америция-241 и цезия-137 в пробах окружающей среды и продуктах животноводства / С. Т. Дюсембаев,

А. Т. Серикова, Д. Е. Иминова // Молодой ученый. – 2017. – № 6.1 (140.1) : спецвыпуск : сборник научных статей «Экология и пищевая безопасность», посвященный проблемам радиоэкологии, продуктов животного и растительного происхождения и кормов в условиях бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (приложение к № 6 (140)). – С. 11–16.

61. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Ярош, Ю. В. Перуанский, Г. А. Луковникова, М. И. Иконникова. – Изд-е 3. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 143 с.

62. Ермаков В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы / В. В. Ермаков // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 203–221.

63. Жук Л. И. О влиянии выбросов алюминиевого комбината на элементный состав биосубстратов человека / Л. И. Жук, Г. С. Хаджибаева, А. А. Кист // Гигиена и санитария. – 1991. – № 10. – С. 12–15.

64. Зайчик В. Е. Некоторые методологические вопросы медицинской элементологии / В. Е. Зайчик, Н. А. Агаджанян // Вестник восстановительной медицины. – 2004. – Т. 9, № 3. – С. 19–23.

65. Иваненко Н. Б. Определение микроэлементов в биологических жидкостях / Н. Б. Иваненко // Журнал аналитической химии. – 2011. – Т. 66, № 9. – С. 900–915.

66. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справочник : в 6 кн. / В. В. Иванов, под ред. Э. К. Буренкова. – М. : Экология, 1997. – Кн. 5 : Редкие d-элементы. – 575 с.

67. Иванов С. И. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой : методические указания / разработ.: С. И. Иванов, Л. Г. Подунова, В. Б. Скачков [и др.]. – М. : ФЦГСЭН МЗ РФ, 2003. – 56 с.

68. Игнатова Т. Н. Элементный состав организма человека и его связь с факторами среды обитания : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.36 / Игнатова Татьяна Николаевна. – Томск, 2010. – 22 с.

69. Ильенок С. С. Геохимия элементов-примесей в углях Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна : дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.09 / Ильенок Сергей Сергеевич. – Томск, 2017. – 207 с.

70. Ильин В. Б. К вопросу о разработке предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1985. – № 10. – С. 94–101.

71. Ильин В. Б. О нормировании тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 87–94.

72. Ильинских Н. Н. Цитогенетические последствия радиационных и химических воздействий на человека / Н. Н. Ильинских, Е. Л. Чойнзонов, И. Н. Лебедев [и др.]. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 420 с.

73. Казаков С. В. О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите / С. В. Казаков, И. И. Линге // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 482–492.

74. Карамова Л. М. Критерии экологической безопасности тяжелых металлов в крови человека / Л. М. Карамова, Т. К. Ларионова, Г. Р. Башарова // Медицина труда и промышленная экология. – 2010. – № 6. – С. 21–23.

75. Каретин Л. Н. Почвы Тюменской области / Л. Н. Каретин. – Новосибирск : Наука : Сиб.отделение, 1990. – 286 с.

76. Кобзев А. Ф. Результаты изучения воздействия радиоактивных осадков на объекты внешней среды и состояние здоровья населения ВКО, Семипалатинской, Карагандинской и Павлодарской областей Казахской ССР : отчет о НИР / А. Ф. Кобзев, Ю. С. Степанов, С. Л. Турапин // Итоги работы научной экспедиции Института биофизики и полигона. – М., 1958. – Фонды / ГНЦ РФ-ИБФ.

77. Кобзев А. Ф. Результаты изучения радиологической обстановки в некоторых районах Семипалатинской и Павлодарской областей Казахской ССР в 1959 г. : отчет о НИР / А. Ф. Кобзев, Ю. С. Степанов, В. Г. Рядов, С. Л. Турапин // Итоги работы научной экспедиции Института биофизики и полигона. – М., 1959. – Фонды / ГНЦ РФ-ИБФ.

78. Ковалевский А. Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков / А. Л. Ковалевский, О. М. Ковалевская. – Новосибирск : Гео, 2010. – 356 с.

79. Ковалевский А. Л. О возможности использования полевых методов озоления проб растений при биогеохимических исследованиях / А. Л. Ковалевский, О. М. Ковалевская // Микроэлементы в Сибири : сборник научных статей. – Улан-Удэ, 1967. – Вып. 5. – С. 112–122.

80. Ковальский В. В. Геохимическая среда и жизнь / В. В. Ковальский. – М. : Наука, 1987. – 76 с.

81. Кожаханов Т. Е. Содержание радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в продукции растениеводства на территориях, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону / Т. Е. Кожаханов, С. Н. Лукашенко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – № 2. – С. 220–225.

82. Колядо В. Б. Потери здоровья жителей сельских населенных пунктов Алтайского края в зоне влияний ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне (ретроспективная медико-демографическая оценка / В. Б. Колядо, Я. Н. Шойхет, В. И. Киселев. – Барнаул : НИИ РМЭП, 1998. – 328 с.

83. Корогод Н. П. Элементный анализ волос детей из техногенных центров России и Казахстана / Н. П. Корогод, Н. В. Барановская, Б. Х. Шайморданова // Вестник Казахского национального университета. Серия экологическая. – 2008. – № 1 (22). – С. 89–97.

84. Корогод Н. П. Элементный состав волос детского населения города Павлодар / Н. П. Корогод, Б. Х. Шайморданова, Г. Е. Асылбекова, Н. В. Барановская // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2008. – Т. 8, № 4. – С. 99–109.

85. Кохонов Е. В. Содержание и особенности накопления химических элементов в организме мелких млекопитающих юга западной Сибири : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Кохонов Евгений Владимирович. – Томск, 2005. – 19 с.

