

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

*На правах рукописи*

Боев Владислав Викторович

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ АНТИПИНСКОГО НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ УСЛОВНОГО ФОНА (ТЮМЕНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКАЗНИК)

Специальность – 25.00.36 Геоэкология (Науки о Земле)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук,  
профессор Барановская Н.В.

Томск – 2020

Оглавление	
Введение.....	4
1. Специфика накопления химических элементов в компонентах природной среды территории Тюменской области.....	11
1.1. Формирование элементного состава почв Тюменской области .....	11
1.2. Роль лесной подстилки в концентрировании химических элементов .....	24
1.3. Роль растений в концентрировании химических элементов.....	25
1.4. Трансформация элементного состава компонентов природной среды под воздействия объектов нефтепереработки.....	29
2. Геоэкологическая характеристика юга Тюменской области.....	36
2.1. Характеристика природного комплекса территории .....	36
2.2. Характеристика техногенного комплекса территории .....	43
3. Материалы и методы.....	46
3.1. Территории расположения точек отбора проб.....	46
3.2. Методики пробоотбора и пробоподготовки.....	50
3.2.1. Литогеохимические исследования .....	50
3.2.2. Отбор проб растительных материалов .....	51
3.2.3. Пробоподготовка .....	52
3.3. Аналитические исследования .....	54
3.4. Методы обработки аналитических данных .....	56
4. Характеристика минералого-геохимического состава компонентов природной среды Тюменского федерального заказника.....	59
4.1. Характеристика минералогического и элементного состава почв Тюменского федерального заказника .....	59
4.2. Характеристика элементного состава органических компонентов природной среды Тюменского федерального заказника.....	82
4.3. Общая характеристика элементного состава компонентов биогеоценоза Тюменского федерального заказника .....	93
4.4. Характеристика распределения ртути в компонентах природной среды Тюменского федерального заказника .....	99
5. Характеристика накопления химических элементов в компонентах природной среды территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода .....	105

5.1. Характеристика элементного состава почв территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода.....	105
5.2. Характеристика элементного состава органических компонентов территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода...	130
5.3. Общая характеристика элементного состава компонентов биогеоценоза территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода...	143
5.4. Характеристика накопления ртути в компонентах природной среды территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода...	178
Заключение .....	184
Список литературы .....	186

## Введение

**Актуальность работы.** Одной из ведущих отраслей промышленности России, определяющей современный техногенез, является нефтегазодобыча и переработка углеводородного сырья. Месторождения углеводородного сырья открыты в 90 странах. К 2001 г., по данным Oil & Gas Journal, по миру функционировало 742 нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Их общая мощность составляла 4,07749 трлн т. нефти в год при средней мощности НПЗ — 5,48 млн т в год. При этом использование углеводородного сырья все возрастает, особенно в развитых странах. Так, количество использованных за последние 25-30 лет топливно-энергетических ресурсов, равно количеству, потраченному за всю прошедшую историю человечества, три четверти из них составляют нефть и газ (Абросимов, 2002). Функционирование нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности сопровождается рядом геоэкологических проблем, таких как утечки нефти, сжигание попутных газов, влияние изливаемых нефтяных вод и хранение шламов (Лобачева, 2010). Таким образом, данные объекты оказывают воздействия различного рода на компоненты природной среды, где бы они не находились (Ермохин и др., 1995; Московченко, 1998, 2019; Абросимов, 2002; Соромотин, 2007; Околелова, 2010; Ревич, 2010; Мухаматдинова, 2012; Моисеенко и др., 2012; Хорошавин и др., 2014; Князев, 2014; Шахова, 2016; Язиков, 2013; Bozlake, 2013; Sarnela, 2015; Толочко, 2016; Московченко, 2020 и др.) и, как следствие, влияют на здоровье людей (Кочина, 2008; Авалиани, 2012; Smargiassi, 2009; Tarafdardar, 2018; Устинова, 2011; Epstein, 2017; Kaldor, 1984; Pasetto, 2012 и др.). Большинство исследований территорий расположения нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности сосредоточено на изучении углеводородов как основных загрязнителей данной отрасли и некоторых прочих химических соединений (Бокарев, 2000; Степанов и др., 2004; Давыдова, 2004; Шамраев, 2009; Околелова, 2010, 2011, 2015; Власов, 2011; Паничева, 2012; Wei e. a. 2014; Zhao e. a., 2015; Mukerjee, 2016; Montano-Soto, 2017; Zhang e. a., 2017; Kao e. a., 2019 и др.). Однако помимо них НПЗ поставляют в окружающую среду и многие другие вещества, специфическими среди которых являются: Вг, Sb, La, Tb, Yb, Ce, As, Hg, Zn, Co. К тому же нефтеперерабатывающие заводы различаются составом выбросов и их распространением (Прохорова, 2010; Alonso-Hernandez, 2011; De la Campa, 2011; Мухаматдинова, 2012; Охлопков, 2015; Jafarinejad, 2016; Croquer e. a., 2016 и др.). Известны общие факторы, определяющие этот состав для промышленных объектов (Летувнинкас, 2005). Эти факторы индивидуальны для каждого предприятия и района: технические характеристики, особенности места расположения (рельеф, преимущественное направление ветра и т. д.). НПЗ характеризуются наличием множества источников выбросов с различными параметрами (Абросимов, 2002) и их сложным составом, с выявленными специфическими элементами (Язиков, 2006), концентрирующимися в различных компонентах природной среды. В результате их разноса загрязнение распространяется от техногенных объектов в виде ореолов, форма и размер

которого определяются параметрами предприятия, а также природными факторами, прежде всего, преимущественными направлениями ветра (Летувнинкас, 2005). Также на степень загрязнения атмосферы влияет мощность НПЗ, особенности технологических схем, арматуры, проектных решений, техническое состояние оборудования и коммуникаций. Ввиду этого актуально более обширное поэлементное исследование выбросов НПЗ и экологического воздействия каждого из них.

Изучение влияния нефтеперерабатывающей промышленности на природные среды и объекты является важной геоэкологической задачей. Очень большую долю испускаемых загрязняющих веществ нефтеперерабатывающей промышленности составляют атмосферные выбросы. По загрязнению атмосферы нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность находятся на 4 месте среди прочих отраслей (Абросимов, 2002). Причем местными НПЗ выбрасывается в атмосферу 0,45 % перерабатываемого сырья в сравнении с 0,1 % западных НПЗ. Наибольшее воздействие оказывается на среды, непосредственно контактирующие с атмосферой: растительность и почву. Каждый из данных природных компонентов имеет определенные индикаторные параметры, в частности показатели концентрирования химических элементов и изменение форм их содержания являются объектом исследований ученых экологических, геохимических, биогеохимических и других научных направлений исследований (Страховенко, 2017; Сиромля, 2019; Сысо, 2016; Ильин, 1985). Для их выявления важно начать изучение этих вопросов как можно раньше с момента создания предприятия. Антипинский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ) Тюменской области является объектом, который функционирует 13 лет и интенсивно развивается. Поэтому изучение его влияния на окружающую среду носит первоначальный характер и является основой для создания долговременного мониторинга.

Геоэкологические исследования, направленные на выявление техногенного воздействия, осуществляют путем сопоставления показателей техногенных территорий с какими-либо значениями, принятыми за естественные. Они могут быть представлены средними показателями содержания химических элементов в каком-либо компоненте природной среды, называемыми кларками, либо аналогичными значениями для конкретного региона. Подход с применением региональных данных считают более корректным. Это объясняется тем, что каждый регион характеризуется конкретной геохимической спецификой, которая может значительно отличаться от общей. Таким образом, для корректного выявления техногенного воздействия на природные компоненты следует использовать с целью сопоставления местный фон. Изучение в совокупности с этим воздействия предприятий ведущей региональной отрасли промышленности позволяет выявить экологическую специфику. Однако во многих случаях возникает проблема поиска фоновой территории, учитывая современные масштабы техногенеза и урбанизации. Наиболее подходящими объектами с данной точки зрения считают особо охраняемые территории, где не ведется

хозяйственная и промышленная деятельность. Для территории Тюменской области к таковым относится Тюменский федеральный заказник.

В целом, изучение воздействия предприятий ведущей региональной отрасли промышленности позволяет выявить геоэкологическую специфику и районировать территорию по степени геохимической нагрузки.

**Объектом исследования** являются территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода и района Тюменского федерального заказника, предметом – элементный состав компонентов природной среды – почва, подстилка, травостой и листья березы повислой (*Betula pendula* Roth).

**Цель:** выявить особенности изменения элементного состава компонентов природной среды в условиях техногенеза на территории деятельности предприятия нефтепереработки (Антипинского нефтеперерабатывающего завода) в сравнении с условно фоновой территорией Тюменского федерального заказника.

**Задачи исследований:**

- Определить элементный состав компонентов природной среды (подстилки, травостоя, почвы, листьев) условно фоновой территории Тюменского федерального заказника и установить особенности минералогического и микроминерального состава почв.

- Провести оценку состояния условно-фоновой территории в сравнении с литературными данными и установить особенности миграции элементов в компонентах природной среды.

- Установить особенности элементного состава компонентов природной среды, а также специфики микроминерального состава почв территории деятельности предприятия по нефтепереработке (Антипинского НПЗ) и выявить закономерности их изменения по удалению от предприятия.

- Провести сравнение анализируемых параметров в компонентах природной среды техногенно измененной и условно фоновой территорий.

- Выявить специфику изменения миграции отдельных элементов по профилю почв, установить ореолы рассеяния, закономерности распределения химических элементов и изменение соотношения отдельных из них на условно – фоновой и техногенно – измененной территориях Тюменской области.

**Фактический материал и методы исследований.** Пробоотбор и пробоподготовка материалов для исследований осуществлялись лично автором в сотрудничестве с ИНЗЕМ ТюмГУ (Тюмень) и ИПА СО РАН (Новосибирск). Их анализирование проводилось частично лично, а также сотрудниками ОГ ИШПР ТПУ (Томск) и ИПА СО РАН (Новосибирск).

Пробы почвы, подстилки, травостоя, листьев в количестве 56, 36, 29, 20 штук соответственно были отобраны на локальной территории Тюменского федерального заказника и в районе расположения Антипинского НПЗ. Все они были проанализированы инструментальным нейтронно-активационным методом анализа в ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора ТПУ и атомно-абсорбционным методом на содержание Hg с

использованием анализатора ртути РА-915+ с приставкой ПИРО-915 в МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ. Методом растровой электронной сканирующей микроскопии были изучены пробы почвы и листьев на микроскопе Hitachi S-3400N с ЭДС приставкой Bruker XFlash 4010 в МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ. Дополнительно было осуществлено изучение смешанных проб почвы методом порошковой рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Bruker D2 PHASER в МИНОЦ «Урановая геология», определен гранулометрический состав и содержание магнитной фракции, определено содержание валовых и подвижных форм отдельных химических элементов в лаборатории Биогеохимии почв ИПА СО РАН. Подстилка была разделена на фракции. Статистическая обработка данных осуществлялась с применением программ Microsoft Excel, LibreOffice, Statistika.

**Степень достоверности** 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 и параллельного определения элементного состава исследуемых образцов разными аналитическими методами. Погрешность определения значительной части определяемых химических элементов не превышала 10-15 %.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. На территории Тюменского федерального заказника содержание химических элементов в почве ниже (за исключением незначительного превышения хрома) в сравнении с литературными данными и нормативными показателями. Особенности накопления и низкий коэффициент вариации Ca, Rb, Fe, Co, Ba в почве, подстилке, травостое и листьях березы повислой характеризуют территорию как условно-фоновую.

2. Проявленность влияния Антипинского нефтеперерабатывающего завода заключается в увеличении концентрации Br, Zn, La, Ce в верхнем горизонте почв и присутствии микроминеральных фаз фосфатов редкоземельных элементов. Концентрирование мышьяка в ореолах рассеяния по данным содержания в подстилке, травостое, листьях березы установлено в районе расположения факельного хозяйства. По мере приближения к предприятию увеличивается сумма редкоземельных элементов (почва – от 40 до 52 мг/кг, подстилка – от 26 до 53 мг/кг, травостой – от 6,8 до 21 мг/кг, листья березы – от 1,4 до 4,3 мг/кг).

3. Ртуть поступает с листовым опадом в подстилку с концентрированием в верхнем горизонте почв (до 0,047 мг/кг в почвах Тюменского федерального заказника и до 0,093 мг/кг – Антипинского нефтеперерабатывающего завода). Максимальное накопление ртути фиксируется в листьях, травостое и подстилке, которые можно применять в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды.

**Научная новизна.** Впервые выполнено комплексное исследование и сравнение природно-техногенной и условно-фоновой территорий по минералогическим показателям компонентов природной среды локальных



территорий юга Тюменской области (почва, подстилка, растения). Впервые на примере Тюменского федерального заказника проведено комплексное изучение компонентов природной среды, и установлены фоновые концентрации 29 химических элементов. Впервые установлена эколого-геохимическая специфика природно-техногенной территории, подверженной воздействию Антипинского нефтеперерабатывающего завода. Установлено наличие микроминеральных фаз сложного состава в компонентах природной среды. Выявлены особые закономерности распределения Hg: накопление в верхнем горизонте почв, преимущественное накопление в компонентах фоновой территории, кроме травостоя и почвы, преимущественное накопление в южном и восточном направлении от АНПЗ.

**Теоретическая и практическая значимость.** Установлены элементный состав почв, подстилки, травостоя и листьев березы повислой территории Тюменского федерального заказника и района расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода. Выявлены элементы-индикаторы техногенной трансформации природной среды, включая специфику микроминерального состава почв территории деятельности предприятия. Возможно применение полученных данных в целях экологического мониторинга самим АНПЗ, а также научными и природоохранными организациями в качестве основы для дальнейших исследований экологического состояния территории региона. Также эта информация используется в образовательных целях в содержании таких дисциплин, как «Геоэкология», «Экология», «Геохимия живых организмов».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы представлены на конференциях международного и всероссийского уровня:

- VIII Всероссийская научная студенческая конференция с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина «Творчество юных – шаг в успешное будущее» по теме: «Проблемы геоэкологии и устойчивого развития в XXI веке. Экология человека и планеты», Томск (2015).
- XX Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова "Проблемы геологии и освоения недр", Томск (2016).
- Международная школа-семинар для молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах», Тюмень (2016).
- XX Международные биогеохимические чтения «Современные тенденции развития биогеохимии в условиях техногенеза биосферы», Москва (2016).
- XII Международная ландшафтная конференция «Ландшафтно-экологическое обеспечение рационального природопользования и устойчивого развития», Тюмень-Тобольск (2017).
- Международный симпозиум имени академика М.А. Усова, Томск (2017).
- III Международная школа-семинар для молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах», Тюмень (2018).



По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК, включая 3 в журнале, индексируемом базами данных Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из 5 глав, введения, заключения и списка литературы, включающего 404 источника.

В **главе 1** приведены закономерности накопления химических элементов в компонентах природной среды, дана минералого-геохимическая характеристика почв.

**Глава 2** содержит геоэкологическую характеристику юга Тюменской области и основные характеристики Антипинского НПЗ.

В **главе 3** приведены материалы и методы сбора, подготовки, анализа изучаемых компонентов природной среды, статистической обработки, интерпретации минералого-геохимической информации.

В **главе 4** описано накопление химических элементов в компонентах природной среды Тюменского федерального заказника и представлен их минералогический и микроминеральный фазовый состав.

В **главе 5** рассмотрено накопление химических элементов в компонентах природной среды и приведены минералого-геохимические характеристики для почв территории расположения Антипинского НПЗ, показаны ореолы рассеяния и закономерности концентрирования химических элементов по мере удаленности от предприятия, дана сравнительная характеристика по отношению к условному фону.

**Личный вклад автора.** Автор диссертации принимал участие в комплексных полевых работах, в которых выполнялся отбор проб почв и растений. Также самостоятельно выполнена пробоподготовка ко всем использованным видам анализа, определение содержания ртути, гранулометрического состава, содержания магнитной фракции, фракционного состава подстилки, частично рентгеноструктурный анализ, статистическая и графическая обработка данных, сопоставление с литературными данными, оценка, а также сформулированы защищаемые положения и предложено их доказательство.

**Благодарности.** Профессору ОГ ИШПР ТПУ, д.б.н. Н.В. Барановской за поддержку и консультирование на всех этапах подготовки диссертации; за консультации и помощь на разных этапах подготовки работы – сотрудникам ОГ ИШПР ТПУ: профессору, д.г.-м.н. Рихванову Л.П., профессору, д.г.-м.н. С.И. Арбузову, профессору, д.г.-м.н. Е.Г. Языкову, доценту, к.г.-м.н. Д.В. Юсупову, доценту, к.х.н. Н.А. Осиповой, доценту, к.г.-м.н. Л.В. Жорняк, доценту, к.г.-м.н., Б.Р. Соктоеву, к.г.-м.н. Е.А. Филимоненко, к.г.-м.н. Т.С. Шаховой, к.б.н. М.Т. Джамбаеву, к.г.-м.н. А.С. Торопову, к.г.-м.н. А.И. Белянской, к.г.м.н. А.Н. Злобиной, Г.М. Есильканову, М.А. Дериглазовой. Особую благодарность выражаем аналитику МИНОЦ «Урановая геология» при ОГ ИШПР ТПУ, к.г.-м.н. С.С. Ильенку и аналитикам МИНОЦ «Урановая геология», с.н.с. А.Ф. Судыко и Л.В. Богутской, а также Г.А. Бабченко, В.В. Жукову. Благодарим за содействие и поддержку в осуществлении пробоотбора и анализа материала директора ИПА

СО РАН (г.Новосибирск), заведующего лабораторией Биогеохимии почв, д.б.н. А.И. Сысо, ведущего инженера лаборатории Биогеохимии почв ИПА СО РАН А.В. Осипову, заведующую лабораторией Биоценологии ИПА СО РАН, к.б.н. Н.П. Миронычеву-Токареву и других сотрудников ИПА СО РАН, доцента ИНЗЕМ ТюмГУ (г. Тюмень), к.б.н. В.А. Боева, директора ИНЗЕМ ТюмГУ, доцента, к.г.н. В.Ю. Хорошавина, доцента ИНЗЕМ ТюмГУ, к.б.н., В.В. Иеронову, к.г.н. Н.В. Жеребятьеву, Д.В. Рогачева, К.Г. Смирнова и др. сотрудников ИНЗЕМ ТюмГУ, а также В.А. Соколова и других сотрудников Тюменского федерального заказника.

# 1. Специфика накопления химических элементов в компонентах природной среды территории Тюменской области

## 1.1. Формирование элементного состава почв Тюменской области

Почвы с древних времен изучаются как депо химических элементов. Например, еще в 1 веке до нашей эры Колумелла занимался основами сельскохозяйственной деятельности и писал, что «рачительному хозяину подобает по листве деревьев, по травам или по уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почв и знать, что может хорошо на ней расти» (Columella, 1954). В начале XX в. В.В. Докучаевым почва была определена как самостоятельное природное тело (Докучаев, 1899). Также он выявил основные закономерности их генезиса и распространения. Его ученик В.И. Вернадский связал почву с биосферой и в своем учении о биосфере отмечал, что «... автономного организма вне связи с земной корой не существует» (Вернадский, 1954). Таким образом, трудами великих ученых было показано, что почва является средой, формирующей элементный состав всего живого. Сотрудники созданной В.И. Вернадским лаборатории «БИОГЕЛ», которая активно функционирует и в наше время в Институте ГЕОХИ РАН, внесли огромный вклад в понимание процессов миграции химических элементов и развили множество научных школ и направлений исследования (А.П. Виноградов, В.В. Ковальский, В.В. Ермаков, Т.И. Моисеенко, М.С. Панин и др.). А.П. Виноградов территории с аномальным элементным составом выделил как биогеохимические провинции, что послужило толчком образования целого направления, подхваченного зарубежными учеными и в наше время названного «Медицинской геологией» (Medical geology, 2010). В.В. Ковальский внес неоценимый вклад в вопросы картирования и биогеохимического районирования территории бывшего СССР, что и по сей день является ориентиром для многих исследователей взаимосвязи накопления химических элементов в системе «почва – живой организм».

Работы В.В. Поликарпочкина, который изучал связь элементного состава почв с горными породами как основы для геохимических методов поисков месторождений, А. Кабата-Пендиас, которая исследовала формирование элементного состава почв и влияния его на элементный состав растений, Г.В. Мотузовой, изучающей различные аспекты химического состава почв в естественных и техногенных условиях, как и работы многих других ученых, внесли огромный вклад в развитие понимания вопросов формирования элементного состава современной биосферы (Алексеенко, Дергачева и др.). Невозможно не отметить вклад Г.В. Добровольского, работающего в сфере теории, систематики, эволюции почв. Неоценим вклад ученых, рассматривающих свойства почв в контексте их сельскохозяйственного использования (Карпова, Сысо и др.). Как отмечает в своих трудах В.В. Ермаков (2015 и др.), необходимо рассматривать закономерности миграции элементов с точки зрения эволюции биосферы и влияния как природных факторов, так и ее техногенной трансформации на эти процессы.

Изучение почв Сибири отражено в работах А.И. Сысо, В.Б. Ильина, М.А. Мальгина и многих других.

Изучение современного состояния почвенного покрова остается актуальным с точки зрения изучения влияния фактора техногенеза на ее трансформацию с последующим изменением циклов миграции химических элементов в надпочвенном горизонте. Исходный их элементный состав зависит от множества факторов, в том числе типа почв, содержания гумуса в них, кислотности и многих других.

Почвы рассматриваемых в данном исследовании объектов представлены дерново-подзолистым типом. Эти почвы являются лучшими среди автоморфных в зоне южной тайги (Березин, 2009). Наиболее распространены на высоких террасах (80-120 м) подзоны южной тайги Тобольского материка (Почвы Тюменской области, 1990). Приурочены к приречным дренированным районам или приподнятым, гривным массивам водоразделов (Березин, 2009), а именно у Иртыша и низовьям его крупных притоков (Демьянки, Бобровки, Туртасу). Расположены крупными массивами. Также встречаются в виде нешироких полос в среднем и верхнем течении первого и третьего притоков. На Среднеиртышской и Кондинской низменностях на левом берегу Иртыша они расположены узкими полосами до сотен метров у небольших рек. В Притоболье распространены более обширно. Также встречаются в подтайге, особенно в междуречье Туры и Тавды, причем не только у рек, но и на водоразделах (Почвы Тюменской области, 1990). Данные почвы сформированы на озерно-аллювиальных осадках различных возрастов. В основном они представлены суглинистыми и бескарбонатными отложениями, кроме Кондинской низменности (Почвы Тюменской области, 1990).

Дерново-подзолистые почвы области занимают площадь в 1,6 млн га. Более 68% представлено родом со вторым гумусовым горизонтом. По величине оподзоленности преобладают среднеподзолистые почвы (45%). Сильноподзолистые составляют 32%, слабоподзолистые — 23%. Остаточнокarbonатные почвы занимают чуть более 44 тыс. га. (Почвы Тюменской области, 1990).

Профиль почв четко дифференцирован на иллювиальные и элювиальные горизонты. При этом выделяется верхний гумусовый горизонт различной мощности, особенно во влажном состоянии (Почвы Тюменской области, 1990; Почвоведение, 1988).

Вторичные дерново-подзолистые почвы (со вторым гумусовым горизонтом) отличаются большей глубиной профиля от обычных. При этом местные почвы обоих подтипов уступают по мощности европейским (Почвы Тюменской области, 1990).

Имеют по всему профилю кислую или сильнокислую реакцию.

Содержание гумуса невысокое, наибольшее в горизонте А (3-7%). В горизонте Е снижается до 0,5-0,2%. Существенная часть преобладающих в его составе фульвокислот связана с кальцием (Добровольский и др., 2004; Почвоведение, 1988).

Горизонт А0 представлен хвойно-лиственно-моховой подстилкой, иногда слегка оторфованной или задернованной, или дерниной мощностью около 5 см (Хренов, 2002), в некоторых случаях отсутствует (Геннадиев, 2005). При мощности от 7 см представлена двумя-тремя подгоризонтами (Почвы СССР, 1979).

Ниже расположены гумусовый горизонт А1 и подзолистый А2 (Геннадиев, 2005). Однако во многих случаях присутствуют переходные горизонты.

Органо-минеральный переходный горизонт (А0А1) содержит как минеральные частицы, так и полуразложившиеся органические остатки (Почвы СССР, 1979).

Гумусово-элювиальный верхний (дерновый) горизонт А1 отличается от нижележащего серым, реже темно-серым цветом. Он комковатый, рыхлый, бесструктурный. Содержит много корней. Окрашен в белесоватый цвет. Уплотнен (Хренов, 2002) либо рыхлый. Мощность составляет 3-20 см и более. Структура порошистая или комковато-порошистая (Почвы СССР, 1979).

Переходный горизонт А1А2 характеризуется неравномерной окраской, представленной серыми и белесо-серыми участками, буроватыми и палевыми. Имеет горизонтальную делимость и комковато-порошистую структуру (Почвы СССР, 1979).

Второй гумусовый горизонт (Ah, А2Ah или В1Ah) весьма мощный. Имеет черную окраску во влажном состоянии как самостоятельный (Ah). В сочетании с другими приобретает бурый или белесоватый оттенок либо выделяется на буром фоне темно-серыми или серыми пятнами (Хренов, 2002). При высушивании светлеет, становясь серым или светло-серым. Имеет непрочно-ореховатую, комковатую структуру или бесструктурен (Фомин и др., 2001).

Подзолистый слой А2 имеет пластинчатую или листоватую структуру (Почвы Тюменской области, 1990) либо бесструктурен в песчаных почвах. Цвет белесовато-серый, иногда с палевым оттенком (Почвы СССР, 1979), слегка уплотнен (Хренов, 2002).

Ниже расположен переходный горизонт А2В (Почвы Тюменской области, 1990) мощностью 10-20 см буровато-белесого цвета. Имеет непрочную комковато-мелкоореховатую структуру и содержит присыпку белесого цвета. Встречаются языки А2 (Почвы СССР, 1979).

Иллювиальный горизонт бурого или темно-бурого цвета В отличается высокой плотностью. Имеет ореховатую структуру, книзу — призматическую. Обычно включает обильную кремнеземистую присыпку по граням структурных отдельностей, которые часто имеют глянцевую лакировку. Иногда имеет слитное сложение (Хренов, 2002). Также нередко встречается слоистое сложение (Почвы Тюменской области, 1990), подразумевающее дифференциацию на подгоризонты В1, В2, В3, которые с глубиной становятся менее интенсивно окрашенными и плотными, более грубой и крупной структуры (Почвы СССР, 1979).

Переходный слой ВС имеет светло-коричневую или светло-бурюю окраску и глыбисто-призматическую или глыбистую структуру (Почвы СССР, 1979).

Переход в породу (С) постепенный по окраске и более выражен по плотности. Материнская порода окрашена от желто- до светло-бурого или бурого цвета. Иногда присутствуют ржаво-охристые и сизые новообразования, единичные корни (их отпечатки проявляются еще глубже). Бесструктурен (Почвы СССР, 1979).

Таким образом, четкое проявление гумусо-элювиального, элювиального, иллювиального горизонтов является одним из основных диагностических признаков дерново-подзолистых почв (Полевой определитель почв, 1981).

Общая мощность дерново-подзолистых почв составляет 130-200 см. варианты легкого гранулометрического состава более мощны, чем суглинистые вследствие лучшей водопроницаемости и подверженности почвообразованию большей толщи исходной породы (Ковригио и др., 2000) (табл. 1).

Таблица 1 – Мощность горизонтов дерново-подзолистых почв, см (Почвы Тюменской области, 1990)

Вид	n	A0	A1	A2	Ah	B	Всего
Дерново-подзолистые обычные							
Среднеподзолистые	20	6	7	22	-	51	86
Сильноподзолистые	18	5	5	28	-	75	113
Дерново-вторично-подзолистые							
Слабоподзолистые	7	4	11	14	19	76	124
Среднеподзолистые	19	5	6	17	26	72	126
Сильноподзолистые	11	4	5	22	21	76	128

Почвообразующие породы представлены в основном средними суглинками, реже тяжелыми. Однако верхняя часть профиля имеет облегченный гранулометрический состав вследствие оподзоливания. Так, в южной тайге 59% профиля представлено легкими суглинками, 30% средними, 11% тяжелыми. Редко почвы имеют глинистый и супесчаный состав (Почвы Тюменской области, 1990).

По валовому составу и распределению илистой фракции профиль четко дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу (Добровольский и др., 2004). По всему профилю обычно содержится значительное количество крупной пыли. Песчаная фракция наоборот чаще всего невелика. Только изредка наблюдается повышенное количество мелкого песка, причем в верхней части профиля его относительное содержание выше из-за перемещения в ходе подзолистого процесса илистой фракции в нижние горизонты. Наибольшее количество ила скапливается в нижней части иллювиального слоя В. В В1 и В2 его в 2,5-3,5 раза больше, чем в А1 и А2 (Герасько, 2007).

По данным Росгипрозем по площадному распределению в хозяйствах землепользования 35% представлено легкими суглинками, 34% песками (в том



числе боровыми) и супесями, 27% средними суглинками, 4% - тяжелыми (Почвы Тюменской области, 1990).

В подтаежной зоне дерново-подзолистые почвы супесчаного гранулометрического состава встречаются более часто, чем в южной тайге (Почвы Тюменской области, 1990).

Водно-физические свойства дерново-подзолистых почв меняются по генетическим горизонтам и определяются в значительной степени изменением гранулометрического состава.

Верхние горизонты (A1, A2, Ah) профиля почвы имеют невысокую плотность, что при сравнительно небольшой плотности твердой фазы, особенно верхнего гумусового горизонта, определяет высокую общую порозность, а это, в свою очередь, обеспечивает хорошую аэрацию при естественном увлажнении. Однако при насыщении до полевой влагоемкости порозность аэрации в горизонтах F2Fh низка, что, возможно, связано с созданием подпора влаги при определении полевой влагоемкости методом заливаемых площадок из-за низкой водопроницаемости горизонта В. Существенно ухудшаются условия аэрации в горизонтах В и С в связи с повышением плотности почвы и ее твердой фазы. Здесь воздухосодержание иногда снижается до 6-11% от объема почвы, при котором возможно возникновение восстановительных процессов (Горшенкин, 1955).

Категории почвенной влаги меняются в зависимости от количества гумуса, илистой фракции и плотности почвы. Отмечают лишь высокую полевую влажность в условиях естественного залегания, величина которой близка, а иногда и выше наименьшей влагоемкости.

Горизонт А в дерново-подзолистых почвах имеет плохую макроструктуру, а иногда вообще бесструктурен, однако, благодаря рыхлому сложению и большому количеству ходов корней, имеет хорошую водопроницаемость. В какой-то степени этому может способствовать сравнительно неплохой микроагрегатный состав (значительное содержание микроагрегатов крупнее 0,05 мм) и относительно небольшой фактор дисперсности. Правда в горизонтах В и С его показатели несколько лучше, но водопроницаемость очень низкая, а иногда практически равна 0. Это обусловлено плотным, а в горизонте В – иногда слитным сложением и малым количеством ходов корней, сохранившихся от былой стадии почвообразования (Почвы Тюменской области, 1990).

По химическим свойствам дерново-подзолистые почвы не имеют особой специфики и по основным параметрам типичны для данного подтипа. Они имеют кислую реакцию среды: рН солевой вытяжки в элювиальных горизонтах не превышает 4, немногим более 4 в нижней части профиля и лишь в карбонатных горизонтах она слабощелочная (Горшенкин, 1955). Дерново-подзолистые почвы характеризуются небольшим содержанием гумуса (от 0,8-1% в песчаных и глинисто-песчаных вариантах (Полевой определитель почв, 1981) до 7-9%), которое резко снижается с глубиной (Почвы СССР, 1979; Западная Сибирь, 1963).

Невысока и емкость поглощения в элювиальных горизонтах, включая и гумусовый, величина которой в значительной степени зависит от

гранулометрического состава. Этим обусловлено значительное повышение емкости поглощения в иллювиальных горизонтах и материнской породе. В составе поглощенных катионов преобладает Са (Горшенкин, 1955).

По всему профилю наблюдается большая насыщенность основаниями (20-70%). В верхней части профиля она составляет около 50%, но в иллювиальных горизонтах и материнской породе она повышается до 80-90%, а в остаточно-карбонатных — до 100% (Горшенкин, 1955). Таким образом, в профиле проявляется четкое перераспределение полуторных оксидов: А1, А2 и иногда Аh обеднены ими, а иллювиальные горизонты наоборот обогащены. Молекулярные отношения сужены в той же последовательности, что свидетельствует о том, что это является результатом подзолистого процесса. По родам полуторные оксиды перераспределены незакономерно, также нечетко и по родам дерново-подзолистых почв. Другие оксиды, кроме SiO<sub>2</sub>, не проявляют закономерностей в изменении содержания по профилю. Наблюдается только возрастание концентрации СаО и MgO в почвообразующей породе остаточно-карбонатных почв. Это же может наблюдаться в нижней части профиля бескарбонатных почв в связи с изменением минералогического состава пород или выщелачиванием (Почвы Тюменской области, 1990).

Почвы подзолистого типа характеризуются превышающим кларк содержанием большинства микроэлементов, в том числе Zn, Co, Cu (превышение в 3-3,5 раза). Изменение концентрации микроэлементов по профилю обычно незакономерно и предположительно связано с различиями вещественного состава минеральной основы. Тем не менее, например, для Co характерно пониженное содержание в элювиальных горизонтах в сравнении с В и С (Почвы Тюменской области, 1990).

Микроэлементный состав дерново-подзолистых почв Тобольского материка свидетельствует о том, что они формировались на весьма однородных по гранулометрическому и вещественному составу почвообразующих породах. В почвах левобережья Иртыша на карбонатных породах содержание Zn и Mo в 2 и 1,5 раза соответственно ниже, чем в почвах Тобольского материка. Концентрации прочих микроэлементов близки (Почвы Тюменской области, 1990).

Почвы сильно промыты и почти не содержат легкорастворимых солей, среди которых в равной степени обнаруживаются бикарбонаты Са и Mg (Почвы Тюменской области, 1990).

Естественным источником тяжелых металлов для любых почв являются продукты выветривания горных пород (Тяжелые металлы в ..., 1991) (табл. 2).

Вариативный характер накопления элементов отличается в зависимости от типа почвы, ее структуры, строения профиля, наличия гумуса, увлажненности, кислотности и других факторов.

Таблица 2 - Оценки средних содержаний тяжелых металлов, мг/кг (Тяжелые металлы в ..., 1991)

Элемент	В гранитном слое (Беус и др., 1976)	В земной коре в целом		Верхняя часть континентальной коры (Григорьев, 2009)	Осадочные породы в целом (Григорьев, 2009)
		По (Виноградов, 1962)	По (Тейлор, 1964)		
Hg	0,033	0,08	0,08	0,065	0,057
Sb	0,2	0,5	0,2	0,000081	0,000089
As	1,9	1,7	1,8	0,00056	0,00077
Co	7,3	18	25	0,0017	0,0014
Cu	22	47	55	39	31
Zn	51	83	70	75	69
Sr	230	340	375	0,027	0,027
Cr	340	83	100	92,4	76,6
Mn	700	1000	950	0,077	0,073

В почвах с элювиально-иллювиальным профилем, в том числе в дерново-подзолистых, элювиальный слой обеднен тяжелыми металлами, а иллювиальный наоборот обогащен. Нередко происходит небольшая аккумуляция тяжелых металлов сверху карбонатного слоя с участием глинистого минерала и гумусового вещества (Тяжелые металлы в ..., 1991) (табл. 3). Данные закономерности объясняются тем, что в почвах с данным типом строения профиля тонкодисперсные частицы с наибольшим содержанием гумуса, закрепляющего значительную часть тяжелых металлов, находятся в верхней его части (Микроэлементы и тяжелые ..., 2001).

Таблица 3 – Распределение тяжелых металлов в профиле дерново-подзолистых почв Западной Сибири (Тяжелые металлы в ..., 1991)

Местоположение	Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Ил, %	Ph водн., %	Mn	Cr	Sr	Zn	Cu	Co
Бакчарский район Томской обл. (суглинистая)	A1	2-10	3,85	32,7	5,6	1500	85,5	145	44,7	23,3	14,4
	A2	11-21	3,04	33	5,5	966	91	234	43,3	23,1	16,1
	A2 Ah	30-40	3,1	35,6	5,5	668	91,4	42	44	47	15,5
	A2 Ah/B	46-52	1,64	44,5	5,6	521	100,2	49	62,4	35,5	15,1

Продолжение таблицы 3

	B1	55-65	0,95	40,5	5,8	541	95,8	22	55	35,5	17,2
	B2	80-90	0,66	38,1	6	672	110	35	59,9	41,2	16,1
	BC К	110-120	0,45	38,8	8	622	120,6	105	62,7	41,1	18,8
	С	205-215	0,3	39,7	8,1	523	99,8	126	56,6	32,8	14,5
Угловский р-н Алтайског о края (песчаная)	А	0-5	0,6	3,6	5,6	501	19,9	91	23,9	5,9	2,8
	А	10-15	0,28	3,2	5,6	422	17,2	90	18,2	3,5	2,8
	АВ	20-25	0,05	2,5	5,5	347	17,2	81	17,8	3,2	3
	С	50-60	-	2,8	6,1	376	17,9	71	16,4	4,2	2,9
	С	120-130	-	2	6,6	324	23,9	56	13,9	3,8	2,5
	С	190-200	-	1,9	6,8	288	18,9	68	16,9	4,6	2,8

По данным (Andersson, 1977), тяжелые металлы дифференцируются по сродству к субстратам. Так, связь с содержанием ила возрастает с уменьшением ионного радиуса элемента и характерна для элементов с координационным числом 6. К ним относятся в том числе  $Mn^{2+}$ ,  $Cr^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ . Элементы с большим координационным числом связаны с гумусом. Однако в природных условиях эти закономерности проявляются менее четко. Тем не менее в илистых частицах содержится в 2-4 раза больше тяжелых металлов, чем в почвенной массе (Ильин, 1985). При этом по их содержанию ил материнской породы очень близок к илу гумусового вещества. Гумус отличается большей депонирующей способностью за счет возможности образования с тяжелыми металлами комплексных органоминеральных соединений, что снижает их подвижность (Рабинович, 1969; Степанова, 1976; Ильин, 1987). По данным Ильина, роль гумуса в их накоплении обратно пропорциональна кларку (Тяжелые металлы в ..., 1991).

Также в накоплении тяжелых металлов в почвах значительную роль выполняют комплексы глинистых минералов с гидроксидами Al и Fe и органическим веществом (Levy и др., 1976).

Если рассматривать особенности накопления химических элементов в различных фракциях почв, следует отметить, что наиболее насыщена тяжелыми металлами тяжелая грубодисперсная фракция. Здесь содержание их в несколько раз больше, чем в илистой (Сапрыкин, 1984). Однако доля такой фракции в субстрате составляет всего 0,5-5% (Тяжелые металлы в ..., 1991).

Одним из основных вопросов при анализе почв на локальных территориях является вопрос фонового содержания химических элементов.

К основным носителям тяжелых металлов в фоновых почвах относят оксиды железа. Так, в них может содержаться до 25% общего количества цинка (Shuman, 1979). При этом эффект отрицательного биологического воздействия практически отсутствует (табл. 4).

Таблица 4 – Валовое содержание тяжелых металлов в незагрязненных почвах, не вызывающее отрицательных биологических эффектов, мг/кг возд.-сух. почвы (Тяжелые металлы в ..., 1991)

Элемент	Нижняя и верхняя пороговые границы (Ковальский и др., 1970)	Толерантное количество по Kloke (Finck, 1982)	Наивысшее «нормальное» (Temmerman de et al, 1984)	
			Песчаные почвы	Суглинистые почвы
Hg	-	5	0,15	0,15
Ag	-	-	0,5	0,5
Sb	-	-	1	1
Co	7-30	50	5	20
As	15-60	20	10	20
Cu	-	100	15	25
Cr	-	100	80	200
Sr	600-1000	-	100	200
Zn	?-70	300	100	150
Mn	400-3000	-	500	800

Большое значение имеет не только общее содержание химических элементов в почве, но и количество их подвижных форм (Finck, 1982). Это обусловлено большей доступностью их для растений, особенно обменной формы (Горбатов и др., 1987). Распределение подвижных форм в профиле неравномерно. Гумусовый горизонт обычно характеризуется наибольшим их количеством. Также повышенное содержание может наблюдаться в иллювиальном и карбонатном горизонтах. Первое объясняется тем, что значительная часть тяжелых металлов попадает в почву при разложении растительных остатков, накапливаясь в гумусе и сохраняя мобильность. Иллювиальный горизонт накапливает мигрирующие из вышележащего слоя тонкодисперсные частицы, высоко насыщенные тяжелыми металлами. На контакте с карбонатным слоем наблюдается резкое возрастание рН, вследствие чего возможно выпадение в осадок мигрирующих металлосодержащих соединений и их накопление. Для почв Западной Сибири из

вышеприведенных закономерностей характерны повышенные концентрации в гумусовом горизонте подвижных форм, в том числе, Mn, Zn, Co.

Количество подвижных форм определяется гранулометрическим составом почв: их меньше всего в песчаных и супесчаных вариантах и больше в суглинистых и глинистых. Отчасти это объясняется возрастанием количества гумуса от песчаных почв к глинистым (Тяжелые металлы в ..., 1991) (табл. 5).

По данным (Whitby et al., 1978), в процессе почвообразования в гумусовом слое значительно возрастает содержание, в том числе, Zn, Cu.

Количество подвижных форм может со временем меняться. Это обычно объясняется деятельностью микроорганизмов, в том числе в зависимости от влажности почвы, и изменением поглощающей способности растений. Причем колебания могут достигать 5 раз и более (табл. 5).