86. Кошмаганбетова Г. К. Клинико-эпидемиологическая характеристика эндемического зоба в нефтегазоносных районах Западного региона Казахстана : дис. ...д-ра философии (PhD) : 6D 110100 -«Медицина» / Кошмаганбетова Гульбакит Куанышкалиевна. – Актобе, 2016. – 116 с.

87. Кривоулицкий Д. А. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз / Д. А. Кривоулицкий, Ф. А. Тихомиров, Е. А. Федоров, А. Д. Покаржевский, А. И. Таскаев. – М. : Наука, 1988. – 240 с.

88. Кудрин А. В. Микроэлементы в неврологии : обучающие программы ЮНЕСКО / А. В. Кудрин, О. А. Громова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 304 с.

89. Куликов С. М. Авиация и ядерные испытания : записки испытателя / С. М. Куликов. – М. : ЦНИИАтоминформ, 1998. – 66 с.

90. Куранов Б. Д. Репродуктивные показатели и эмбриональные нарушения у рябинника (*Turdus pilaris* L.) в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла / Б. Д. Куранов, С. В. Савельев // Экология. – 2009. – № 2. – С. 116–121.

91. Кухаренко Л. В. Атомно-силовая микроскопия в исследовании тромбоцитов пациентов с терминальной стадией хронической сердечной недостаточности / Л. В. Кухаренко, С. А. Чижик, Е. С. Дрозд, М. В. Гольцев, Н. Н. Мороз-Водолажская // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2016. – № 7 (101). – С. 66–70.

92. Куценогий К. П. Элементный состав крови и волос коренных жителей Севера России с разной биогеохимической средой обитания / К. П. Куценогий, Т. И. Савченко, О. В. Чанкина, Э. Я. Журавская, Л. А. Гырголькау // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – № 18. – С. 5–61.

93. Лагутин А. А. Ретроспективная оценка эффективных доз внешнего облучения от локальных выпадений ядерных взрывов по величине осадка цезия-137 / А. А. Лагутин, А. И. Гончаров, К. В. Гамаюнов // Вестник научной программы «Семипалатинский полигон – Алтай». – 1994. – № 4. – С. 41–59.

94. Липихина А. В. Радиоэкологическая обстановка и оценка дозовых нагрузок от долговременного воздействия радионуклидов в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона (на примере Абайского

района) : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Липихина Александра Викторовна. – Томск, 2005. – 163 с.

95. Логачев В. А. Ядерные испытания на Семипалатинском полигоне и их влияние на окружающую среду / В. А. Логачев // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан. – 2000. – Вып. 3. – С. 9–14.

96. Лукашенко С. Н. Радиоэкологическое обоснование возвращения территорий Семипалатинского испытательного полигона в хозяйственное использование: фундаментальные и прикладные аспекты : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.01.01 / Лукашенко Сергей Николаевич. – Обнинск, 2016. – 47 с.

97. Лямина О. И. Рентгеноспектральный анализ крови без отделения органической составляющей / О. И. Лямина, Т. А. Куприянова, И. П. Столяров, М. Н. Филиппов, А. А. Вирюс // Аналитика и контроль. – 2013. – Т. 127, № 2. – С. 148–152.

98. Маймулов В. Г. Основы системного анализа в эколого-гигиенических исследованиях / В. Г. Маймулов, С. В. Нагорный, А. В. Шабров. – СПб. : ГМА им. И.И. Мечникова, 2001. – 342 с.

99. Мамаева С. Н. Исследование эритроцитов крови методом растровой электронной микроскопии / С. Н. Мамаева, Я. А. Мунхалова, И. В. Кононова, А. А. Дьяконов, В. Н. Корякина, В. В. Шутова, Г. В. Максимов // Вестник Мордовского университета (Mordovia university bulletin). – 2016. – Т. 26, № 3. – С. 381–390.

100. Материалы комплексного экологического обследования «западной» части территории СИП / Национальный ядерный центр Республики Казахстан; отв. исп. С. Н. Лукашенко. – Курчатов : Вестник НЯЦ РК, 2011. – 200 с.

101. Материалы комплексного экологического обследования «северной» части территории СИП / Национальный ядерный центр Республики Казахстан; отв. исп. С. Н. Лукашенко. – Курчатов : Вестник НЯЦ РК, 2010. – 165 с.

102. Материалы комплексного экологического обследования юго-восточной части территории СИП / Национальный ядерный центр Республики Казахстан; отв. исп. С. Н. Лукашенко. – Курчатов : Вестник НЯЦ РК, 2012. – 200 с.

103. Материалы комплексного экологического обследования юго-восточной части территории СИП (район площадок «Балапан», «Дегелен», «Телькем») / Национальный ядерный центр Республики Казахстан; отв. исп. С. Н. Лукашенко. – Курчатов : Вестник НЯЦ РК, 2013. – 192 с.

104. Материалы комплексного экологического обследования юго-восточной части территории СИП (южнее площадки «Балапан») / Национальный ядерный центр Республики Казахстан; отв. исп. С. Н. Лукашенко. – Курчатов : Вестник НЯЦ РК, 2014. – 192 с.

105. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов; сост. Ю. Е. Саев [и др.]. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 66 с.

106. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова ; утв. Министерством сельского хозяйства РФ и Российской академией сельскохозяйственных наук 24, 17 сентября 2003 г. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.

107. Михайлов В. Н. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949–1990 гг. / подг. под рук. проф. В. Н. Михайлова. – Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. – 66 с.

108. Михальчук А. А. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений : учебное пособие / А. А. Михальчук, Е. Г. Языков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Ч. I : Математические основы. – 103 с.

109. Монголина Т. А. Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области / Т. А. Монголина, Н. В. Барановская, Б. Р. Соктоев // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319, № 1. – С. 204–211.

110. Москвитина Н. С. Биологическое накопление химических элементов как показатель состояния среды / Н. С. Москвитина, Е. В. Кохонов, А. Д. Строителей // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде:

доклады II Международной научно-практической конференции. Семипалатинск, 16–18 октября 2002 г. – Семипалатинск, 2002. – С. 422-425.

111. Мотузова Г. В. Почвенно-химический экологический мониторинг : учебно-методическое пособие / Г. В. Мотузова. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 85 с.

112. Мчедлишвили Г. И. Микроциркуляция крови: общие закономерности регулирования и нарушений / Г. И. Мчедлишвили. – Л. : Наука : Ленинградское отделение, 1989. – 295 с.

113. Нагорнов Ю. С. Моделирование морфологии и жесткости мембраны эритроцитов после фемтосекундного лазерного облучения / Ю. С. Нагорнов // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 3 (61). – С. 112–121.

114. Наркович Д. В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.36 / Наркович Дина Владимировна. – Томск, 2012. – 21 с.

115. Нотова С. В. Необходимость учета региональных особенностей в моделировании процессов межэлементных взаимодействий в организме человека / С. В. Нотова, С. А. Мирошников, И. П. Болодурина, Е. В. Дидикина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 2 : Приложение. – С. 59–63.

116. Орбелис Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных / Д. Орбелис, Б. Харланд, А. Скальный. – СПб. : Наука, 2008. – 544 с.

117. О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне : офиц. текст [Электронный ресурс] : введен в действие постановлением Верховного Совета Республики Казахстан от 18 декабря 1992 г. № 1788-ХІІ : по состоянию на 02 июля 2018 г. / Республика Казахстан. Законы // Параграф. Информационные системы : Юрист. – URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1001550 (дата обращения: 10.04.2019).

118. Павлова Т. В. Исследование крови с помощью наноструктурных морфологических методов / Т. В. Павлова, К. И. Прощаев, С. А. Сумин, В. А. Петрухин, В. В. Башук, И. С. Сырцева, А. В. Селиванова, М. А. Чаплыгина //

Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. – 2012. – № 22 (141), вып. 20/2. – С. 19–22.

119. Панин М. С. Экотоксикология : учебник для вузов / М. С. Панин, В. С. Безель. – Алматы : Раритет, 2008. – 344 с.

120. Паранько Н. М. Гигиеническая характеристика загрязнения тяжелыми металлами окружающей среды промышленного региона и иммунный статус детей / Н. М. Паранько, Н. И. Рублевская // Гигиена и санитария. – 1999. – № 2. – С. 51–54.

121. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза) / А. И. Перельман. – М. : Недра, 1965. – 272 с.

122. Петухов В. И. Корреляционный анализ данных спектрометрии волос: новый подход к оценке элементного гомеостаза / В. И. Петухов, Е. В. Дмитриев, И. Я. Калвиньш, Л. Х. Баумане, А. П. Шкестерс, Е. В. Лакарова, А. В. Холод, А. В. Скальный // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – № 12. – С. 128–135.

123. Петухов В. И. Проблемы интегральной оценки элементного статуса человека по данным спектрометрии волос / В. И. Петухов, Е. В. Дмитриев, А. П. Шкестерс, А. В. Скальный // Микроэлементы в медицине. – 2006. – Т. 7, № 4. – С. 7–14.

124. Покаржевский А. Д. Геохимическая экология наземных животных / А. Д. Покаржевский. – М. : Наука, 1985. – 300 с.

125. Потапов С. С. Сравнительный анализ минерального состава уролитов жителей Челябинской и Новосибирской областей / С. С. Потапов, Н. А. Пальчик, Т. Н. Мороз // Минералогия и жизнь: биоминеральные гомологи : материалы международного семинара. Сыктывкар, 05–08 июня 2000 г. – Сыктывкар, 2000. – С. 113–114.

126. Ревич Б. А. Биомониторинг металлов в организме человека / Б. А. Ревич // Микроэлементы в медицине. – 2005. – Т. 6, № 4. – С. 11–16.

127. Ревич Б. А. Гигиеническая оценка содержания некоторых химических элементов в биосубстратах человека / Б. А. Ревич // Гигиена и санитария. – 1986. – № 7. – С. 59–62.

128. Рид С. Д. Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии / С. Д. Б. Рид; пер. с англ. Д. Б. Петрова, И. М. Романенко, В. А. Ревенко. – М. : Техносфера, 2008. – 229 с. – (Мир наук о Земле; V (02)).

129. Рихванов Л. П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиэкологии: учебное пособие / Л. П. Рихванов. – Томск : СТТ, 2009. – 430 с.

130. Рихванов Л. П. Содержание тяжелых металлов в почвах : учебное пособие / Л. П. Рихванов, Е. Г. Языков, С. И. Сарнаев. – Томск : Томский политехнический университет, 1993. – 85 с.

131. Рихванов Л. П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л. П. Рихванов, Е. Г. Языков, Ю. И. Сухих [и др.]. – Томск : Изд-во «Курсив», 2006. – 216 с.

132. Робертус Ю. В. Особенности химического состава солевых отложений подземных питьевых вод Республики Алтай / Ю. В. Робертус, Л. П. Рихванов, Б. Р. Соктоев // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 1. – С. 190–195.

133. Савченко Т. И. Определение многоэлементного состава крови и волос тундровых ненцев методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА СИ) / Т. И. Савченко, О. В. Чанкина, Г. А. Ковальская, Л. П. Осипова // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 1. – С. 85–91.

134. Саэт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.

135. Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности : утв. приказом и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 марта 2015 г. № 261 [Электронный ресурс] // Параграф. Информационные системы : Юрист. – URL.: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35018033&doc_id2=31693409#activate_doc=2&pos=0;0&pos2=0;0 (дата обращения: 10.04.2019).