Таким образом, содержание подвижных форм изменяется во времени и в большей степени в пространстве (Тяжелые металлы в ..., 1991).

Таблица 5 – Содержание подвижной формы тяжелых металлов в почвах, мг/кг возд.-сух. (Тяжелые металлы в ..., 1991)

Тип	Регион	Mn	Zn	Cu	Co	Источник
Дерново-подзолистые	Северо-Запад и Север европейской части СССР	62-274	0,9-1,5	2,7-5,5	0,5-1,13	(Микроэлементы в почвах СССР, 1981)
Дерново-подзолистые на песках	Белоруссия	33	0,77	0,9	0,33	
Дерново-подзолистые на моренных суглинках	Белоруссия	75,3	-	1,4	0,57	
Совокупность	Украина	124 (24-294)	0,51 (0,08-2)	3 (0,18-6)	2 (0,05-4,6)	
Дерново-подзолистые	Европейская часть СССР	164	1,64	2,04	0,92	(Зборищук и др., 1974)
Взвешенная средняя по 8 основным типам		106	1,05	2,67	1,3	



## Продолжение таблицы 5

Дерново-подзолистые супесчаные	Западная Сибирь	20-80	0,01-0,3	0,7-1,5	<0,5	(Тяжелые металлы в ..., 1991)
Дерново-подзолистые суглинистые		100-200	0,3-1,5	2-5	0,3-1,5	

Для почв территории Западной Сибири характерна высокая подвижность Mn и Co (табл. 6).

Таблица 6 – Содержание подвижной формы тяжелых металлов в почвенном покрове (A1, Апах) Западной Сибири (Тяжелые металлы в ..., 1991)

Регион	Экстрагент	Мера	Mn	Zn	Cu	Co	Cr
Западная Сибирь	1н. HCl	мг/кг возд.-сух. почвы	414	7,8	3,5	5,3	2,3
		% от валового количества	39	9	10	34	4
Томское Приобье (Изерская, 1979)	2,5% CH <sub>3</sub> COOH	мг/кг возд.-сух. почвы	76	0,8	1,3	0,7	
		% от валового количества	13	2	6	10	

В дерново-подзолистых почвах Западной Сибири наблюдается наибольшая подвижность в верхнем горизонте для таких химических элементов, как Mn и Zn. Cr имеет максимальную долю подвижных форм в горизонте B (табл. 7).

Таблица 7 – Распределение подвижной формы тяжелых металлов в профиле почв Западной Сибири (экстрагент 1н. HCl) (Тяжелые металлы в ..., 1991)

Тип, местоположение	Горизонт	Глубина, см	Mn	Cr	Zn	Cu
			мг/кг возд.-сух. почвы			
Дерново-подзолистая песчаная, Угловский р-н Алтайского края	A1	0-10	143	0,3	3,2	0,7
	A2	20-25	37	0,4	1,9	0,3
	B	50-60	16	0,5	0,6	0,4
	C	190-200	14	0,2	0,6	0,4
Дерново-подзолистая суглинистая, Бакчарский р-н Томской обл.	A1	2-10	1210	2,9	16	4
	A2Ah	30-40	453	4	6,4	9,2
	B1	55-65	347	4,9	7,5	4,7
	C	202-215	265	4	10,6	8,2

Техногенно загрязненные почвы отличаются от фоновых и естественно аномальных накоплением элементов в верхнем горизонте, в то время как в остальных при, возможно, некотором накоплении в гумусовом слое содержание возрастает с глубиной. Это объясняется, во-первых, их атмосферным осаждением, во-вторых, поступлением значительной части химических элементов техногенного происхождения в составе труднорастворимых или нерастворимых соединений, в-третьих, удерживанием их такими компонентами почвы, как гумус, глинистые минералы и оксиды Fe и Mn, содержащимися в основном в верхней части профиля (Тяжелые металлы в ..., 1991; Микроэлементы и тяжелые металлы..., 2001; Первунина и др., 1988; Язиков, 2011) (табл. 8).

Таблица 8 – Содержание тяжелых металлов в почвах, сформировавшихся на нормальных и геохимически аномальных материнских породах (Environmental Geochemistry and Health, 1984).

Элемент	В норме	Аномальное
	мг/кг почвы	
As	<5-40	До 250-2500
Cu	2-60	До 2000
Zn	25-200	10000 и более

Регионы Земли имеют различия в элементном составе компонентов биогеоценозов, которые могут быть весьма значительными (табл. 9). Следовательно, применение усредненных данных в контексте исследования конкретных территорий некорректно. Поэтому разумно использовать данные для местных компонентов.

Таблица 9 – Сравнительное содержание тяжелых металлов в совокупности основных почв Западной Сибири (Ильин, 1987) и в почвах США (Shacklette и др., 1984; Кабата-Пендиас и др., 1989; Иванов, 1994), мг/кг.

Элемент	Западная Сибирь	США
Co	15,6	
Cu	33,8	26
Zn	85,5	73
Cr	59,5	54
Mn	1060	495

Основная часть твердой фазы почв представлена минералами, которые составляют 95-98% ее массы. Минералогический состав в значительной степени определяет элементный, а также параметры почвы, в том числе гранулометрический состав. Глинистые минералы обуславливают поглонительную способность.

По происхождению и свойствам минералы дифференцируют на первичные и вторичные.

Первичные сформированы при магматических и частично метаморфических процессах и переходят в почву в результате выветривания. Они представлены преимущественно в песчаной и пылевой фракциях. Количество первичных минералов коррелирует с гранулометрическим составом: они составляют 98-90% массы песков, 80-50% суглинков, 10-12% глин. Таким образом, первичные минералы сосредоточены в крупной фракции (>0,001 мм) (Почвоведение, 1988). Большая их часть (75-85%) представлена преимущественно силикатами и алюмосиликатами.

Кварц наиболее устойчив к выветриванию в кислых подзолистых почвах (Почвоведение, 1988).

Одна из их групп ленточных силикатов представлена амфиболами, куда входит тремолит ( $\text{Ca}_5\text{Mg}_5(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2$ ).

Также к данным минералам относятся первичные слюды, в том числе калийная – мусковит ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})$ ). Они являются основным источником формирования глинистых минералов (Шоба, 1972) и характеризуются высоким содержанием в аллювиальных почвах.

Также к алюмосиликатам относят полевые шпаты, в том числе калиевый микроклин ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) и кислый натрий-кальциевый (плагиоклаз) альбит ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). Они входят в песчаную и пылевую фракцию и являются одним из источников формирования глинистых минералов (Ковда и др., 1977).

Вторичные минералы имеют экзогенное происхождение.

По данным (Чернов, 1961), для дерново-подзолистых почв Пермского края на породах легкого гранулометрического состава (водно-ледниковых отложениях) легкая фракция, составляющая 94,8%, представлена кварцем, калиевым полевым шпатом и плагиоклазом. В тяжелую фракцию (5,14%) входит эпидот, рудный минерал, циркон, цоизит, роговая обманка, турмалин, биотит, мусковит. Минералы тяжелой фракции почти не представлены в верхних горизонтах ввиду

более интенсивного выветривания. Так, илистая фракция в значительной степени образована современным выветриванием (Соколова, 2005).

Ввиду различных размеров зерен первичных минералов они неравномерно распределены по гранулометрическим фракциям. Так, кварц сосредоточен во фракциях  $>0,25$  мм, полевые шпаты – во фракциях 0,25-0,05, 0,05-0,01. В более мелких фракциях содержание последних обычно меньше ввиду меньшей устойчивости к выветриванию мелких зерен.

В рыхлых песчаных отложениях озерно-аллювиального генезиса наблюдается содержание тяжелых металлов в 3-4%.

## 1.2. Роль лесной подстилки в концентрировании химических элементов

В лесных ландшафтах почву покрывает лесная подстилка. Это слой из остатков листьев и животных и продуктов жизнедеятельности, хвои, почвы, коры, веток, плодов и т. д. на поверхности лесной почвы. В зависимости от особенности леса может быть эфемерной (формируется лишь после периода листопада) или постоянной.

Существует две точки зрения на отношения подстилки и почвы.

В соответствии с одной из них в вертикальном строении БГЦ подстилку выделяют в качестве отдельного биогеогоризонта. Это обусловлено следующими признаками отличия ее от почвы. Во-первых, преобладающую ее часть составляет органическое вещество (более 35%) в виде растительных остатков. Во-вторых, мощность и масса подстилки динамичны как в течение года, так и по годам в зависимости от погодных условий. В-третьих, изъятие подстилки не влияет на классификационное положение почвы. Таким образом, подстилка не является почвенным горизонтом, и ее рассматривают как отдельное природное тело (Зонн, 1964; Сукачев, 1972, 1973, 1975).

С другой точки зрения подстилку считают горизонтом почвы. Это обосновывают постепенным переходом между двумя данными средами, особенно для дерново-подзолистых и подзолистых почв.

К тому же следует отметить, что в случае наличия в подстилке корней ее называют дерновым горизонтом (Карпачевский и др., 2009).

Лесная подстилка характеризуется компактным сложением, сплошностью, слоеватостью. Этим она отличается от степной или луговой подстилки, представленной войлоком. Это сохраняющее структуру исходных растений рыхлое образование, не создающее сплошного слоя.

Структура лесной подстилки включает 3 слоя.

- 01 представлен опадом прошлого и текущего годов. Сложен преимущественно листьями и хвоей, сохранившими форму, но изменившими цвет в результате потери пигментов на серовато-, светло- или темно бурый.
- Второй слой — бурая сухая масса из фрагментов хвои, веток, листьев, коры, животных и т. д. Распространены корни растений и гифы грибов.

Наибольшее скопление беспозвоночных. Во влажном состоянии переходит в механически сцепленную массу.

- 03 представлен перегноем темно-бурого или черного во влажном состоянии цвета. Отсутствуют различимые остатки растений. Представлен сыпучим материалом в сухом виде и растирается до однородной массы во влажном.

Наибольшую долю по массе и запасам имеет второй слой. Третий наименее мощный. В условиях быстрого разложения четко выделяется лишь 01, а остальные маломощны и фрагментарны. Преобладание 03 свидетельствует о замедленном разложении. Иногда образует карманы в понижениях дерново-подзолистых почв.

К тому же лесной и луговой типы подстилки различаются по функциям. Лесная подстилка служит местом обитания для животных и источником питания для растений. Войлок также является местом обитания животных, но меньшего количества, формирует микроклимат, мульчирует почву (Карпачевский, 1981). В любом случае подстилка надолго выводит из почвообразования и круговорота большое количество зольных веществ и биофильных элементов. При этом через нее проходит примерно половина атмосферных осадков, вынося различные элементы (особенно соединения азота и калия, менее серы, фосфора, магния). Кремнезем, полуторные оксиды, кальций выносятся менее всего. В дальнейшем в зависимости от промывания часть элементов оседает в почве, часть выносятся с грунтовыми водами (Березин, 2009).

Подстилка характеризуется высокой влагоемкостью (200-300%, в среднем 280% сухой массы). Концентрирует азот, калий, серу, марганец, фосфор и др. элементы. По зольному составу значительно отличается от почвы и опада. Изменяется при разложении и зависит от соотношения фракций. При разложении накапливается кальций, марганец, магний, убывает азот.

Установлено влияние подстилки как на почву, так и на растительность. Так, при ее разложении происходит переход в почву органических и зольных веществ. К тому же подстилка может препятствовать возобновлению лесных пород и создает специфические условия для развития травяного яруса. Последнее состоит в том, что при большой мощности она препятствует произрастанию видов, укореняющихся в минеральных горизонтах, и способствует появлению растений, корни которых находятся в подстилке (Карпачевский, 1981). Наконец, подстилка надолго выводит из почвообразования и биологического круговорота большое количество биофильных химических элементов и зольных веществ (Ковда, 1973).

### 1.3. Роль растений в концентрировании химических элементов

Переход элементов из окружающей среды, в том числе и из почв, в растения определяется коэффициентом биологического поглощения. Он равен соотношению содержания какого-либо элемента в золе растений к его содержанию в почве, горной породе, на которой растения произрастают, или в земной коре в целом.

Чем больше значение коэффициента, тем активнее элемент переходит в растения из окружающей среды. У наиболее поглощаемых растениями элементов он составляет более 100 n (n=от 1 до 20), у наименее поглощаемых — 0,00 n.

Концентрация элемента в земной коре редко соответствует степени поглощения живым веществом. Так, обширно распространенные катионы Fe, Al слабо аккумулируются растениями (табл. 10, 11).

Таблица 10 – Значения КБП для элементов различной физиологической важности (Brooks, 1973)

Классификация А.И. Перельмана	Элемент	Физиологическая роль	КБП
Сильное поглощение	Бор	Велика	1,7
Среднее поглощение	Сера		0,96
	Цинк		0,9
	Фосфор		0,88
	Марганец		0,4
	Серебро	Незначительна	0,25
	Кальций	Велика	0,14
	Стронций	Незначительна	0,13
	Медь	Велика	0,13
	Калий		0,12
	Барий	Незначительна	0,12
	Селен	Велика	0,1
Слабое поглощение	Молибден		0,04
	Магний		0,034
	Никель	Незначительна	0,03
	Кобальт		0,2
	Уран		0,2
	Железо	Велика	0,012



## Продолжение таблицы 10

Очень слабое	Натрий	Незначительна	0,007
	Рубидий		0,007
	Редкие земли		0,003
	Хром		0,003
	Литий		0,0015
	Кремний		0,0006
	Ванадий		0,0006
	Титан		0,0003
	Алюминий		0,0003

В то же время также распространенные анионы P, Cl, S наоборот имеют КБП в 100 п (Ильин, 1985) (табл. 10, 11).

Таблица 11 – Ряды биологического поглощения элементов (Перельман, 1968)

		Коэффициенты биологического поглощения					
		100 п	10 п	п	0, п	0,0 п	0,00 п
Элементы биологического накопления	Энергичного	P, S, Cl					
	Сильного		Ca, K, Mg, Na, Sr, B, Zn, As, Mo, F				
Элементы биологического захвата	Среднего				Si, Fe, Ba, Rb, Cu, Ge, Ni, Co, Li, Y, Cs, Ra, Se, Hg		
	Слабого					Al, Ti, V, Cr, Pb, Sn, U	

## Продолжение таблицы 11

	Очень слабого						Sc, Zr, Nb, Ta, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Hf, W
--	---------------	--	--	--	--	--	---

К тому же КБП определяется особенностями растительности. Так, у растений-концентраторов значения могут быть значительно выше, чем у прочих, для одних и тех же элементов. КБП конкретного вида определяется условиями среды и видом элемента (Ильин, 1985).

Аналогичным параметром является коэффициент концентрации, равный отношению содержания элемента в надземных частях растения к его концентрации в почве. У растений, поглощающих какой-либо элемент или не поглощающих его независимо от содержания в среде, значение коэффициента концентрации значительно больше или меньше 1 соответственно. Следовательно, наиболее чувствительными геохимическими индикаторами являются растения со значениями данного параметра близкими к 1. При этом один вид может реагировать по-разному по отношению к различным элементам (Баргальи, 2005).

Коэффициент относительного поглощения характеризует аккумуляцию элементов различными растительными видами. Он равен отношению содержания элемента в золе данного растения и его концентрации в золе эталонного вида.

Акропетальный коэффициент описывает различия в поглощении различными органами растений. Это отношение концентрации элемента в данной части растения и его содержания в эталонной части (Ильин, 1985).

На основе чувствительности к техногенному атмосферному воздействию выделяют растения-биоиндикаторы и биомониторы. Они качественно и количественно соответственно характеризуют состояние окружающей среды.

Весьма сложно разделить вклад атмосферного и почвенного поступления элементов в растения. При этом выяснено, что листья подвержены в основном атмосферному воздействию. Атмосферные выпадения оседают на их поверхности и частично смываются, хотя был выявлен их вклад в содержание элементов во внутренних тканях (Тяжелые металлы в ..., 1991).

Листья считаются наиболее подходящими частями растений для использования при мониторинге. Это объясняется тем, что, хотя корни концентрируют большинство загрязнителей, они сложны для сбора, а семена, цветки и плоды почти не накапливают основные загрязнители.

Многолетние растения с глубокой корневой системой подходят для выявления общего состояния среды, в то время как однолетние травы с короткими корнями более чувствительны к кратковременным изменениям (Баргальи, 2005).

Проявляется обратное воздействие растений на почву, состоящее в накоплении в верхнем слое освобождающихся при их разложении элементов,

извлеченных корнями из нижних горизонтов. Данный процесс называется биогенной аккумуляцией элементов (Ильин, 1985).

Обратным показателем, характеризующим поступление химических элементов из растений в окружающую среду можно считать возврат их с ежегодным опадом (Fortescue, 1980). Далее приведены его значения для березняков ввиду исследования в данной работе именно березовых листьев (табл. 12).

Таблица 12 – Ежегодный возврат с опадом химических элементов в березняках, кг/га

N	Si	Ca	K	Mg	P	Al	Fe	Mn	S	Na
80-90	18-20	50-70	14-35	16-35	7-10	4-5	1-2	4-6	5-7	1

Наиболее подвержены этому дефицитные для почвы, но в большом количестве потребляемые растениями элементы. То есть результат биогенной аккумуляции определяется химическим составом почвообразующих пород и особенностями растительности. Так, больше всего биогенно накапливаются сера, азот, марганец, фосфор и др., меньше всего кремний, магний, калий, молибден.

Также элементы аккумулируются глинистыми минералами и гумусом. Накопление в илистой фракции обусловлено большими адсорбционными возможностями и способностью к фиксации элементов в межплоскостном пространстве. Что касается гумуса, некоторые элементы входят в состав гумусовых кислот (сера и азот), другие связываются соединениями гумуса (металлы, особенно микроэлементы), третьи адсорбируются гумусовыми кислотами (элементы питания в ионной форме) (Ильин, 1985).

Таким образом, можно сделать вывод, что между почвой, подстилкой, надземными органическими компонентами существует постоянный круговорот химических элементов. Большая часть имеющейся в литературе информации затрагивает миграцию и особенности аккумуляции микро- и биологически важных химических элементов. В то же время информация о сравнительном характере миграции значительного количества элементов практически отсутствует, включая данные о редкоземельных и редких элементах на территориях со схожими условиями и представляющих фон и техногенно измененные участки, подверженные специфическому воздействию.

#### 1.4. Трансформация элементного состава компонентов природной среды под воздействия объектов нефтепереработки

Основной сферой промышленности Тюменской области является топливная, а именно добыча и переработка углеводородного сырья. Месторождения углеводородного сырья открыты в 90 странах. К данному моменту переработано более 90 млрд. т нефти. К 2001 г., по данным Oil & Gas Journal, по миру функционировало 742 нефтеперерабатывающих завода. Их

общая мощность составляла 4,07749 трлн т. нефти в год либо 81,25159 млн баррелей в сутки. Средняя мощность НПЗ — 5,48 млн т в год. При этом использование углеводородного сырья все возрастает, особенно в развитых странах. Так, количество использованного за последние 25-30 лет топливно-энергетических ресурсов равно количеству, потраченному за всю прошедшую историю человечества.  $\frac{3}{4}$  из него составляют нефть и газ.

Функционирование нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей сопровождается утечками нефти, сжиганием попутных газов, влиянием излившихся нефтяных вод и хранением шламов (Лобачева, 2010). Таким образом, данные объекты оказывают воздействия различного рода на компоненты природной среды (Ермохин и др., 1995, Дорожукова, 2004; Хорошавин и др., 2014, Соромотин, 2007, Абросимов, 2002, Мухаматдинова, 2012, Околелова, 2010; Широков, 2006; Госсен, 2006; Макаренкова, 2007; Бузмаков и др., 2007; Гаев и др., 2007; Зволинский и др., 2007; Ревич, 2010; Давыденко, 1998; Садов, 2008; Кочина, 2008; Мазлова, 2011; Прищепа, 2006; Пайметов, 2006; Баландина, 2015; Пузырев, 2015; Куранов, 2016; Хазиев, 1988; Шамраев, 2009; Лобачева, 2010; Алберс Петер; Ненашев, 2005; Давыдова, 2010; Трофимов, 2000; Фаухутдинов, 2008; Абросимов, 2002; Галинуров, 2014; Горобцова, 2005; Желтобрюхов, 2017; Падавалов, 2010; Полозов, 2012; Солнцева, 1998; Филиппов, 2005; Основы промышленной экологии..., 1991; Князев, 2014; Перхуткин, 2013; Сафаров, 2014; Тентюков, 2007; Толочко, 2016; Третьякова, 2016; Шахова, 2016; Шешукова, 2015; Язиков, 2013; Bosco, 2005; Bozlaker, 2013; Krastinyte, 2013; Sarnela, 2015 и др.) и, как следствие, здоровье людей (Кочина, 2008; Авалиани, 2012; Валеева, 2008, 2010; Гайнуллина, 2009; Леденцова, 2004; Устинова, 2011; Chan, 2006; Yang, 2000, 2004; Epstein, 2017; Kaldor, 1984; Kaohsiung Leukemia Research Group, 2006; Lin, 2001; Luginaah, 2002; Park, 2006; Pasetto, 2012; Smargiassi, 2009; Tarafdar, 2018; Fernando, 2009 и др.). Так, влияние нефтеперерабатывающей промышленности на почвы и содержание в них углеводородов отражено в работах (Minkina и др., 2018, 2019), аналогичные исследования для вод проведены (Хорошавин, 2011, 2012, 2014, 2017, 2018; Моисеенко, 2011, 2012, 2014; Калинин, 2000, 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011; Кремлева, 2012, 2013, 2018, 2019; Савичев, 2004, 2008, 2011, 2018 и др.).

Большинство исследований такого типа сосредоточено на углеводородах как основных загрязнителях данной отрасли и некоторых других химических соединениях (Околелова, 2010, 2011, 2015; Степанов и др., 2004; Соромотин, 2017; Oliveira et al., 2014; Wei et al. 2014; Zhao et al., 2015; Титов, 2015; Каверина, Мячина, 2008; Власов, 2011; Суворова и др., 2016; Маркова и др., 2014; Бокарев, 2000; Бочаров, 2003; Васильченко, 2015; Галинуров., 2014; Габов, 2008; Калачникова, 1999; Киреева, 1988, 1990; Маркарова, 2010; Мукатанов, 1980; Назаров, 2007; Оборин, 2008; Паничева, 2012; Шамраев, 2009; Сазонова; Давыдова, 2004; Журавлева, 2014; Пархоменко, 2016; Baltrenas, 2011; Baroja, 2005; Buzcu-Guven, 2008; Cetin, 2003; Dominguez-Morueso, 2017; Gariazzo, 2005; Kaisarevic, 2011; Kalabokas, 2001; Montano-Soto, 2017; Mukerjee, 2016; Rao, 2008; Rumchev, 2004; Ulman, 2007; Zhang, 2017 и др.). Однако, помимо них, НПЗ

поставляют в окружающую среду и многие прочие вещества, специфическими среди которых являются такие химические элементы как Br, Sb, La, Tb, Yb, Ce, As, Hg, Zn, Co. К тому же нефтеперерабатывающие заводы отличаются между собой составом выбросов и их распространением (Летувнинкас, 2005; Мухаматдинова, 2012; Прохорова, 2010; Охлопков, 2015; Тимошин и др., 2015; Справочник по удельным выбросам..., 2005; Alonso-Hernandez, 2011; De la Campa, 2011; Du, 2015, Jafarinejad, 2016; Kulkarni, 2006; Lewis, 2012; Li, 2009; McCoy, 2010; Moreno, 2008; Nadal, 2004; Olmez, 1985; Wilhelm, 2001 и др.). Известны общие факторы, определяющие его для промышленных объектов (Летувнинкас, 2005). Однако многие из них индивидуальны для каждого предприятия и района: технические параметры, особенности места расположения (рельеф, преимущественное направление ветра и т. д.). НПЗ характеризуются наличием множества источников выбросов с различными параметрами (Абросимов, 2002; Шахова, 2018) и их сложным составом, характеризующимся выявленными специфическими элементами, концентрирующимися в различных компонентах природной среды.

В результате их разноса загрязнение распространяется от техногенных объектов в виде ореолов, форма и размер которого определяются параметрами предприятия, а также природными факторами, прежде всего, преимущественными направлениями ветра. Также на степень загрязнения атмосферы влияет мощность НПЗ, особенности технологических схем, арматуры, проектных решений, техническое состояние оборудования и коммуникаций.

Однако в Тюменской области добыча углеводородного сырья сосредоточена на севере на территории автономных округов. В области в узком понимании среди объектов топливной промышленности находятся Антипинский нефтеперерабатывающий завод и Тобольский нефтехимический комбинат. Предприятия ТЭК в России являются основным промышленным источником загрязнителей в окружающей среде: они создают 48% атмосферных выбросов, 27% сточных вод, более 30% твердых отходов, до 70% парниковых газов. В результате этого нефтепродуктами загрязнены и водные объекты, и почвы. Так, их концентрация в водных объектах крупных городов превышает ПДК в 9-15 раз (Абросимов, 2002). По данным Госкомстата РФ предприятия нефтеперерабатывающей отрасли производят 5% выбросов местных промышленных стационарных источников. Наибольшую долю отрасль занимает в производстве жидких и газообразных выбросов (6,5%). По загрязнению атмосферы нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность находятся на 4 месте среди прочих отраслей.

Следовательно, изучение влияния нефтеперерабатывающей промышленности на природные среды и объекты является важной геоэкологической задачей. Значение изучения почвы определяется следующими факторами. Во-первых, существенная часть выбросов НПЗ попадает в почву. Во-вторых, оттуда загрязнители распространяются по наземным живым организмам, прежде всего растениям.



Рассмотренная территория вблизи Антипинского НПЗ частично представлена промышленным ландшафтом, характеризующимся особыми закономерностями миграции химических элементов. Это обусловлено, во-первых, сокращенной ролью биологического круговорота, во-вторых, особым перечнем приоритетных загрязняющих веществ каждого объекта (Мачулина, 2015).

НПЗ создают по агрегатному состоянию газообразные, жидкие, твердые выбросы. Соответствующие им вещества выбрасываются в различные среды, но значительная часть поступает на окружающую территорию преимущественно атмосферным путем. Ввиду специфики работы затрагиваются в основном газообразные отходы.

Атмосферное загрязнение распространяется от техногенных объектов в виде ореолов, форма и размер которых определяются параметрами предприятия, а также природными факторами, прежде всего преимущественными направлениями ветра (Летувнинкас, 2005). Также на степень загрязнения атмосферы влияет мощность НПЗ, особенности технологических схем, арматуры, проектных решений, техническое состояние оборудования и коммуникаций.

На каждом предприятии существует множество источников поступления загрязняющих веществ в воздушную среду. Степень загрязнения атмосферы определяется в значительной степени их параметрами: высотой, скоростью, температурой, объемом выброса, расположением, размерами. На основе этого источники классифицируют по мощности (мощные, крупные, мелкие), высоте (высокие, средней высоты, низкие), температуре испускаемых газов (холодные, нагретые), устройству (организованные, неорганизованные), расположению (точечные, площадные), мобильности (стационарные, передвижные).

Среди них – выводные устройства (трубы), вентиляционные каналы, негерметичные фрагменты труб и т. д. (Летувнинкас, 2005). Выбросы в атмосферу газообразных веществ происходят при обычной работе НПЗ, аварийных ситуациях, ремонтных работах, остановках технологического процесса, выводах процесса на режим. Специфические для данных предприятий организованные источники представлены: дымовыми трубами печей, установками термического и каталитического крекинга и др., факельными установками, предохранительными клапанами и др. Их высота — 20-100 м. Через организованные источники исходит 15-30% валового выброса. Следовательно, большую часть вредных веществ создают неорганизованные выбросы. Это испарения из резервуаров, открытых поверхностей очистных сооружений сточных вод, нефтеловушек, градирен системы оборотного водоснабжения, нефтеотделителей и др., вентиляционный воздух, утечки через неплотности оборудования, сальники насосов, пробоотборные устройства (Методические указания по ..., 1982). Таким образом, важная особенность НПЗ — разнотипность и рассредоточенность источников выбросов.

Один из основных источников выбросов НПЗ — факел. Он служит для сжигания горючих газов и перевода опасных веществ в менее опасные (сероводорода — в сернистый газ, оксида углерода — в диоксид и т. д.). На факел приходится от 0,14% в среднем выбросов до 1% (от 0,19 до 6% в США). 90% их



массы составляют углеводороды, 2,6% - сероводород, 1,6% - водород, остальное — водяной пар и азот (Абросимов, 2002).

Что касается состава выбросов, каждый НПЗ испускает специфические загрязняющие вещества (Мухаматдинова, 2012). Это обусловлено разницей в составе перерабатываемого сырья и применяемых технологиях.

НПЗ выбрасывают в атмосферу летучие компоненты нефти и нефтепродуктов (Мухаматдинова, 2012) (предельные и непредельные углеводороды, полициклические ароматическое углеводороды, ароматические соединения, альдегиды и др.) (Методические указания по ..., 1982; Перельман и др., 1999), образующиеся при сжигании нефтяных остатков, оксиды серы, углерода, азота, продукты неполного сгорания, представленные сажей, полициклическими ароматическими углеводородами (Мухаматдинова, 2012), сернистый и серный ангидриды используемые реагенты (фенол, аммиак, ацетон, пыль катализаторов и др.), сернистые соединения нефти (меркаптаны, сероводород) (Методические указания по ..., 1982).

НПЗ выбрасывают в атмосферу от 0,1 до 0,45% перерабатываемого сырья. Особо отмечают значение факельного хозяйства, испускающего аэрозольные частицы, представленные канцерогенными углеводородами типа бенз(а)пирена и продуктами конденсации углерода (Абросимов, 2002).

К тому же на местных НПЗ безвозвратно теряется в среднем 1% от объема переработанной нефти. Большую их часть составляют атмосферные выбросы:

- потери за счет испарения (63%): из резервуаров и емкостей открытого типа с шатровой крышей для хранения нефти и нефтепродуктов (40%), с поверхности сточных вод в нефтеловушках, прудах, сооружениях биологической очистки, канализационных колодцев и открытых градирен (19%), при наливе в цистерны и товарных операциях на эстакадах открытого типа (1,3%), прочие источники, утечки, пропуски, воздушники и др. (2,7%);
- потери на факелах в случае отсутствия улавливающих факельный газ газгольдеров (17%);
- потери с катализаторов при сжигании кокса, на битумных установках и АВТ с газами разложения, от утечек и разливов, с глинами, шламами и т. д. (19%) (Абросимов, 2002).

В совокупности нефтеперерабатывающие предприятия производят более 1,05 млн т веществ, загрязняющих атмосферу: углеводороды (73%), диоксид серы (18%), оксид углерода (7%), оксид азота (2%) (Матвеев, 2007), по другим данным (Абросимов, 2002) – 78,8, 15,5, 17,46, 1,8% соответственно, а также 9,3% твердых веществ из 1,5 млн т. выбросов в год. Удельные выбросы (кг/т нефти) в атмосферу рассматриваемой отрасли составляют 3,83 для углеводородов, 0,79 для оксидов серы, 0,09 для оксидов азота, 0,41 для оксидов углерода. Также испускается около 2% от общего количества специфических веществ, к которым относят аммиак, ацетон, фенол, ксилол, толуол, бензол. (Абросимов, 2002).

При этом фильтрами улавливается меньше половины общего количества (47,5%). Среди них: углеводороды (23%), окислы серы (16,6%), углерода (7,3%),

азота (2%). От стационарных источников нефтеперерабатывающих предприятий улавливается около 46,2% выбросов и утилизируется 56,7% из уловленных, в основном углеводороды (25-70%) (Абросимов, 2002).

По степени экологической опасности выбросы НПЗ расположены так:  $H_2S > C_nH_{2n+2} > SO_2 > SO_3 > NO > NO_2 > CO > NH_3 > CO_2$  (Галиев и др., 2001).

На основе приведенных выше веществ выделен перечень специфических для выбросов нефтеперерабатывающей промышленности химических элементов: Br, Sb, La, Tb, Yb, Ce, As, Hg, Zn, Co (Химия тяжелых металлов..., 1975; Robson, 1993; Иванов, 1994; Шатилов, 2001; Ладонин, 2002; Лагутин, 2005; Плеханова, 2008; Кирюшин, и др., 2013; Vozlaker, et al., 2013; Шахова, 2016, 2017; Таловская и др., 2017). Исследования последних лет свидетельствуют о том, что в результате применения на предприятиях нефте и газопереработки специализированных катализаторов, в окружающую среду могут поступать редкоземельные элементы, роль и закономерности техногенной миграции которых остается малоизученной (Шахова, 2018).

Допустимый уровень загрязнения по предельным и непредельным углеводородам, сернистому газу, окиси углерода, сероводорода превышен в зоне 5-15 км от предприятия. Ароматические углеводороды и полициклические соединения распространяются на 1,5-3 км.

Распространение загрязнения определяется мощностью предприятия, высотой выброса, рельефом и т. д. Так, при мощности производства по сырью до 6 млн т/г допустимый уровень загрязнения наблюдается в 3-5 км от предприятия, при 6-9 млн т/г — 7-10 км, при более 9-12 млн т/г — 10-15 км и более.

Окись этилена, аммиак, синтетические жирные кислоты, спирты, предельные и непредельные углеводороды, фенол, кетоны, окислы азота и т. д. создают превышение допустимого уровня загрязнения до 10 км от предприятия, но наибольшая их концентрация в зоне 1–3 км от источника. Концентрации бенз(а)пирена близки к допустимым на расстоянии 1 км. Наибольшее загрязнение им происходит при использовании высокотемпературных процессов (газоразделения, производства полиэтилена, окиси этилена, изопропилбензола, ацетона фенола и т. д.).

В случае рассредоточения загрязнения НПЗ по большой территории наблюдается постепенное его снижение по мере удаления (в среднем в 1,5–2 раза через 2–3 км) (Методические указания по ..., 1982).

В зоне воздействия предприятия частицы, содержащиеся в газообразных выбросах, попадают в почву, оседая на ее поверхности и на растительности и смываясь с нее осадками. Загрязнение почвы распространяется до 3 км от НПЗ на глубину до 60–80 см.

Таким образом, специфическое воздействие предприятий нефтеперерабатывающей промышленности формируется в виде органических и неорганических соединений. К специфическим неорганическим химическим компонентам можно отнести следующие: Br, Sb, La, Tb, Yb, Ce, As, Hg, Zn, Co. Их поступление связано как с влиянием выбросов в результате переработки нефтей, так и с испусканием дополнительных веществ, как например, современных

катализаторов, содержащих в значительных количествах редкоземельные элементы. Важным является вопрос выявления компонентов, фиксирующих поступление этих новых техногенных элементов, установления степени концентрации и выявления как элементов-индикаторов, так и наиболее чувствительных систем к такому воздействию.

## 2. Геоэкологическая характеристика юга Тюменской области

### 2.1. Характеристика природного комплекса территории

Исследование проводилось на территории Тюменской области. Следует отметить, что существует две точки зрения на ее размеры: в совокупности с Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким автономными округами она протягивается от Казахстана до Северного ледовитого океана, а без них находится на юге Западной Сибири (рис. 1). Ввиду больших размеров рассматривать ее в целом в рамках данной работы некорректно, поэтому далее затронута в основном область без автономных округов.



Рисунок 1 – Схема расположения Тюменской области (<https://ru.wikipedia.org/wiki/...>) и административных районов (<https://uralvonline.ru/?id=fedokryga/yf-okryg3>)

Мы рассматриваем локальные территории, находящиеся в зоне Тавдинской провинции Тюменской области в районе Туринской подпровинции. Локальные территории, на которых проводились работы, ограничены реками Тура, Тобол и Тавда (рис. 2).

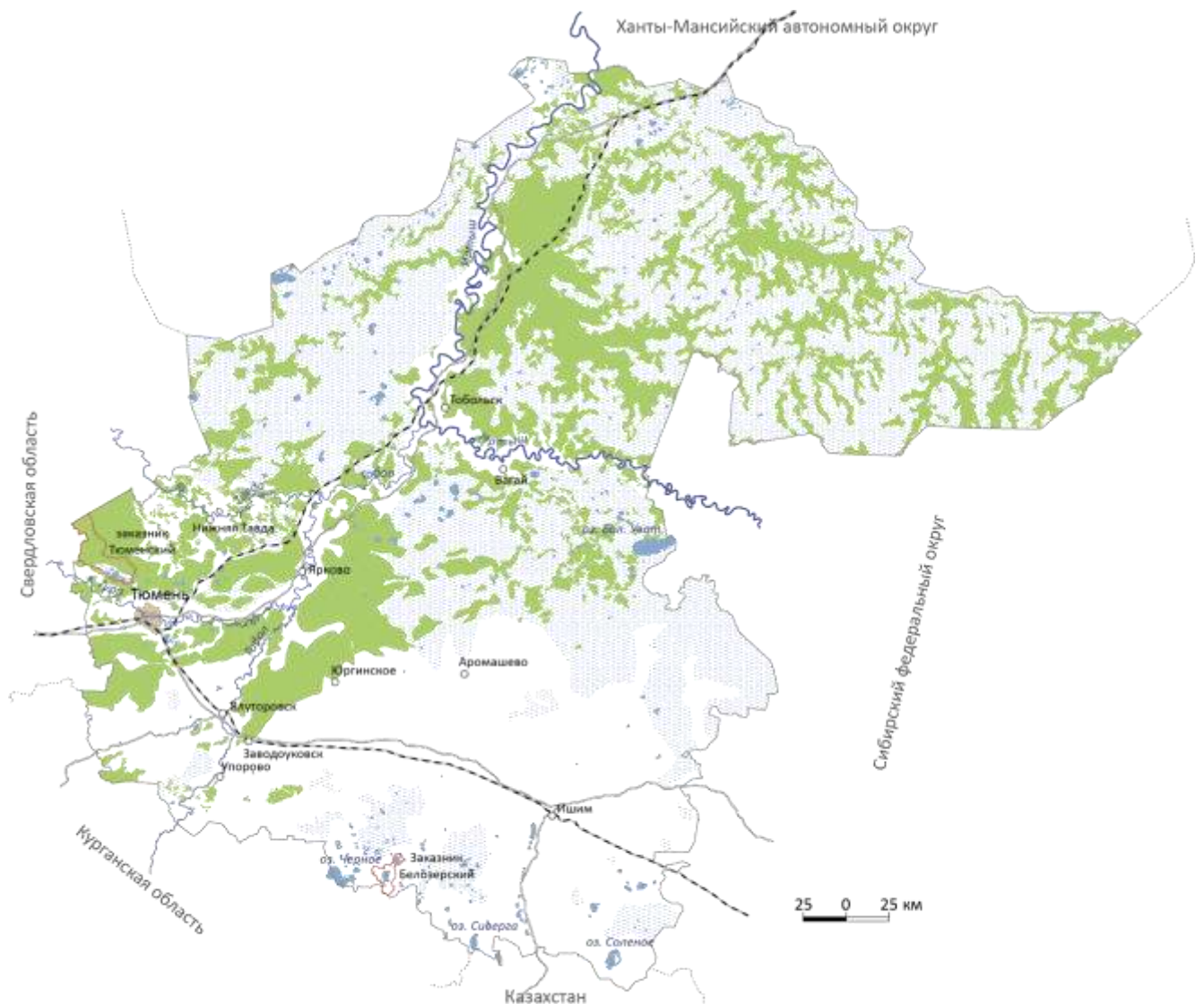


Рисунок 2 – Карта-схема территории Тюменской области и граничащих с ней территорий

Тюменский федеральный заказник, выступающий условно-фоновой территорией, и район расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода, расположенного в непосредственной близости от областного центра, входят в состав территории, которую мы обозначаем как юго-запад Тюменской области.

Этот район расположен в зоне Западно-Сибирской аккумулятивной равнины, морской — на севере и озерно-аллювиальной — на юге (Кузин и др., 1965).

Высокое положение уровня Полярного бассейна оказало решающее влияние на условия осадко- и рельефообразования в центральных и южных районах равнины, в которых происходило накопление озерных и озерно-аллювиальных отложений. Во время максимума Ямальской трансгрессии к югу от Сибирских Увалов образовался громадный пресноводный бассейн, соединявшийся с морским бассейном на севере проливами, существовавшими по долинам Оби, Пура и других рек.