136. Семиошкина Н. А. Оценка радиологических последствий радиоактивного загрязнения территории Семипалатинского испытательного полигона : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.01 / Семиошкина Наталья Александровна. – Обнинск, 2002. – 104 с.

137. Сибиркина А. Р. Содержание тяжелых металлов в песках соснового бора Семипалатинского Прииртышья Республики Казахстан / А. Р. Сибиркина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2011. – № 2. – С. 46–52.

138. Скальный А. В. Биоэлементы в медицине : учебное пособие для системы послевузовского профессионального образования врачей / А. В. Скальный, И. А. Рудаков. – М. : ОНИКС 21 в. : Мир, 2004. – 272 с.

139. Скальный А. В. Микроэлементозы человека (диагностика, лечение) : практическое руководство для врачей и студентов медицинских вузов / А. В. Скальный. – М. : Оникс 21 век, 1999. – 96 с.

140. Скальный А. В. Региональные особенности элементного гомеостаза как показатель эколого-физиологической адаптации / А. В. Скальный, С. А. Мирошников, С. В. Нотова, И. П. Болодурина, С. В. Мирошников, И. Э. Алиджанова // Экология человека. – 2014. – № 9. – С. 14–17.

141. Соктоев Б. Р. Геохимическая характеристика солевых отложений питьевых вод Байкальского региона / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, Т. Т. Тайсаев, Н. В. Барановская // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 1. – С. 209–223.

142. Соктоев Б. Р. Минералого-геохимические особенности травертинов современных континентальных гидротерм (скважина Г-1, Тункинская впадина, Байкальская рифтовая зона) / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, С. С. Ильенок, Н. В. Барановская, Т. Т. Тайсаев // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 4. – С. 370–388.

143. Спивак А. А. Перспективы и возможности применения подземных ядерных взрывов в геотехнологии / А. А. Спивак, Н. В. Перов, И. Л. Машковцев, Н. Д. Саумитра // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2004. – № 2 (9). – С. 113–124.

144. Стародубцева М. Н. Микроскопия латеральных сил клеточных структур / М. Н. Стародубцева, Н. И. Егоренков // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии : сборник трудов VIII Международного семинара. Минск, 08–10 октября 2008 г. – Минск, 2008. – С. 102–107.

145. Степанов Ю. С. Дозы облучения жителей, проживающих в некоторых населенных пунктах, оказавшихся в зонах радиоактивных следов от взрывов на Семипалатинском полигоне / Ю. С. Степанов // Рабочие материалы для использования на совещании в Национальном институте рака (США), (ГНЦ РФ – ИБФ). Вашингтон 16–18 марта 1998 г. / Архив НИИ РМиЭ. – 35 с.

146. Степанов Ю. С. Радиационная обстановка за пределами зоны Семипалатинского полигона, обусловленная выпадениями радиоактивных осадков от наземных ядерных взрывов в 1962 г. / Ю. С. Степанов // Рабочие материалы для использования на совещании в Национальном институте рака (США), (ГНЦ РФ – ИБФ). Вашингтон 16–18 марта 1998 г. / Архив НИИ РМиЭ. – 38 с.

147. Сусликов В. Л. Методологическое обоснование проблем геохимической экологии болезней и исходные принципы первичной профилактики / В. Л. Сусликов, Д. Субеди, Б. Тхакур // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 6 (2). – С. 41–44.

148. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / А. И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 276 с.

149. Сысо А. И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири / А. И. Сысо // Сибирский экологический журнал. – 2004. – Т. 11, № 3. – С. 273–287.

150. Тапхаева А. Э. Геохимическая специализация осадков (накипей) водных источников на примере двух регионов Сибири / А. Э. Тапхаева // Сибирский экологический журнал. – 2010. – Т. 17, № 4. – С. 685–696.

151. Титова В. И. Агро-и биохимические методы исследования состояния экосистем : учебное пособие для вузов / В. И. Титова, Е. В. Дабахова, М. В. Дабахов. – Н. Новгород : Изд-во ВВАГС, 2011. – 170 с.

152. Тютиков С. Ф. Диагностика хронических микроэлементозов сельскохозяйственных парнокопытных по химическому составу волос / С. Ф. Тютиков, В. В. Ермаков // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 61–83.

153. Федосеенко М. В. Показатели макро- и микроэлементного состояния у детей раннего возраста при функциональных и воспалительных заболеваниях верхних отделов пищеварительного тракта на фоне перинатального поражения нервной системы : дис. ... канд. мед.наук : 14.00.09 / Федосеенко Марина Владиславовна. – Иваново, 2005. – 201 с.

154. Франк-Каменецкий Д. А. Распространенность элементов / Д. А. Франк-Каменецкий, Д. К. Надежин // Физика космоса : маленькая энциклопедия / гл. ред. Р. А. Сюняев. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., 1986. – С. 565–567. – (Библиотечная серия).

155. Хомутинин Ю. В. Оптимизация отбора и измерений проб при радиоэкологическом мониторинге / Ю. В. Хомутинин, В. А. Кашпаров, Е. И. Жебровская. – Киев : УкрНИИСХР, 2001. – 160 с.

156. Шестаков Ю. Г. Математические методы в геологии : учебное пособие для студентов геологических специальностей / Ю. Г. Шестаков. – Красноярск : Издательство Красноярского университета, 1988. – 208 с.

157. Ядерные испытания СССР / подг. под рук. проф. В. Н. Михайлова. – Саров : [б.и.], 1997. – Т. 2 : Технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки. – 342 с.

158. Ядерные испытания СССР : Семипалатинский полигон : обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний. Факты, свидетельства, воспоминания / Федеральное упр-ние мед.-биол. и экстремал. проблем при М-ве здравоохранения Рос. Федерации; гл. ред. В. А. Логачев. – М. : Медбиоэкстрем, 1997. – 347 с.

159. Язиков Е. Г. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге / Е. Г. Язиков, Л. П. Рихванов, Н. В. Барановская // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка – 2004. – №. 1. – С. 67–69.

160. Ярошевский А. А. Кларки геосфер / А. А. Ярошевский // Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров [и др.]. – М. : Недра, 1990. – С. 7–14.

161. Aidarkhanova A. K. Radionuclide transport in the «sediments – water – plants» system of the water bodies at the Semipalatinsk test site / A. K. Aidarkhanova, S. N. Lukashenko, N. V. Larionova, V. V. Polevik // Journal of environmental radioactivity. – 2018. – Vol. 184. – P. 122–126.

162. Anke M. Terrestrial Effects of Inorganic Pollutants in Central Europe / M. Anke, M. Muller, H. Illing // Toxicology Letters. – 1995. – Vol. 78, S1 : Abstracts of the 34th European Congress of Toxicology (EUROTEX '95). Prague, Czech Republic, August 27–30, 1995. – P. 3.

163. Anwar M. Arsenic, cadmium and lead levels in hair and toenail samples in Pakistan / M. Anwar // Journal of Environmental Sciences. – 2005. – Vol. 1 (2). – P. 71–86.

164. Apsalikov K. The Clinical-epidemiological markers of radiation effects of premature aging / K. Apsalikov, N. Chaizhunusova, B. Galich, G. Bilyalova, G. Azhmuratova, R. Buleuhanova // Semipalatinsk and other radiation studies : proceedings of the 15th Hiroshima International Symposium. Hiroshima, Japan, March 05, 2010. – Hiroshima, 2010. – P. 10–11.

165. Apsalikov K. N. The State Scientific Automated Medical Registry, Kazakhstan: an important resource for low-dose radiation health research / K. N. Apsalikov, A. Lipikhina, B. Grosche, T. Belikhina, E. Ostroumova, S. Shinkarev, M. Hoshi // Radiation and environmental biophysics. – 2019. – Vol. 58 (1). – P. 1–11.

166. Arif S. Comparative evaluation of trace elements in the blood of chronic bronchitis patients and healthy donors / S. Arif, J. Iqbal, N. Shaheen, M. H. Shah // Trace Elements and Electrolytes. – 2013. – Vol. 30. – P. 122–129.

167. Bailiff I. K. The application of retrospective luminescence dosimetry in areas affected by fallout from the Semipalatinsk Nuclear Test Site: an evaluation of potential / I. K. Bailiff, V. F. Stepanenko, H. Y. Göksu, H. Jungner, S. B. Balmukanov, T. S. Balmukanov, L. G. Khamidova, V. I. Kisilev, I. B. Kolyadao, T. V. Kolizshenkov, Y. N. Shoikhet // Health Physics. – 2004. – № 87. – P. 625–641.

168. Ballesteros M. L. Reference levels of trace elements in hair samples from children and adolescents in Madrid, Spain / M. L. Ballesteros, I. N. Serrano, S. I. Alvarez // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2017. – Vol. 43. – P. 113–120.

169. Becker K. German environmental survey 1998 (Ger.ES III): environmental pollutants in the urine of the German population. / K. Becker, C. Schulz, S. Kaus, M. Seiwert, B. Seifert // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. – 2003. – Vol. 206. – P. 15–24

170. Benes B. Determination of normal concentration levels of Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Se and Zn in hair of the child population in the Czech Republic / B. Benes, J. Sladka, V. Spevackova, J. Smid // *Central European Journal of Public Health*. – 2003. – Vol. 11. – P. 184–186.

171. Bertell R. Handbook for Estimation Health Effects from Exposure to Radiation / R. Bertell. – Toronto : Institute of Concern for Public Health, 1984. – 576 p.

172. Betz Th. Conformational change of membrane proteins leads to shape changes of red blood cells / Th. Betz // *Bioelectrochemistry*. – 2007. – Vol. 70, № 1. – P. 122–126.

173. Bowen N. J. M. Trace elements in biochemistry / N. J. M. Bowen. – London; New York: Academic Press, 1966. – 241 p.

174. Burnham N. A. Measuring the nanomechanical properties and surface forces of materials using an atomic force microscope / N. A. Burnham, R. J. Colton // *Journal of Vacuum Science & Technology*. – 1989. – Vol. A7. – P. 2906–2913.

175. Busby C. C. Wing of Death: Nuclear Pollution and Human Health / C. C. Busby. – Aberystwyth : Green Audit, 1995. – 340 p.

176. Caroli S. The Assessment of Reference Values for Elements in Human Biological Tissues and Fluids : A Systematic Review / S. Caroli, A. Alimonti, E. Coni, F. Petrucci, O. Senofonte, N. Violante // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. – 1994. – Vol. 24, № 5–6. – P. 363–398.

177. Chaizhunosova N. Female reproductive system malignant tumors features in Semey region / N. Chaizhunosova, Z. Tanatova, N. Karnakova, T. Belichina, S. Zhumambaeva // *Semipalatinsk and other radiation studies : proceedings of*

the 15th Hiroshima International Symposium. Hiroshima, Japan, March 05, 2010. – Hiroshima, 2010. – P. 16.

178. Chopicka J. Lead and cadmium in the hair and blood of children from a highly industrial area in Poland / J. Chopicka, Z. Zachwieja, P. Zagrodzki, J. Frydrych, P. Sota, M. Krosniak // *Biological Trace Element Research*. – 1998. – Vol. 62. – P. 229–234.

179. Copplestone D. Protection of the environment from ionising radiation: developing criteria and evaluating approaches for use in regulation / D. Copplestone, N. Beresford, B. Howard // *Journal of Radiological Protection*. – 2010. – Vol. 30, № 2. – P. 191–194.