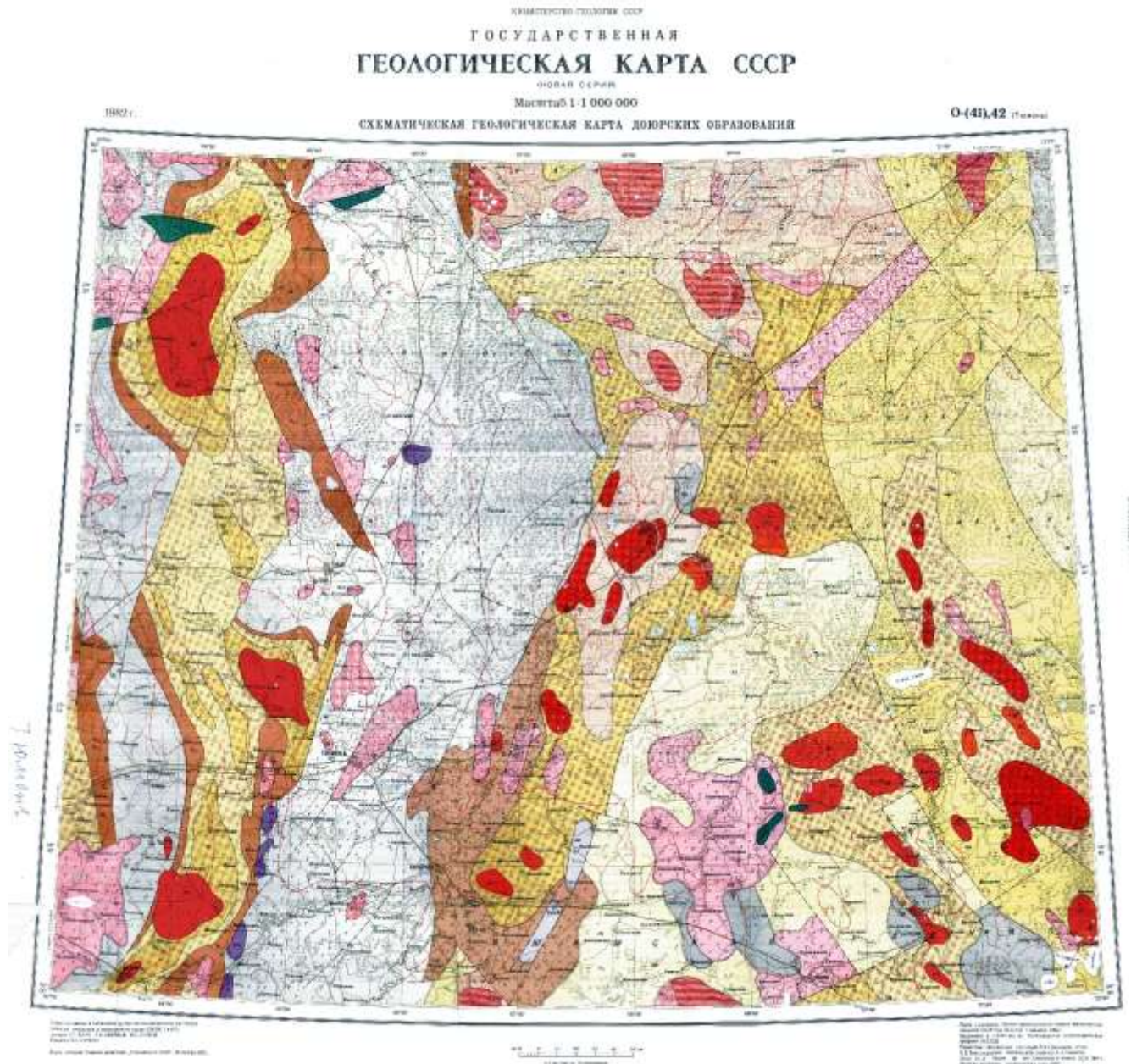


Рисунок 3 – Геологическая карта СССР (Тюменская область)  
(<http://local.www.geokniga.org/maps/2293>)



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Продолжение рисунка 3

Таким образом, во время наиболее высокого стояния уровня Полярного бассейна (салехардско-санчуговско — самаровский век) почти вся Западно-Сибирская низменность была покрыта водами единого бассейна, на севере —

морского, на юге — пресноводного. Берегами его служили обращенные к низменности склоны горного обрамления (Кузин и др., 1965).

За время Ямальской трансгрессии в Западно-Сибирской равнины накопилась толща водных осадков: на севере — морских, ледово-морских, аллювиальных и других; на юге — преимущественно озерно-аллювиальных. В распределении мощностей этих отложений наблюдается строгая закономерность: в погребенных долинах она во много раз больше, чем на водоразделах. Средние мощности нарастают с юга на север (Кузин и др., 1965).

По данным (Гаджиев, 1982; Волков и др., 1969) и др., большая часть пород изучаемой территории образовалась в результате накопления твердых частиц и растворимых солей, принесенных воздушными и водными потоками.

В идущих в настоящее время процессах почвообразования отражена стадийность в связи с изменениями, климатических условий. Происходит смена процессов засоления осолонцеванием, осолодением и оподзоливанием. Почти во всех почвах отмечены реликты прежних стадий почвообразования, особенно осолодения. Признаки осолодения серых лесных почв отмечены почти всюду (Западная Сибирь, 1963). Для всех почв характерно сильное проявление дернового процесса. Почвенный покров характеризуется комплексностью и сочетаниями в зависимости от элементов микро- и мезорельефа. На дренированных участках основу его составляют дерново-подзолистые, часто многогумусные почвы, в сочетаниях с серыми лесными и местами, на обращенных к югу наклонных поверхностях, лугово-черноземными почвами. Для слабо дренированных междуречий характерны сочетания луговых, серых лесных осолоделых глееватых и черноземно-луговых осолоделых почв. Плоские недренированные междуречья заняты торфяно-глеевыми и торфяно-перегнойно-глеевыми почвами, по периферии болот развиты лугово-болотные и луговые почвы. В более южных частях по краям болот небольшими пятнами появляются солончаки, солонцы и солоды (Физико-географическое районирование ..., 1973).

Согласно физико-географическому районированию Западной Сибири (Григор и др., 1961), область дифференцирована на зоны тайги, лиственных лесов, лесостепи. По другой схеме районирования (Прокаев и др., 1962) она включает лесостепную и степную зоны. По схеме (Западная Сибирь, 1963) в область входят зоны лесов и лесостепи. Районирование (Гвоздецкий и др., 1973) также включает лесную и лесостепную зоны. По данным последнего источника изучаемые объекты расположены в пределах Туринской подпровинции Тавдинской провинции лесной области в зоне подтайги.

Тавдинская провинция основной своей частью располагается за административными границами Тюменской области, и только узкая восточная полоса ее находится в пределах области. Северная часть провинции занимает междуречье Тавды и Конды, а южная — междуречье Тавды и Туры (Физико-географическое районирование ..., 1973).

В основании равнины залегают олигоценовые континентальные отложения, представленные алевритами, глинами и песчаными разностями, повсеместно перекрытые озерно-аллювиальными и аллювиальными песчано-суглинистыми

отложениями. По данным геологической карты СССР (Тюменская область) (рис. 4) исследуемой район ТФЗ находится на порфиритоидах, кварцево-серицитах и мраморах нижнего палеозоя, а значительная часть г. Тюмени, включая территорию расположения АНПЗ – на базальтах, туфах, туфопесчаниках, терригенных и глинистых отложениях (туринской серии) нижнего-среднего отделов триасовой системы.

Территория представляет собой плоскую, местами пологоволнистую равнину. Максимальные абсолютные высоты поверхности едва достигают отметок 90 м. Равнина слабо дренирована небольшими реками: притоками Тавды — Черной, Волчимьей, Иксой, Каарабашкой; притоком Конды — Кумой и реками Ноской и Лаймой — левыми притоками Оби.

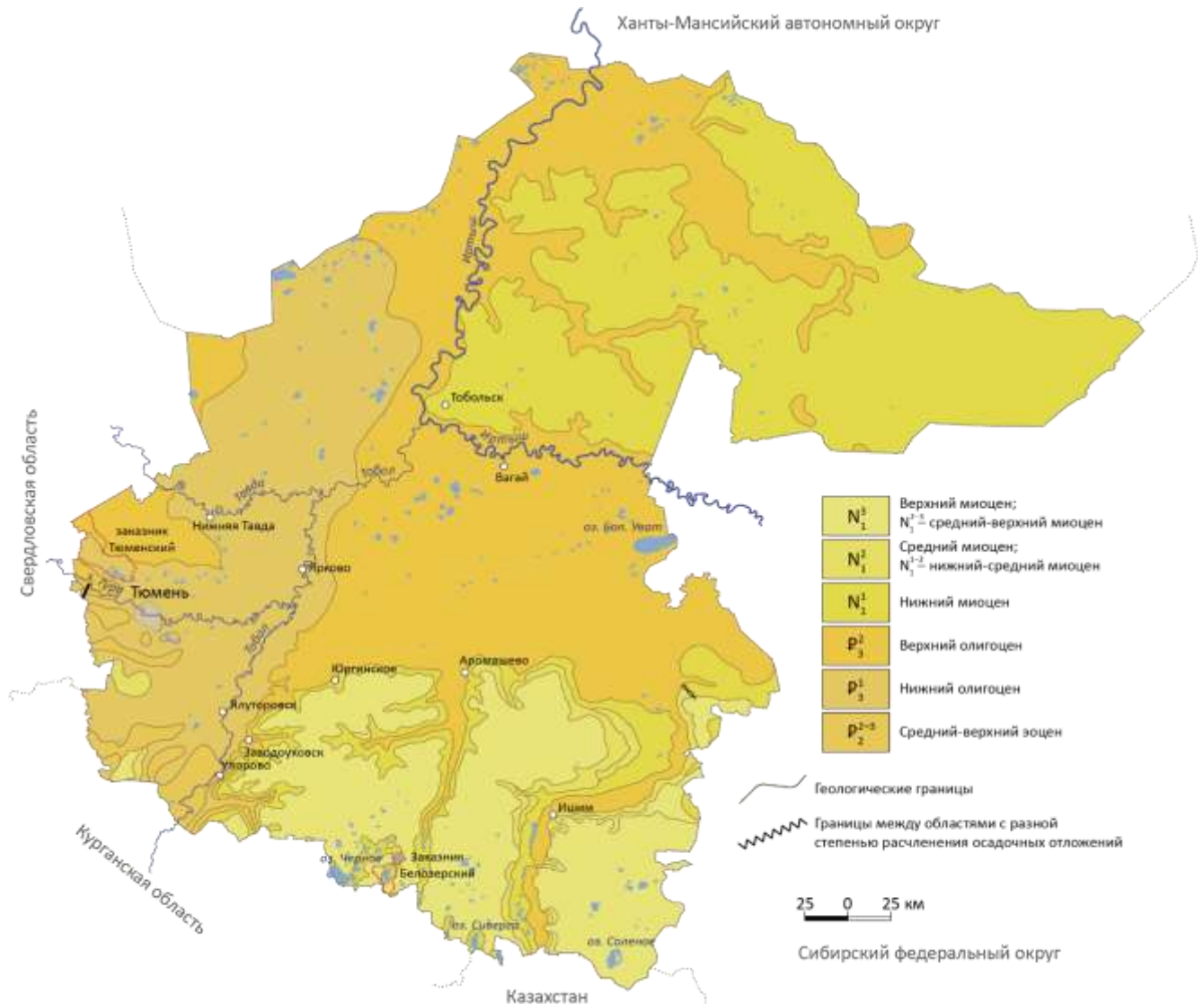


Рисунок 4 – Геологическая карта Тюменской области (южные районы) (на основе ([http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya\\_obl/](http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya_obl/)))

Провинция достаточно увлажнена, в среднем выпадает 450-500 мм осадков, большая часть которых приходится на теплое время года (60%). Лето умеренно теплое, средняя температура июня около 17,5°C. Сумма температур выше 10°

достигает 1600°. Продолжительность вегетационного периода 100-110 дней. Зима холодная, снежная, толщина снежного покрова достигает 80 см. Средняя температура января – -19°С. Переходные сезоны более продолжительны, чем в соседних южных провинциях.

Дренированные участки на севере провинции заняты среднетаежными лесами, южнее — южнотаежными, а междуречные пространства Туры и Тавды — подтаежными осиново-березовыми мелколиственными лесами со значительной примесью сосновых.

Данная территория характеризуется низким потенциалом устойчивости к техногенному воздействию ввиду слабой способности к самоочищению природных ландшафтов от неорганических и органических загрязнителей, обусловленной высокой степенью заболоченности территории.

Для данной территории характерно преимущественно юго-западное направление ветра (рис. 5). Однако в весенне-летний период зафиксирована постепенная смена ветра преимущественно на западный, северо-западный и северный. К тому же большую часть года присутствует восточный ветер (<http://www.nashgorod.ru/forum/viewtopic.php?f=34&t=323317>, <https://world-weather.ru/archive/russia/tyumen/>).

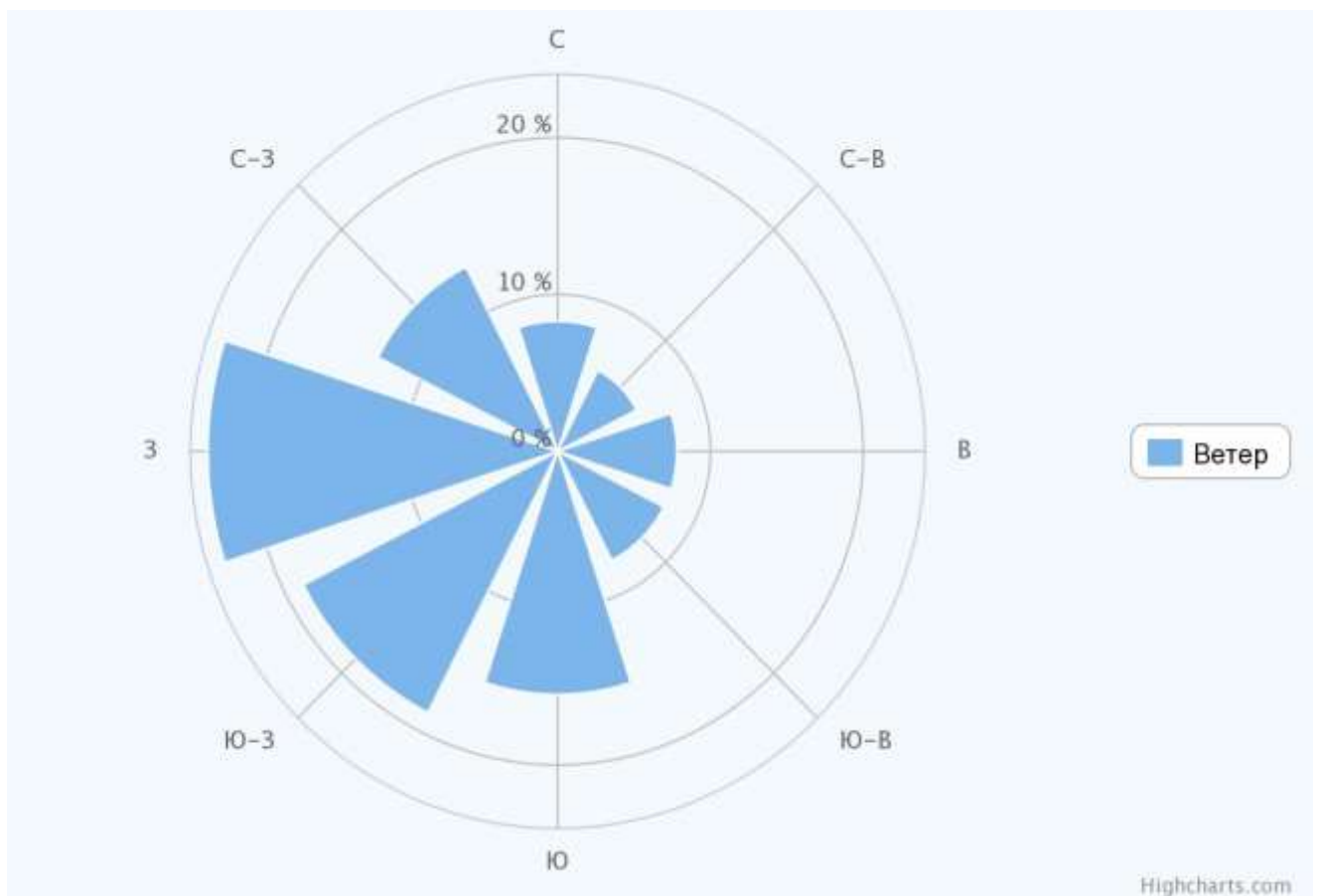


Рисунок 5 – Роза ветров г. Тюмени (<https://world-weather.ru/archive/russia/tyumen/>)

Данные для фоновых территорий Западной Сибири приведены в работах (Савичев и др., 2011 и др., Квашнина, 2007 и др.), включая воды (Минкина и др., 2002, 2011 и др.).

## 2.2. Характеристика техногенного комплекса территории

Тюмень граничит с регионами с высокими и низкими модулями техногенного давления и имеет высокий уровень высокотоксичных эмиссий. В военных докладах «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации» (Государственный доклад о ..., 1992) начала 90 гг. Тюмень отнесена к городам с превышением максимальных разовых концентраций более 10 ПДК по 1-3 веществам. В «Обзоре загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1998 г.» Тюмень входит в перечень городов с наибольшим уровнем загрязнения воздуха формальдегидом, взвешенными веществами, свинцом. Основным источником загрязнения атмосферы является автотранспорт (90% в 1995 г.) (Камерилова, 1997). Выбросы составляют в основном твердые вещества, оксиды углерода, азота, серы. Помимо Антипинского НПЗ промышленные источники загрязнения города представлены ТЭЦ, заводом «Очаково», ОАО «Газтубсервис» и др. (Гусейнов, 2001). По данным мониторинга загрязнения снежного покрова к специфическим для Тюмени загрязнителям относятся металлы в основном 1 и 2 класса опасности. Так, загрязнение снегового покрова свинцом составляло 3,3-256,7 ПДК в 2012 г. и возросло позже (Крестьянникова и др., 2015). Содержание меди и кадмия не превышает ПДК, но в рассматриваемом Юго-восточном районе одно из наибольших по городу (0,3-0,4 мг/л). Загрязнение цинком там максимально (3,4 ПДК) (Гарманова и др., 2012). Вопросы геоэкологии территории города затронуты в работах (Ваймер, 2006; Судакова, 2006; Шигабаева, 2015; Скипин и др., 2014, 2018; Константинова и др., 2018; Калинин и др., 2004; Берсенева, 2015).

Антипинский нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) является единственным частным, независимым от нефтяных компаний НПЗ, созданным в последние 25 лет. Это единственный промышленный НПЗ в Тюменском регионе и Уральском федеральном округе. Он расположен в промзоне Тюмени у поселка Антипино Тюменской области.

Завод основали в 2004 г. под названием ЗАО «Антипинский НПЗ». В следующем году завод переименовали в АО «Антипинский НПЗ».

Так как возведение завода с высокой глубиной переработки нефти при производстве топлива и нефтехимической продукции требует больших вложений, его осуществляют технологическими очередями. Каждая из них подразумевает создание законченного цикла переработки нефти, производства определенного перечня нефтепродуктов и их отгрузку потребителям. По такой же стратегии развивается Антипинский НПЗ.

I технологическая очередь была создана в 2006 г. Первоначальная производительность завода по сырью составляла 0,4 млн тонн в год. После модернизации 2008 г. ее повысили до 0,74 т/г. Глубина переработки нефти была



равна 55%. Объем товарно-сырьевого парка составлял 52 тыс. м<sup>3</sup>. Мощность по наливу нефтепродуктов – 3 млн т/г.

II технологическую очередь ввели в 2010 г. Первоначальная производительность нового оборудования составляла 2,5 млн т/г, а после модернизации 2012 г. повысилась до 3,3 млн т/г. Суммарная производительность завода достигла 4 млн т/г. Глубина переработки нефти – 52%. Суммарный объем товарно-сырьевого парка достиг 172 тыс. м<sup>3</sup>. Суммарная мощность завода по наливу нефтепродуктов повысилась до 8 млн т/г.

III технологическую очередь ввиду масштабности задач разделили на 4 этапа.

- Первоначальная производительность составляла 3,7 млн т/г, а суммарная мощность завода возросла до 7,74 млн т/г. Глубина переработки была равна 50%. Объем товарно-сырьевого парка составлял 140 тыс. м<sup>3</sup>. Суммарный объем товарно-сырьевого парка возрос до 332 тыс. м<sup>3</sup>.
- II этап III технологической очереди, осуществленный в 2015 г., был направлен на повышение качества дизельного топлива. В результате модернизации производительность возросла до 5 млн т/г, а суммарная мощность завода достигла 9 млн т/г. Суммарный объем парка превысил 300 тыс. м<sup>3</sup>.
- Цель III этапа III технологической очереди состояла в повышении глубины переработки нефти до 98%.
- IV этап III технологической очереди 2018 г. ориентирован на переход на производство высокооктанового бензина стандарта «Евро-5».

IV технологическая смена определяет развитие завода в 2017 – 2019 гг.

В настоящее время мощность переработки Антипинского НПЗ составляет 9 млн т/г. Глубина переработки равна 98%. В России это один из двух НПЗ с таким показателем. Завод производит дизельное топливо, соответствующее нормам «Евро-5», а с 2018 г. – бензин тех же стандартов. Помимо этого продукция представлена бензином газовым стабильным, коксом нефтяным, сжиженными углеводородными газами, серой технической гранулированной газовой. Площадь территории завода составляет 200 га.

В целом, территория исследования характеризуется своеобразной природно-техногенной обстановкой, в условиях которой будет формироваться специфический элементный состав компонентов природной среды.

Природно-техногенная территория представлена окрестностями Антипинского НПЗ (природно-техногенная территория радиусом около 2 км от объекта).

Антипинский НПЗ находится на равнинной территории неподалеку от реки Туры (к северу от него). На юге расположены лиственные, хвойные и смешанные участки леса. Наблюдается возрастание доли хвойных пород к югу. На севере находится преимущественно урбанизированная территория. На востоке и западе находятся также природно-техногенные территории, но с участками лиственного леса. Таким образом, район имеет различную степень техногенного преобразования. Наиболее затронута территория к северу от завода,



представленная урбанизированным районом в виде поселка Антипино до берега реки Тура. В южном направлении находится наоборот наименее затронутая техногенезом территория, представленная лесом с небольшим количеством техногенных объектов. На востоке и западе расположены урбанизированные территории с небольшими участками леса.

Почвы представлены тем же типом, что условно-фоновые, но отличаются мощностью горизонтов и гранулометрическим составом, что обусловлено другими подстилающими породами. По данным Геологической карты Тюменской области (южные районы) ([http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya\\_obl/](http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya_obl/)) они представлены средне- и верхнеэоценовыми алевристыми зеленоцветными глинами тавдинской свиты с присыпками и гнездами песков и алевритов, прослоями кварцево-глауконитовых песков и включениями глинистых сидеритов. К югу отложения сменяются нижнеолигоценовыми песками куртамышской свиты с прослоями глин, алевритов, с линзами лигнита и включениями растительных остатков. Это объясняет смену лиственных лесов хвойными.

### 3. Материалы и методы

#### 3.1. Территории расположения точек отбора проб

Исследование проводилось на условно-фоновой и природно-техногенной территориях Тавдинской провинции Тюменской области.

Условно-фоновая территория выбрана в пределах Тюменского федерального заказника, находящегося в пределах Нижнетавдинского района Тюменской области, в юго-западной части Западно-Сибирской низменности, в системе Тарманского озерно-болотного массива, в междуречье среднего течения Тавды и Туры (рис. 6) (Гуров и др., 1980).



Рисунок 6 – Схема расположения Тюменского федерального заказника (<http://oopt.info/index.php?oopt=547>)

На территории Тюменского федерального заказника у его восточной границы вблизи поселка Бухтал для отбора проб была создана площадка. В соответствии с методикой (Методы изучения лесных сообществ, 2002) ей была придана прямоугольная форма и площадь 0,25 га. Размеры определялись возрастом древостоя и его плотностью произрастания. Так, на данном участке расположен древостой IV класса возраста в количестве 200 деревьев диаметром более 4-6 см. Пробная площадь типична для данной местности и однородна на всем протяжении по мезорельефу и условиям увлажнения, растительности и почвам, заложена вдали от дорог, гарей, лесосек, линий электропередач, рекреационных маршрутов, сельскохозяйственных угодий. Схемы расположения площадки на территории заказника и точек отбора проб представлены на рис. 7.

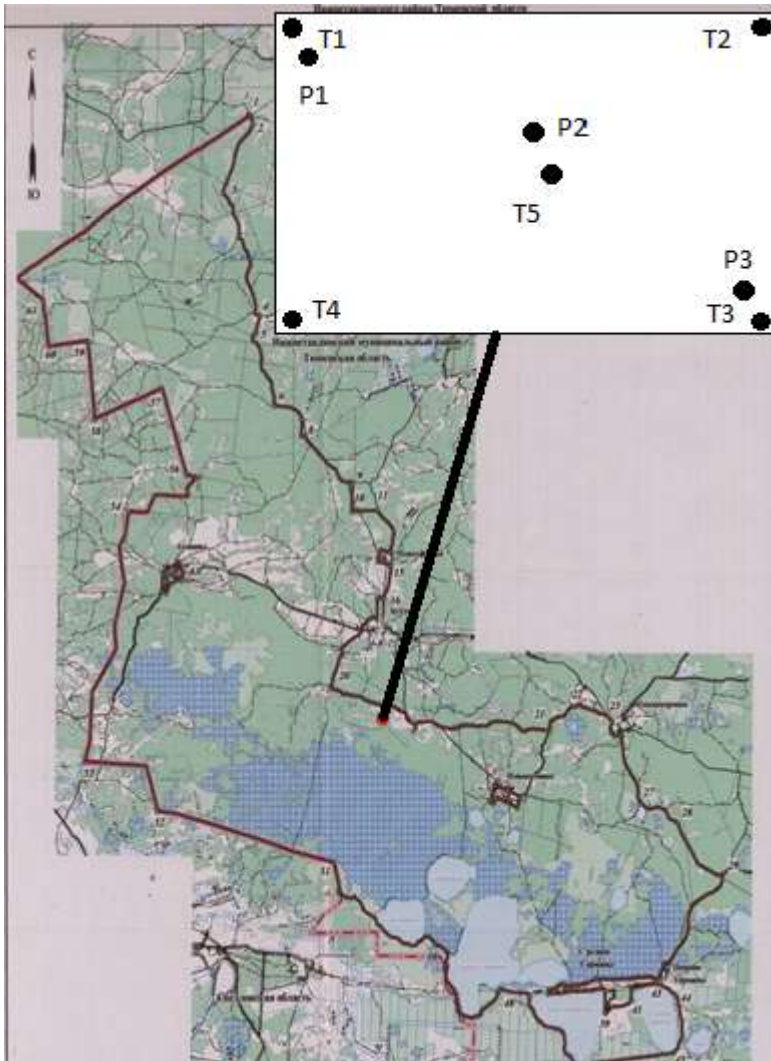


Рисунок 7 – Схема заказника «Тюменский» (Гуров и др., 1980) (точкой отмечено место расположения пробной площадки (площадь – 0,25 га)) и схема пробной площадки (Т – точка, Р – разрез)

Параметры пробной площадки приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристика площадки

Местоположение	Район Нижне-Тавдинский. Тюменский федеральный заказник. Квартал № 660. П. Бухтал. Координаты N 57,47792±7 м E 065,17618 м
Рельеф	Равнина
Микрорельеф	Вершина мезоповышения грибовидного
Положение разреза относительно рельефа и экспозиции	Поперек повышения, западное
Растительный покров	Березово-сосновый с липой лес
Угодие и его культурное состояние	Лес

## Продолжение таблицы 13

Признаки заболоченности, засоленности и другие характерные особенности	—
Глубина и характер вскипания от нее	—
Уровень почвенно-грунтовых вод	Ниже 2 м
Материнская и подстилающая порода	Верхнеолигоценовые алевриты и алевристые глины туртасской свиты с линзами тонкозернистых песков
Название почвы	Дерново-подзолистая на песчаных аллювиальных отложениях

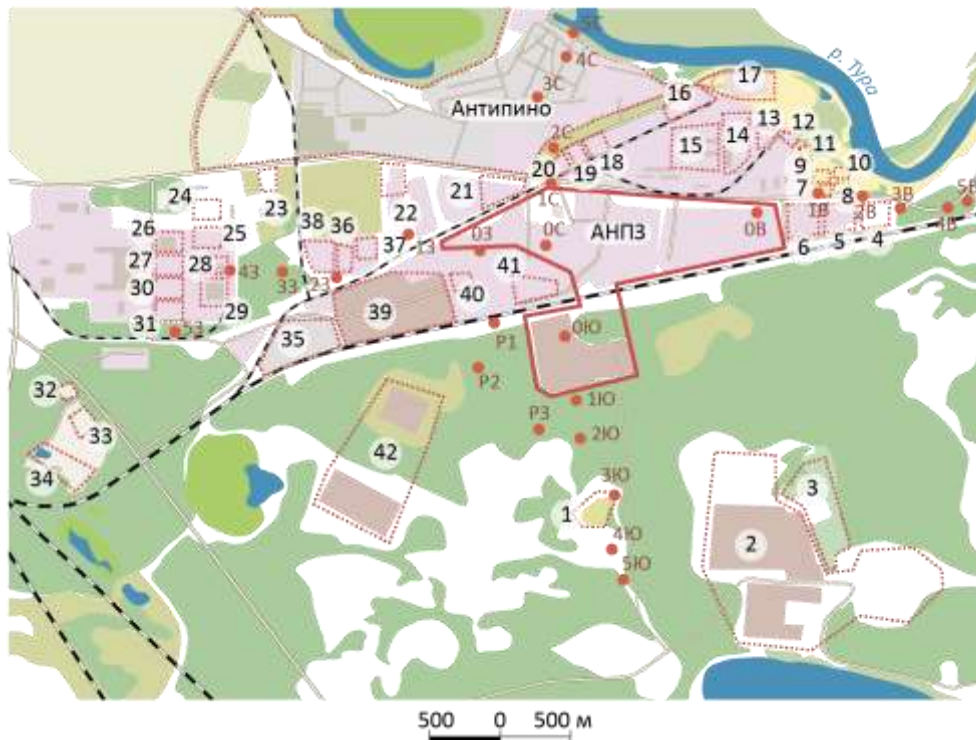


Рисунок 8 – Территория расположения Антипинского НПЗ, размещение точек отбора проб. *Примечание: В – восток, Ю – юг, С – север, З – запад. Легенда: 1 – Песчаный карьер; 2 – Тюменское высшее военно-инженерное командное училище им. маршала инженерных войск А.И. Прошлякова, Военная комендатура гарнизона 3 разряда г. Тюмени; 3 – Жилой район; 4 – Автодром; 5 – ООО МАКСТЕРМ (Котельное оборудование / котлы, системы отопления / водоснабжения / канализации / техобслуживание теплоэнергосетей); 6 – ООО Газпром Трансгаз Сургут Управление технологического транспорта и специальной техники; 7 – Автоцентр-Тюмень (Официальный дилер HINO, Iveco, КамАЗ), ЭнергоГаз (Торговая компания); 8 – ООО ВОСТОК (производство материалов на основе щебня и цемента); 9 – СтройКаменьПлюс (ЖБИ, кольца от производителя, плиты ПДН); 10 – Тюмтермотранс (торгово-ремонтная*



компания, официальный дилер Carrier); 11 – Европа+Азия (Транспортная компания); 12 – ООО "Тюменские Аэрозоли"; 13 – Производственно-складская база, ООО Комплект-Центр ЖБИ; 14 – База КСУ АНПЗ; 15 – ООО "Газпром проектирование" (Тюменский экспериментальный завод Нефтегазовое оборудование); 16 – ООО "АНПЗ-Продукт" (Нефтепродукты / ГСМ); 17 – Очистные сооружения АНПЗ; 18 – ООО Климат Тюмень (Ремонт / обслуживание климатических систем автомобиля); 19 – ТюменьАвтоДеталь (Автоцентр); 20 – ПрофПолимерМеталл (Производственная компания: Полимерная порошковая окраска / Заборы / Ограждения / Кованые изделия / Металлоконструкции для строительства зданий / сооружений / Сварочные работы); 21 – ФлотСервис (Транспортная компания); 22 – Техноцентр (Теплоснабжение / Энергоснабжение / Водоснабжение); 23 – АМС+ (Центр авторазбора); 24 – Рубин (Конноспортивная база); 25 – СВЕЖИЙ ХЛЕБ (Хлебокомбинат); 26 – Варвара (Лесопромышленное предприятие), Базовое машиностроение (Научно-производственное объединение); 27 – Профмодуль (Кровельные материалы / Фасадные материалы / конструкции / Сэндвич-панели / Металлообработка); 28 – Бентек (Производственная компания: Нефтегазовое оборудование / Буровое оборудование / Металлоконструкции для строительства зданий / сооружений); 29 – Baker Hughes, ООО Тюменский завод нефтепромыслового оборудования; 30 – Техпромсервис (Металлообработка / Антикоррозийная обработка металлоконструкций / Нефтегазовое оборудование); 31 – ТСЗП-Тюмень (Компания по нанесению металлических коррозионностойких, износостойких покрытий и пескоструйной обработке); 32 – ООО ТПК ГАЗ (АЗС); 33 – АГНКС ГазпромТрансгазСургут; 34 – Стальной азарт (стрельбище); 35 – Мкр. Лесной; 36 – Виток (Производственная компания: Системы перегородок / Изготовление витражей / мозаики / Входные двери); 37 – СМК (Строительная компания); 38 – Sherwood (Столярная мастерская), СТЕКЛО ТОН 72 (Производственная компания: Тонирование стёкол зданий / конструкций / Тонировочные / защитные плёнки для стёкол зданий, конструкций / Окна / Системы перегородок / Изготовление витражей / мозаики), Доступная мебель (Мебельная производственная компания), АкваЛакс (Компания по производству и продаже лакокрасочной продукции), Луссо Палаццо (Окна / Системы перегородок / Фасадные работы / Входные группы / Светопрозрачные конструкции); 39 – Казармы; 40 – ПСК Трик (Строительная компания); 41 – Опытный Завод Гусеничных Тягачей, СпецБурМаши (Строительно-монтажная компания); 42 – Полигон.

Схема основной территории Антипинского НПЗ представлена на рис 9.

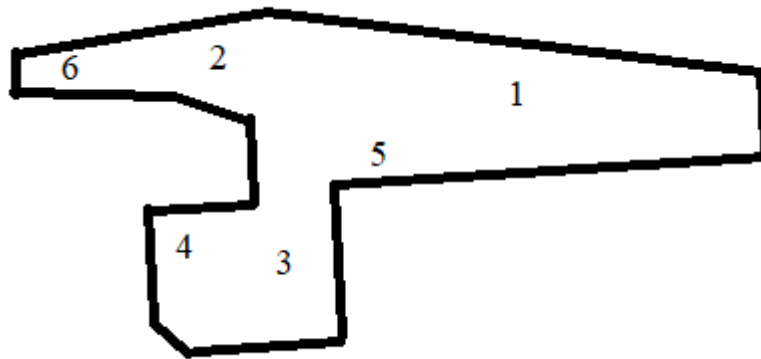


Рисунок 9 – Схема основной территории Антипинского НПЗ: 1 – основное производство; 2 – административные здания; 3 – факелы; 4 – подстанция; 5 – станция ж. д. налива; 6 – дополнительные строения.

Отбор проб производился в соответствии с (ГОСТ 17.4.3.01-2017) по системе концентрических окружностей. На природно-техногенной территории места отбора расположены по сторонам горизонта от объекта по 5 точек в каждую и объединены в 3 зоны по расстоянию от НПЗ (табл. 14, рис. 8). Помимо этого, 3 разреза размещены в южном направлении на территории, наименее затронутой техногенезом и близкой по ландшафту к условно-фоновой. Схема расположения точек представлена на рис. 8.

Таблица 14 – Величина зон отбора проб (расстояние от НПЗ, м)

Ближняя	420-490
Средняя	700-1130
Дальняя	1300-2170

### 3.2. Методики пробоотбора и пробоподготовки

#### 3.2.1. Литогеохимические исследования

Отбор почв производился из разрезов в соответствии с рекомендациями Б.Г. Розанова, Г.С. и А.Г. Фоминых и методами изучения лесных сообществ (Розанов, 2004; Методы изучения лесных сообществ, 2002; Фомин, и др. 2001). По глубине разрезы достигали материнской породы (160-180 см для почв подзолистого типа). На основных точках природно-техногенной территории вместо разрезов использовались прикопки глубиной около 10 см для отбора верхнего горизонта почвы в соответствии с рекомендациями Г.С. и А.Г. Фоминых (Фомин и др., 2001).

Согласно классификации СССР, почвы условно-фоновой территории представлены дерново-подзолистым типом (Классификация и диагностика ..., 1977), материнские породы – песчано-аллювиальными отложениями, о чем свидетельствует преобладание легких и средних суглинков. Строение почвенного профиля приведено в табл. 15. Характеризуется наличием переходных горизонтов



A1A2 и A2B. A0 представлен подстилкой, которая в данной работе рассматривается отдельно от почвы.

Таблица 15 — Строение почвенного разреза условно-фоновой территории

Горизонт	Глубина, см
A0	0-4
A1	4-12
A1A2	14-24
A2	24-52
A2B	52-60
B	60-90

Почвы природно-техногенной территории представлены дерново-подзолистыми и урбаноземами в зависимости от техногенной измененности. При этом строение разрезов отличается от условно-фоновой территории по мощности горизонтов (табл. 16).

Таблица 16 — Строение почвенного разреза природно-техногенной территории

Горизонт	Глубина, см
A0	0-4
A1	4-13
A1A2	13-32
A2	32-49
A2B	49-70
B	70-85
BC	85-120

### 3.2.2. Отбор проб растительных материалов

В данной работе среди органических компонентов биогеоценозов изучались подстилка, травостой, березовые листья.

Подстилка отбиралась на местах разрезов (прикопок) перед началом почвенных работ.

Далее приведено геоботаническое описание пробной площадки.

- Название: Березово-сосновый лес с участием липы и осины.
- Местоположение: Тюменский федеральный заказник.
- Высота и диаметр:
  - сосна h=30, d=32,5;
  - береза h=24, d=19,5;
  - липа h=12, d=8,5;
  - осина h=16, d=13.
- Почвы: Дерново-подзолистые на песчано-аллювиальных отложениях.
- Дрестовой: 5БЗС1Л1О (среднее кол-во деревьев: 5 берез, 3 сосны, 1 липа и 1 осина)

- Подлесок: Липа сердцевидная (*Tilia cordata*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), можжевельник (*Juniperus communis*).
- Подрост: Липа обыкновенная (*Tilia europaea*), кедр (*Cedrus*), ель (*Picea*).
- Травяной и кустарниковый ярус: хвощ зимующий (*Equisetum hyemale*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), герань лесная (*Geranium sylvaticum*), черника (*Vaccinium myrtillus*), земляника (*Fragaria*), костяника (*Rubus saxatilis*), майник (*Maianthemum*), медуница (*Pulmonaria officinalis*), звездчатка (*Stellaria*), осока стоповидная (*Carex pediformis*), клевер горный (*Trifolium montanum*), полынь (*Artemisia vulgaris*), воронец колосистый (*Actaea spicata*), тысячелистник (*Achillea*), чина гороховидная (*Lathyrus pisiformis*), фегоптерис связывающий (*Phegopteris connectilis*), вороний глаз (*Paris*), смородина красная (*Ribes rubrum*), дикарка (*Barbarea vulgaris*).

В травяно-моховом покрове преобладают зеленые мхи и осоки, а на отдельных участках – вейник и небольшие куртины хвощей (Гуров и др., 1980).

Травянистые растения собирали методом укуса с площадок 1 м<sup>2</sup> вблизи почвенных разрезов (прикопок).

Листья собирали с нескольких берез вблизи разрезов (прикопок). Выбор березы обусловлен, в том числе, высокой пылеудерживающей способностью ее листьев (Панин и др., 2011-2013; Агеева и др., 2012). Состав древесных растений условно-фоновой территории представлен в табл. 17.

Таблица 17 — Состав древесных растений на пробной площадке

Сосны	Березы	Осины	Липы	Всего
74	86	18	56	234

На природно-техногенной территории наименее затронутые техногенезом участки представлены лиственными и смешанными лесами в южном направлении и лиственными лесами в восточном, и западном направлениях. При этом на юге с удалением от НПЗ наблюдается возрастание доли сосен.

Видовой состав растительности территории аналогичен Тюменскому федеральному заказнику.

На каждой точке производился отбор почвы, подстилки, травостоя, березовых листьев при наличии.

Все собранные материалы были упакованы в полиэтиленовые пакеты и высушены при естественной температуре.

### 3.2.3. Пробоподготовка

#### **Озоление растительных материалов**

Пробы травы, подстилки и листьев подготавливались по технологии сухой минерализации в соответствии с ГОСТ 26929-94. Данный метод позволяет получить концентраты изучаемых материалов, в которых содержание химических

элементов выше в десятки – сотни раз в сравнении с высушенными пробами. Однако при этом утрачиваются такие летучие элементы, как Hg и др.

Озоление состоит в полном разложении органических веществ путем сжигания материалов в электропечи при контролируемом температурном режиме. Предварительно пробы были высушены на воздухе. Затем их измельчили с применением кофемолки. Первоначально пробы подвергли озолению на электрической плитке в фарфоровых чашках в количестве около 10 г при температуре 250°C до перехода в состояние черной золы. Далее разложение производилось в печи на протяжении 5 ч с постепенным повышением температуры с 250 до 450°C до перехода материала в состояние белой золы. Перед началом работ и по окончании проводилось взвешивание на лабораторных весах.

#### **Подготовка почвы к рентгеноструктурному анализу**

Почву растерли в ступке до состояния пудры и помещена в кювету. Использовались смешанные образцы: 1 с условно-фоновой территории, 3 с природно-техногенной по одному с каждой зоны удаления от объекта.

#### **Подготовка материалов к электронной сканирующей микроскопии**

Из почвы удалили глинистую фракция путем промывания. В дальнейшем осуществили сушку. Изучено 2 образца почвы и 2 пробы березовых листьев (по одному для условно-фоновой и природно-техногенной территории).

#### **Подготовка материалов к анализу на ртуть методом атомно-абсорбционной спектрометрии**

Почву просеяли через 2 мм сито, растительные материалы измельчили с применением кофемолки.

#### **Подготовка материалов к инструментальному нейтронно – активационному анализу**

Почву просеяли через 2 мм сито и измельчена с применением виброистирателя. Органические материалы озолили. Далее измельченная почва и органические материалы в озоленном виде упаковали в пакеты из алюминиевой фольги в количестве по 100 мг и отправили на реактор.

#### **Подготовка почвы к атомно-абсорбционной спектрометрии**

Данный вид анализа проводился в лаборатории биогеохимии ИПА СО РАН г.Новосибирск. Отобрали точную навеску почвы и растворили в растворителях для разрушения структуры вещества и полного перевода определяемого химического элемента в раствор. Затем подготовили рабочий раствор для анализа с учетом концентрации матрицы пробы и определяемого элемента для уменьшения матричных влияний и обеспечения соответствия диапазону определяемых концентраций. Далее с применением стандартных образцов (ГСО-290) подготовили серия градуировочных растворов, охватывающих необходимый

для определяемого химического элемента диапазон градуировочного графика (Чегринцев, 2014).

### 3.3. Аналитические исследования

#### **Гранулометрический анализ почв**

Изучен гранулометрический состав почв условно-фоновой и природно-техногенной территорий путем просеивания через ряд сит размером 0,5, 0,25, 0,125, 0,1 и 0,04 мм и взвешивания полученных фракций (ГОСТ 12536-2014).

#### **Содержание магнитной фракции почв**

Для выяснения доли магнитной фракции в условно-фоновой и природно-техногенной почвах образцы разделили путем обработки магнитом. Полученные фракции взвешали.

#### **Разделение состава подстилки**

Исследован состав подстилки условно-фоновой и природно-техногенной территорий путем ручного разделения ее на листовенную и хвойную фракции и прочие компоненты и взвешивания.

#### **Рентгеноструктурный анализ**

Осуществлен в лаборатории электронно-оптической диагностики ИШПР ТПУ. Для данного метода использовался дифрактометр Bruker «D2 Phaser». Суть анализа состоит в выявлении минеральных кристаллических фаз в пробах и определении их состава с применением программы Diffra.eva и базы минералов PDF.

#### **Электронная сканирующая микроскопия**

Работы осуществлены в лаборатории электронно-оптической диагностики ИШПР ТПУ. Принцип функционирования РЭМ состоит в сканировании поверхности образца электронным зондом и распознавании спектра излучений. В данном случае был использован Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010. Его параметры:

- разрешающая способность при применении детектора вторичных электронов – 3 нм;
- разрешающая способность при высокой степени разрежения – 10 нм;
- разрешающая способность при применении обратно-рассеянных электронов – 4 нм;
- ускоряющее напряжение при высокой степени разрежения – 3 кВ;
- ускоряющее напряжение при низкой степени разрежения – 30 кВ;
- ускоряющее напряжение в режиме обратно-рассеянных электронов – 20 кВ;
- управление созданием разрежения – автоматическое;
- степень увеличения – 5-300000.

Частицы пробы были нанесены на углеродный скотч. Образец помещали в вакуумную камеру (40 Па после откачки воздуха). Поиск частиц осуществлялся в режиме обратно-рассеянных электронов при ускоряющем напряжении 20 кВ.

### **Атомно-абсорбционный анализ на содержание ртути**

Измерение содержания ртути осуществлялось на РА-915+ с приставкой РП-91С с использованием пакета РП-91С в лаборатории микроэлементного анализа ИШПР ТПУ. Параметры:

- диапазон измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов — 5-10000 мкг/кг;
- масса анализируемой пробы — 20-300 мг;
- границы относительной погрешности измерений при числе наблюдений  $n=2$  и доверительной вероятности  $P=0,95$ .

Прибор был откалиброван с применением государственного стандартного образца массовой доли ртути ГСО-290 и GSO 8923-2007.

Массовая доля Hg в пробе определяется на основе интегрального аналитического сигнала. При этом учитывается установленный предварительно градуировочный коэффициент, полученный эмпирическим способом путем изучения проб с известным содержанием элемента.

Технология работ состояла в помещении определенного количества пробы (30-100 мг) в лодочку и введении ее в атомизатор. После этого были сняты показания аналитического сигнала с монитора. По возвращении его на базовую линию извлекали пробу и удаляли ее остатки. Далее значение интегрировали и фиксировали величину интеграла, выводимую на дисплей. Затем операция повторялась и рассчитывалось расхождение двух измерений для одной пробы. В случае превышения норматива контроля сходимости измерения были повторены дважды.

### **Инструментальный нейтронно-активационный анализ**

Содержание химических элементов в изученных средах было определено инструментальным нейтронно-активационным анализом в ядерно-геохимической лаборатории ТПУ.

Измерение осуществлялось на многоканальном анализаторе импульсов АМА 02Ф с полупроводниковым Ge-Li детектором ДГДК-63А. Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла  $2 \cdot 10^{13}$  нейтр./см<sup>2</sup>\*с. Продолжительность облучения проб – до 20 часов.

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

Инструментальный нейтронно-активационный анализ обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами. Прежде всего, в данном методе отсутствует химическая подготовка пробы, что исключает погрешности за счет привноса или удаления элементов вместе с реактивами.

### Атомно-абсорбционный анализ

В части проб почвы было изучено содержание некоторых элементов и их подвижных форм (Ca, Cu, Mn, Zn) путем атомно-абсорбционного анализа в лаборатории Биогеохимии почв ИПА СО РАН. Тем же методом было определено содержание ртути в лаборатории отделения геологии ИШПР ТПУ.

### Определение гумуса и рН в почве

В лаборатории Биогеохимии почв ИПА СО РАН в условно-фоновых почвах было исследовано содержание гумуса и рН.

### Методы исследования изученных материалов

В таблице 18 приведено общее количество проб и представлены использованные для них методы анализа.

Таблица 18 – Перечень аналитических исследований

Материал	Количество проб	Виды аналитических исследований	Дополнительно
Почва	56	ИНАА ААС (на Hg) Электронная сканирующая микроскопия	Гранулометрический состав, магнитная фракция, рентгеноструктурный анализ, определение подвижных и валовых форм ААС
Подстилка	36		Разделение на фракции
Травостой	29		
Листья	20		

### 3.4. Методы обработки аналитических данных

Обработка данных осуществлялась с применением компьютерных пакетов программ LibreOffice Calc, Microsoft Excel, Statistica.

Произведен расчет таких показателей, как коэффициенты концентрации, кларки концентрации, суммарные показатели загрязнения, коэффициенты биологического поглощения, коэффициенты вариации, используемых в методиках экологических и эколого-геохимических, а также биогеохимических исследований (Башкин В.Н., Саэт Ю.Е., Язиков Е.Г., Алексеенко В.А. и др.).

Коэффициент концентрации представляет собой показатель степени концентрации химического элемента. Рассчитывался для каждого химического элемента как отношение его содержания в изучаемой среде к фоновому содержанию.

$$K_c = C_n / C_f,$$



где  $K_c$  – коэффициент концентрации,  $C_n$  – содержание химического элемента в данной среде,  $C_f$  – содержание его на условно-фоновой территории.

Кларк концентрации близок к коэффициенту концентрации и имеет тот же смысл. Также рассчитывается для каждого химического элемента как отношение его содержания в изучаемой среде к кларку.

$$K_k = C_n / K,$$

где  $K_k$  – кларк концентрации,  $C_n$  – содержание химического элемента в данной среде,  $K$  – его кларк.

Суммарный показатель загрязнения является разностью суммы коэффициентов концентрации химических элементов больше единицы и суммы количества этих элементов без одного из них.

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (n-1),$$

где  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения,  $n$  – количество химических элементов.

Для изученных органических сред вместо него был применен суммарный показатель накопления, вычисляемый по той же формуле.

Данный параметр характеризует уровень загрязнения исследуемой территории (табл. 19).

Таблица 19 – Уровни загрязнения почвенного покрова по суммарному загрязнению тяжелыми металлами (Методические рекомендации по ..., 1990)

Уровень загрязнения	Суммарный показатель загрязнения
Низкий	8-16
Средний	16-32
Высокий	32-128
Очень высокий	>128

Коэффициент биологического поглощения (биоаккумуляции) характеризует способности организмов к накоплению химического элемента. Он отражает величину доступных для поглощения его соединений в почве (Добровольский, 2003). При значениях  $<1$  химический элемент захватывается, а при значениях  $>1$  накапливается (Добровольский, 2003; Летувнинкас, 2002). Рассчитывается для каждого химического элемента как отношение его содержания в организме к содержанию в окружающей среде.

$$K_b = C_b / C_s,$$

где  $K_b$  – коэффициент биологического накопления,  $C_b$  – содержание химического элемента в организме,  $C_s$  – содержание химического элемента в окружающей среде.

Коэффициент вариации вычисляется для каждого химического элемента как отношение среднего квадратического отклонения к средней арифметической.

$$V = S / \bar{x} * 100\%,$$

где  $V$  – коэффициент вариации,  $S$  – среднеквадратическое отклонение,  $\bar{x}$  – среднее содержание химического элемента.

Данный показатель применяется для сравнения колеблемости содержания химических элементов (табл. 20).

Таблица 20 – Характер распределения по величине коэффициента вариации (Шестаков, 1988)

Характер распределения	Коэффициент вариации
Однородное	<50%
Слабодифференцированное	50-70%
Дифференцированное	70-100%
Интенсивно дифференцированное	>100%

Для расчета достоверности различий выборок был вычислен коэффициент Пирсона. Он равен: для почвенных разрезов 0,92 (по среднему горизонтов) прикопок 0,99 (по ср.), для подстилки 0,95 (по ср.), для травостоя 0,99 (по ср.), для березовых листьев 0,99 (по ср.).

#### 4. Характеристика минералого-геохимического состава компонентов природной среды Тюменского федерального заказника

##### 4.1. Характеристика минералогического и элементного состава почв Тюменского федерального заказника

Почва является депонирующей средой, характеризующей длительное накопление химических элементов. Основным фактором, влияющим на ее формирование, остаются подстилающие породы. Однако, в условиях современного техногенеза на многих территориях фиксируется значимое концентрирование химических элементов в верхнем горизонте почв с их миграцией с глубиной в зависимости от условий. Для выявления роли техногенного фактора в формировании элементного состава почв под влиянием длительного воздействия выбросов промышленных объектов очень важным является установление его регионального фона. Нами с этой целью изучено содержание химических элементов в почве и их распределение по горизонтам на территории Тюменского федерального заказника. Прежде всего, был исследован минералогический и гранулометрический состав, а также магнитные свойства почвы, распределение гумуса и pH по профилю.

Данные по изучению минералогического состава почв Тюменского федерального заказника (ТФЗ) показали, что верхний горизонт почвы состоит преимущественно из кварца. В значительно меньших количествах присутствуют микроклин, мусковит и альбит (рис. 10).

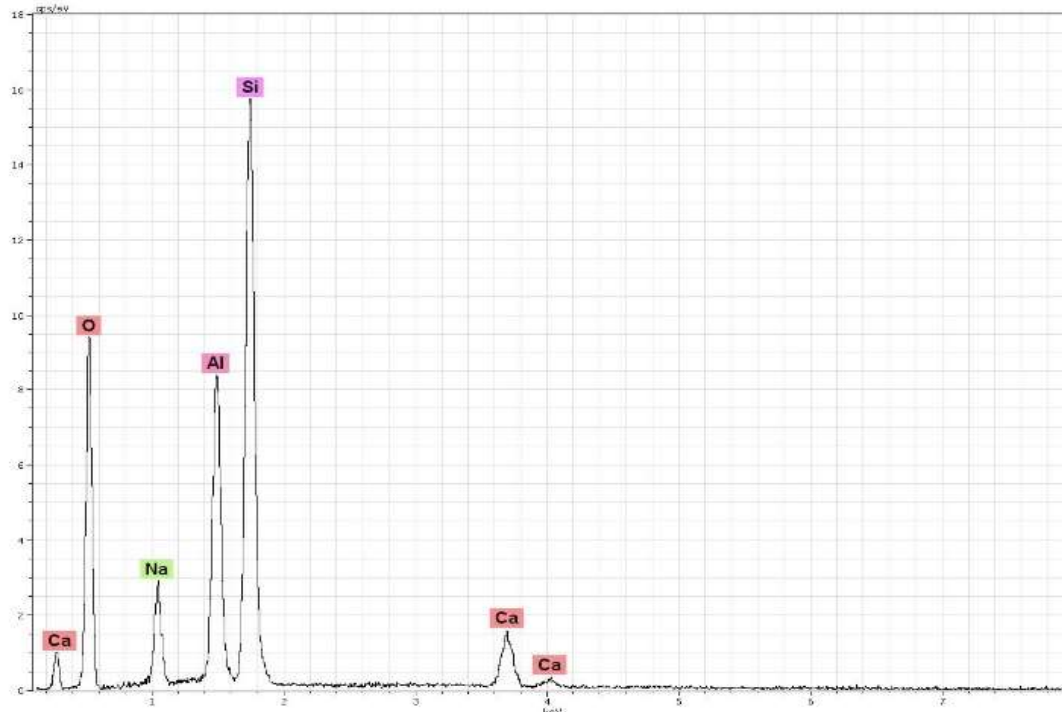


Рисунок 10 – Дифрактограмма и соотношение минералов в составе верхнего горизонта почвы (A1) территории Тюменского федерального заказника (%)



Продолжение рисунка 10

Отражение основного минералогического состава фоновой почвы мы находим в виде микроминеральных фаз характерных химических элементов, обнаруживаемых с помощью электронной микроскопии. Большинство обнаруженных частиц верхнего горизонта преимущественно алюмосиликатного состава (рис. 11).

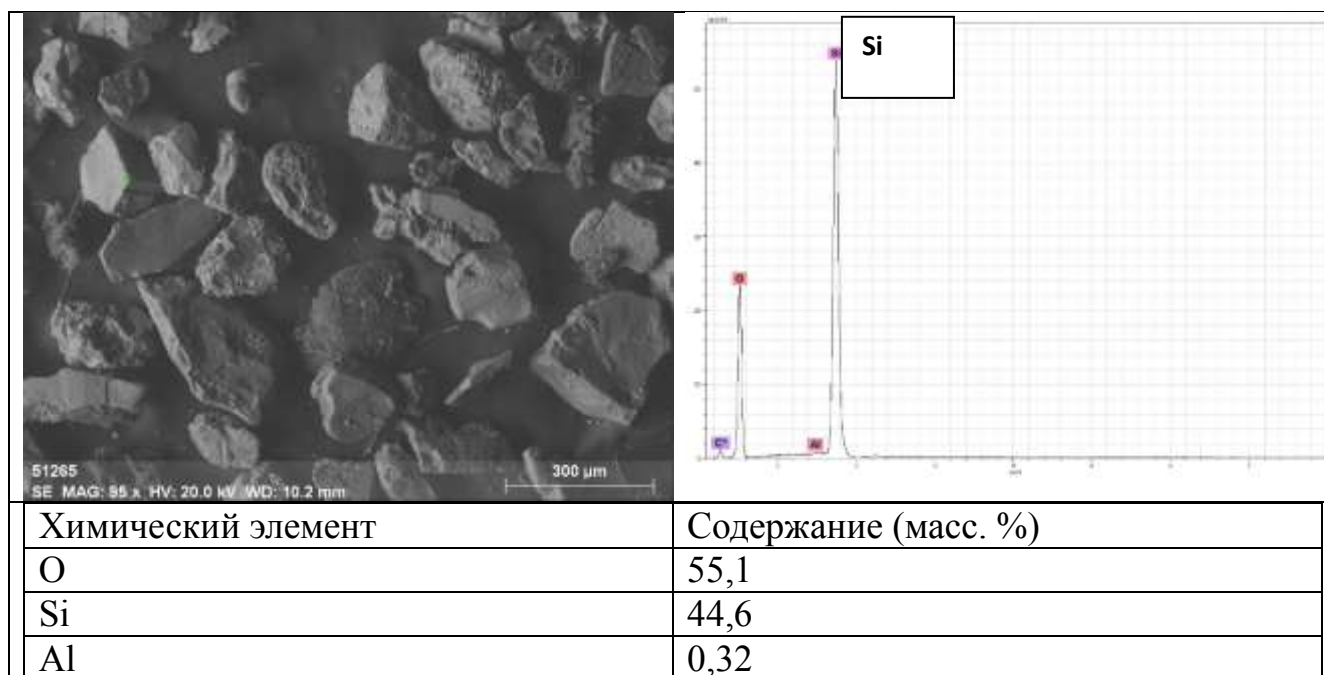
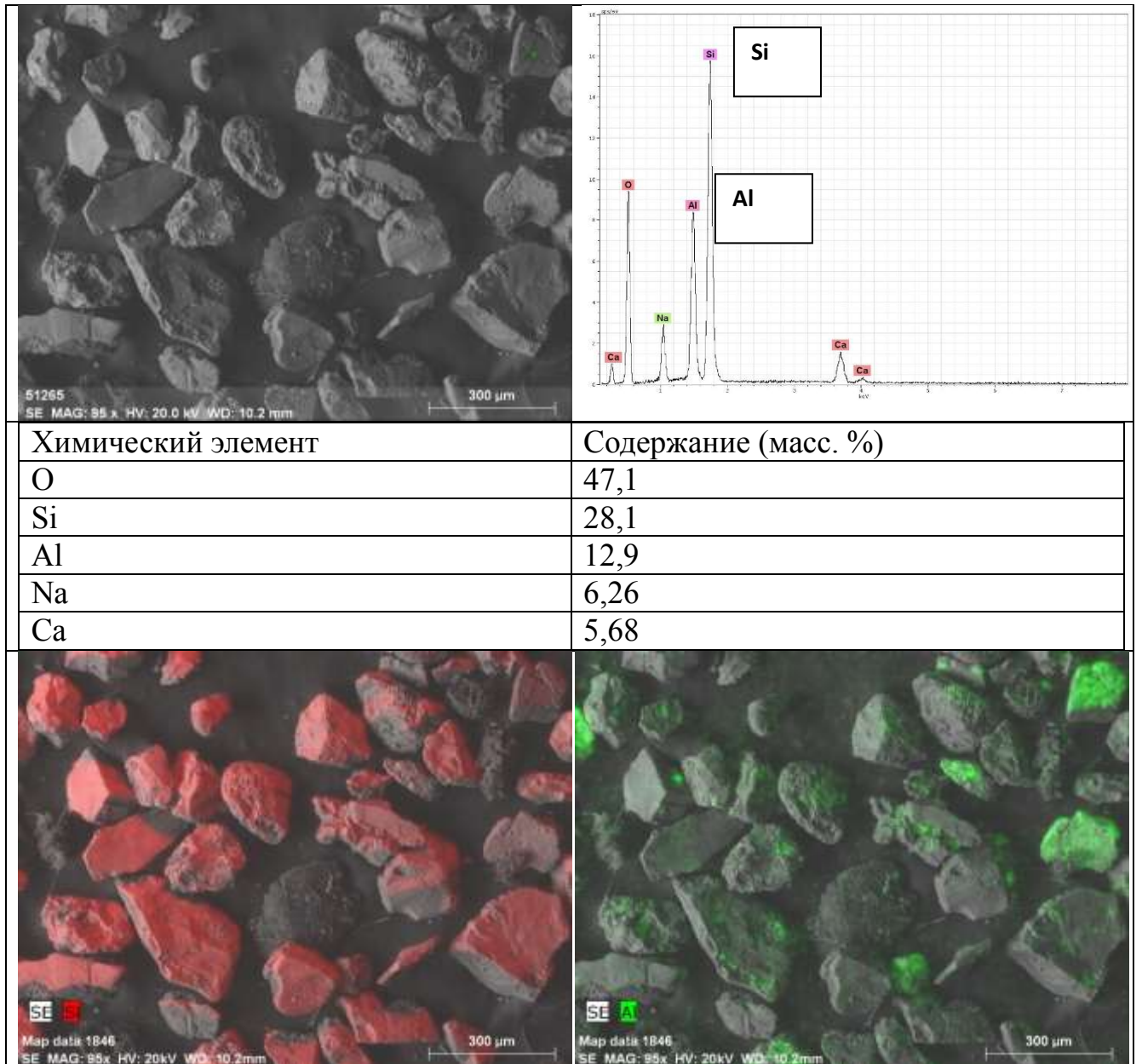


Рисунок 11 – Микрочастицы верхнего горизонта почвы (A1) территории Тюменского федерального заказника



Продолжение рисунка 11

Условно-фоновая почва характеризуется преобладанием доли фракций, соответствующих крупной пыли, размерность которой согласно классификации (Качинский, 1957) от 0,04 до 0,125 мм (табл. 21).

Таблица 21 – Гранулометрический состав почвы территории Тюменского федерального заказника (г из 10 г)

Разрезы	Горизонты	0,5	0,25	0,125	0,1	0,04
1	A1	0,87	1,16	5,08	1,41	1,33
	A1A2	0,63	1,03	5,11	1,26	1,78
	A2	0,97	1,34	5,08	1,3	1,15
	A2B	1,28	1,42	5,06	1,11	1,04
	B	4,02	2,33	2,8	0,46	0,34



Продолжение таблицы 21

2	A1	0,5	1,19	5,97	1,28	0,94
	A1A2	0,31	0,86	5,88	1,42	1,39
	A2	0,33	0,77	5,91	1,38	1,42
	A2B	0,63	1,03	5,11	1,26	1,78
	B	0,38	0,7	6,27	1,45	1,09
3	A1	0,47	0,93	5,88	1,19	1,27
	A1A2	0,41	0,81	6,16	1,36	1,17
	A2	0,26	0,8	6,2	1,52	1,04
	A2B	0,29	0,86	6,05	1,42	1,24
	B	2,84	1,48	4,23	0,76	0,66

В среднем распределение фракций по профилю равномерно, за исключением нижнего горизонта В. Для него характерным является возрастание доли фракций, соответствующих среднему песку, в то время как содержание крупной пыли сокращается (табл. 21, рис. 12).

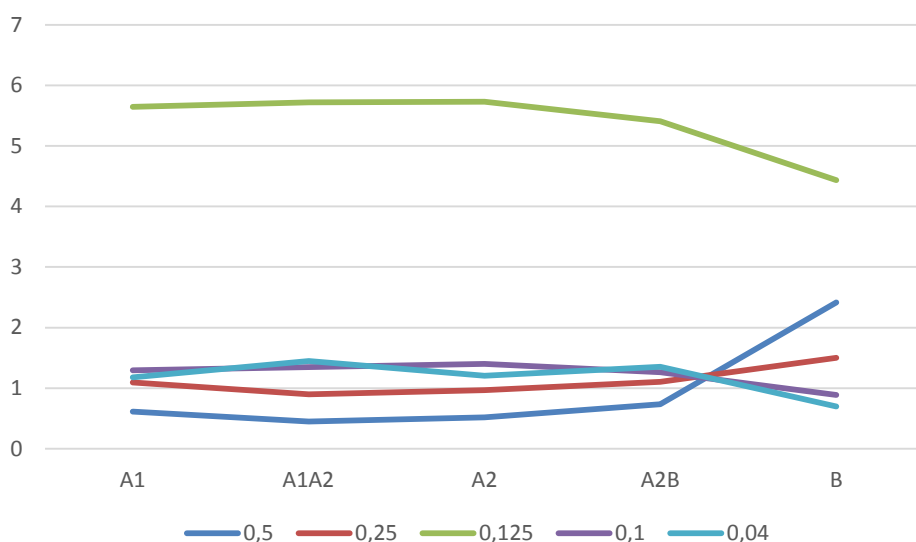


Рисунок 12 – Распределение фракций по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (г из 10 г)

Изучение изменения содержания магнитной фракции позволяет сделать вывод, что ее доля в почве фоновой территории в среднем составляет около 3% (табл. 22).

Таблица 22 – Изменение соотношения магнитной и немагнитной фракций по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (г из 10 г)

Разрезы	Горизонты	Магнитная	Немагнитная
1	A1	0,41	9,12
	A1A2	0,13	9,5
	A2	0,56	9,07
	A2B	0,23	9,56
	B	0,32	9,39
2	A1	0,15	9,6
	A1A2	0,38	9,35
	A2	0,17	9,61
	A2B	0,2	9,55
	B	0,22	9,35
3	A1	0,35	9,04
	A1A2	0,17	9,45
	A2	0,13	9,56
	A2B	0,44	9,23
	B	0,47	9,16
ср		0,29	9,37

Доля магнитной фракции почвы сокращается до минимального значения во втором горизонте и возрастает с глубиной (табл. 22, рис. 13).



Рисунок 13 – Распределение магнитной фракции по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (г из 10 г)

Условно-фоновая почва характеризуется наибольшим содержанием гумуса в горизонте A2 (табл. 23, рис. 14).

Таблица 23 — Содержание гумуса (%) и рН в почве территории Тюменского федерального заказника

Горизонт	A1 (4-12 см)	A1A2 (14-24 см)	A2 (24-52 см)	A2B (52-60 см)	B (60-90 см)
Гумус	0,26	0,32	2,5	0,19	0,4
рН	4,2	4,35	4,3	4,33	4,44

Согласно литературным данным (Добровольский и др., 2004; Почвоведение, 1988) в горизонте А содержание гумуса самое высокое (3-7%). Для изученной территории показатели ниже с максимумом в горизонте А2, составляющим 2,5%.

Согласно имеющимся данным для этого типа почв (Каретин, 1990), полученные нами показатели рН укладываются в имеющийся диапазон – от 3,3 до 5,5. Наблюдается незначительное возрастание с глубиной до 4,44, но в рамках данного диапазона (рис. 14), что так же согласуется с другими литературными данными (Горшенкин, 1955).

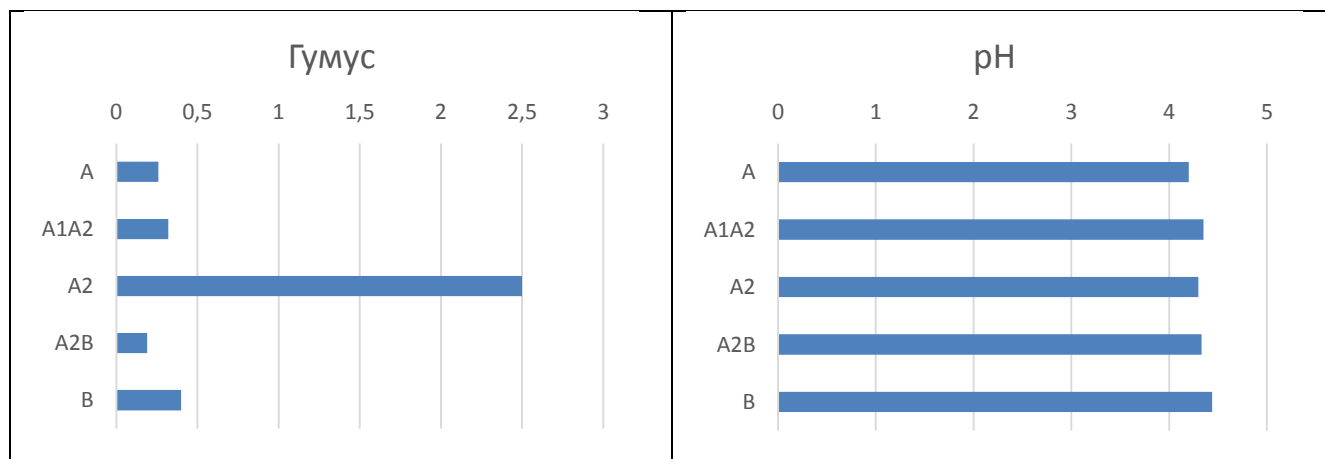


Рисунок 14 – Содержание гумуса (%) и рН в почве территории Тюменского федерального заказника

Данные параметры влияют на рассмотренные далее закономерности распределения химических элементов по разрезу.

Основные статистические параметры, полученные нами для условно-фоновых почв изученной территории, приведены в таблице 24.

Большинство исследованных элементов имеет однородное распределение в условно-фоновых условиях, о чем свидетельствует незначительный коэффициент вариации (не более 50 (Шестаков, 1988)). Исключения составляют Sc, Fe, Br, As, Tь, Се для которых характерно слабодифференцированное распределение, Zn, Cs с дифференцированным и Hg с интенсивно дифференцированным типом распределения (табл. 25).

Таблица 24 – Параметры элементного состава почвы территории Тюменского федерального заказника (в мг/кг)

Элементы	Ccp (n=20)	Max	Min	M <sub>e</sub>	S	V, %
Na	4640±147	5940	3385	4595	657	14
Ca	8055±290	10490	6100	7635	1300	16
Sc	2,6±0,2	7,5	1,7	2,1	1,3	50
Cr	137±12	264	78	114	54	39
Fe	6379±917	22100	3530	5235	4105	64
Co	5,1±0,5	12	2,9	4,5	2,4	47
Zn	12±2,1	41	1	10,2	9,5	79
As	1,3±0,2	4,3	0,4	1	0,84	64
Br	0,68±0,09	1,8	0,07	0,6	0,4	59
Rb	34±2	55	1,5	33	10	29
Sr	70±5	108	30	74	23	33
Ag	0,8 ±0.04 (НПО≥50%, предел – 1 мг/кг)					
Sb	0,23±0,02	0,45	0,08	0,2	0,09	39
Cs	0,66±0,1	2,4	0,24	0,48	0,47	71
Ba	276±10	376	229	256	44	16
La	7,9±0,6	16	5,2	6,7	2,9	37
Ce	16±2	36	1,2	17	11	69
Nd	8,5±0,7	13	0,5	8,8	3,1	36
Sm	1,4±0,1	3	0,12	1,3	0,59	42
Eu	0,23±0,02	0,52	0,14	0,21	0,09	39
Tb	0,17±0,02	0,41	0,07	0,12	0,09	53
Yb	1,1±0,07	2	0,85	1	0,31	28
Lu	0,12±0,012	0,24	0,009	0,12	0,05	42
Hf	5,8±0,21	7,3	4,1	6,9	0,94	16
Ta	0,35±0,03	0,61	0,05	0,28	0,15	43
Au	0,0011±0,0001 1	0,002	0,0005	0,001	0,0005	45
Hg	0,011±0,003	0,047	0,0009	0,004	0,015	136
Th	2,3±0,22	5	1,47	1,6	0,99	43
U	0,87±0,058	1,53	0,37	0,87	0,26	30

Таблица 25 – Типы распределения химических элементов в разрезе почвы территории Тюменского федерального заказника (в соответствии с градацией Шестакова (1988))

Однородное (V<50%)	Слабодифференцированное (V=50-70%)	Дифференцированное (V=70-100%)	Интенсивно дифференцированное (V>100%)
Na, Ca, Cr, Co, Rb, Sr, Ag, Sb, Ba, La, Nd, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U	Sc, Fe, Br, As, Tb, Ce	Zn, Cs	Hg

Кроме того, сравнительные данные о содержании химических элементов в почвах и литосфере по литературным данным показали, что для элементов, по которым эти параметры известны, характерно более низкое содержание в почвах заказника (табл. 26). Как правило, в эколого – геохимических исследованиях для проведения сравнительного анализа используют три основных эталона: гигиенические нормативы, фоновые геохимические уровни и кларки химических элементов (Касимов, Власов, 2015). Поскольку гигиенические нормативы определены лишь для узкого спектра элементов, а почв, относимых к фоновым не так много и по ним есть данные так же не для широкого круга элементов, в сравнительном анализе мы применяли кларки по Н.А. Григорьеву (2009) и А.А. Ярошевскому (1990). Сравнительный анализ показал, что все химические элементы в почве ТФЗ содержатся ниже кларковых значений (рис. 15).

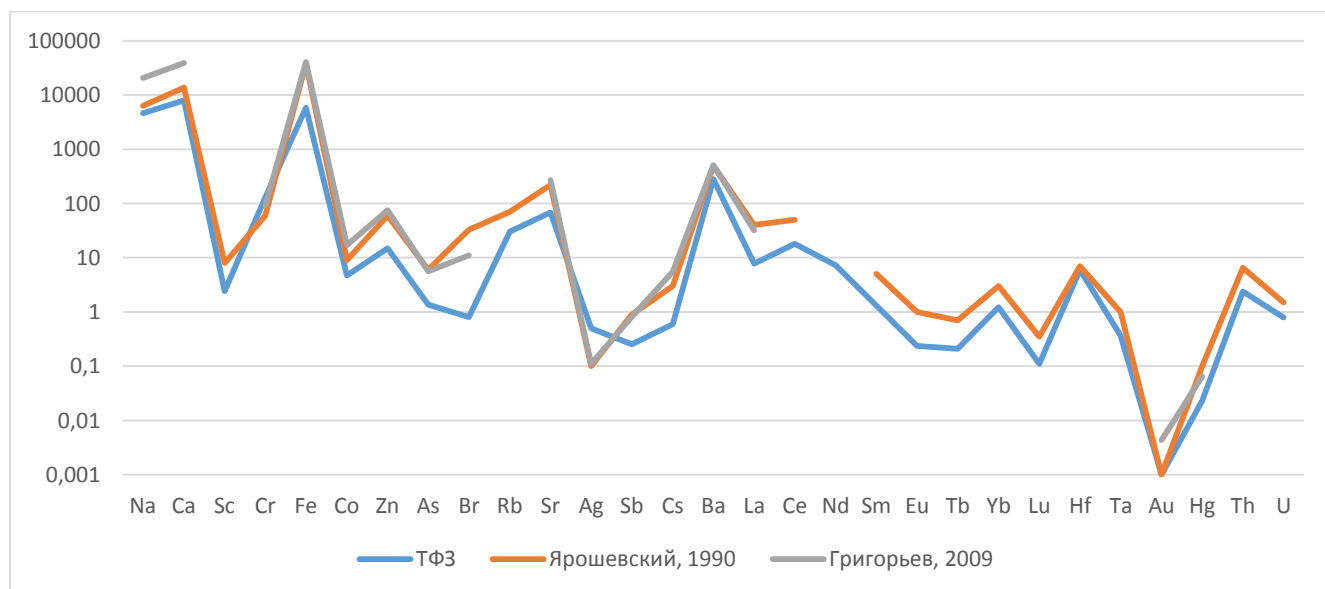


Рисунок 15 – Элементный состав почвы территории Тюменского федерального заказника в сравнении с кларками (мг/кг, логарифмическая шкала)

*Примечание: Ag – предел определения*

Сравнение с почвой Васюганской равнины (по данным А.И. Сысо, 2008) и почв Барабы (Ильин, 1985), а также с принятыми за фоновые черноземы Алтая



(Мальгин, 1978; Рождественская и др., 2008) (табл. 26, рис 16, 17) по отдельным элементам также демонстрируют характер более низкой концентрации в почвах Тюменского федерального заказника. Исключение составляет хром, содержание которого выше в изучаемых почвах в сравнении со всеми имеющимися литературными данными и кларками.

Сравнение с имеющимися ПДК (ГН 2.1.7 2041-06) по валовым формам элементов свидетельствует о более низком содержании мышьяка (1,2 мг/кг относительно ПДК (ОДК) = 2), ртути (0,004 мг/кг по сравнению с ПДК = 2,1), сурьмы (0,22 мг/кг относительно ПДК = 4,5), цинка (12 мг/кг по сравнению с ПДК = 100 мг/кг).

Таблица 26 – Показатели содержания химических элементов в почве (в мг/кг) Тюменского федерального заказника в сравнении с литературными данными

Элементы	Ср (n=20)	Кларк почв по Н.А. Григорьеву (2009) (Касимов и др., 2015)	Среднее содержание в селитренных ландшафтах Европы, Азии, Африки	Селитренные ландшафты Западного Кавказа	Фоновые черноземы / луговых черноземные Барабы (Ильин, 1985)	Почвы Томской области	Почвы СИП (Джамбаев и др., )	Почвы подзолистые и песчаные (Кабата – Пендас, 2007)	Чернозем прдогорий северного Алтая (Рождественская и др., 2008)	Дерново-подзолистые сельхозугодий Васюганской равнины (Сысои др., 2008)
Na	4640 ±147	20700				8700	15549 ±352			
Ca	8055 ±290	38900				20760	20686 ±1514			
Sc	2,6±0,2				10 / 13	8,7	11±0,5	5		
Cr	137±12	92	85	94	55 / 65	119	75±2,9	47	132,3 ±3,4	
Fe	6379 ±917	40600				23002	31104 ±1216			

Продолжение таблицы 26

Co	5,1±0,5	17	12,7	23	10 / 13	12	12±0,8	5,5	13,7±0,3	16
Zn	12±2,1	75	126	295	55 / 65		205±12	45	67,4±1,3	74
As	1,3±0,2	5,6	8,5	20		4,5	5,7±0,3	4,4	19,5±0,8	13
Br	0,68±0,09	11				19	13±1,2			
Rb	34±2					77	67±5,1			
Sr	70±5	270	372	572	150 / 200	210	159±19	87		175
Ag	0,8 ±0.04 (НПО ≥50% , предел – 1 мг/кг )	0,11	0,6	0,3		1,9	<1			
Sb	0,23±0,02	0,81				1,2	1±0,1			
Cs	0,66±0,1	5,5				3,1	2,8±0,2			
Ba	276±10	510	802	1126	360 / 400	501	437±16	330		
La	7,9±0,6	32			30/30	23	23±0,7			
Ce	16±2					45	50±2			
Nd	8,5±0,7						16±1,5			
Sm	1,4±0,1					4,8	4,54±0,2			
Eu	0,23±0,02					0,84	0,9±0,1			
Tb	0,17±0,02					0,68	0,6±0,05			
Yb	1,1±0,07					2,3	2,5±0,08			
Lu	0,12±0,012					0,4	0,4±0,01			

## Продолжение таблицы 26

Hf	5,8±0,21					5,5	5,2±0,2			
Ta	0,35±0,03					0,9	0,7±0,07			
Au	0,0011±0,00011	0,0044				0,03	0,01±0,003			
Hg	0,011±0,003	0,065						0,05		
Th	2,3±0,22					2,7	6,8±0,3			
U	0,87±0,058					2,3	2,6±0,1			

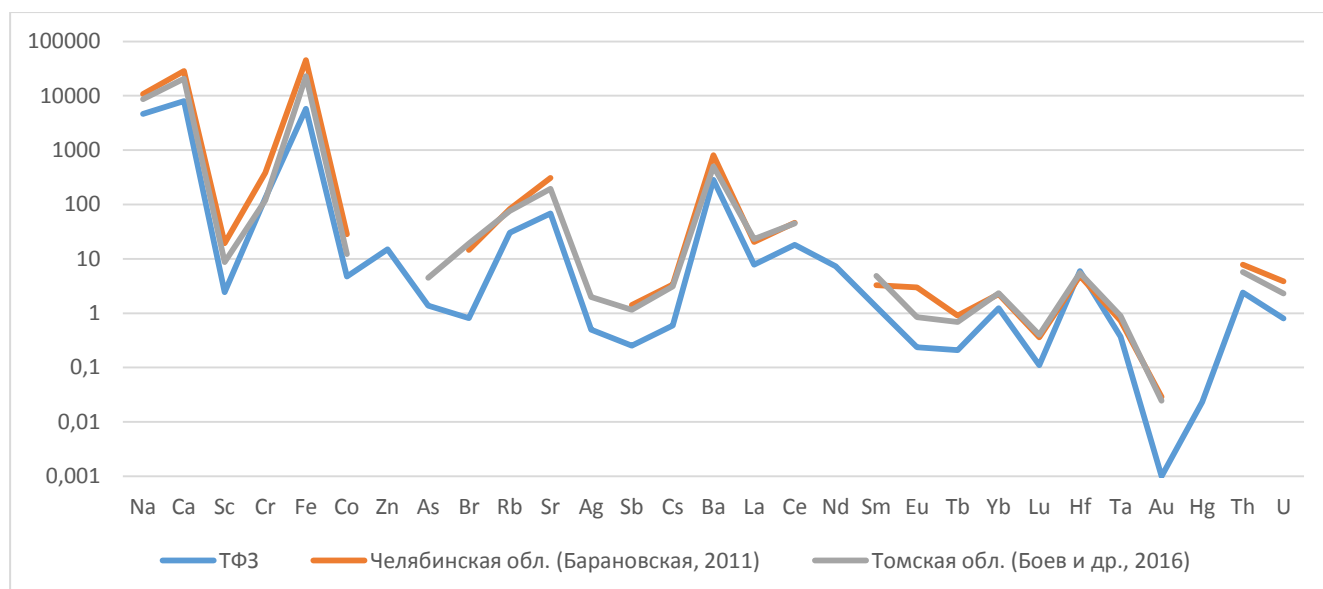


Рисунок 16 – Элементный состав почвы территории Тюменского федерального заказника в сравнении с почвами других регионов (верхний горизонт (А1)) (мг/кг, логарифмическая шкала)

Относительно почв Челябинской и Томской областей для Тюменского федерального заказника также характерно меньшее содержание химических элементов, за исключением Sr и Hf.

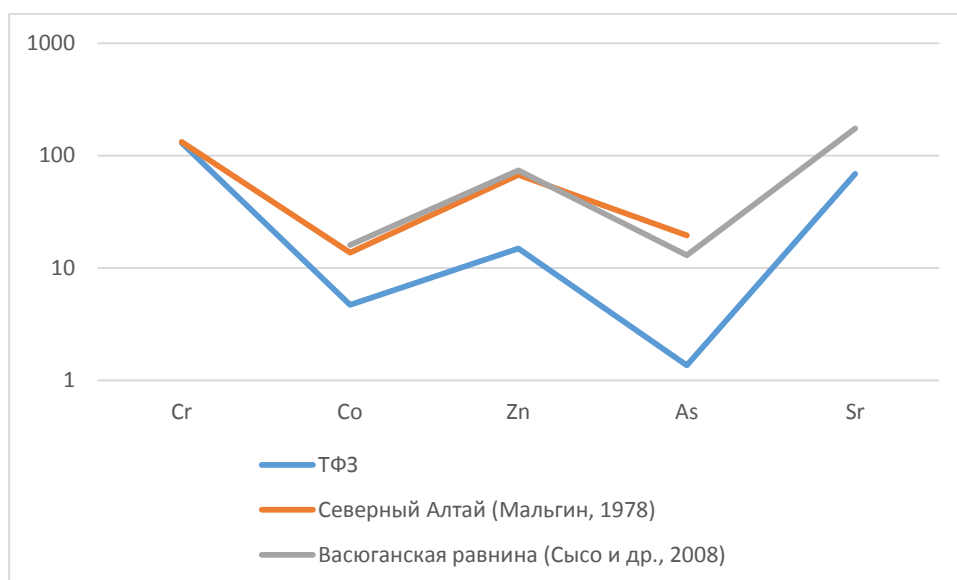


Рисунок 17 – Элементный состав почвы территории Тюменского федерального заказника в сравнении с почвами других регионов (верхний горизонт (A1)) (мг/кг, логарифмическая шкала)

Однако в сравнении с почвами северного Алтая, относимыми к фоновым, содержание Sr в почвах Тюменского федерального заказника очень близко.