180. Czajkowsky D. M. Atomic force microscopy in structural biology: from the subcellular to the submolecular / D. M. Czajkowsky, H. Iwamoto, Zh. Shao // *Journal of Electron Microscopy*. – 2000. – Vol. 49, № 3. – P. 395–406.

181. Eby G. A. Zinc lozenges as cure for common colds / G. A. Eby // *Annals of Pharmacotherapy*. – 1996. – Vol. 30, № 11. – P. 1336–1338.

182. Elinder C. G. *Biological Monitoring of Metals* / C. G. Elinder, L. Freiberg. – Geneva: WHO, 1990. – 80 p.

183. Ferre-Huguet N. Monitoring Metals in Blood and Hair of the Population Living Near a Hazardous Waste Incinerator: Temporal Trend / N. Ferre-Huguet, M. Nadal, M. Schuhmacher, J. L. Domingo // *Biological Trace Element Research*. – 2009. – Vol. 128. – P. 191–199.

184. Fischer-Cripps A. C. *Nanoindentation* / A. C. Fischer-Cripps. – New York: Springer-Verlag, 2004. – 54 p.

185. Gatti A. M. Detection of micro- and nano-sized biocompatible particles in the blood / A. M. Gatti, S. Montanari, E. Monari, A. Gambarelli, F. Capitani, B. Parisini // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. – 2004. – № 15. – P. 469–472.

186. Gatti A. M. In vivo short- and long-term evaluation of the interaction material-blood / A. M. Gatti, S. Montanari, A. Gambarelli, F. Capitani, R. Salvatori // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. – 2005. – № 15. – P. 1213–1219.

187. Granero S. Biological monitoring of environmental pollution and human exposure to metals in Tarragona, Spain. I. Levels in hair of school children / S. Granero, J. M. Llobet, M. Schuhmacher, J. Corbella, J. L. Domingo // *Journal of Trace Elements and Electrolytes*. – 1998. – Vol. 15. – P. 39–43.

188. Hanif S. Statistical Evaluation of Trace Metals, TSH and T4 in Blood Serum of Thyroid Disease Patients in Comparison with Controls / S. Hanif, A. Ilyas, M. H. Shah // *Biological Trace Element Research*. – 2017. – № 8. – P. 1–13.

189. Harabayashi K. The psychological effects and their causes among residents living near the Semipalatinsk Nuclear Test Site / K. Harabayashi, N. Kawano, T. Muldagaliyev, K. Apsalikov, M. Ohtaki // *Hiroshima Peace Science*. – 2012. – № 34. – P. 145–160.

190. Hasan M. Trace metal profiles in hair samples from children in urban and rural regions of the United Arab Emirates / M. Hasan, M. Kosanovic, M. Fahim, A. Adem, G. Petroianu // *Journal of Veterinary and Human Toxicology*. – 2004. – Vol. 46. – P. 119–121.

191. Heitland P. Biomonitoring of 37 trace elements in the blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP-MS / P. Heitland, H. D. Koster // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2006. – № 20. – P. 253–262.

192. Howard B. J. The ERICA Integrated Approach and its contribution to protection of the environment from ionising radiation / B. J. Howard, C. M. Larsson // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2008. – Vol. 99. – P. 1361–1363.

193. Howard B. J. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory contextan overview of the PROTECT coordinated action project / B. J. Howard, N. A. Beresford, P. Andersson [et al.] // *Journal of Radiological Protection*. – 2010. – Vol. 30, № 2. – P. 195–214.

194. Iyengar G. V. The elemental composition of human tissues and body fluids / G. V. Iyengar, W. E. Kollmer, H. J. M. Bowen. – Weinheim ; New York : Verlag Chemie, 1978. – 151 p.

195. Kabdyrakova A. M. Distribution of artificial radionuclides in particle-size fractions of soil on fallout plumes of nuclear explosions / A. M. Kabdyrakova,

L S. N. Lukashenko, A. T. Mendubaev, A. Y. Kunduzbayeva, A. V. Panitskiy, N. V. Larionova // *Journal of environmental radioactivity*. – 2018. – Vol. 186. – P. 45–53.

196. Kakimov A. Cs-137 in milk, vegetation, soil, and water near the former soviet Union's Semipalatinsk Nuclear Test Site / A. Kakimov, Z. Yessimbekov, Z. Kakimova, A. Bepeyeva, M. Stuart // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – Vol. 23, № 5. – P. 493–497.

197. Kawano N. Mental effects among inhabitants living near the Semipalatinsk Nuclear Test Site / N. Kawano, K. Hirabayashi, M. Matsuo, T. Hiraoka, M. Hoshi, T. Muldagaliev, K. Apsalikov, M. Ohtaki // *Semipalatinsk and Related Studies : proceedings of the 14th Hiroshima International Symposium*. Hiroshima, Japan, March 26, 2009. – Hiroshima, 2009. – P. 18.

198. Larionova N. V. Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the semipalatinsk test site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko, A. M. Kabdyrakova, A. Y. Kunduzbayeva, A. V. Panitskiy, A. R. Ivanova // *Journal of environmental radioactivity*. – 2018. – Vol. 186. – P. 63–70.

199. Larsson C. M. The FASSET Framework for assessment of environmental impact of ionizing radiation in European ecosystems – an overview / C.-M. Larsson // *Journal of Radiological Protection*. – 2004. – Vol. 24, № 4A, special issue: Framework for Assessment of Environmental Impact (Fasset) of Ionising Radiation in European Ecosystems. – P. A1–A12.

200. Lee G. Y. H. Biomechanics approaches to studying human diseases / G. Y. H. Lee, C. T. Lim // *Trends in Biotechnology*. – 2007. – Vol. 25, № 3. – P. 111–118.