К тому же о естественном характере накопления Sr свидетельствует его распределение по разрезу.

Нами рассмотрены закономерности распределения изученных элементов по профилю почв по группам, в соответствии с классификацией, предложенной В.М. Гольдшмитом (1923). Прежде всего, проанализировано распределение литофильных элементов, к группе которых относится кальций, натрий и другие (рис. 18).

Такие элементы, как Ca и Na проявляют близкий характер распределения по профилю: накопление в горизонтах A1 и A2B. При этом Na больше содержится в верхнем горизонте и меньше в нижнем. Sr близок к Na, демонстрируя в целом снижение содержания по профилю, но сильно вымывается из A1A2. Hf близок к Na и Sr, но накапливается преимущественно в A2B, а не в A1. Ba по распределению ближе всего к Ca. Vg характеризуется значительно пониженным содержанием в средней части профиля. Mn по распределению близок к Cu (наибольшее накопление во втором горизонте). Однако книзу содержание резко сокращается.

Ряд изученных литофильных элементов характеризуется преимущественным накоплением в нижней части разреза: Na, Sr, Hf – в A2B, Sr – в A2 и A2B. Ba и Vg примерно одинаково содержатся в верхнем и нижнем горизонтах. Mn сосредоточен в A1A2. Больше содержание Vg в верхнем горизонте характерно для данного химического элемента и обусловлено атмосферным выпадением благодаря его высокой летучести (Кабата-Пендиас и др., 1989; Иванов, 1994).

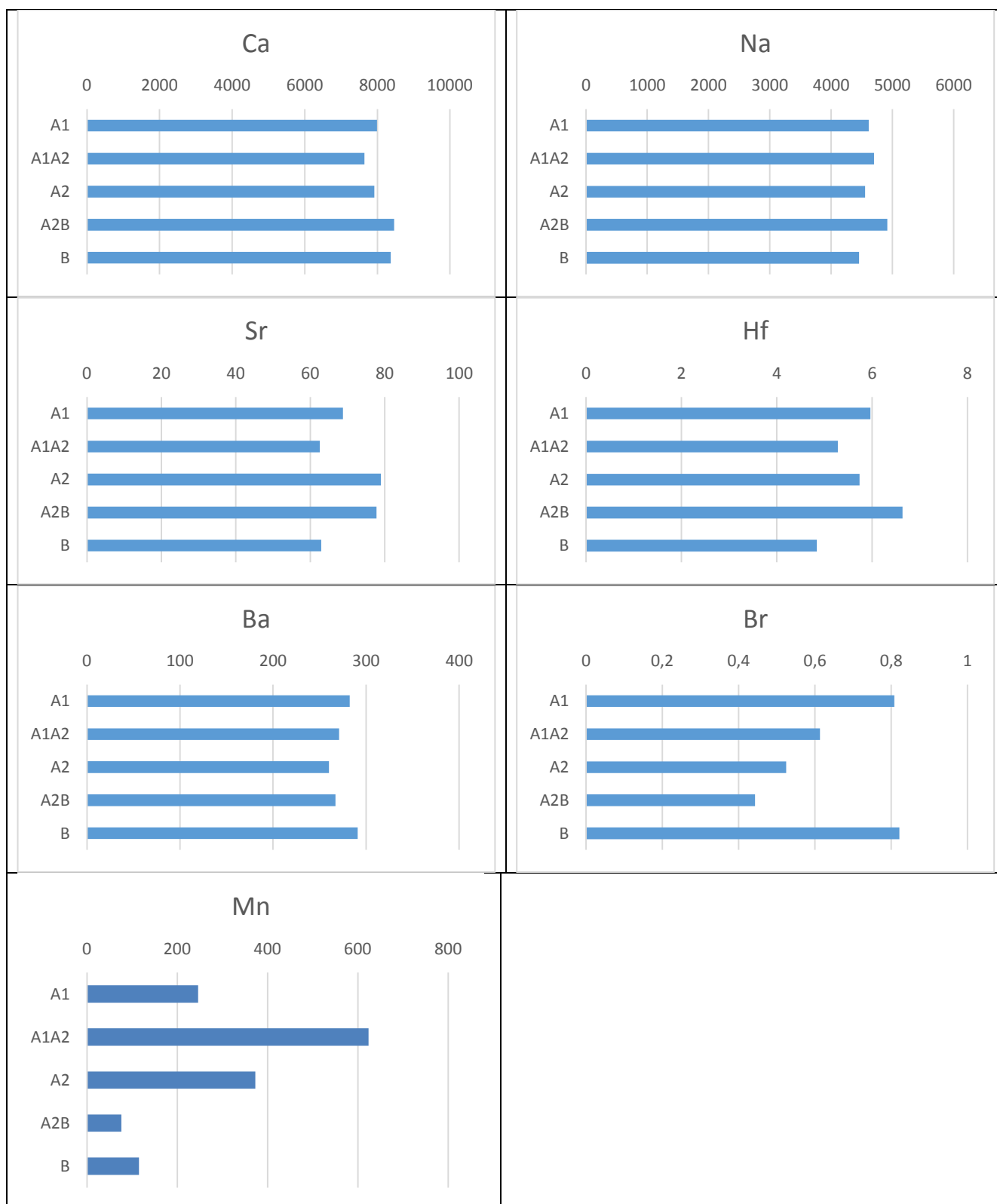


Рисунок 18 – Распределение некоторых литофильных элементов по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Ряд литофильных элементов сосредоточен в нижнем горизонте (Cr, Ta, Rb, Lu, Cs). Cr, Ta характеризуются наименьшим содержанием в A1A2 и возрастанием к максимальному в нижнем горизонте. Rb более равномерно распределен по верхней и средней частям профиля. Lu отличается низким



содержанием в верхнем горизонте, ниже оно возрастает. Для Cs характерно небольшое снижение содержания книзу (рис. 19). Источником Sc является материнская порода (Иванов, 1994).

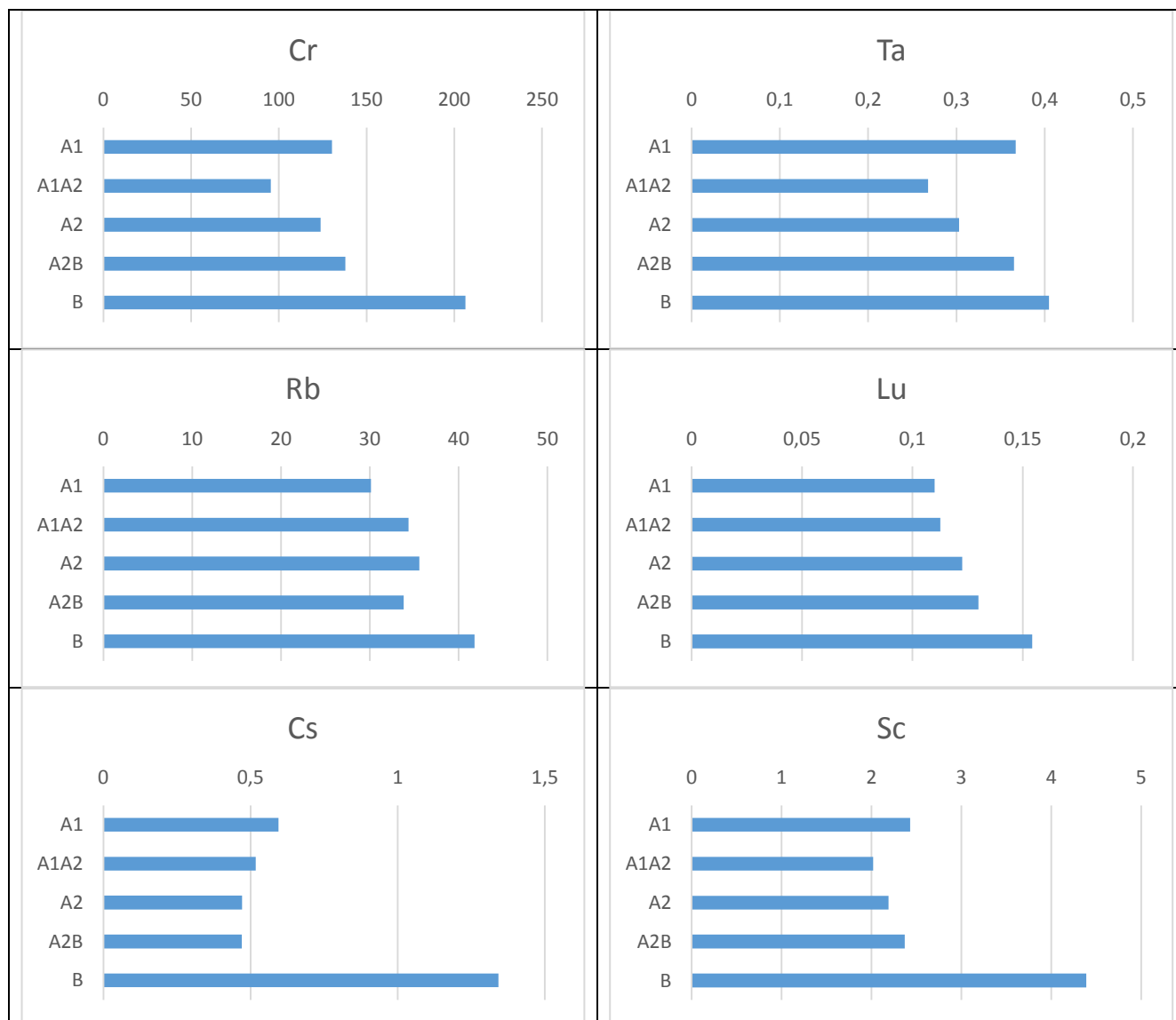


Рисунок 19 – Распределение некоторых литофильных элементов по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Распределение Cr по профилю почти полностью повторяет распределение Fe, что объясняется сродством к нему (Водяницкий, 2009). Концентрация Rb минимальна в сравнении с данными для разных типов почв (30-50 мг/кг) (Кабата-Пендиас и др., 1989). Этот элемент сорбируется органическим веществом, закономерно обогащая нижележащие горизонты. Высокое содержание Cs в нижнем горизонте может быть обусловлено его удержанием глинистой фракцией почвы (Lee и др., 2000; Rigol и др., 2002), а также входением в состав слюд (Соколова и др., 2017). Он имеет большое сходство с поведением Rb, поскольку их свойства близки. В то же время характеризуется сродством с алюмосиликатами и имеет тенденции к концентрированию в глинистых минералах. Несмотря на то, что это щелочноземельный элемент, его поведение не совпадает с Ba и Sr.

Редкоземельные Yb и Eu близки по распределению к Sr и Fe: вымываются из второго горизонта и накапливаются в нижнем. При этом Yb почти также накапливается в верхнем горизонте. Tb также близок к ним, но отличается повышенным накоплением в A2. В отличие от вышеназванных элементов содержание La и Nd снижается до A2B, а Sm наоборот возрастает. Ce характеризуется наибольшим накоплением в A2 (рис. 20).

Для La накопление в нижнем горизонте отчасти объясняется вымыванием из высших (Водяницкий и др., 2011). Концентрирование Ce в A2 обусловлено элювиально-иллювиальным перераспределением (Водяницкий и др., 2011) и может объясняться удержанием гумусом.

Радиоактивные Th и U также содержатся преимущественно в нижнем горизонте. При этом U более равномерно распределен по разрезу вследствие большего относительного накопления в верхней и средней частях профиля (рис. 21).

Высокое содержание Th в нижнем горизонте обусловлено его удержанием глинистой фракцией почвы (Алексахин и др., 1990; Таскаев, 1979), а также его сорбцией оксидами Fe (Kluge и др., 1977; Ames и др., 1978). Высокое содержание U в нижнем горизонте объясняется тем, что основным источником данного элемента в почвах является материнская порода. К тому же U сорбируется соединениями Fe (Водяницкий, 2011; Borda и др., 2007).

Накопление в верхнем горизонте характерно в некоторых случаях для данного химического элемента (Евсеева и др., 1974) и определяется, в том числе, удержанием органическим веществом (Манская и др., 1956; Султанбаев и др., 1979; Кичигин и др., 2004; Перельман, 1996; Алексахин и др., 1990; Таскаев, 1979), что не отмечено в данном случае. К тому же последнее проявляется при техногенном поступлении U вследствие фиксации глинистыми минералами (Murakami и др., 1997; Hsi и др., 1985; Tsunashima и др., 1981; Корнилович и др., 1981).





Рисунок 20 – Распределение редкоземельных элементов по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)



Рисунок 21 – Распределение радиоактивных элементов по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Сидерофильные Fe и Co проявляют схожие закономерности распределения по профилю с выносом из второго горизонта и возрастанием содержания к нижнему. Однако для Co более ярко проявляются различия в верхней и средней

частях профиля. Au, в отличие от них, характеризуется приблизительно равномерным распределением по профилю, учитывая недостаток данных для второго и четвертого горизонтов (рис. 22).

Медь проявляет накопление во втором горизонте. Ниже содержание постепенно сокращается. Это соответствует накоплению в верхней части профиля по литературным данным (Иванов, 1994).

Основным источником Fe и Co в почве являются материнские породы (Зонн, 1982; Иванов, 1994; Кабата-Пендиас и др., 1989; Почвы Тюменской области, 1990). Золото считается редким элементом в земной коре. Его содержание в породах не превышает  $n \cdot 10^{-3}$  мг/кг. Максимальные значения характерны для черноземов и каштановых почв и составляют 4,8–5 мкг/кг. В нашем случае этот металл характеризуется диапазоном содержаний 0,001–0,0013 мг/кг.

Халькофильные As, Zn и Sb сходны по распределению и аналогичны сидерофильным, но Zn проявляет большее накопление в A1 и A2, а Sb – в A1 и A2B, вследствие чего ее содержание последовательно возрастает с глубиной (рис. 23).

Близкий характер распределения As к Fe обусловлен тем, что данный химический элемент проявляет сродство к нему (Водяницкий, 2006, 2009, 2010; Jain и др., 2004; Иванов, 1994; Leuz и др., 2006; Manning и др., 1998). Возрастание его содержания в горизонте B по отношению к A зафиксировано в подзолистых почвах других регионов (Иванов, 1994).

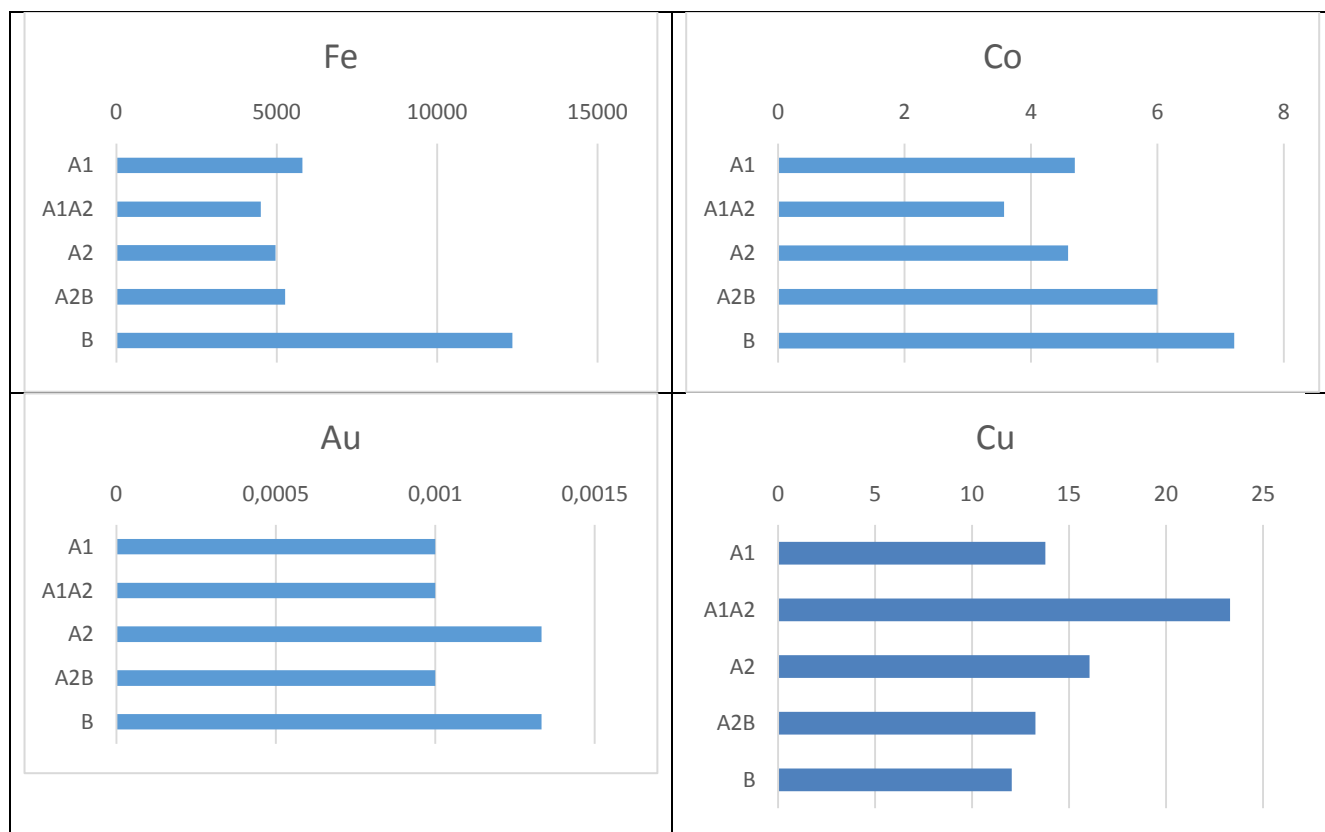


Рисунок 22 – Распределение сидерофильных элементов по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Для Zn, в соответствии с литературными данными, в дерново-подзолистых почвах содержание возрастает с глубиной (Безносиков, 2007). Это объясняется удержанием его глинистой фракцией и соединениями Fe (Водяницкий, 2010, 2011; Карпухин и др., 2008; Мансеау и др., 2002; Shuman, 1979; Levy и др., 1976). Повышенное содержание в верхнем горизонте объясняется удержанием Zn органическим веществом, а именно гуминовыми и фульвокислотами (Саенко, 1992), что не наблюдается в данном случае. Смешанный характер распределения Sb по профилю обусловлен теми же факторами: удержанием ее гидроксидами железа (Водяницкий, 2010; Brannon и др., 1985; Crecelius и др., 1975; Scheinost и др., 2006; Shuman, 1979; Levy и др., 1976), органическим веществом (El Bilali, 2002), глинистыми минералами (Leuz и др., 2006; Goldberg и др., 1988).

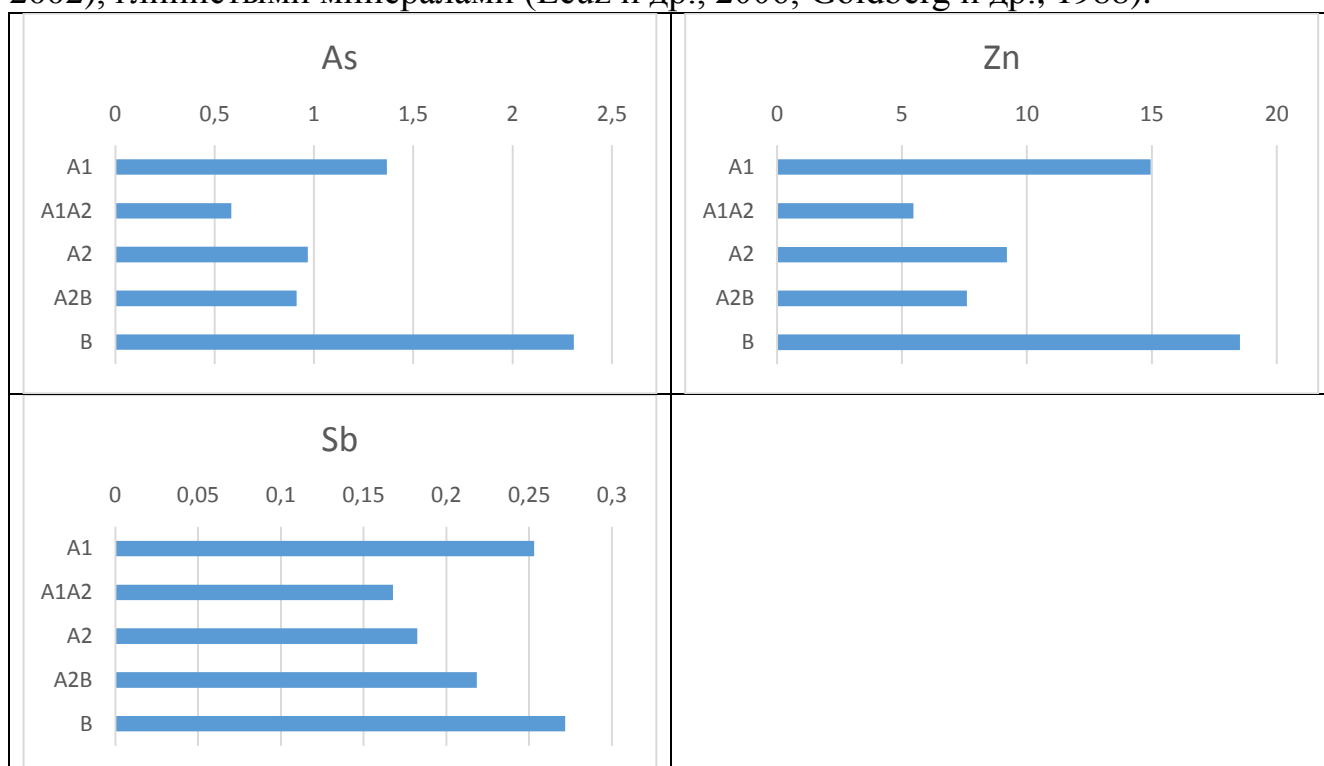


Рисунок 23 – Распределение халькофильных элементов по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Таким образом, в условно-фоновой почве большинство исследованных химических элементов накапливается в нижней части разреза: Sc, Cr, Fe, Co, As, Rb, La, Sm, Eu, Tb, Lu, Ta, Th, Cs. Другие химические элементы (Zn, Br, Sb, Nd, Yb, U, Ba, Ca, Na, Au, Hf, Ce, Sr) проявляют смешанный характер распределения.

Кроме того, было исследовано содержание подвижных форм некоторых элементов. Для Zn распределение подвижных форм близко к валовым: наибольшее количество в верхнем и нижнем горизонтах и наименьшее в A1A2 (рис. 24, табл. 27).

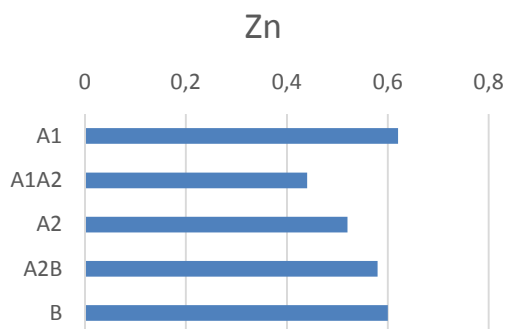


Рисунок 24 – Распределение подвижных форм Zn по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

При этом по соотношению с валовым содержанием наибольшая подвижность наблюдается наоборот во втором горизонте (табл. 27).

Таблица 27 — Распределение подвижных форм Zn по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника

Подвижные формы, мг/кг (% от валового содержания)				
A1	A1A2	A2	A2B	B
0,62 (1,8)	0,44 (6,1)	0,52 (2,8)	0,58 (2,2)	0,6 (2)

Последнее объясняет его вымывание и, следовательно, наименьшее содержание. В верхнем горизонте доля подвижных форм наименьшая, что объясняет накопление данного химического элемента. Ниже второго горизонта подвижность уменьшается с глубиной, следовательно, возрастает содержание. Наибольшая подвижность Zn во втором горизонте объясняется наименьшим, по данным ИНАА, содержанием Ca (Иванов, 1994). В сравнении с имеющимися нормативами содержание подвижного цинка в почве заказника значительно ниже (ПДК=23 по ГН 2.1 7 2041 - 06)

Абсолютная подвижность Ca сокращается книзу (рис. 25, табл. 28).

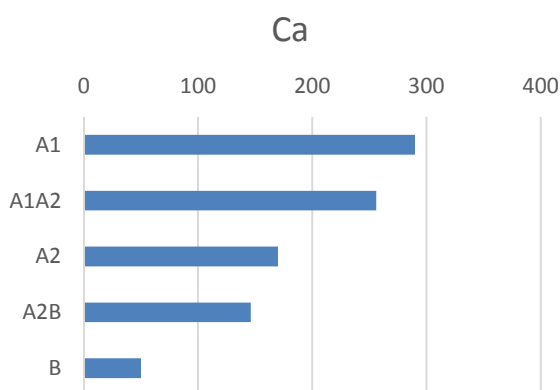


Рисунок 25 – Распределение подвижных форм Ca по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Данный элемент проявляет наибольшую относительную подвижность в верхней части профиля, особенно во втором и третьем горизонтах. Книзу доля подвижных форм сокращается (табл. 28).



Таблица 28 — Распределение подвижных форм Са по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника

Подвижные формы, мг/кг (% от валового содержания)				
A1	A1A2	A2	A2B	B
290 (9,8)	256 (10,6)	170 (10,2)	146 (8,3)	50 (5,5)

Сu характеризуется наибольшей долей подвижных форм в верхнем горизонте и наименьшей во втором (рис. 26, табл. 29).

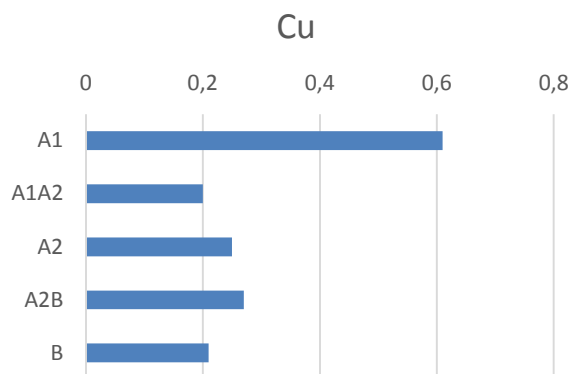


Рисунок 26 – Распределение подвижных форм Cu по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Относительная подвижность изменяется по профилю почти так же (табл. 29).

Таблица 29 — Распределение подвижных форм Си по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника

Подвижные формы, мг/кг (% от валового содержания)				
A1	A1A2	A2	A2B	B
0,61 (4,3)	0,2 (0,8)	0,25 (1,5)	0,27 (2)	0,21 (1,7)

Данные закономерности объясняют вымывание данного химического элемента из первого горизонта и накопление во втором.

Для Mn наблюдается наибольшая подвижность в горизонте A1A2 (рис. 27, табл. 30). В сравнении с ПДК для подвижной формы марганца, извлекаемого ацетатно аммонийным буфером при pH 4,0 содержание ее в почвах заказника значительно ниже (ПДК – 60 мг/кг).

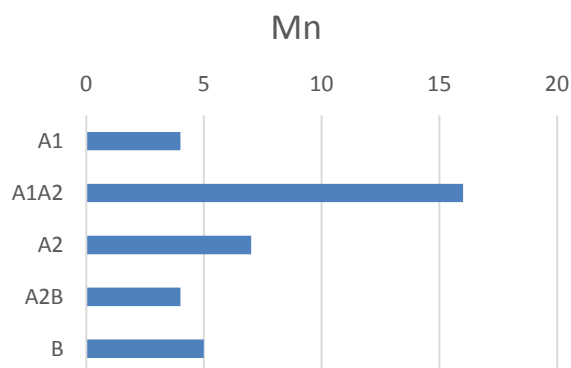


Рисунок 27 – Распределение подвижных форм Mn по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Относительная подвижность Mn наибольшая в предпоследнем горизонте и высокая во втором (табл. 30).

Таблица 30 — Распределение подвижных форм Mn по профилю почвы территории Тюменского федерального заказника

Подвижные формы, мг/кг (% от валового содержания)				
A1	A1A2	A2	A2B	B
4 (1,6)	16 (2,5)	7 (1,8)	4 (5)	5 (0,4)

Поскольку наиболее интенсивно на внешнее воздействие реагирует верхний горизонт почвы, далее проанализированы параметры содержания изученных химических элементов в нем (табл. 31).

Таблица 31 – Параметры химического состава верхнего горизонта почвы территории Тюменского федерального заказника

Элементы (мг/кг)	C <sub>cp</sub> (n=8)	Max	Min	M <sub>e</sub>	S	V, %
Na	4614±323	5940	3385	4605	914	20
Ca	7990±444	10170	6719	7560	1256	16
Sc	2,4±0,25	3,7	1,8	2,1	0,71	29
Cr	130±15	201	92	104	44	34
Fe	5799±524	8541	4340	4340	1481	25
Co	4,7±0,55	6,6	2,9	4,5	1,6	34
Zn	15±4,2	41	1	12	12	80
As	1,4±0,15	2	0,98	1,2	0,42	30
Br	0,81±0,17	1,7	0,07	0,72	0,49	60
Rb	30±4,6	46	1,5	31	13	43
Sr	69±10	108	30	78	29	42
Ag	<1 (НПО≥50%)					
Sb	0,25±0,02	0,37	0,18	0,24	0,07	28
Cs	0,59±0,09	1	0,25	0,48	0,26	44
Ba	282±19	376	232	270	53	19
La	7,8±1	13	5,2	6,3	3	38
Ce	18±4,3	36	1,6	18	12	67
Nd	7,2±1,6	13	0,5	8,6	4,5	62
Sm	1,3±0,24	2,3	0,12	1,2	0,67	51
Eu	0,24±0,04	0,52	0,14	0,18	0,13	54
Tb	0,21±0,04	0,41	0,081	0,18	0,12	57
Yb	1,2±0,13	2	0,85	1,1	0,36	30

Продолжение таблицы 31

Lu	0,11±0,03	0,25	0,009	0,12	0,08	72
Hf	6±0,29	6,9	4,7	6	0,82	14
Ta	0,37±0,07	0,61	0,005	0,33	0,2	54
Au	0,0008±0,0002 (НПО≥50%)	0,002	0,0005	0,0007	0,0006	75
Hg	0,023±0,006	0,047	0,0037	0,024	0,017	74
Th	2,4±0,42	5	1,5	1,9	1,2	50
U	0,79±0,1	1,2	0,37	0,9	0,29	37

В верхнем слое почвы большинство элементов также характеризуется однородным распределением. Однако в сравнении со средним по профилю в целом в данном горизонте больше элементов со слабодифференцированным распределением в условно-фоновой среде (Sm, Eu, Ta, Th). Дифференцированное распределение обретают еще 3 элемента (Lu, Hg, Au). Однако ряд элементов переходит к более однородному распределению: Hg, Cs, Sc, Fe, As. Таким образом, в верхнем горизонте почвы условно-фоновой территории элементы не проявляют интенсивно дифференцированного распределения (табл. 32).

Таблица 32 – Типы распределение химических элементов в верхнем горизонте почвы территории Тюменского федерального заказника (согласно классификации Шестакова (1988))

Однородное (V<50%)	Слабодифференцированное (V=50–70%)	Дифференцированное (V=70–100%)	Интенсивно дифференцированное (V>100%)
<u>Na</u> , <u>Ca</u> , <u>Sc</u> , <u>Cr</u> , Fe, <u>Co</u> , <u>Rb</u> , <u>Sr</u> , Cs, As, <u>Ag</u> , <u>Sb</u> , <u>Ba</u> , <u>La</u> , <u>Yb</u> , <u>Hf</u> , <u>U</u>	<u>Br</u> , <u>Ce</u> , Sm, Eu, Nd, <u>Tb</u> , Ta, Th	<u>Zn</u> , Lu, Hg, Au	

*Примечание: подчеркиванием выделены элементы, имеющие тот же тип распределения, что и в разрезе*

В сравнении с литературными данными (Ярошевский, 1990) повышенные содержания в почве условно-фоновой территории проявляет лишь Cr (рис. 28) ( $p<0,05$ ). Серебро, содержание которого смотрится на графике как повышенное, определилось на границе предела обнаружения, поэтому мы не принимали его в расчет.

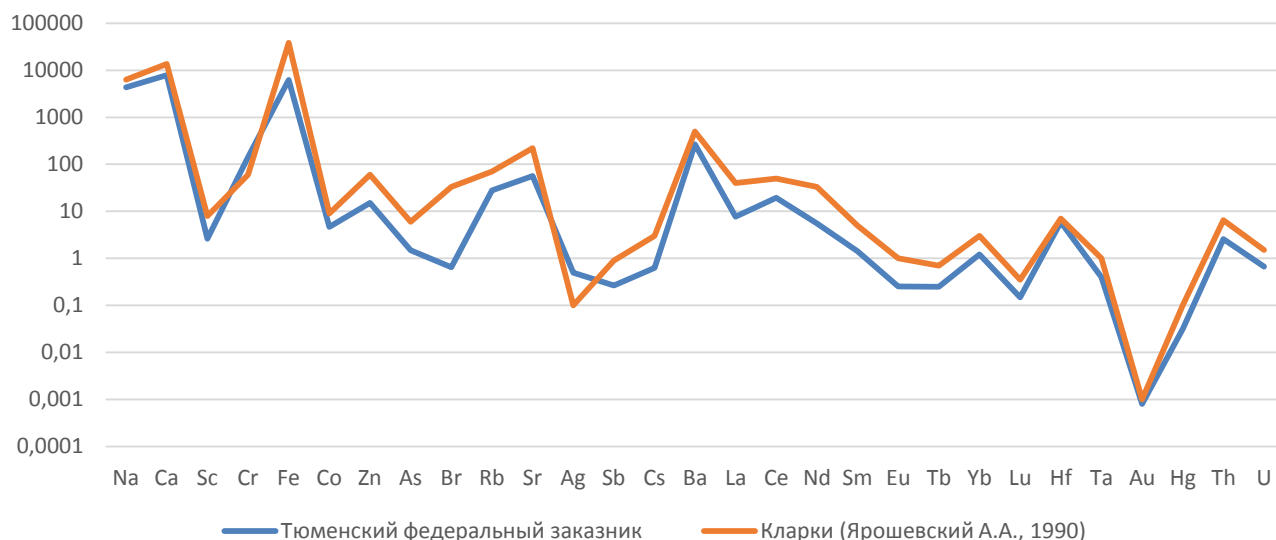


Рисунок 28 – Содержание химических элементов (мг/кг) в горизонте А1 почвы территории Тюменского федерального заказника в сравнении с кларком (Ярошевский, 1990) (мг/кг, логарифмическая шкала)

*Примечание: Ag – предел определения*

Об относительной незагрязненности почвы свидетельствует низкий суммарный показатель загрязнения (2,2) (табл. 33).

Таблица 33 – Геохимический ряд и суммарный показатель загрязнения для верхнего горизонта почвы территории Тюменского федерального заказника относительно кларка (Ярошевский, 1990)

$\text{Cr}_{2,2} > \text{Hf}_{0,85} > \text{Na}_{0,73} > \text{Ca}_{0,58} > \text{Ba}_{0,56} > \text{U}_{0,53} > \text{Co}_{0,52} > \text{Rb}_{0,43} > \text{Yb}_{0,41} > \text{Ta}_{0,37} > \text{Th}_{0,37} > \text{Ce}_{0,36} > \text{Lu}_{0,31} > \text{Sr}_{0,31} > \text{Sc}_{0,3} > \text{Tb}_{0,3} > \text{Sb}_{0,28} > \text{Sm}_{0,26} > \text{Zn}_{0,25} > \text{Eu}_{0,24} > \text{Hg}_{0,23} > \text{As}_{0,23} > \text{Nd}_{0,22} > \text{Cs}_{0,2} > \text{La}_{0,19} > \text{Fe}_{0,15} > \text{Br}_{0,02}$	$Z_C = 2,2$
---	-------------

*Примечание: жирным выделены элементы с  $K_k \geq 1$*

Относительная незагрязненность почвы условно-фоновой территории проявляется и при сравнении ее с почвами других регионов (рис. 29).

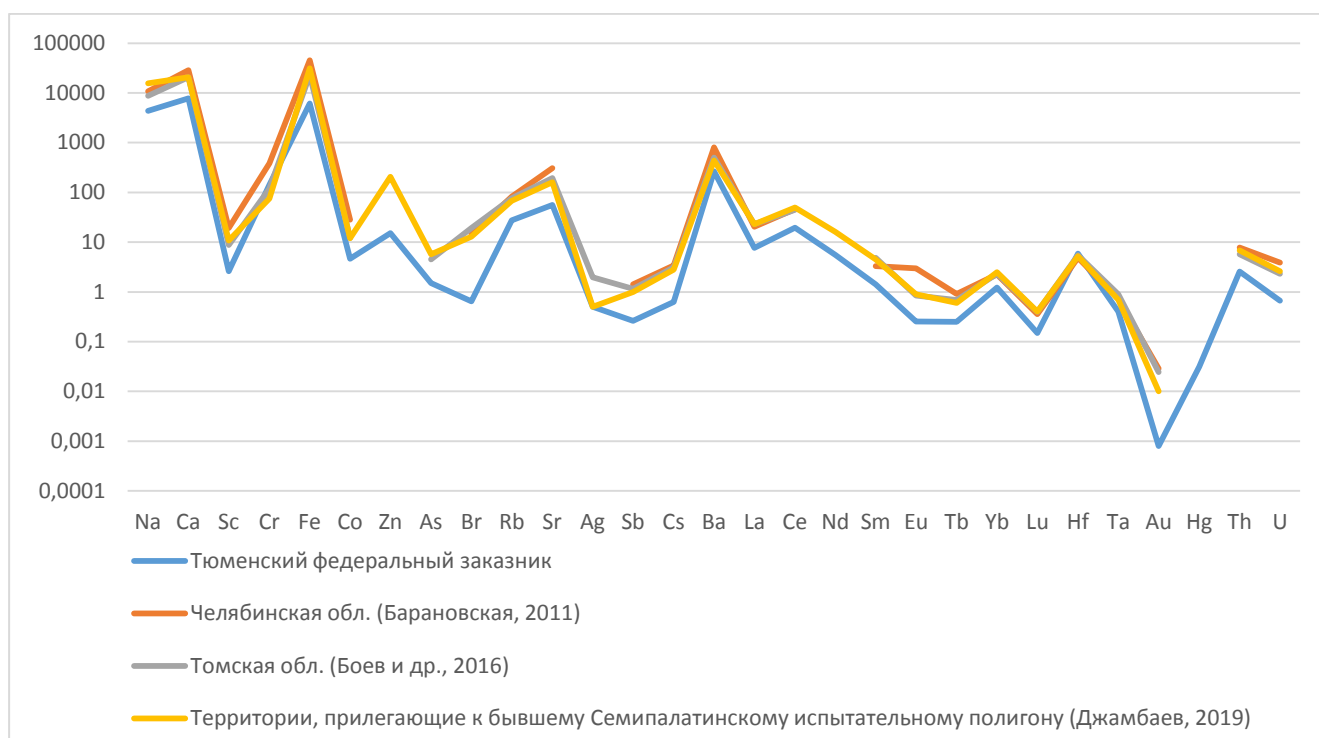


Рисунок 29 – Элементный состав почвы территории Тюменского федерального заказника в сравнении с почвами других регионов (верхний горизонт) (мг/кг, логарифмическая шкала)

*Примечание: Ag – предел определения*

Таким образом, можно сделать вывод о том, что, согласно минералогическому и элементному составу, а также выявленным закономерностям распределения химических элементов по горизонтам, почвы Тюменского федерального заказника могут быть отнесены к условно – фоновым. Из установленной специфики можно отметить повышенное концентрирование хрома в сравнении с кларком.

#### 4.2. Характеристика элементного состава органических компонентов природной среды Тюменского федерального заказника

В качестве органических компонентов биогеоценозов в данной работе рассмотрены подстилка, растения и их отдельные органы. Так, в составе однолетних растений преобладающий характер встречаемости отмечен для нескольких видов злаков и осок (Гуров и др., 1980; Растительный покров Западно-Сибирской равнины, 1985). Из многолетних растений сообщества изучены закономерности накопления в листьях березы повислой (*Betula pendula*, Roth) как наиболее распространенного на данной территории дерева. Кроме того, к органическим компонентам отнесена подстилка, формирование которой происходит в результате опада и отмирания, в том числе, вышеуказанных видов.

Был изучен состав опада в подстилке. Хвойная фракция значительно преобладает над листовой (табл. 34, рис. 30).

Таблица 34 – Состав подстилки территории Тюменского федерального заказника (г из 10 г)

Точка	Листовая	Хвойная	Прочее
1	0,06	1,96	7,96
2	2,12	3,45	4,36
3	0,1	2,06	7,79
ср	0,76	2,49	6,7

Однако наибольшую долю в подстилке составляют прочие компоненты, такие как древесная кора, обломки веток, шишки и т. д. (табл. 34, рис. 27).



Рисунок 30 – Фракционный состав подстилки территории Тюменского федерального заказника (%)

В подстилке территории Тюменского федерального заказника большинство элементов имеет невысокие коэффициенты вариации (табл. 35).

Таблица 35 – Параметры химического состава подстилки территории Тюменского федерального заказника

Элементы, мг/кг	Ср (n=5)	Max	Min	$M_e$	S	V, %
Na	3288±382	4345	2091	3288	853	26
Ca	104548±8350	131233	82660	101298	18671	18
Sc	3,40±0,18	4	3	3,3	0,4	12
Cr	113±7,5	143	102	106	17	15
Fe	11724±729	14358	10113	11562	1630	14



## Продолжение таблицы 35

Co	14±2,9	26	10	12	6,4	45
Zn	1407±217	1939	919	1198	485	35
As	4,2±1	8,1	2,1	3,7	2,3	54
Br	38±6,9	51	12	43	15	41
Rb	31±1,3	33	27	32	3	9,7
Sr	365±139	671	30	538	310	85
Ag	0,200±0,044 (НПО≥50%)	0,37	0,15	0,15	0,1	50
Sb	2,30±0,51	3,9	0,88	2,4	1,2	51
Cs	1,30±0,18	1,8	0,83	1,3	0,39	30
Ba	1422±207	1892	813	1363	463	33
La	9,20±0,89	12	6,8	9	2	22
Ce	9,1±1,2	13	6,5	8,6	2,6	29
Nd	1,7±1,2 (НПО≥50%)	6,7	0,5	0,5	2,8	165
Sm	0,99±0,40	1,9	0,02	1,4	0,9	91
Eu	0,340±0,058	0,46	0,12	0,36	0,13	38
Tb	0,240±0,072	0,44	0,01	0,21	0,16	67
Yb	0,95±0,11	1,3	0,59	0,97	0,25	26
Lu	0,130±0,015	0,18	0,1	0,12	0,033	25
Hf	3,50±0,62	5,9	2,5	3,3	1,4	39
Ta	0,360±0,062	0,5	0,22	0,36	0,14	38
Au	<0,004 (НПО≥50%)					
Hg	0,210±0,019	0,29	0,18	0,19	0,043	20
Th	1,90±0,25	2,7	1,3	2	0,55	28
U	0,71±0,15	0,98	0,21	0,82	0,33	46

К тому же проведено послойное изучение элементного состава подстилки (табл. 36).

Таблица 36 – Значения элементного состава слоев подстилки территории Тюменского федерального заказника

Элементы, мг/кг	Верхний	Средний	Нижний
Na	1755	2827	4679
Ca	168240	115333	68874
Sc	2,7	3,8	5,5
Cr	96	130	148
Fe	9183	11316	15151
Co	12	10	13
Zn	1740	1291	958
As	3,9	5,2	6,5

Продолжение таблицы 36

Br	23	16	16
Rb	29	33	41
Sr	605	469	370
Ag	<1 (НПО $\geq$ 50%)	<1 (НПО $\geq$ 50%)	<1 (НПО $\geq$ 50%)
Sb	2,7	3,4	4,8
Cs	1,1	1,2	1,7
Ba	1308	1137	1142
La	7,6	10	16
Ce	16	20	31
Nd	4	6,3	13
Sm	1,9	2,6	3,4
Eu	0,3	0,4	0,54
Tb	0,075	0,34	0,4
Yb	0,66	0,96	1,4
Lu	0,076	0,12	0,18
Hf	1,4	3,2	4,8
Ta	0,21	0,46	0,73
Au	0,0029	<0,003 (НПО $\geq$ 50%)	<0,003 (НПО $\geq$ 50%)
Hg	0,069	0,1	0,14
Th	1,6	2,3	4,1
U	0,039 (НПО $\geq$ 50%)	0,094	0,69

Для большинства изученных элементов наблюдается возрастание содержания книзу: Na, Sc, Cr, Fe, As, Rb, Sb, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Th, U. При этом ряд элементов наоборот накапливается в верхнем слое: Ca, Zn, Br, Sr, Ba, Au (табл. 36, рис. 31).

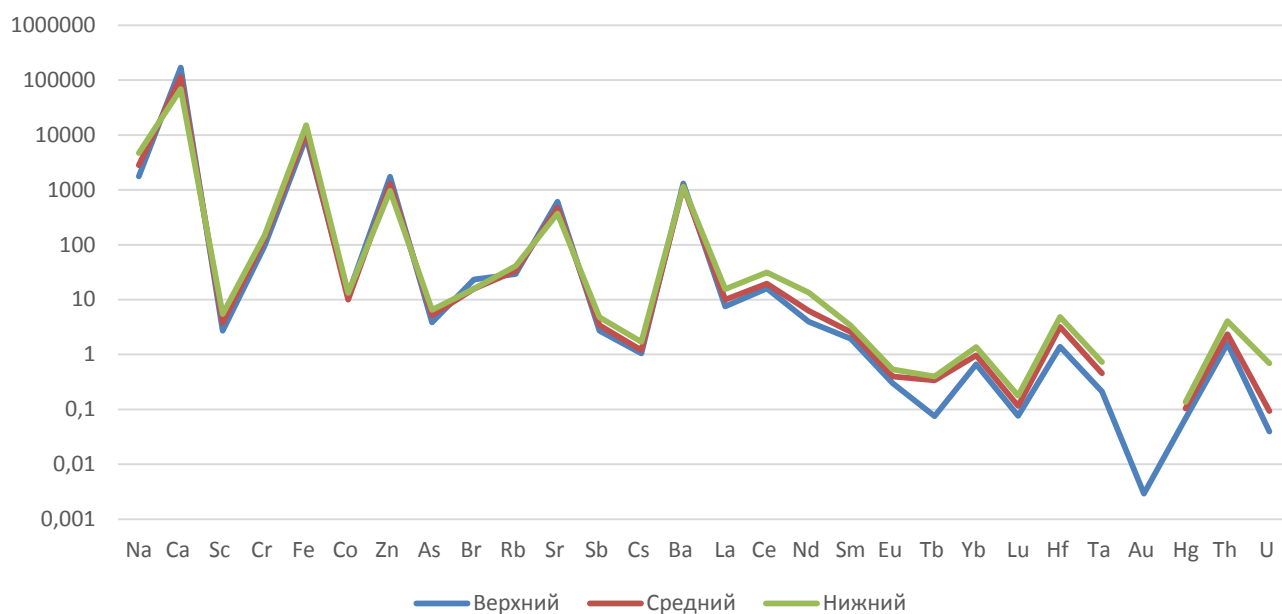


Рисунок 31 – Элементный состав слоев подстилки территории Тюменского федерального заказника (мг/кг, логарифмическая шкала).

В травостое в сравнении с подстилкой у многих элементов коэффициенты вариации повышены, что свидетельствует о значительно более высокой неоднородности их концентрирования (табл. 37).

Таблица 37 – Параметры химического состава травостоя территории Тюменского федерального заказника

Элементы, мг/кг	Срр (n=5)	Max	Min	$M_e$	S	V, %
Na	1202±246	1851	576	1369	550	46
Ca	76782±7129	96118	52114	80564	15941	21
Sc	0,79±0,21	1,5	0,29	0,74	0,46	58
Cr	130±29	246	86	106	66	51
Fe	2735±280	3479	2095	2807	626	23
Co	2,8±0,6	4,8	1,6	2,3	1,3	47
Zn	555±73	784	326	570	164	30
As	1,40±0,38	2,3	0,2	1,7	0,84	58
Br	22±3,8	35	14	21	8,5	39
Rb	63±6,3	76	41	64	14	22
Sr	432±41	506	291	476	91	22
Ag	0,30±0,11 (НПО≥50%)	0,72	0,15	0,15	0,25	83
Sb	0,45±0,12	0,82	0,22	0,37	0,26	58
Cs	0,27±0,10	0,57	0,05	0,14	0,23	85
Ba	1863±330	2604	669	2004	738	40
La	1,20±0,55	3,2	0,05	0,79	1,2	103

Продолжение таблицы 37

Ce	1,20±0,95 (НПО≥50%)	5	0,25	0,25	2,1	177
Nd	1,80±0,79	4,1	0,45	0,75	1,8	97
Sm	0,36±0,16	0,94	0,02	0,25	0,36	98
Eu	0,064±0,016	0,13	0,045	0,046	0,035	55
Tb	0,058±0,016	0,12	0,029	0,04	0,035	60
Yb	0,230±0,084	0,46	0,07	0,13	0,19	83
Lu	0,0290±0,006 8	0,053	0,011	0,028	0,015	52
Hf	0,66±0,17	1,3	0,32	0,51	0,38	58
Ta	0,055±0,018	0,1	0,007	0,046	0,041	75
Au	0,00330±0,00 088	0,0065	0,002	0,0021	0,002	61
Hg	0,110±0,033	0,2	0,022	0,11	0,073	66
Th	0,080±0,039 (НПО≥50%)	0,19	0,02	0,02	0,09	113
U	0,18±0,12	0,64	0,004	0,045	0,26	146

Столь существенные вариации содержаний тория, церия, урана в травостое на фоновой территории может свидетельствовать о неоднородности поступления данных элементов в различные виды растений, включенных в состав травостоя, с одной стороны, а также о чувствительности данного компонента к природным водам, поставляющим эти элементы из глубинных горизонтов, с другой. Несмотря на то, что торий не является элементом хорошей водной миграции (как раз напротив – практически не мигрирует), тем не менее, существуют данные о его поступлении в растения в результате их избирательного концентрирования (Кабата-Пендиас и др., 1989).

Для листьев условно-фоновой территории отмечено наличие частиц сложного состава, включающего Fe, Zn, Cu и некоторые редкоземельные элементы. Это может объясняться возможным трансграничным переносом с пылеаэрозолями из Тюмени либо Свердловской области (рис. 32).

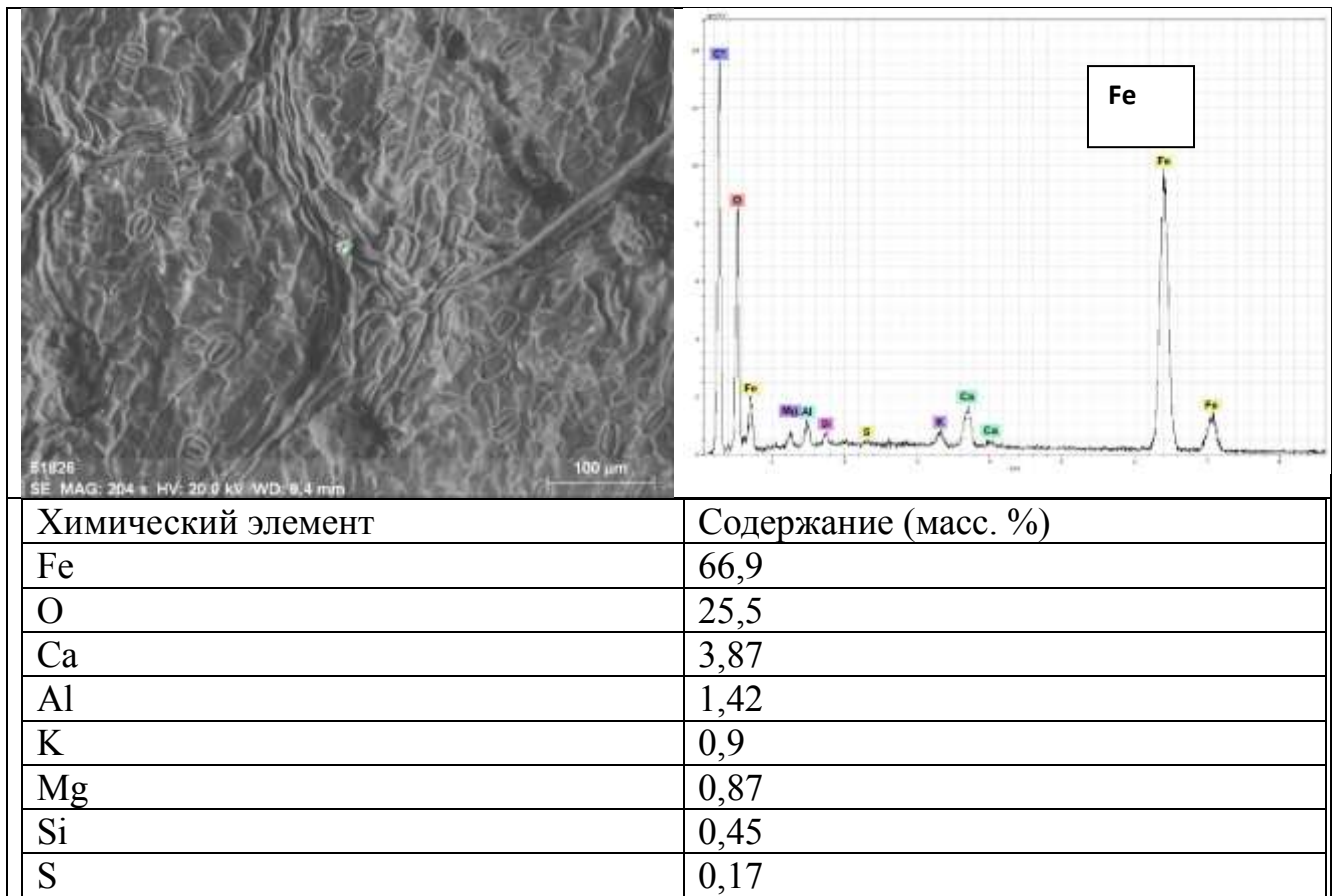
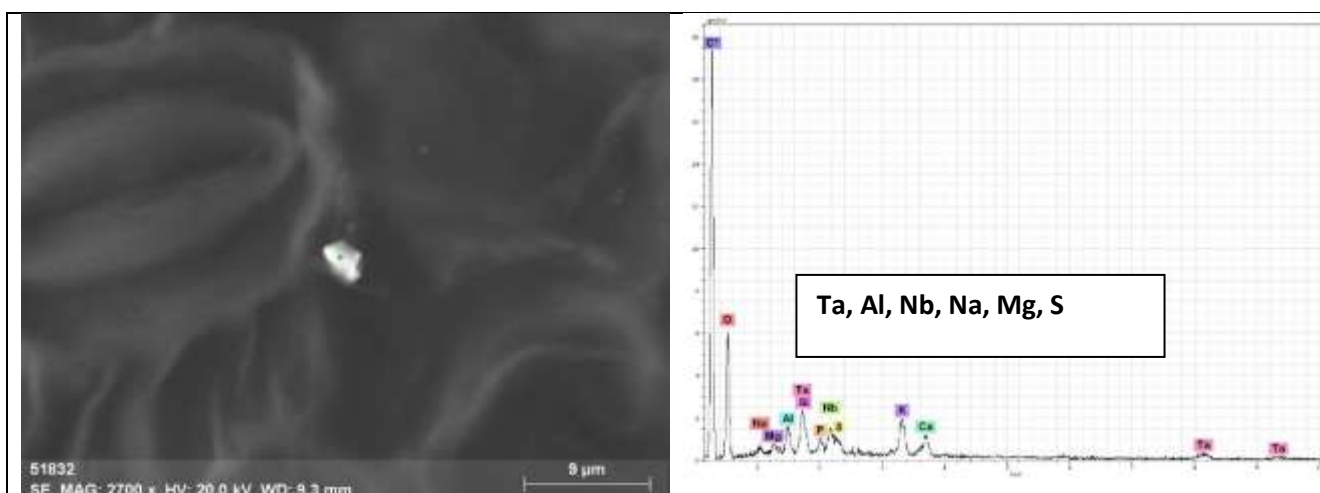
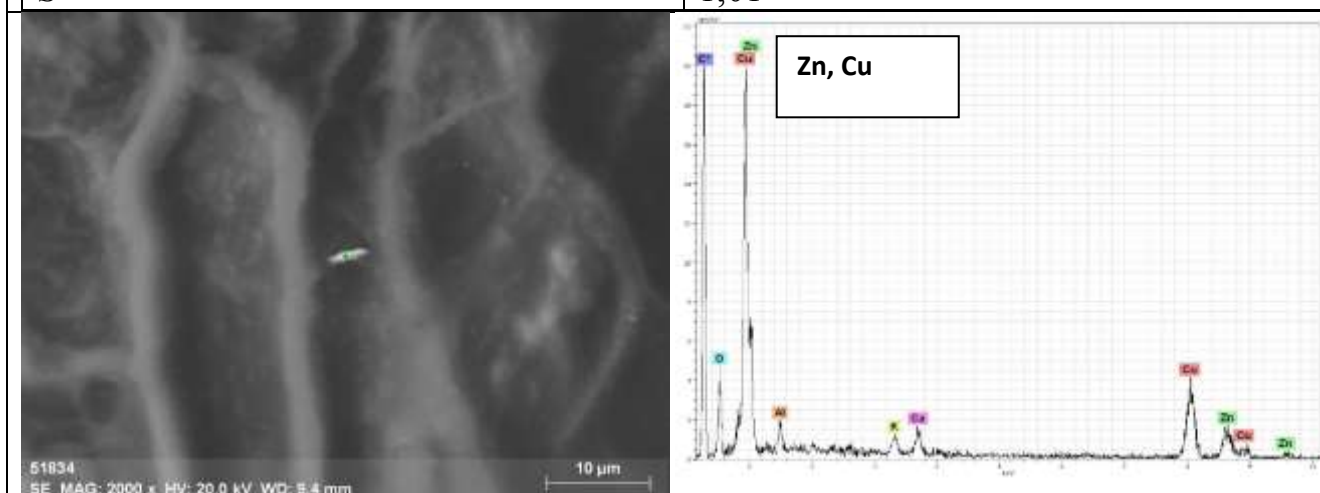


Рисунок 32 – Микрочастицы на поверхности листьев березы повислой территории Тюменского федерального заказника



Химический элемент	Содержание (масс. %)
O	56,5
Ta	14,3
Nb	8,09
K	6,77
Ca	4,63
Al	2,99
P	1,81
Na	1,58
Si	1,18
Mg	1,11
S	1,01



Химический элемент	Содержание (масс. %)
Cu	49,6
Zn	24,3
O	18,4
Ca	3,6
K	2,15
Al	1,97

Продолжение рисунка 32



В листьях наблюдаются большие колебания коэффициента вариации для изученных элементов (табл. 38).

В целом, для органических компонентов характерно незначительный разброс в накоплении химических элементов. В листьях и особенно в подстилке большинство элементов имеет однородное распределение. В травостое многие элементы также проявляют слабодифференцированное распределение (табл. 39).

В изученных органических компонентах биогеоценоза Тюменского федерального заказника, в сравнении с литературными данными, (Ткалич, 1969) проявляется накопление общего ряда химических элементов: Hg, Ba, Sr, Hf, Sb, Sc, Ca. Помимо них в листьях наблюдается повышенное содержание Zn, в травостое – Ta, As, в подстилке – Ta, As, Th, Zn, U, Fe. Предположительно это является региональной спецификой. Наибольшим накоплением химических элементов характеризуется подстилка, наименьшим – листья березы (табл. 40).

Подстилка характеризуется наибольшим количеством среди рассмотренных сред химических элементов с коэффициентом биологического поглощения больше единицы: Ca, Sc, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Eu, Au, Hg, U. В травянистых растениях перечень таких химических элементов значительно меньше: Ca, Zn, Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Au, Hg. В листьях зафиксирован тот же перечень за исключением Sb. Во всех изученных средах наблюдается следующий перечень элементов: Ca, Zn, Br, Rb, Sr, Ba, Au, Hg.

Таблица 38 – Параметры химического состава листьев березы повислой территории Тюменского федерального заказника

Элементы, мг/кг	C <sub>ср</sub> (n=5)	Max	Min	M <sub>e</sub>	S	V, %
Na	918±478	2792	250	561	1068	116
Ca	146357±6006	161530	129961	149201	13429	9,2
Sc	0,1900±0,0072	0,22	0,18	0,19	0,02	11
Cr	6,9±2,1	15	3,2	5,9	4,7	68
Fe	797±157	1198	377	837	350	44
Co	2,50±0,22	3,3	2	2,3	0,49	20
Zn	3550±322	4482	2686	3754	720	20
As	0,63±0,26 (НПО≥50%)	1,3	0,2	0,2	0,59	94
Br	5,70±0,96	9,5	4,3	5	2,2	38
Rb	84±6	98	70	87	13	16
Sr	459±180	865	30	602	403	88
Ag	0,31±0,10 (НПО≥50%)	0,63	0,15	0,15	0,23	73
Sb	0,110±0,015	0,15	0,055	0,11	0,033	31
Cs	0,0550±0,0094	0,083	0,027	0,05	0,021	38
Ba	2974±195	3481	2503	2821	436	15
La	<0,09 (НПО≥50%)					

Продолжение таблицы 38

Ce	<0,5 (НПО≥50%)					
Nd	0,4500±0,0029 (НПО≥50%)	0,45	0,44	0,45	0,01	2,2
Sm	<0,04 (НПО≥50%)					
Eu	0,0210±0,0082	0,048	0,005	0,012	0,018	89
Tb	0,0140±0,0041 (НПО≥50%)	0,03	0,01	0,01	0,0091	65
Yb	0,0230±0,0096	0,058	0,003	0,013	0,021	91
Lu	0,0150±0,0064	0,034	0,0025	0,011	0,014	94
Hf	0,064±0,018	0,11	0,025	0,063	0,04	63
Ta	0,0120±0,0074 (НПО≥50%)	0,042	0,0042	0,005	0,017	135
Au	0,0047±0,0017	0,011	0,002	0,0029	0,0037	79
Hg	0,210±0,026	0,27	0,13	0,23	0,058	28
Th	<0,04 (НПО≥50%)					
U	0,100±0,067	0,37	0,014	0,045	0,15	149

Таблица 39 – Типы распределения химических элементов в органических компонентах природной среды территории Тюменского федерального заказника (согласно классификации Шестакова (1988))

	Однородное (V<50%)	Слабодифференцированное (V=50–70%)	Дифференцированное (V=70–100%)	Интенсивно дифференцированное (V>100%)
Подстилка	Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Br, Rb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Th, U	As, Ag, Sb, Tb	Sr, Sm	Nd
Травостой	Na, Ca, Fe, Co, Zn, Br, Rb, Sr, Ba	Sc, Cr, As, Sb, Eu, Tb, Lu, Hf, Au, Hg	Ag, Cs, Nd, Sm, Yb, Ta	La, Ce, Th, U
Листья	Ca, Sc, Fe, Co, Zn, Br, Rb, Sb, Cs, Ba, Nd, Hg	Cr, Tb, Hf	As, Sr, Ag, Eu, Yb, Lu, Au	Na, Ta, U

Таблица 40 – Геохимические ряды и показатели суммарного накопления для органических компонентов природной среды территории Тюменского федерального заказника относительно среднего содержания в золе современных континентальных растений (Ткалич, 1969)

Подстилка (n=5)	<b>Ta</b> <sub>73</sub> > <b>Hf</b> <sub>71</sub> > <b>Sb</b> <sub>45</sub> > <b>Sc</b> <sub>38</sub> > <b>Ba</b> <sub>14</sub> > <b>As</b> <sub>14</sub> > <b>Sr</b> <sub>12</sub> > <b>Th</b> <sub>3,9</sub> > <b>Ca</b> <sub>3,5</sub> > <b>Hg</b> <sub>2,1</sub> > <b>Zn</b> <sub>1,6</sub> > <b>U</b> <sub>1,4</sub> > <b>Fe</b> <sub>1,2</sub> > <b>Co</b> <sub>0,95</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,65</sub> > <b>Cr</b> <sub>0,45</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,31</sub> > <b>Br</b> <sub>0,25</sub> > <b>Na</b> <sub>0,16</sub> > <b>La</b> <sub>0,092</sub> > <b>Ce</b> <sub>0,091</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,0099</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,0095</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,0034</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,0024</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,0013</sub>	Z <sub>C</sub> =269
Травостой (n=5)	<b>Ba</b> <sub>19</sub> > <b>Sr</b> <sub>14</sub> > <b>Hf</b> <sub>13</sub> > <b>Ta</b> <sub>11</sub> > <b>Sb</b> <sub>9,1</sub> > <b>Sc</b> <sub>8,8</sub> > <b>As</b> <sub>4,8</sub> > <b>Ca</b> <sub>2,6</sub> > <b>Hg</b> <sub>1,1</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,63</sub> > <b>Zn</b> <sub>0,62</sub> > <b>Cr</b> <sub>0,52</sub> > <b>U</b> <sub>0,36</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,27</sub> > <b>Co</b> <sub>0,19</sub> > <b>Br</b> <sub>0,15</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,13</sub> > <b>Na</b> <sub>0,06</sub> > <b>Nd</b> <sub>0,018</sub> > <b>La</b> <sub>0,012</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,0036</sub> > <b>Au</b> <sub>0,0033</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,0023</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,00064</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,00058</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,00029</sub>	Z <sub>C</sub> =75
Листья (n=5)	<b>Ba</b> <sub>30</sub> > <b>Sr</b> <sub>15</sub> > <b>Ca</b> <sub>4,9</sub> > <b>Zn</b> <sub>3,9</sub> > <b>Sc</b> <sub>2,1</sub> > <b>Sb</b> <sub>2,1</sub> > <b>Hg</b> <sub>2,1</sub> > <b>Hf</b> <sub>1,3</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,84</sub> > <b>U</b> <sub>0,2</sub> > <b>Co</b> <sub>0,17</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,08</sub> > <b>Na</b> <sub>0,046</sub> > <b>Br</b> <sub>0,038</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,028</sub> > <b>Cr</b> <sub>0,028</sub> > <b>Au</b> <sub>0,0047</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,00023</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,00021</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,00015</sub>	Z <sub>C</sub> =54

*Примечание: жирным выделены элементы с  $Kk \geq 1$ , подчеркнуты элементы с  $Kk \geq 1$ , общие для всех сред, Hg нормирована относительно Markert, B. (1992)*

При этом большинство химических элементов с повышенным коэффициентом концентрации для всех органических компонентов, за исключением Ta, Hf, Sb, As, характеризуется повышенным коэффициентом биологического поглощения в данных средах (табл. 41), что свидетельствует об их природном характере поступления в живые организмы.

Таблица 41 – Показатели коэффициента биологического поглощения химических элементов для органических компонентов природной среды территории Тюменского федерального заказника

Химические элементы	Подстилка	Травостой	Листья
Na	0,75	0,28	0,21
<u>Ca</u>	<b>13</b>	<b>9,8</b>	<b>18</b>
Sc	<b>1,3</b>	0,3	0,074
Cr	0,8	0,92	0,049
Fe	<b>1,9</b>	0,44	0,13
Co	<b>3,1</b>	0,61	0,53
<u>Zn</u>	<b>93</b>	<b>37</b>	<b>234</b>
As	<b>2,8</b>	0,97	0,42
<u>Br</u>	<b>58</b>	<b>34</b>	<b>8,8</b>
<u>Rb</u>	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	<b>3</b>
<u>Sr</u>	<b>6,5</b>	<b>7,7</b>	<b>8,2</b>
Ag	0,4	0,6	0,62
Sb	<b>8,6</b>	<b>1,7</b>	0,4
Cs	<b>2,1</b>	0,43	0,088
<u>Ba</u>	<b>5,3</b>	<b>7</b>	<b>11</b>
La	<b>1,2</b>	0,15	0,0058
Ce	0,46	0,06	0,013

Продолжение таблицы 41

Nd	0,3	0,33	0,081
Sm	0,7	0,25	0,014
Eu	<b>1,3</b>	0,24	0,083
Tb	0,96	0,23	0,056
Yb	0,78	0,19	0,019
Lu	0,88	0,2	0,1
Hf	0,6	0,11	0,011
Ta	0,9	0,13	0,03
<u>Au</u>	<b>2,5</b>	<b>4,1</b>	<b>6,3</b>
<u>Hg</u>	<b>6,8</b>	<b>3,5</b>	<b>6,7</b>
Th	0,75	0,031	0,0078
U	<b>1,1</b>	0,27	0,15

*Примечание: подчеркиванием выделены химические элементы, имеющие повышенные коэффициенты биологического накопления во всех изученных средах, жирным выделены значения коэффициента биологического поглощения >1.*

Таким образом, можно отметить, что для органических компонентов фоновой территории характерным является достаточно однородный характер накопления химических элементов на фоне проявления специфичности каждой изученной среды. На формирование элементного и микроминерального состава изученных компонентов может оказывать влияние трансграничный перенос веществ.

#### 4.3. Общая характеристика элементного состава компонентов биогеоценоза Тюменского федерального заказника

Наиболее информативным среди рассмотренных компонентов биогеоценоза по суммарному показателю загрязнения (накопления) относительно кларка ноосферы (Глазовская, 1988) являются листья. Однако наибольшее количество элементов с повышенным коэффициентом концентрации отмечено для подстилки.

Кроме того, следует отметить специфичность каждой изученной среды, состоящую, например, в значимом концентрировании химических элементов в подстилке и незначительном в почве.

Было проведено сравнение всех изученных компонентов биогеоценоза с кларком ноосферы (Глазовская, 1988). На основе этого проявился общий спектр элементов с повышенным содержанием (Ba и Sr) во всех изученных объектах. При этом растительные объекты отличаются одинаковым преимущественным накоплением Ba, Zn, Sr, Ca (табл. 42).

Таблица 42 - Геохимические ряды и показатели суммарного загрязнения для компонентов природной среды территории Тюменского федерального заказника относительно кларка ноосферы (Глазовская, 1988)

Почва (n=20)	<u>Ba</u> <sub>7,7</sub> > <u>Cr</u> <sub>2,7</sub> > <u>Hf</u> <sub>2,3</sub> > <u>Sr</u> <sub>1,7</sub> >Sb <sub>0,9</sub> >La <sub>0,66</sub> >Yb <sub>0,6</sub> >Nd <sub>0,53</sub> >Ce <sub>0,51</sub> >Ca <sub>0,5</sub> >U <sub>0,46</sub> >As <sub>0,41</sub> >Sc <sub>0,37</sub> >Eu <sub>0,36</sub> >Rb <sub>0,35</sub> >Sm <sub>0,32</sub> >Th <sub>0,3</sub> >Fe <sub>0,29</sub> >Lu <sub>0,27</sub> >Tb <sub>0,26</sub> >Zn <sub>0,26</sub> >Na <sub>0,24</sub> >Co <sub>0,23</sub> >Ta <sub>0,18</sub> >Cs <sub>0,11</sub> >Hg <sub>0,06</sub> >Br <sub>0,03</sub>	Z <sub>C</sub> =11
Подстилк а (n=5)	<u>Ba</u> <sub>40</sub> > <u>Zn</u> <sub>31</sub> > <u>Sr</u> <sub>9,1</sub> > <u>Sb</u> <sub>9</sub> > <u>Ca</u> <sub>6,5</sub> > <u>Cr</u> <sub>2,3</sub> > <u>Br</u> <sub>1,5</sub> > <u>Hf</u> <sub>1,4</sub> > <u>As</u> <sub>1,4</sub> > <u>Hg</u> <sub>1,2</sub> >La <sub>0,77</sub> >Co <sub>0,65</sub> >Fe <sub>0,53</sub> >Eu <sub>0,53</sub> >Yb <sub>0,5</sub> >Sc <sub>0,49</sub> >Tb <sub>0,38</sub> >U <sub>0,37</sub> >Rb <sub>0,32</sub> >Lu <sub>0,29</sub> >Ce <sub>0,28</sub> >Th <sub>0,26</sub> >Cs <sub>0,22</sub> >Sm <sub>0,22</sub> >Na <sub>0,17</sub>	Z <sub>C</sub> =94
Травосто й (n=5)	<u>Ba</u> <sub>52</sub> > <u>Zn</u> <sub>12</sub> > <u>Sr</u> <sub>11</sub> > <u>Ca</u> <sub>4,8</sub> > <u>Cr</u> <sub>2,6</sub> > <u>Sb</u> <sub>1,8</sub> >Br <sub>0,85</sub> >Au <sub>0,66</sub> >Rb <sub>0,66</sub> >Hg <sub>0,61</sub> >As <sub>0,47</sub> >Hf <sub>0,26</sub> >U <sub>0,17</sub> >Co <sub>0,13</sub> >Fe <sub>0,12</sub> >Yb <sub>0,12</sub> >Nd <sub>0,11</sub> >Sc <sub>0,11</sub> >La <sub>0,098</sub> >Eu <sub>0,094</sub> >Tb <sub>0,091</sub> >Sm <sub>0,08</sub> >Lu <sub>0,064</sub> >Na <sub>0,063</sub> >Cs <sub>0,046</sub> >Ta <sub>0,029</sub>	Z <sub>C</sub> =79
Листья (n=5)	<u>Ba</u> <sub>83</sub> > <u>Zn</u> <sub>77</sub> > <u>Sr</u> <sub>11</sub> > <u>Ca</u> <sub>9,1</sub> > <u>Hg</u> <sub>1,2</sub> > <u>Au</u> <sub>1</sub> >Rb <sub>0,88</sub> >Sb <sub>0,42</sub> >Br <sub>0,22</sub> >Cr <sub>0,14</sub> >Co <sub>0,11</sub> >U <sub>0,053</sub> >Na <sub>0,048</sub> >Fe <sub>0,036</sub> >Lu <sub>0,033</sub> >Eu <sub>0,033</sub> >Sc <sub>0,027</sub> >Hf <sub>0,026</sub> >Yb <sub>0,012</sub> >Cs <sub>0,009</sub>	Z <sub>C</sub> =177

*Примечание: жирным выделены элементы с  $Kk \geq 1$ , подчеркнуты элементы с  $Kk \geq 1$ , общие для всех сред*

На основе коэффициентов корреляции выявлена связь между собой значительного количества исследованных химических элементов в почве условно-фоновой территории, образующих основную их ассоциацию. Помимо этой ассоциации выделяется еще одна, в основе которой лежат существенные связи стронция с ураном, что может являться специфичным критерием для изучения территории и характеристики ее природных составляющей (рис. 33).

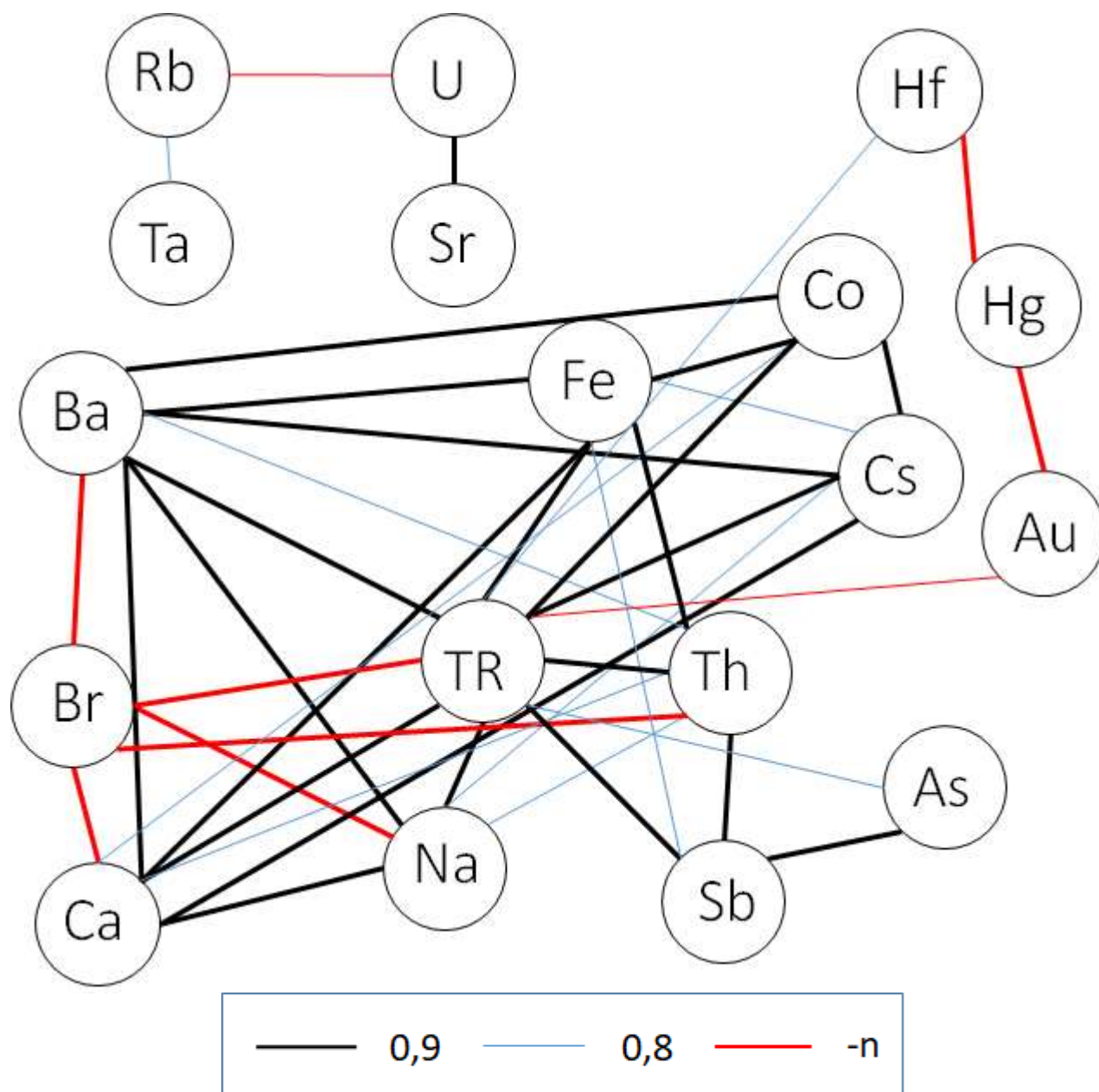


Рисунок 33 – Ассоциации химических элементов в почве территории Тюменского федерального заказника (критическое значение коэффициента корреляции – 0,75 при уровне значимости  $p=0,05$ )

Для подстилки характерны взаимосвязи большинства исследованных элементов в одной ассоциации (рис. 34). При этом максимальным количеством значимых связей характеризуется группа редкоземельных элементов. Это может служить доказательством влияния пылевой составляющей, поскольку для почв эта группа в ассоциации с Th, а также Ca и Fe является основной.



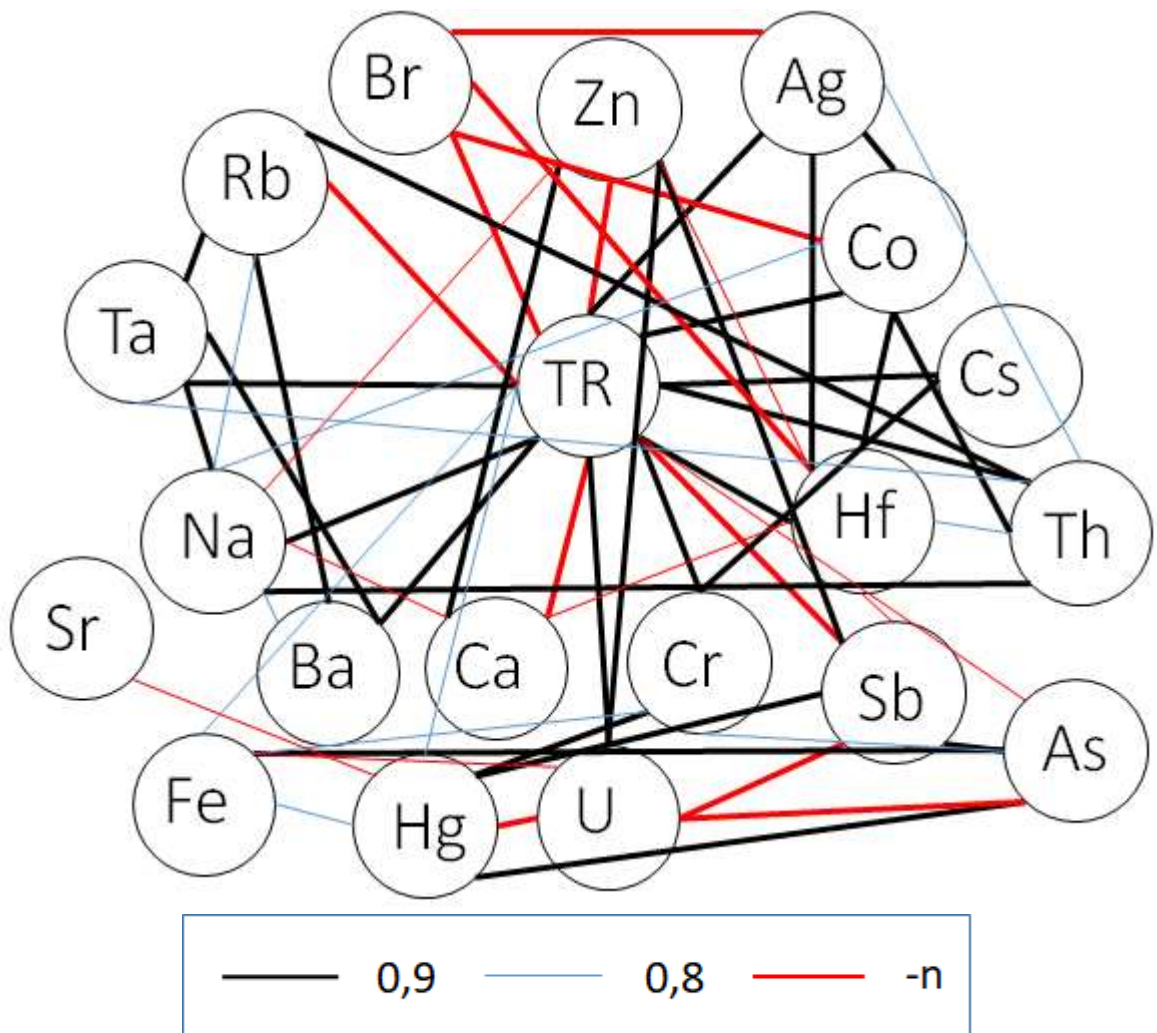


Рисунок 34 – Ассоциации химических элементов в подстилке территории Тюменского федерального заказника (критическое значение коэффициента корреляции – 0,75 при уровне значимости  $p=0,05$ )

В травостое в сравнении с подстилкой элементы менее значимо связаны друг с другом, вследствие чего, помимо основной, выделяются побочные ассоциации (Br-Sr, Ca-Ba-Hg, U-Au-Zn-Cr) (рис. 35). Тем не менее выделенная ранее в почве и подстилке ассоциация редких земель с Th, Hf и др. элементами просматривается как центральная и в травостое.