201. Llobet J. M. Biological monitoring of environmental pollution and human exposure to metals in Tarragona, Spain. III. Blood levels / J. M. Llobet, S. Granero, M. Schuhmacher, J. Corbella, J. L. Domingo // *Journal of Trace Elements and Electrolytes*. – 1998. – Vol. 15. – P. 76–80.

202. Lloyd G. R. Pattern recognition of Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy of human scalp hair for discriminating between healthy and Hepatitis C patients / G. R. Lloyd, S. Ahmad, M. Wasim, R. G. Brereton // *Journal of Analytica Chimica Acta*. – 2009. – Vol. 649. – P. 33–42.

203. Mills J. P. Nonlinear Elastic and Viscoelastic Deformation of the Human Red Blood Cell with Optical Tweezers / J. P. Mills, L. Qie, M. Dao, C. T. Lim, S. Suresh // *Mechanics and Chemistry of Biosystems*. – 2004. – Vol. 1, № 3. – P. 169–180.

204. Molina-Villalba I. Biomonitoring of arsenic, cadmium, lead, manganese and mercury in urine and hair of children living near mining and industrial areas / I. Molina-Villalba, M. Lacasana, M. Rodríguez-Barranco, A. F. Hernandez, B. Gonzalez-Alzaga, C. Aguilar-Garduno, F. Gil // *Chemosphere*. – 2015. – Vol. 124. – P. 83–91.

205. Mudie N. Y. Twinning in the offspring of parents with chronic radiation exposure from nuclear testing in Kazakhstan / N. Y. Mudie, A. J. Swerdlow, M. J. Schoemake, B. I. Gusev, L. M. Pivina, S. Chsherbakova, A. Mansarina, Y. Jakovlev, K. N. Apsalikov, S. Bauer // *Radiation Research*. – 2010. – № 6. – P. 829–836.

206. Muldagaliev T. Scientific foundations of screening organization of the state of health of Kazakhstanean population subjected to radiation, analyses of the results, development prenozological preventive measures and rehabilitation / T. Muldagaliev, K. Apsalikov, T. Belihina // *Lessons from unhappy events in the history of nuclear power development : proceedings of the 17th Hiroshima International Symposium*. Hiroshima, Japan, January 25, 2012. – Hiroshima, 2012. – P. 43.

207. Nadal M. Monitoring metals in the population living in the vicinity of a hazardous waste incinerator: levels in hair of school children / M. Nadal, A. Bocio, M. Schuhmacher, J. Domingo // *Biological Trace Element Research*. – 2005. – Vol. 104. – P. 203–213.

208. Nakahara H. Trace element analysis of human blood serum by neutron activation analysis / H. Nakahara, Y. Nagame, Y. Yoshizowa // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 1979. – Vol. 54, № 12. – P. 183–190.

209. Pasha Q. Statistical analysis of trace metals in the plasma of cancer patients versus controls / Q. Pasha, S. A. Malik, M. H. Shah // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – № 153. – P. 1215–1221.

210. Pereira R. Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S. Domingos mine, Portugal) / R. Pereira, R. Ribeiro, F. Goncalves // *Science of the Total Environment*. – 2004. – Vol. 327. – P. 81–92.

211. Popko J. Lead, cadmium, copper and zinc concentrations in blood and hair of mothers of children with locomotor system malformations / J. Popko, S. Olszewski, K. Hukaowicz, R. Markiewicz, M. Borawska, P. Szeparowicz // Polish Journal of Environmental Studies. – 2003. – Vol. 12. – P. 375–379.

212. Popplewell D. S. Plutonium in autopsy tissues in Great Britain / D. S. Popplewell, G. J. Han, T. E. Johnson, S. F. Barry // Health Physics. – 1985. – Vol. 49. – P. 304–309.

213. Radmacher M. Studying the mechanics of cellular processes by AFM / M. Radmacher // Methods in Cell Biology. – 2007. – Vol. 83. – P. 91–189.

214. Relly M. O. Quantification of red blood cells using atomic force microscopy / M. O. Relly, L. McDonell, J. O. Mullane // Ultramicroscopy. – 2001. – Vol. 86. – P. 107–112.

215. Saghir M. Comparative Evaluation of Trace Metals in the Blood of Hepatitis C Patients and Healthy Donors / M. Saghir, N. Shaheen, M. H. Shah // Biological Trace Element Research. – 2011. – Vol. 143. – P. 751–763.

216. Sakaguchi A. Radiological Situation in the Vicinity of Semipalatinsk Nuclear Test Site: Dolon, Mostik, Cheremushka and Budene Settlements / A. Sakaguchi, M. Yamamoto, M. Hoshi, T. Imanaka, K. N. Apsalikov, B. I. Gusev // Journal of Radiation Research. – 2006. – № 47, suppl. A. – P. A101–A116.

217. Schuhmacher M. Impact of reduction of lead in gasoline on the blood and hair lead levels in the population of Tarragona Province, Spain, 1990–1995 / M. Schuhmacher, M. Belles, A. Rico, J. L. Domingo, J. Corbella // Journal of Science of the Total Environment. – 1996. – Vol. 184. – P. 203–209.

218. Serzhanova Z. B. Researching of tritium speciation in soils of «Balapan» site / Z. B. Serzhanova, A. K. Aidarkhanova, S. N. Lukashenko, O. N. Lyakhova, L. V. Timonova, A. M. Raimkanova // Journal of environmental radioactivity. – 2018. – Vol. 192. – P. 621–627.

219. Sirghi L. Probing elasticity and adhesion of live cells by atomic force microscopy indentation / L. Sirghi, J. Ponti, F. Broggi // European Biophysics Journal. – 2008. – Vol. 37. – P. 935–945.

220. Sources and effects of ionizing radiation / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. – New York : United Nations Publications, 2000. – Vol. 1. – 497 p.