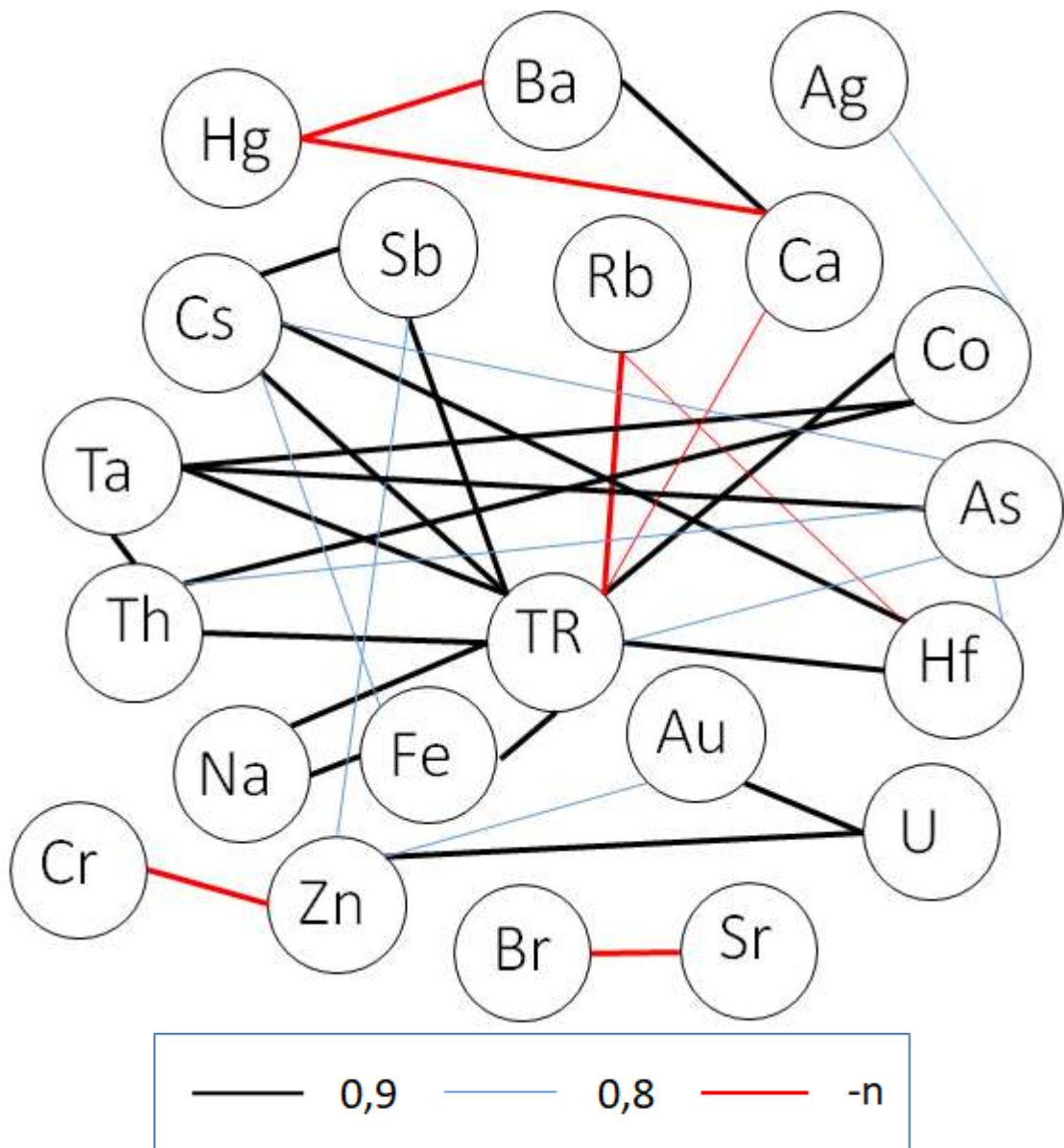


Рисунок 35 – Ассоциации химических элементов в травостое территории Тюменского федерального заказника (критическое значение коэффициента корреляции – 0,75 при уровне значимости  $p=0,05$ )

В листьях наблюдаются также менее значимые связи, но вследствие равномерного их распределения элементы образуют одну ассоциацию. Однако в ней преобладают отрицательные корреляции (рис. 36). Следует отметить, что максимальное количество положительных связей, как и в других компонентах условно-фонового биогеоценоза, образуют редкоземельные элементы. При этом именно для листьев характерна их устойчивая ассоциация с Ta и U. Именно эта группа элементов характеризуется высоко дифференцированным распределением.

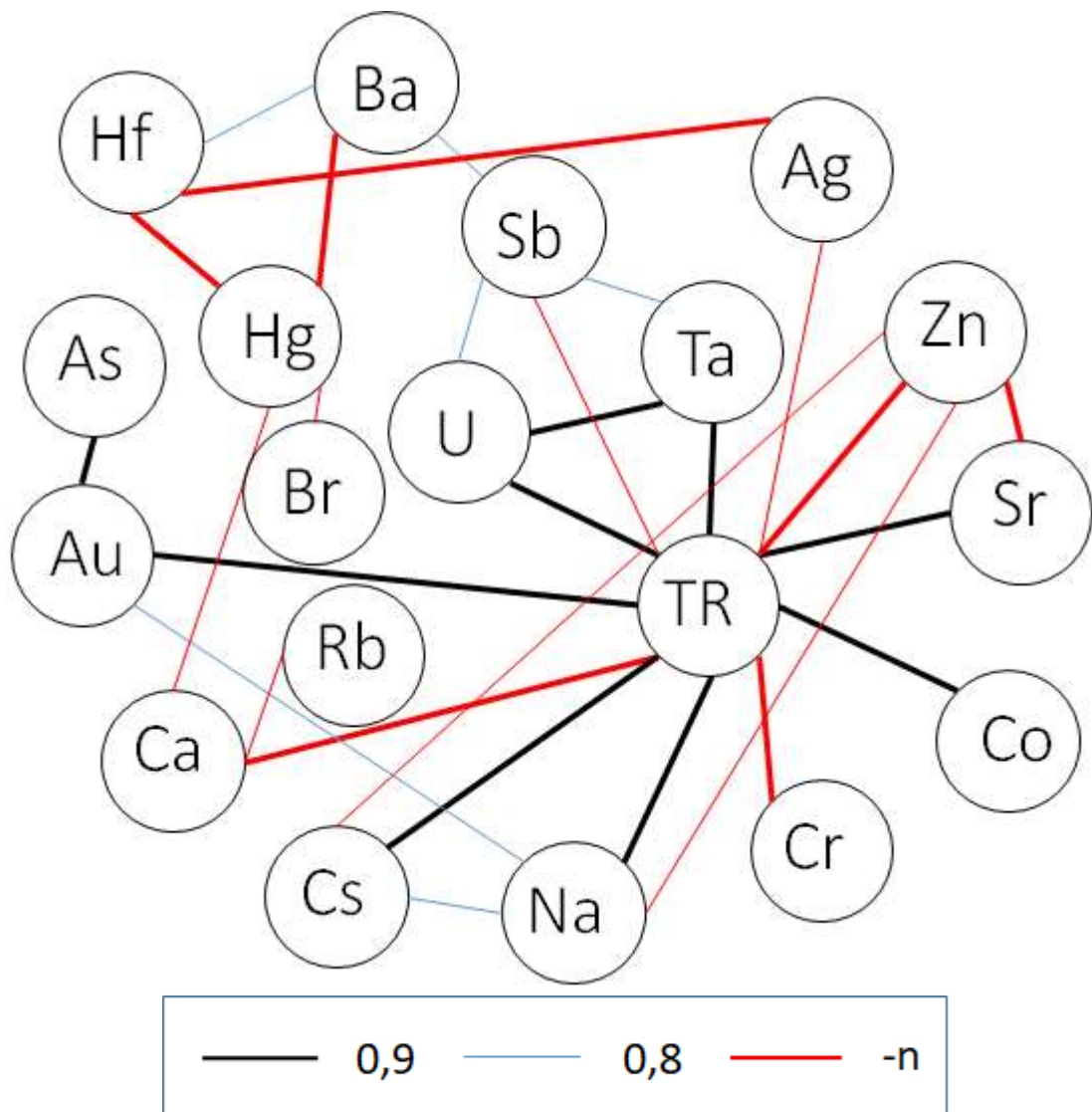


Рисунок 36 – Ассоциации химических элементов в листьях березы повислой территории Тюменского федерального заказника (критическое значение коэффициента корреляции – 0,75 при уровне значимости  $p=0,05$ )

Таким образом, можно сделать вывод о значительной пылевой составляющей в условно-фоновой экосистеме.

Наиболее информативным является комплексный подход к анализу полученной информации при проведении эколого-геохимической оценки территории.

Элементный состав изученных компонентов экосистемы Тюменского федерального заказника может являться ориентировочным условным фоном в экологических исследованиях, в том числе при организации экологического мониторинга на территории юга Сибири.

Для почв ТФЗ характерны содержания изученных химических элементов ниже кларка. При этом большинство из них имеет однородное распределение накапливается преимущественно в нижнем горизонте. Типичные элементы представлены Sr, единственным химическим элементом, превышающим кларк.

Наиболее прочные и многочисленные ассоциации образуют Ca, Na, Sc, Cs, Fe, Ba, Br, РЗЭ и некоторые другие элементы.

Для органики характерен общий спектр химических элементов: Hg, Ba, Sr, Hf, Ta, Sb, Sc, As, Ca. Таким образом, рассмотренные органические компоненты весьма схожи, несмотря на некоторые специфические элементы, которых больше всего в подстилке. При этом по дифференциации распределения они значительно различаются. Наиболее однородной является также подстилка. Данные среды имеют обширные и прочно связанные ассоциации химических элементов с основной ролью РЗЭ, особенно подстилка.

#### 4.4. Характеристика распределения ртути в компонентах природной среды Тюменского федерального заказника

Отдельно нами было проанализировано распределение Hg в исследованных компонентах как одного из специфических загрязнителей нефтеперерабатывающей промышленности, проявляющего особые закономерности концентрирования и распределения и на условно-фоновой территории.

Согласно литературным данным, мировой кларк этого элемента составляет  $0,12 \pm 0,02$  мг/кг (Кабата-Пендиас и др., 1989; Иванов, 1994). По другим источникам – 0,06 мг/кг (Bowen, 1979), 0,2 мг/кг (Овчинников, 1990). Согласно справочным материалам, среднее содержание ртути в почве равно 0,1 мг/кг (Вернадский, 1965; Виноградов, 1962), а средние концентрации в ее верхнем горизонте от 0,1 мг/кг до 400 мг/кг (Кабата-Пендиас и др., 1989). Отмечается высокая вариабельность в накоплении этого элемента в зависимости от условий среды, типа почв и специфики техногенеза (Ровинский, 1982; Петрухин, 1982; Shacklette и др., 1984).

Таблица 43 – Содержание ртути в почве территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

	Ср	Max	Min	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Разрез	$0,011 \pm 0,003$	0,047	0,0009	0,004	0,015	136
A1	$0,023 \pm 0,006$	0,047	0,0037	0,024	0,017	74

В почве территории Тюменского федерального заказника наблюдается наибольшее содержание ртути в верхнем горизонте, что свидетельствует о сложном природно-техногенном характере ее поступления (Боев и др., 2018) и соответствует литературным данным (Кабата-Пендиас и др., 1989) (табл. 43, рис. 37). Повышение концентрации книзу обусловлено тем, что почвы наследуют содержание ртути из материнских пород (Фурсов, 1977).

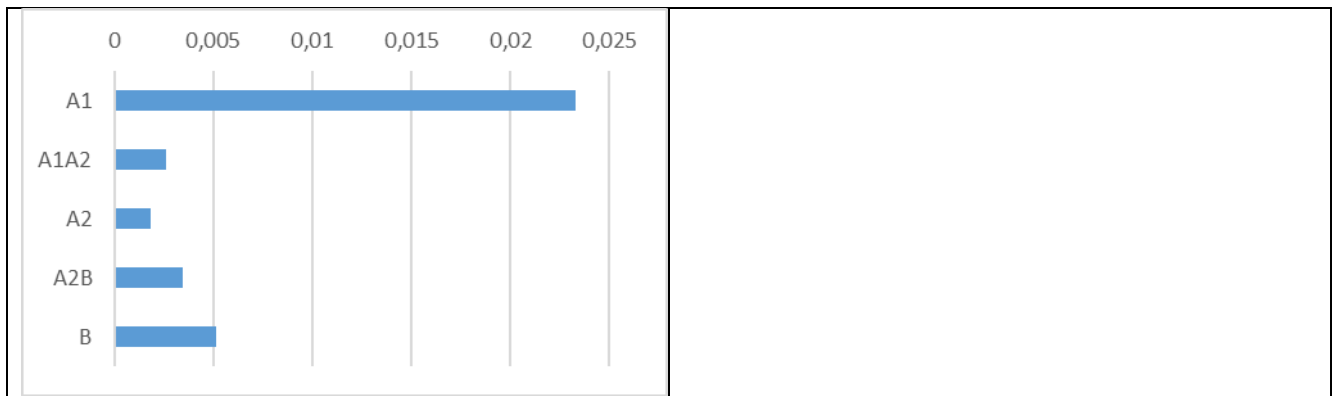


Рисунок 37 – Распределение Hg в профиле почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг).

В растениях накопление ртути происходит обычно пропорционально содержанию в почве. Кларк для наземных растений равен 0,015 мг/кг (Bowen, 1966), кларк живого вещества суши —  $5 \cdot 10^{-7}\%$  (Ярошевский, 1990), среднее содержание для наземных растений — 0,015 мг/кг (Ковальский, 1974), кларк растительности континентов — 0,012 г/т (Добровольский, 1983), фоновые содержания в травянистой растительности бывшего СССР — 0,012 — 0,088 мг/кг, в листьях деревьев — 0,017 мг/кг (Малюга, 1969), фон наземных растений — 0,001 — 0,07 мг/кг (Jonasson, 1972).

Таблица 44 – Содержание ртути в органических компонентах природной среды территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

	Ср	Max	Min	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Подстилка	0,210±0,019	0,29	0,18	0,19	0,043	20
Травостой	0,110±0,033	0,2	0,022	0,11	0,073	66
Листья	0,210±0,026	0,27	0,13	0,23	0,058	28

То есть полученные данные для органических компонентов природной среды условно-фоновой территории (таб. 43) значительно выше литературных. Это может объясняться тем, что они актуальны для золы.

Одним из источников поступления Hg является листовая опад, преимущественно его листовая фракция (Боев и др., 2018). Факт такого поведения химического элемента в лесных сообществах отмечается рядом авторов для других территорий (Иванов, 1994). К тому же распределение Hg в лесных почвах связано с разложением, ферментацией и гумификацией опада (Гладкова и др., 2005).

К тому же таблица 44 свидетельствует о равном содержании Hg в подстилке, в которую преобразуется листовая опад, и составляющих его листьях.

Нами проведено сравнение содержания ртути в хвое и листьях, как в основных компонентах листового опада. Изучение проводилось на территории



Тюменского федерального заказника. Для этого использовано 3 площадки. Первая площадка отличается преимущественно березово-сосновым составом древесной растительности с некоторым преобладанием хвойных древесных пород. Еще одна представлена лиственным лесом, состоящим преимущественно из березы и липы. Третья по составу растительности больше лиственная (березы и липы), но также включает и сосны. Результаты определения содержания ртути в листовом опаде и его хвойной и листовой фракциях приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Содержание ртути в листовом опаде территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Порядковый №	Площадка 1		Площадка 3	Площадка 2	
	Хвойная фракция	Листовая фракция	Листовая фракция	Хвойная фракция	Листовая фракция
X	0,028	0,034	0,047	0,026	0,047
min-max	0,024-0,034	0,032-0,051	0,038-0,053	0,021-0,033	0,031-0,057
Стандартная ошибка	0,0022		0,0019	0,0028	
Содержание в горизонте А1 почвы	0,025		-	0,03	
КБП	1,12 (1%=0,024)	1,37 (1%=0,026)	-	0,84 (1%=0,023)	1,56 (1%=0,024)

*Примечание: X – среднее арифметическое; min-max – наименьшее и наибольшее содержание, КБП – коэффициент биологического поглощения*

Из представленных выше данных следует, что содержание ртути в листовой фракции исследованных пробных площадок превышает содержание ртути в хвойной фракции опада. Так, для первой площадки различие в содержании ртути между листовой фракцией и хвойной составляет почти 10% в пользу первой, а на площадке № 2 разница увеличивается до 30%. Таким образом, несмотря на значительное преобладание на первой площадке деревьев хвойных пород, основной приток ртути в данном биогеоценозе осуществляется именно с опадом лиственных пород деревьев. Это касается анализа за временной период в один год, поскольку различие содержания Hg в хвое разного возраста и листьях, отобранных с деревьев, может иметь несколько иную картину соотношения элемента в разных типах растений. При этом коэффициент биологического поглощения, рассчитанный как отношение содержания ртути в золе к ее содержанию в почвах данного биогеоценоза, показал, что интенсивность всасывания изучаемого элемента с почвенными растворами для рассмотренных видов древесных пород аналогична (последняя строка в таблице 45).



Различие в привносе элемента в зависимости от типа лиственных пород деревьев, встречающихся на территории (липа, береза, осина), не изучалось по причине сложности проведения дифференциации при данном методе отбора, однако следует отметить, что преобладающим видом является липа. При этом для площадок 2 и 3 содержание ртути в листовой фракции практически идентично и составляет 0,047 мг/кг. Это свидетельствует о том, что различие в концентрации элемента различными лиственными породами деревьев либо не существенно, либо береза, представленная на площадке № 3 тридцатью процентами встречаемых деревьев, привносит основной вклад в поступление данного элемента. Этот вопрос требует дополнительных специальных исследований. Для примера, в листе деревьев на территории США содержание Hg составляет  $0,055 \pm 0,007$  мг/кг (Mercury distribution across ..., 2011).

Количество ртути, определенное в листовом опаде данного БГЦ, соответствует ее содержанию в верхнем слое почвы. Так, для всех площадок содержание ртути в листовом опаде в среднем составляет 0,036 мг/кг, а для верхнего горизонта почвы — 0,028 мг/кг. С глубиной концентрация элемента уменьшается, что свидетельствует о его преимущественном поступлении именно с поверхности, в том числе с листовым опадом (рис. 38, табл. 46).

Таблица 46 – Среднее содержание Hg в профиле почвы территории Тюменского федерального заказника

Горизонт	Глубина (см)	Содержание Hg (мг/кг)
A1	5-13	0,023
A1A2	13-25	0,011
A2	25-35	0,0054
A2B	35-50	0,0045
B	50-90	0,0059

Из представленных данных (табл. 46) видно, что содержание Hg в листовом опаде соответствует количеству в верхнем почвенном горизонте.

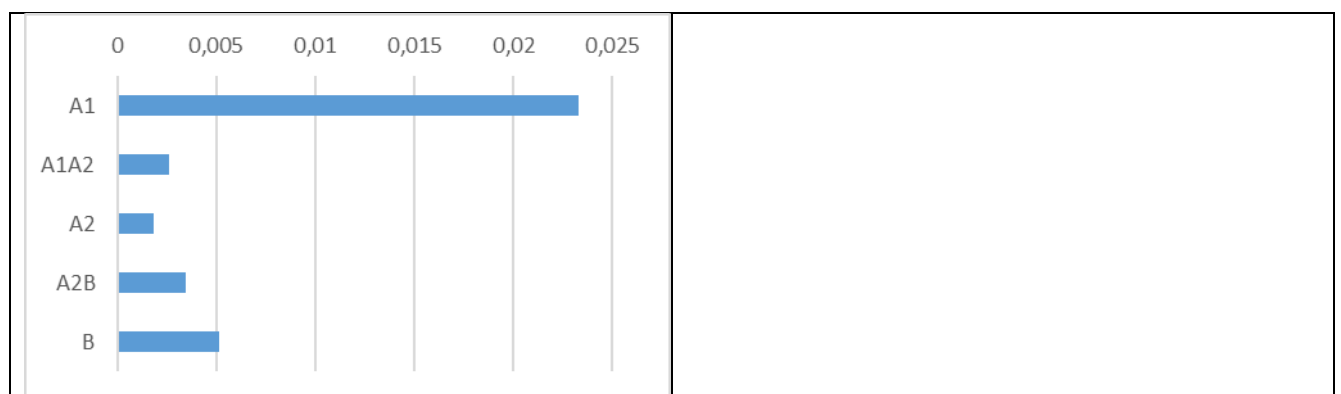


Рисунок 38 – Среднее содержание Hg в профиле почвы территории Тюменского федерального заказника (мг/кг)

Если сравнивать с приведенными в начале главы литературными данными по концентрации ртути в почве, можно отметить, что они характеризуются значительно меньшим содержанием в сравнении с кларками По данным (Кабата-Пендиас и др., 1989) они ближе к подзолистым и песчаным почвам, характеризующимся низкими средними концентрациями ртути (0,05 мг/кг), чем к лесным с высокими (до 0,23 мг/кг).

Кроме того, нами проведен расчет количества ртути, поступающей с листовым опадом на площадь 1 га, на ранее описанных учетных площадках с использованием наших данных по содержанию элемента в почве (Боев и др., 2017), результаты которого приведены в таблице 47.

Таблица 47 – Масса ртути, поступающей на поверхность почвы территории Тюменского федерального заказника с листовым опадом

Масса ртути, поступающей на поверхность почвы с листовым опадом на площадь 1 га. в г.					
№ площадки	1		3	2	
Фракция опада	Хвойная фракция	Листовая фракция	Листовая фракция	Хвойная фракция	Листовая фракция
Масса Hg во фракциях опада в г/га	276,8 (41,1)	396 (58,9)	474,3 (100)	256,4 (35,2)	472,8 (64,8)
Суммарная масса Hg, поступающей с опадом в г/га	672,8 (100)		474,3 (100)	729,2 (100)	

*Примечание: в скобках указано содержание ртути (%) во фракции опада относительно суммарного содержания в опаде*

Из представленных в таблице результатов можно расположить учетные площадки в соответствии с массой ртути, поступающей на поверхность почвы с листовым опадом. Наибольшее количество ртути поступает на поверхность почв березово-соснового с липой леса (площадка 2), затем следует папоротниковый сосняк с примесью березы (площадка 1), наименьшее количество ртути поступает с опадом в почвы липово-березового леса (площадка 3): 729,2; 672,8 и 474,3 г/га соответственно. Таким образом, четко прослеживается связь между количеством ртути, содержащейся в листовом опаде, и видовым составом древесных растений-эдификаторов участка. Представленные в таблице данные показывают, что наибольшее количество ртути содержится в листовой фракции опада: 58,9 % на площадке 1 и 64,25% на площадке 2.

Полученные данные о содержании Hg в почве и закономерностях ее распространения по профилю (Боев, 2015) показали, что наиболее высокие концентрации элемента характерны для верхнего слоя почв (рис. 38). В целом для почв фоновой территории характерно варьирование элемента в диапазоне от 0,0018 мг/кг до 0,025 мг/кг. Значимо высокие содержания элемента именно в

верхнем слое почвы может объясняться, в том числе, ее поступлением с растительным опадом.

Для подстилки и верхнего горизонта почвы одним из источников поступления Hg является листовая фракция листового опада.

Выяснено, что на 1 га поверхности почвы смешанного леса с осенним опадом каждого года поступает в среднем 700 г Hg (точное количество определяется плотностью леса, составом растительности и т. д.) (табл. 48).

Таблица 48 – Масса ртути, поступающей на поверхность почвы территории Тюменского федерального заказника с листовым опадом на площадь 1 га. в г.

Фракция опада	Хвойная фракция	Листовая фракция
Масса Hg во фракциях опада в г/га	276,8 (41,1)	396 (58,9)
Суммарная масса Hg, поступающей с опадом в г/га	672,8 (100)	

*Примечание: в скобках указано содержание ртути (%) во фракции опада относительно суммарного содержания в опаде*

К тому же таблица 49 свидетельствует о равном содержании Hg в березовых листьях, в значительной степени составляющих листовую опад, и в подстилке, в которую он преобразуется.

Таблица 49 – Содержание ртути в компонентах природной среды территории Тюменского федерального заказника, мг/кг

Листья березы повислой	0,21
Листовой опад, хвойная/листовая фракция	0,028/0,034
Подстилка	0,21
Почва (A1)	0,023

Во всех рассмотренных органических компонентах биогеоценоза данный химический элемент проявляет повышенное накопление в сравнении с условным растением (Markert, 1992). Относительно кларка биосферы (Глазовская, 1988) ртуть также содержится в повышенных количествах в подстилке и листьях березы (табл. 50).

Таблица 50 – Накопление ртути в компонентах природной среды территории Тюменского федерального заказника

Ярошевский А.А., 1990, Markert В., 1992	Листья <sub>2,1</sub> =подстилка <sub>2,1</sub> >травстой <sub>1,1</sub> >почва <sub>0,1</sub>
Кларк ноосферы (фон)	Подстилка <sub>1,2</sub> =листья <sub>1,2</sub> >травстой <sub>0,61</sub> >почва <sub>0,06</sub>

## 5. Характеристика накопления химических элементов в компонентах природной среды территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

### 5.1. Характеристика элементного состава почв территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Почвы природно-техногенной территории в целом имеют близкий к условно-фоновой минералогический состав. Однако, в отличие от нее, здесь присутствует тремолит. К тому же доля кварца значительно понижена за счет возрастания количества остальных минералов (рис. 39).

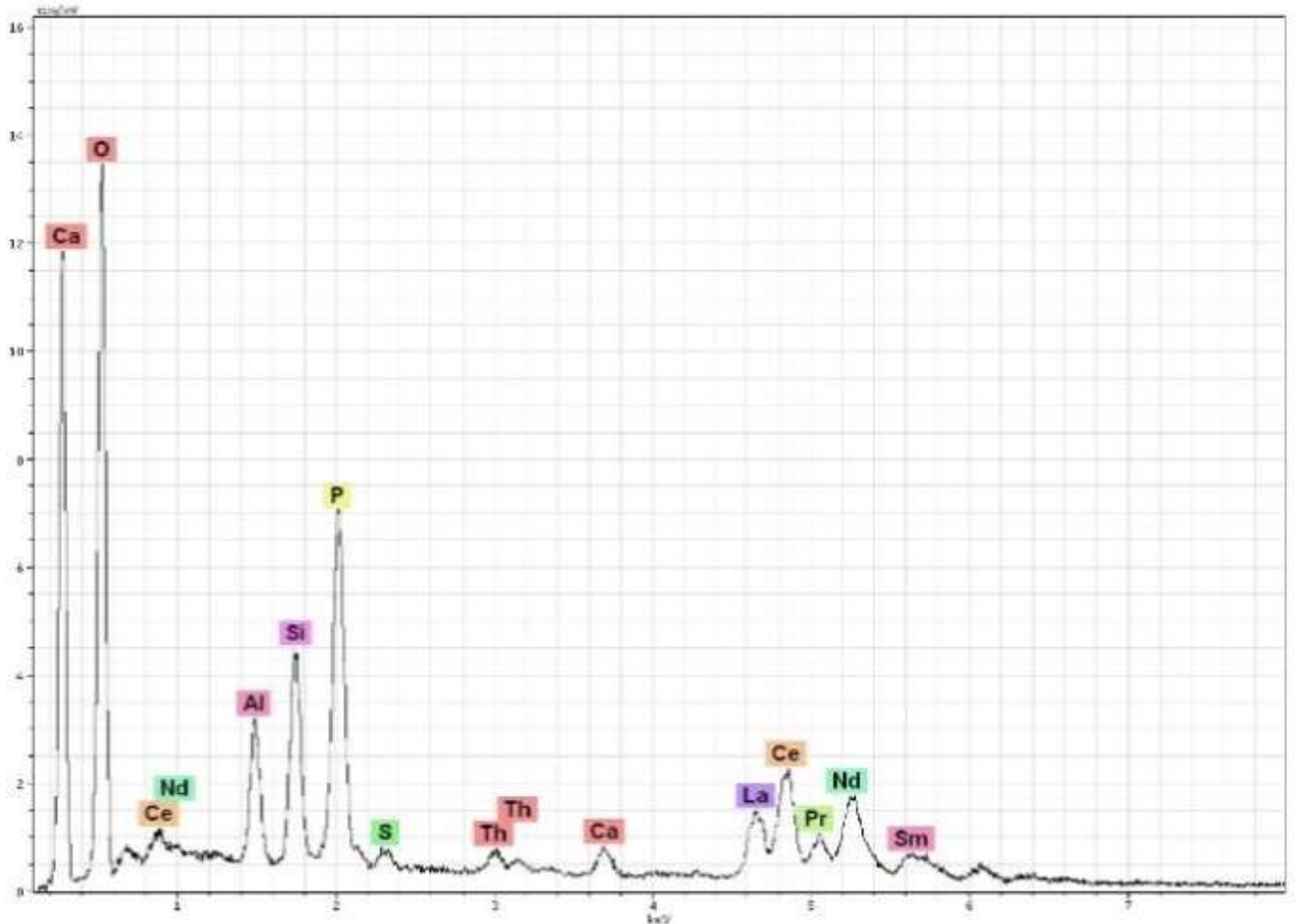
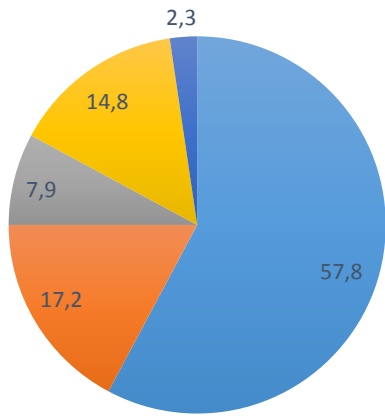


Рисунок 39 – Минералогический состав верхнего горизонта почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (%)



- Кварц
- Микроклин
- Мусковит
- Альбит
- Тремолит

Продолжение рисунка 39

В почве природно-техногенной территории отмечено наличие в глинистой фракции частиц сложного состава, включающего, помимо Si и Al, характерных для фоновой территории, так же P, Ca, Fe, Mg, Zn, Cu, Th, K, некоторые редкоземельные элементы, что хорошо демонстрируют данные электронной микроскопии (рис. 40).

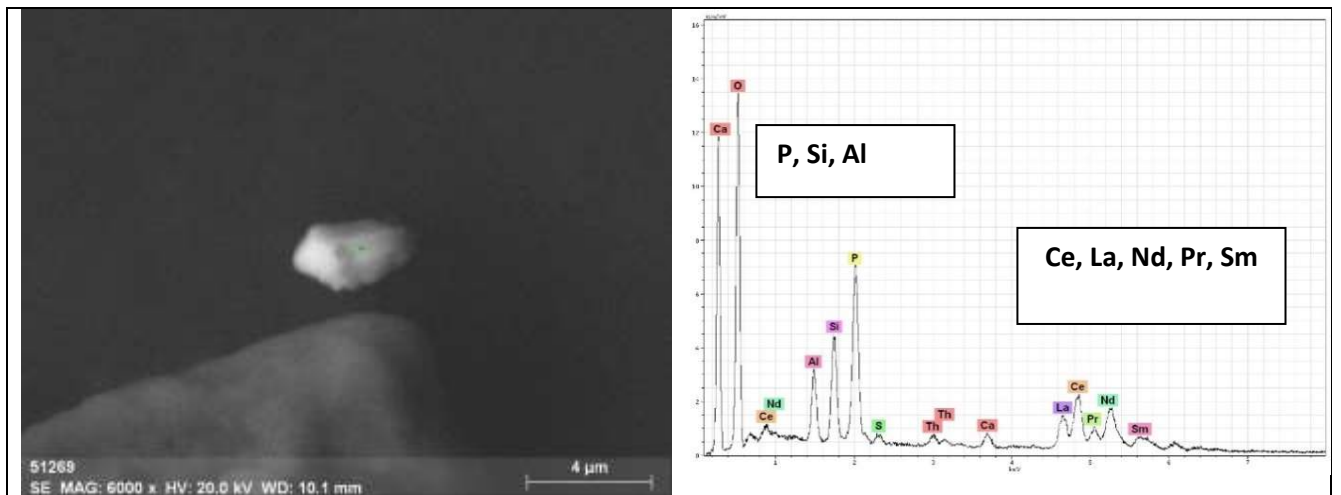
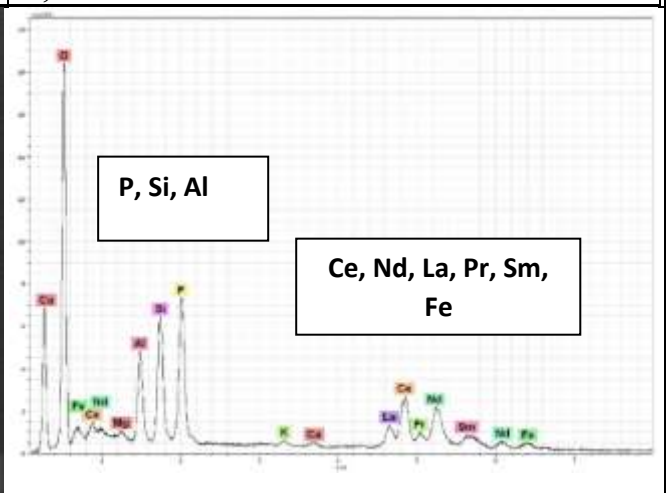
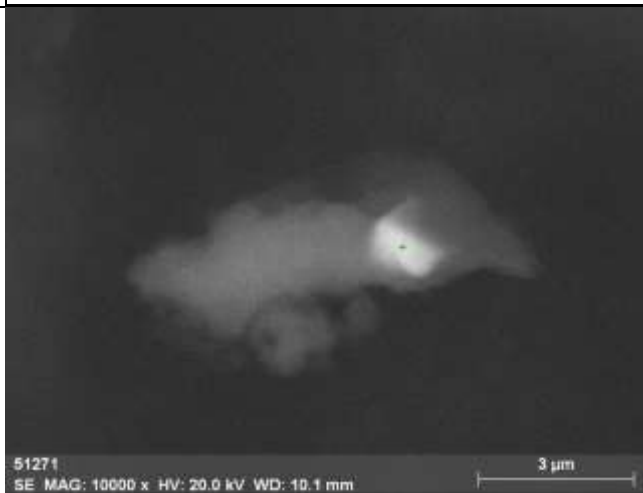


Рисунок 40 – Микрочастицы верхнего горизонта почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

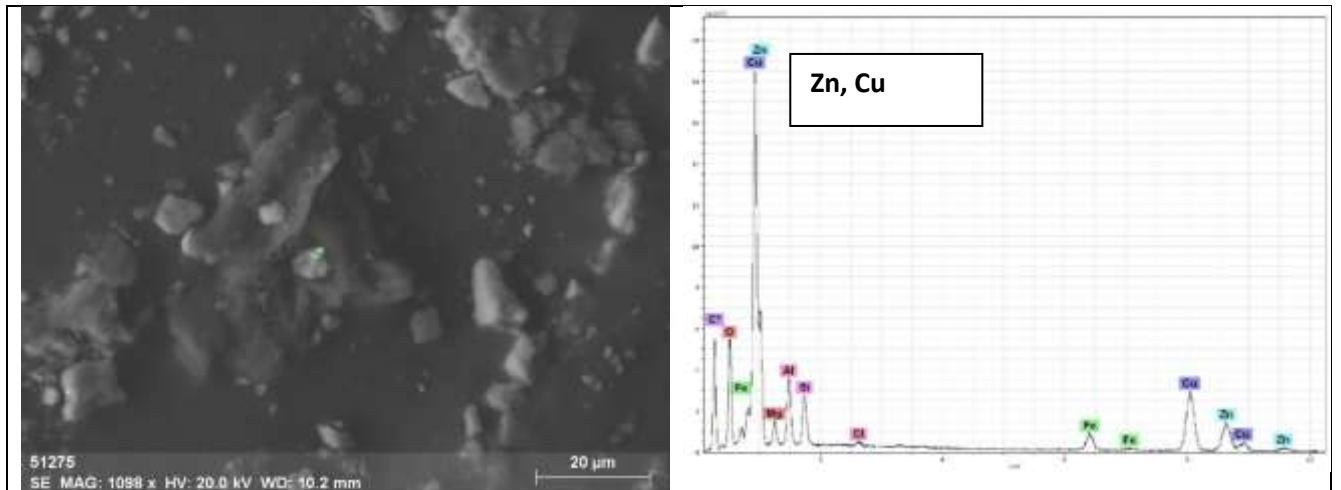
Химический элемент	Содержание (масс. %)
O	37,1
Ce	18,3
P	11
La	10
Nd	5,74
Si	5,56
Al	4,96
Th	2,84
Pr	1,9
Ca	1,3
S	0,63
Sm	0,55



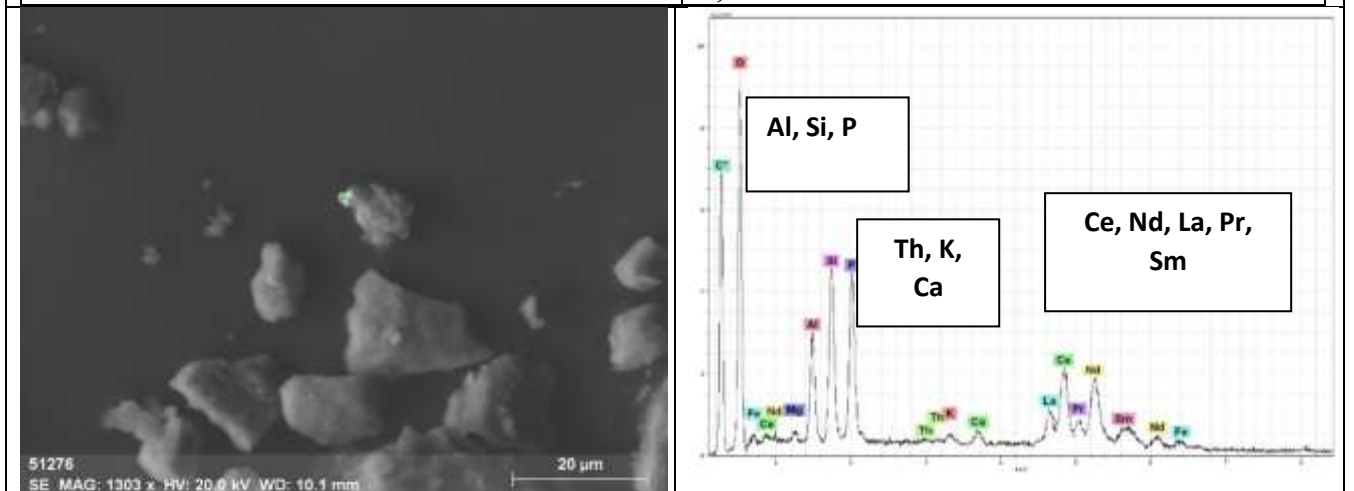
Химический элемент	Содержание (масс. %)
O	38,7
Ce	18,4
P	9,54
Nd	7,44
Si	6,78
La	6,68
Al	6,13
Pr	2,23
Fe	1,67
Mg	1,17
Sm	0,61
K	0,32
Ca	0,29

Продолжение рисунка 40





Химический элемент	Содержание (масс. %)
Cu	38,1
Zn	23,1
O	18,5
Al	7,09
Fe	5,38
Si	3,99
Mg	3,53
Cl	0,3



Продолжение рисунка 40

Химический элемент	Содержание (масс. %)
O	30,3
Ce	21,9
Nd	9,77
P	8,98
La	8,65
Si	7,37
Al	6,1
Pr	2,94
Fe	1,2
Ca	0,8
Mg	0,7
Th	0,52
K	0,45
Sm	0,3

Продолжение рисунка 40

Почва природно-техногенной территории, как и условно-фоновой, характеризуется преобладающей долей пылеватых фракций. Однако среди них наблюдается большая доля фракции 0,04 мм за счет фракции 0,125 мм (табл. 51).

Таблица 51 – гранулометрический состав почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (г из 10 г)

Разрезы	Горизонты	0,5	0,25	0,125	0,1	0,04
1	A1	0,85	1,25	4,08	1,32	2,34
	A1A2	0,28	1,13	4,58	1,42	2,32
	A2	0,24	1,41	4,31	1,47	2,3
	A2B	0,8	1,08	4,53	1,59	1,95
2	A1	0,33	1,56	5,06	1,28	1,58
	A1A2	0,09	1,79	5,31	1,16	1,45
	A2	0,12	1,56	5,43	1,51	1,29
	A2B	0,16	1,64	5,28	1,98	1,33
	B	0,79	0,84	5	1,76	1,55
	BC	2,96	1,81	3,49	0,8	0,88
3	A1	0,4	1,24	4,95	1,18	1,97
	A1A2	0,17	1,34	5,1	1,32	1,83
	A2	0,11	1,74	5,24	1,27	1,43
	A2B	0,13	1,22	5,94	1,4	1,22
	B	0,17	1,96	5,4	1,41	0,97
	BC	0,09	1,28	5,62	1,53	1,4

В распределении по горизонтам гранулометрических фракций в целом наблюдаются близкие к условно-фоновой территории закономерности (табл. 51, рис. 41).

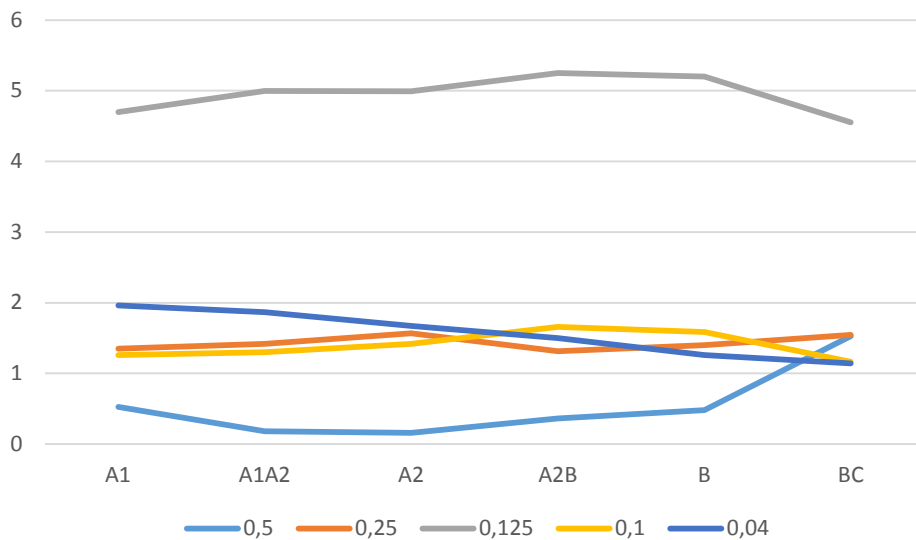


Рисунок 41 – Распределение гранулометрических фракций по профилю почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (г из 10 г)

Доля магнитной фракции почвы природно-техногенной территории ниже в сравнении с условно-фоновой (чуть больше 2,6%).