221. Stepanenko V. F. International intercomparison of retrospective luminescence dosimetry method: sampling and distribution of the brick samples from dolon' village, Kazakhstan / V. F. Stepanenko, E. K. Iaskova, T. V. Kolizshenkov, I. G. Kryukova, M. Hoshi, M. Yamamoto, A. Sakaguchi, J. Takada, H. Sato, K. N. Apsalikov, B. I. Gusev, H. Jungner // *Journal of Radiation Research*. – 2006. – Vol. 47, suppl. A. – P. A15–A21.

222. Sukumar A. Elements in the hair of non-mining workers of a lignite open mine in Neyveli / A. Sukumar, R. Subramanian // *Industrial Health*. – 2003. – Vol. 41. – P. 63–68.

223. Takeichi N. Summary of Thyroid Study in Semipalatinsk (60th Year since the First Nuclear Explosion Test): Thyroid Cancer Development following Radiation Exposure / N. Takeichi, M. Hoshi, K. Tanaka, Y. Noso, Y. Yamada, H. Hamatani, H. Yasui, K. W. Kakudo, N. Chaizhunusova, K. Apsalikov // *Semipalatinsk and Related Studies : proceedings of the 14th Hiroshima International Symposium*. Hiroshima, Japan, March 26, 2009. – Hiroshima, 2009. – P. 25.

224. Tanaka K. Unstable-type chromosome aberrations in lymphocytes from individuals living near Semipalatinsk nuclear test site / K. Tanaka, S. Iida, T. Inaba, M. Hoshi, N. Takeichi, N. J. Chaizhunusova, B. I. Gusev, K. N. Apsalikov // *Journal of Radiation Research*. – 2006. – Vol. 47, suppl. A. – P. A159–A164.

225. Taylor S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table / S. R. Taylor // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1964. – № 28. – P. 1273–1286.

226. Thangamani A. Atomic absorption spectrophotometric determination of heavy metals lead and chromium levels in human hair of people living in Katpadi and Yelagiri hills of Vellore district / A. Thangamani, A. S. Perumal // *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*. – 2011. – Vol. 2. – P. 1568–1570.

227. The Applicability of Some Selected Analytical Techniques to the Assay of Trace and Minor Elements in Four Biological Reference Materials // Element Analysis of Biological Materials : Current Problems and Techniques with Special Reference to Trace Elements / World Health Organization. – Vienna, 1980. – Ch. II. – P. 351–367. – (Technical Reports Series ; № 197).

228. Tshaizhunosova N. AML1/RUNX1 point mutations in radiation associated myelodysplastic syndrome around Semipalatinsk Nuclear Test Site / N. Tshaizhunosova // Semipalatinsk and other radiation studies : proceedings of the 15th Hiroshima International Symposium. Hiroshima, Japan, March 05, 2010. – Hiroshima, 2010. – P. 20.

229. Voigt G. M. The present radiological situation at the nuclear weapons test site at Semipalatinsk in Kazakhstan with regard to plutonium contamination / G. M. Voigt, N. Semiochkina, B. Dodd, B. J. Howard, B. Karabalin, M. Mukuschewa, G. Rosner, A. Sanchez, D. L. Singleton, P. Strand // Radioactivity in the Environment. – 2001. – Vol. 1. – P. 363–373.

230. Wilhelm M. Human biomonitoring studies in North Rhine-Westphalia, Germany / M. Wilhelm, U. Ewers, J. Wittsiepe, P. Furst, J. Holzer, G. Eberlein, J. Angerer, B. Marczynski, U. Ranft // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2007. – Vol. 210. – P. 307–318.

231. Yamamoto M. Plutonium and uranium in human bones from areas surrounding the Semipalatinsk nuclear test site / M. Yamamoto, M. Hoshi, A. Sakaguchi, K. Shinohara, O. Kurihara, K. N. Apsalikov, B. I. Gusev // Journal of radiation research. – 2006. – Vol. 47, suppl. A. – C. A85–A94.

232. Yamamoto M. Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan / M. Yamamoto, K. Kawai, A. Sakaguchi, M. Hoshi, N. Chaizhunosova, K. Apsalikov // Radiation and Environmental Biophysics. – 2010. – № 4. – P. 673–684.

233. Yamamoto M. Uranium isotopes in well water samples as drinking sources in some settlements around the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan / M. Yamamoto, J. Tomita, A. Sakaguchi, Y. Ohtsuka, M. Hoshi, K. N. Apsalikov // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2010. – № 2. – P. 309–314.

234. Zaborowska W. Content of lead, cadmium, copper and zinc in hair of school children from selected rural areas in greater Lublin / W. Zaborowska, J. Wiercinski // *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. – 1997. – Vol. 48. – P. 337–342.

235. Zaida F. Lead and aluminium levels in infants' hair, diet, and the local environment in the Moroccan city of Marrakech / F. Zaida, S. Chadrame, A. Sedki, N. Lekouch, F. Bureau, P. Arhan, D. Bougle // *Journal of Science of the Total Environment*. – 2007. – Vol. 377. – P. 152–158.

236. Zhang H. Alterations of serum trace elements in patients with type 2 diabetes / H. Zhang, C. Yan, Z. Yang, W. Zhang, Y. Niu, X. Li, L. Qin, Q. Su // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2017. – Vol. 40. – P. 91–96.

237. Zhumadilov K. The influence of the lop nor nuclear weapons test base to the population of the republic of Kazakhstan / K. Zhumadilov, M. Hoshi, A. Ivannikov, V. Stepanenko, D. Zharlyganova, Z. Zhumadilov, K. Apsalikov, S. Toyoda, S. Endo, K. Tanaka, C. Miyazawa, T. Okamoto // *Radiation Measurements*. – 2011. – Vol. 4. – P. 425–429.