Таблица 52 – Изменения соотношения магнитной и немагнитной фракций по профилю почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (г из 10 г)

Разрезы	Горизонты	Магнитная	Немагнитная
1	A1	0,69	8,33
	A1A2	0,22	9,24
	A2	0,16	9,37
	A2B	0,22	9,62
2	A1	0,61	8,81
	A1A2	0,21	9,29
	A2	0,24	9,39
	A2B	0,2	9,65
	B	0,27	9,4
	BC	0,27	9,47

Продолжение таблицы 52

3	A1	0,2	9,21
	A1A2	0,17	9,17
	A2	0,15	9,45
	A2B	0,26	9,28
	B	0,16	9,67
	BC	0,18	9,69
ср		0,26	9,32

Однако, в отличие от ТФЗ, на природно-техногенной территории наибольшее содержание магнитной фракции характерно для верхнего горизонта (табл. 52, рис. 42).

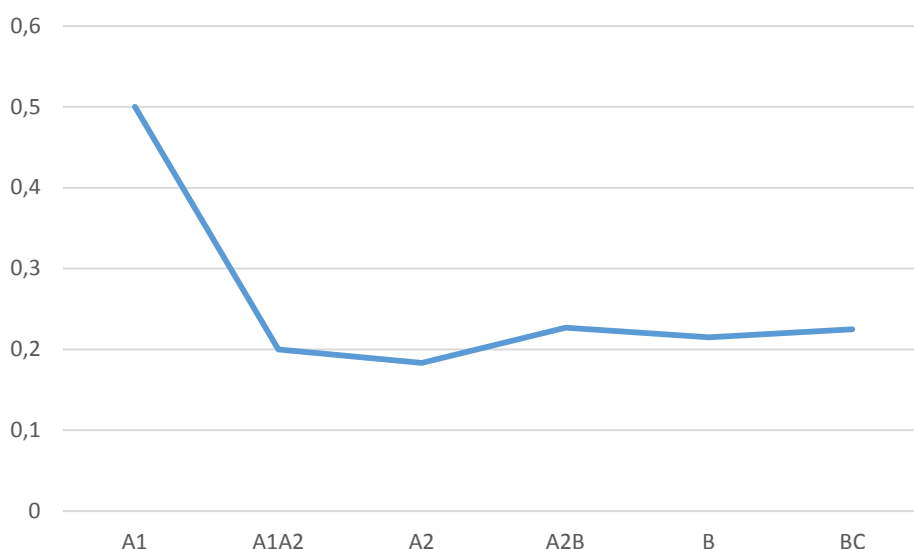


Рисунок 42 – Распределение магнитной фракции по профилю почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (г из 10 г)

В почве природно-техногенной территории также изучено распределение химических элементов по горизонтам. Основные статистические параметры приведены в таблице 53.

Таблица 53 – Параметры элементного состава почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Элементы, мг/кг	Ср (n=36)	Max	Min	$M_e$	S	V, %
Na	7657±165	9490	5100	7605	989	13
Ca	8897±264	14539	6245	8650	1589	18
Sc	3±0,23	7,3	0,1	2,6	1,4	47
Cr	103±6,9	223	0,2	97	41	40
Fe	7617±648	19494	3820	6332	3891	51
Co	5,3 ±0,73	24	1,5	3,7	4,4	83

Продолжение таблицы 53

Zn	15±3,4	111	1	11	20	133
As	1,15±0,12	3,2	0,08	1,15	0,73	63
Br	1,1±0,22	8,2	0,005	0,85	1,3	118
Rb	36±1,5	58	1,5	35	8,8	24
Sr	98±9,1	172	15	124	54	55
Ag	<1 (НПО≥50%)					
Sb	0,31±0,04	1,5	0,12	0,22	0,25	81
Cs	0,7±0,06	2,2	0,02	0,65	0,39	56
Ba	288±7,1	410	179	290	43	15
La	8,2±0,52	17	3,6	7,3	3,1	38
Ce	21±1,5	42	1,7	19	9,3	44
Nd	6,7±0,63	13	0,5	7,6	3,8	57
Sm	1,6±0,1	3,2	0,5	1,6	0,59	37
Eu	0,37±0,029	0,91	0,18	0,35	0,17	46
Tb	0,22±0,02	0,45	0,025	0,17	0,12	54
Yb	0,98±0,04	1,7	0,56	0,96	0,25	25
Lu	0,12±0,0068	0,26	0,06	0,12	0,04	33
Hf	5,3±0,26	8,7	2,5	5,4	1,6	30
Ta	0,32±0,034	1,2	0,005	0,3	0,2	62
Au	0,0089±0,0079	0,28	0,0001	0,0005	0,047	528
Hg	0,017±0,003	0,09	0,0004	0,014	0,018	106
Th	2,5±0,18	5,2	0,9	2,3	1,1	44
U	0,73±0,04	1,2	0,26	0,75	0,23	31

Большинство исследованных элементов с однородным типом распределения на условно-фоновой территории сохраняет его в природно-техногенных условиях, за исключением Co, Sr, Sb, Nd, Ta, Au. Также характер распределения остается тем же для Fe, Tb (слабодифференцированное), Hg (интенсивно дифференцированное).

Происходит изменение типа распределения в зависимости от техногенной нагрузки для 12 элементов: Sr, Nd, Ta меняют его характер с однородного в условно-фоновых условиях на слабодифференцированное, Cs – с дифференцированного на слабодифференцированное, Sc, Ce – со слабодифференцированного на однородное, Co, Sb – с однородного на дифференцированное, As – со слабодифференцированного на дифференцированное, и 3 элемента переходят к интенсивно дифференцированному распределению: Zn (с дифференцированного), Br (со слабодифференцированного), Au (с однородного) (табл. 54).

В природно-техногенной почве среди литофильных элементов Ca сохраняет условно-фоновые закономерности распределения. При этом его содержание значительно выше в верхнем горизонте. И все же преимущественное его

накопление наблюдается в переходном горизонте (рис. 43). Таким образом, для данного элемента проявляется поступление как из почвообразующих пород, так и из атмосферы. Ва, как и в условно-фоновой почве, накапливается преимущественно в верхнем слое, однако наблюдается его наибольшее вымывание из второго горизонта, а не из третьего (рис. 43)

Таблица 54 – Типы распределения химических элементов в разрезе почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (согласно классификации Шестакова (1988))

Однородное (V<50%)	Слабодифференцированное (V=50-70%)	Дифференцированное (V=70-100%)	Интенсивно дифференцированное (V>100%)
<u>Na</u> , <u>Ca</u> , <u>Sc</u> , <u>Cr</u> , <u>Rb</u> , <u>Ag</u> , <u>Ba</u> , <u>La</u> , <u>Ce</u> , <u>Sm</u> , <u>Eu</u> , <u>Yb</u> , <u>Lu</u> , <u>Hf</u> , <u>Th</u> , <u>U</u>	<u>Fe</u> , <u>Sr</u> , <u>Cs</u> , <u>Nd</u> , <u>Tb</u> , <u>Ta</u> ,	<u>As</u> , <u>Co</u> , <u>Sb</u> ,	<u>Zn</u> , <u>Br</u> , <u>Au</u> , <u>Hg</u>

*Примечание: подчеркиванием выделены химические элементы, сохраняющие в природно-техногенных условиях те же параметры распределения, что и в условно-фоновых*

Также для него отмечено накопление в переходном горизонте (рис. 43). То же самое зафиксировано для Cs (рис. 43). Rb имеет почти фоновые закономерности распределения, но меньше накапливается в А2 и больше в А2В (рис. 43). Для Hf отмечено преимущественное накопление в А2 вместо А2В (рис. 43). В целом его содержание по профилю ниже условно-фоновое. Sr значительно больше накапливается в верхнем горизонте (рис. 43), а среднее содержание значительно ниже, чем в условно-фоновой почве.

Похожие закономерности распределения остались в верхней части профиля природно-техногенной почвы для Sr, однако он существенно больше накапливается в нижней части (рис. 44). К тому же его среднее содержание значительно выше. Ta в природно-техногенной почве проявляет большее накопление в верхней части профиля, чем в нижней, в отличие от условно-фоновой (рис. 44). Na, по сравнению с условно фоновой, почвой перешел в нижнюю часть профиля, накапливаясь над переходным горизонтом (рис. 44). Его среднее содержание значительно выше.



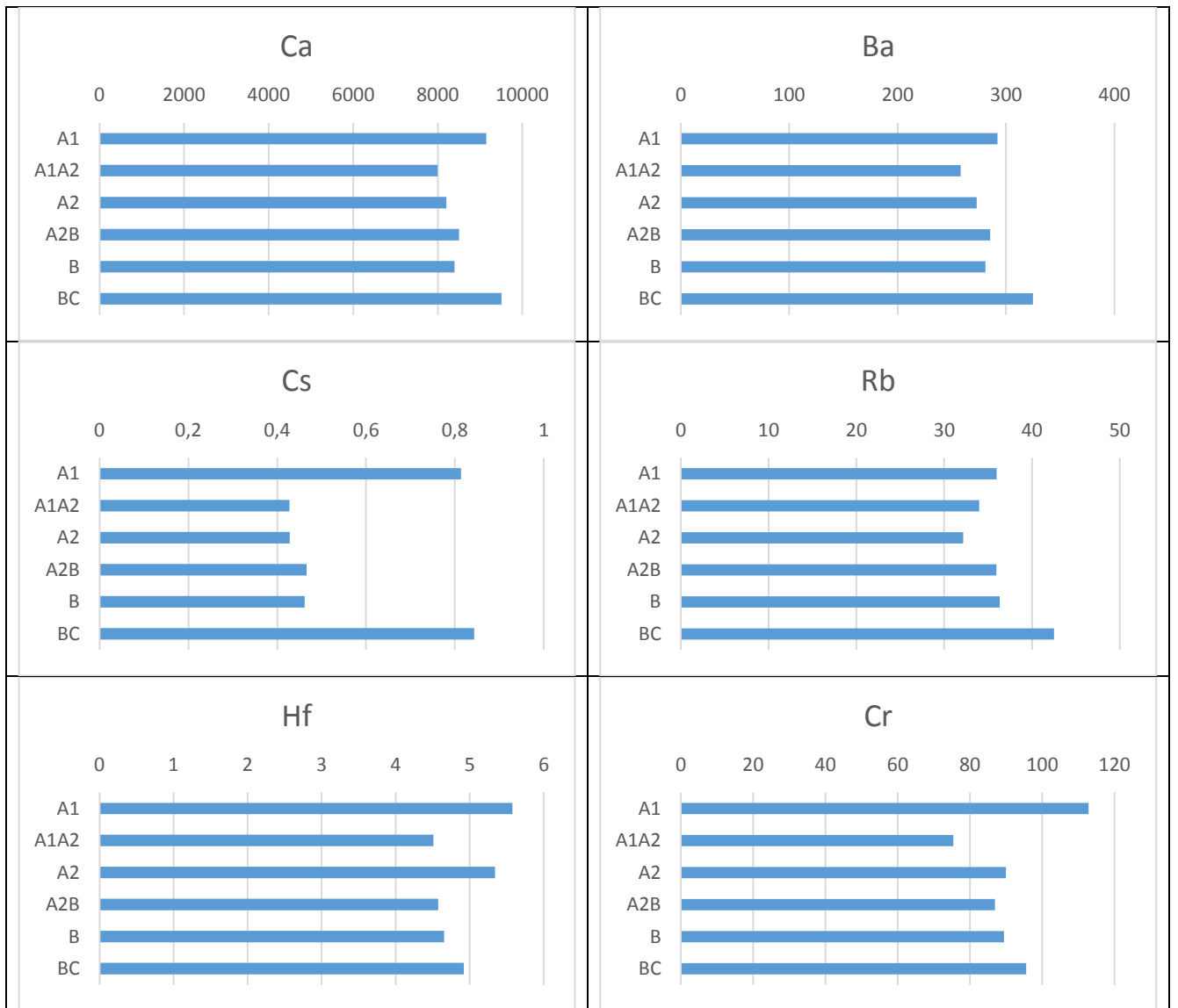
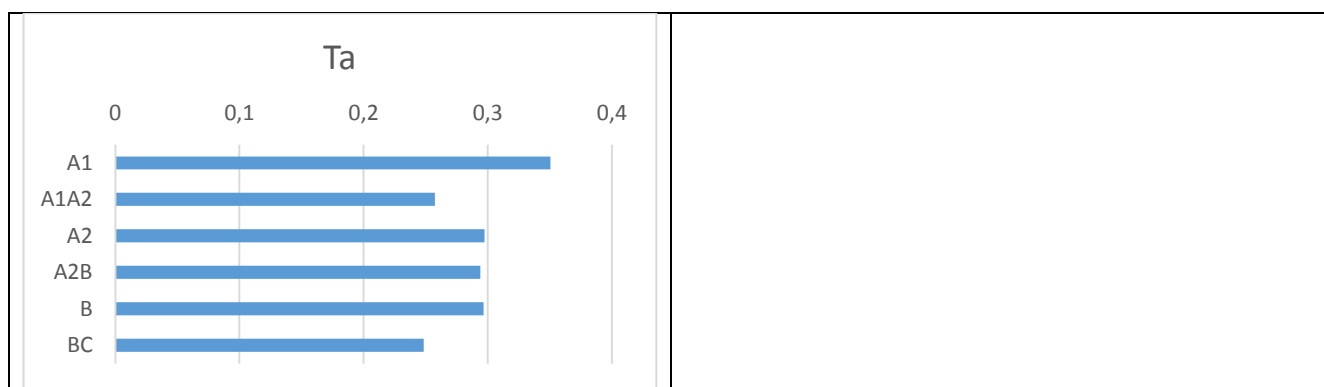


Рисунок 43 – Распределение некоторых литофильных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)



Рисунок 44 – Распределение некоторых литофильных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)



Продолжение рисунка 44

Последнее может объясняться большей увлажненностью природно-техногенной территории, так как во влажном климате данный химический элемент характеризуется высокой подвижностью (Перельман, 1972).

Br также сохранил закономерности распределения (рис. 45). Lu значительно изменил их, перейдя преимущественно в верхние горизонты. Однако отмечено его накопление и в переходном слое (рис. 45). Это свидетельствует о смешанном характере поступления элемента.

Условно-фоновые закономерности распределения сохраняются для Sc с небольшим возрастанием содержания в верхнем горизонте и переходом основной доли из B в BC

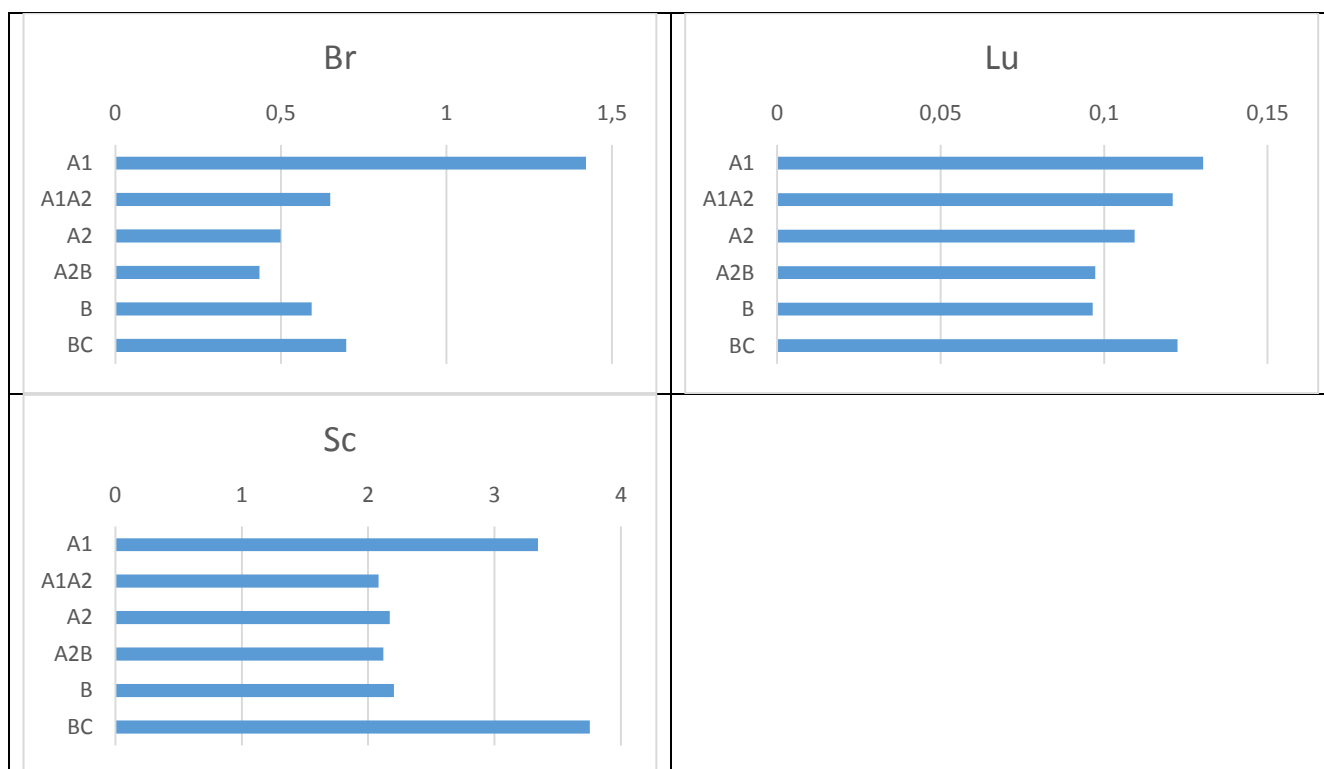


Рисунок 45 – Распределение некоторых литофильных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

Для Eu наблюдается значительное возрастание содержания в верхнем горизонте и переход из B в BC (рис. 46). Для La в природно-техногенных

условиях наблюдается значительно большее накопление в поверхностном слое, небольшое возрастание содержания с глубиной и переход из В в ВС (рис. 46). Для Nd характерно повышение содержания с глубиной за счет большего накопления в средней части профиля (рис. 46). Tb в природно-техногенной почве переходит в верхний горизонт (рис. 46). Sm по закономерностям распределения близок к Au, но проявляет преимущественное накопление в верхнем горизонте. По сравнению с условно-фоновой почвой зафиксировано возрастание содержания в верхнем слое (рис. 46). Yb, как и в условно-фоновой почве, накапливается сверху и снизу профиля, однако в верхней части он переходит из первого горизонта во второй и частично в третий (рис. 46). Се в природно-техногенных условиях полностью меняет распределение, накапливаясь в верхней и нижней частях профиля (рис. 46), в то время как в условно-фоновой почве он содержится преимущественно в А2.

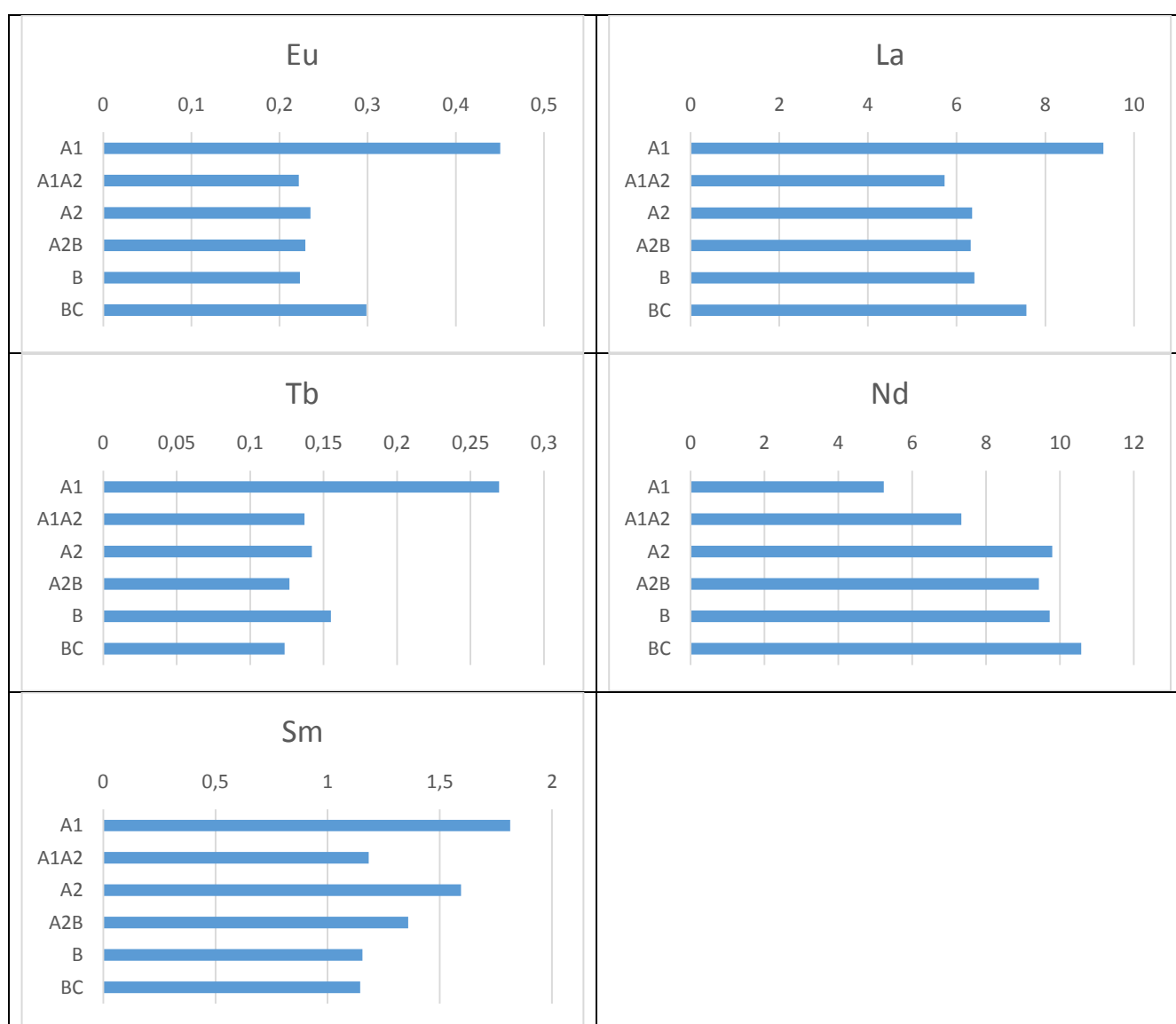


Рисунок 46 – Распределение редкоземельных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)



Продолжение рисунка 46

По сравнению с условно-фоновой почвой в природно-техногенных условиях U накапливается преимущественно в A1A2 и A2 (рис. 47). Для Th имеет закономерности идентичные распределению U на фоновой возрастает концентрация в верхнем горизонте (рис. 47).



Рисунок 47 – Распределение радиоактивных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

Закономерности накопления Th свидетельствуют о техногенном поступлении элемента и его фиксации органическим веществом и глинистыми минералами (Алексахин и др., 1990; Таскаев, 1979).

Сидерофильные Fe и Co в целом сохранили закономерности распределения по профилю с возрастанием содержания книзу. При этом оба элемента проявляют накопление в переходном горизонте. К тому же существенно возросло содержание в A1, для Co зафиксировано пониженное содержание в нижней части профиля (рис. 48). Au сосредоточено преимущественно в верхнем горизонте (рис. 48).

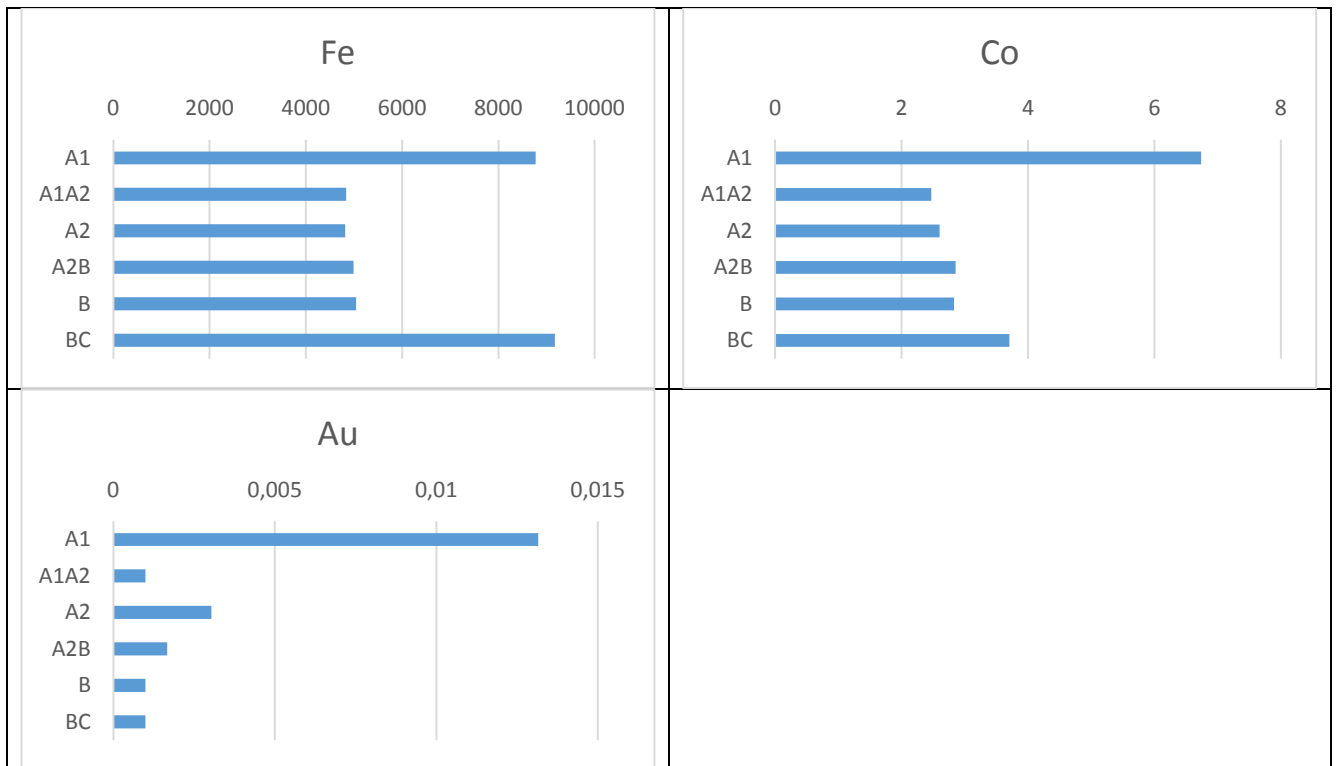


Рисунок 48 – Распределение сидерофильных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

Среди халькофильные элементы As, Sb, Zn переходят в A1 (рис. 49). Для As и Sb также характерно накопление в Bc.

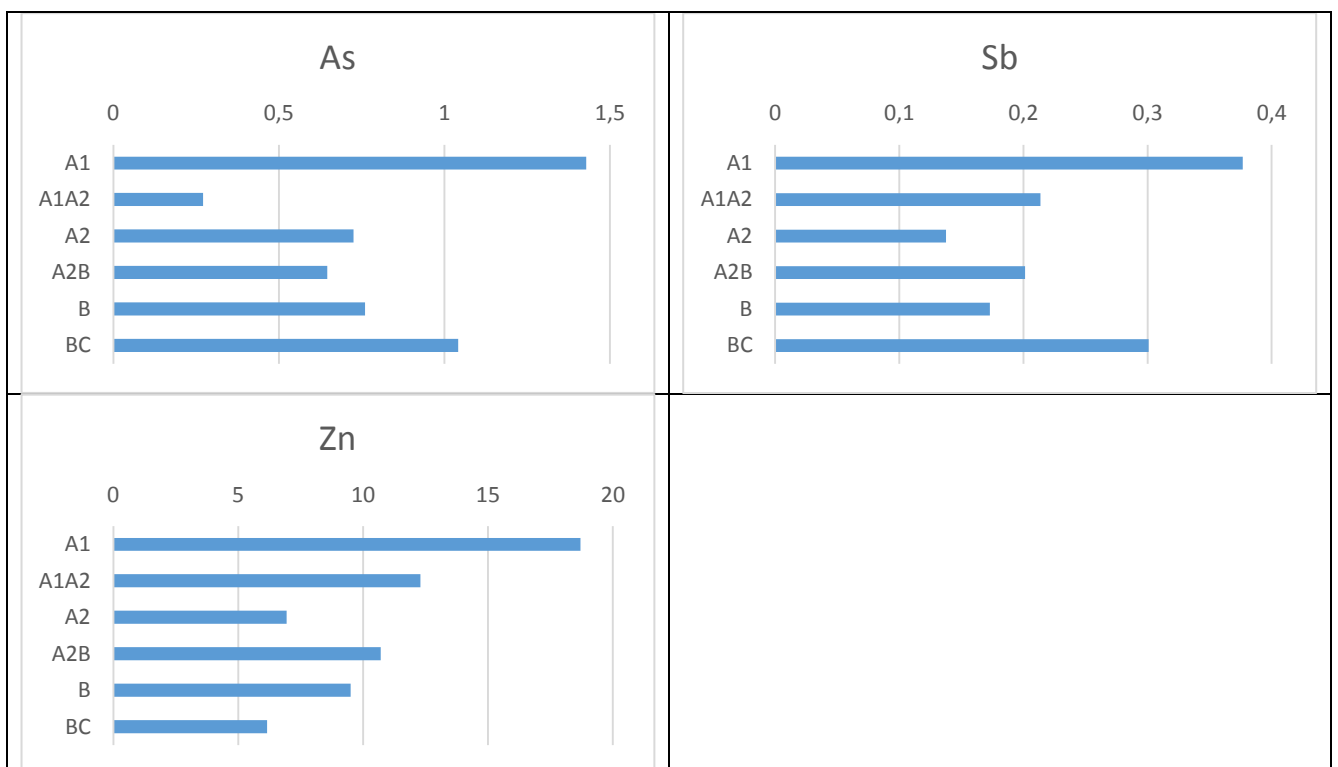


Рисунок 49 – Распределение халькофильных элементов по разрезу почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

Таким образом, зафиксировано изменение распределения по профилю почвы природно-техногенной территории большинства химических элементов. Близкие к условно-фоновым закономерности распределения сохраняют лишь Ca, Rb, Br, Sc, Eu, Fe, Co, As.

На основе сравнения химического состава горизонтов почв условно-фоновой и природно-техногенной территорий выяснено, что почвы района расположения Антипинского НПЗ имеют элементы как с повышенным, так и с пониженным содержанием. По всему профилю характерно превышение содержания Na, Sr, Ca. При этом с глубиной сокращается количество элементов с повышенным содержанием, как и показатель суммарного загрязнения (табл. 55), что свидетельствует об распространении их с поверхности и, следовательно, атмосферном поступлении. С другой стороны, учитывая техногенное поступление, ряд элементов характеризуется пониженным содержанием в сравнении с почвой условно-фоновой территории, что отражает специфику данного района.

Таблица 55 – Геохимические ряды и суммарный показатель загрязнения для профиля почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно Тюменского федерального заказника

A1	<b>Au<sub>13</sub></b> > <b>Eu<sub>1,9</sub></b> > <b>Br<sub>1,7</sub></b> > <b>Na<sub>1,6</sub></b> > <b>Fe<sub>1,5</sub></b> > <b>Sb<sub>1,5</sub></b> > <b>Co<sub>1,4</sub></b> > <b>Ce<sub>1,4</sub></b> > <b>Sm<sub>1,4</sub></b> > <b>Sc<sub>1,4</sub></b> > <b>Cs<sub>1,4</sub></b> , <b>Tb<sub>1,3</sub></b> > <b>Zn<sub>1,2</sub></b> > <b>Rb<sub>1,2</sub></b> > <b>Lu<sub>1,2</sub></b> > <b>Th<sub>1,2</sub></b> > <b>La<sub>1,2</sub></b> > <b>Sr<sub>1,2</sub></b> > <b>Ca<sub>1,1</sub></b> > <b>Hg<sub>1,1</sub></b> > <b>As<sub>1</sub></b> > <b>Ba<sub>1</sub></b> <b>a<sub>1</sub></b> >Ta <sub>0,9</sub> >Hf <sub>0,9</sub> >Cr <sub>0,86</sub> >U <sub>0,84</sub> >Yb <sub>0,8</sub> >Nd <sub>0,7</sub>	Zc=20
A1A2	<b>Ce<sub>2,4</sub></b> > <b>Zn<sub>2,3</sub></b> > <b>Sr<sub>2</sub></b> > <b>Na<sub>1,6</sub></b> > <b>Tb<sub>1,4</sub></b> > <b>Sb<sub>1,3</sub></b> > <b>Eu<sub>1,2</sub></b> > <b>Yb<sub>1,2</sub></b> > <b>Fe<sub>1,1</sub></b> > <b>Lu<sub>1,1</sub></b> > <b>Br<sub>1,1</sub></b> , > <b>Ca<sub>1,1</sub></b> > <b>Sc<sub>1</sub></b> > <b>Hg<sub>1</sub></b> > <b>Th<sub>1</sub></b> > <b>Au<sub>1</sub></b> >Rb <sub>0,99</sub> >U <sub>0,99</sub> >Ta <sub>0,96</sub> >Ba <sub>0,95</sub> >Sm <sub>0,89</sub> >Hf <sub>0,85</sub> >Cs <sub>0,82</sub> >La <sub>0,8</sub> >Cr <sub>0,79</sub> >Nd <sub>0,79</sub> >Co <sub>0,69</sub> >As <sub>0,46</sub>	Zc=6,8
A2	<b>Au<sub>2,3</sub></b> > <b>Na<sub>1,8</sub></b> > <b>Sr<sub>1,7</sub></b> > <b>Eu<sub>1,2</sub></b> > <b>Nd<sub>1,1</sub></b> > <b>Sm<sub>1,1</sub></b> > <b>Ba<sub>1,1</sub></b> > <b>Ca<sub>1</sub></b> >U <sub>1</sub> > <b>Tb<sub>1</sub></b> >Sc <sub>0,99</sub> > Ta <sub>0,98</sub> >Fe <sub>0,97</sub> >Yb <sub>0,96</sub> >Br <sub>0,95</sub> >Th <sub>0,93</sub> >Hf <sub>0,93</sub> >Cs <sub>0,91</sub> >Rb <sub>0,9</sub> >Lu <sub>0,89</sub> >La <sub>0,87</sub> >Hg <sub>0,8</sub> >Sb <sub>0,76</sub> >Zn <sub>0,75</sub> >As <sub>0,75</sub> >Cr <sub>0,72</sub> >Co <sub>0,57</sub> >Ce <sub>0,44</sub>	Zc=4,3
A2B	<b>Sr<sub>1,8</sub></b> > <b>Na<sub>1,8</sub></b> > <b>Au<sub>1,7</sub></b> > <b>Zn<sub>1,4</sub></b> > <b>Nd<sub>1,1</sub></b> > <b>Sm<sub>1,1</sub></b> > <b>Ba<sub>1,1</sub></b> > <b>Rb<sub>1,1</sub></b> > <b>Th<sub>1</sub></b> > <b>Tb<sub>1</sub></b> > <b>Ca<sub>1</sub></b> >Cs <sub>0,99</sub> >Eu <sub>0,99</sub> >Br <sub>0,98</sub> >La <sub>0,95</sub> >Fe <sub>0,95</sub> >Sb <sub>0,92</sub> >Sc <sub>0,9</sub> >U <sub>0,87</sub> >Ta <sub>0,8</sub> >Yb <sub>0,79</sub> > Lu <sub>0,75</sub> >Ce <sub>0,73</sub> >As <sub>0,71</sub> >Hg <sub>0,7</sub> >Hf <sub>0,69</sub> >Cr <sub>0,63</sub> >Co <sub>0,48</sub>	Zc=4,1
B	<b>Sr<sub>2,3</sub></b> > <b>Na<sub>2</sub></b> > <b>Ce<sub>1</sub></b> > <b>Ca<sub>1</sub></b> >Ba <sub>0,97</sub> >Hf <sub>0,96</sub> >Nd <sub>0,9</sub> >Rb <sub>0,87</sub> >Eu <sub>0,81</sub> >U <sub>0,78</sub> >Au <sub>0,75</sub> > Tb <sub>0,74</sub> >Ta <sub>0,73</sub> >Br <sub>0,72</sub> >Th <sub>0,7</sub> >Yb <sub>0,7</sub> >Sb <sub>0,64</sub> >Lu <sub>0,63</sub> >La <sub>0,6</sub> >Sm <sub>0,57</sub> >Zn <sub>0,51</sub> >Sc <sub>0,5</sub> >Cr <sub>0,43</sub> >Fe <sub>0,41</sub> >Co <sub>0,39</sub> >Cs <sub>0,34</sub> >As <sub>0,33</sub> >Hg <sub>0,21</sub>	Zc=3,3

*Примечание: жирным выделены элементы с  $Kk \geq 1$ , подчеркнуты элементы с  $Kk \geq 1$ , общие для всех горизонтов*

В большинстве точек природно-техногенной территории производился отбор только верхнего горизонта почвы. Основные статистические параметры приведены в таблице 56.



Таблица 56 – Параметры элементного состава верхнего горизонта почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Элементы, мг/кг	Ср (n=20)	Max	Min	$M_e$	S	V, %
Na	7205±189	8386	5100	7435	847	12
Ca	9189±443	14539	6245	9137	1983	22
Sc	3,50±0,34	7,3	0,1	3,4	1,5	43
Cr	116±11	223	0,2	108	50	43
Fe	9255±920	19494	4222	8392	4116	45
Co	7,1±1,2	24	2,3	5,9	5,2	73
Zn	18±6	111	1	6,8	27	150
As	1,50±0,14	3,2	0,69	1,3	0,62	41
Br	1,50±0,37	8,2	0,17	1,2	1,7	111
Rb	36±2,5	58	1,5	36	11	31
Sr	72±12 (НПО≥50%)	152	30	30	53	74
Ag	<1 (НПО≥50%)					
Sb	0,400±0,069	1,5	0,13	0,29	0,31	78
Cs	0,860±0,094	2,2	0,025	0,86	0,42	49
Ba	287±10	360	179	304	45	16
La	9,50±0,74	17	3,6	9,4	3,3	35
Ce	26±1,9	42	14	24	9	35
Nd	4,6±0,8	12	0,5	5	3,6	78
Sm	1,90±0,13	3,2	0,79	1,8	0,59	31
Eu	0,480±0,036	0,91	0,26	0,46	0,16	33
Tb	0,290±0,026	0,45	0,025	0,32	0,12	41
Yb	1±0,066	1,7	0,56	0,98	0,3	30
Lu	0,130±0,011	0,26	0,062	0,13	0,048	36
Hf	5,70±0,41	8,7	2,6	6	1,8	32
Ta	0,350±0,059	1,3	0,005	0,31	0,27	75
Au	0,015±0,014 (НПО≥50%)	0,29	0,0005	0,0005	0,064	423
Hg	0,0280±0,004 1	0,09	0,0099	0,025	0,018	66
Th	3±0,25	5,2	0,95	2,9	1,1	38
U	0,62±0,05	1,1	0,27	0,64	0,22	36

В верхнем слое почвы большинство элементов в природно-техногенных условиях имеют также однородное распределение. Среди химических элементов со слабодифференцированным распределением в условно-фоновой почве у НПЗ данную закономерность сохраняет только Hg. Остальные либо снижают дифференциацию распределения до однородного (Rb, Cs, Ce, Eu, Tb, Th), либо

повышают до дифференцированного (Sr, Ta) и интенсивно дифференцированного (Br). К дифференцированному распределению в природно-техногенных условиях от однородного в условно-фоновых переходят Co и Sb, а также сохраняет его Nd, а остальные элементы повышают до интенсивно дифференцированного (Zn, Au) (табл. 57).

Интенсивно дифференцированное распределение в природно-техногенных условиях имеет золото. По всему профилю высокая дифференциация распределения характерна для Hg (причем и на фоновой территории), а в верхнем горизонте — для Zn и Br.

Таблица 57 – Типы распределения химических элементов в верхнем горизонте почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (согласно классификации Шестакова (1988))

Однородное (V<50%)	Слабодифференцированное (V=50-70%)	Дифференцированное (V=70-100%)	Интенсивно дифференцированное (V>100%)
<u>Na</u> , <u>Ca</u> , <u>Sc</u> , <u>Cr</u> , <u>Fe</u> , <u>As</u> , <u>Rb</u> , <u>Ag</u> , <u>Cs</u> , <u>Ba</u> , <u>La</u> , <u>Ce</u> , <u>Sm</u> , <u>Eu</u> , <u>Tb</u> , <u>Yb</u> , <u>Lu</u> , <u>Hf</u> , <u>Th</u> , <u>U</u>	<u>Hg</u>	Co, Sr, Sb, <u>Nd</u> , Ta	Zn, Br, Au

*Примечание: подчеркиванием выделены химические элементы, сохраняющие в природно-техногенных условиях те же параметры распределения, что и в условно-фоновых*

По отношению к кларку (Ярошевский, 1990) в верхнем горизонте природно-техногенной почвы, помимо Sr, повышенное содержание приобретают Au и Na (рис. 50, табл. 58).

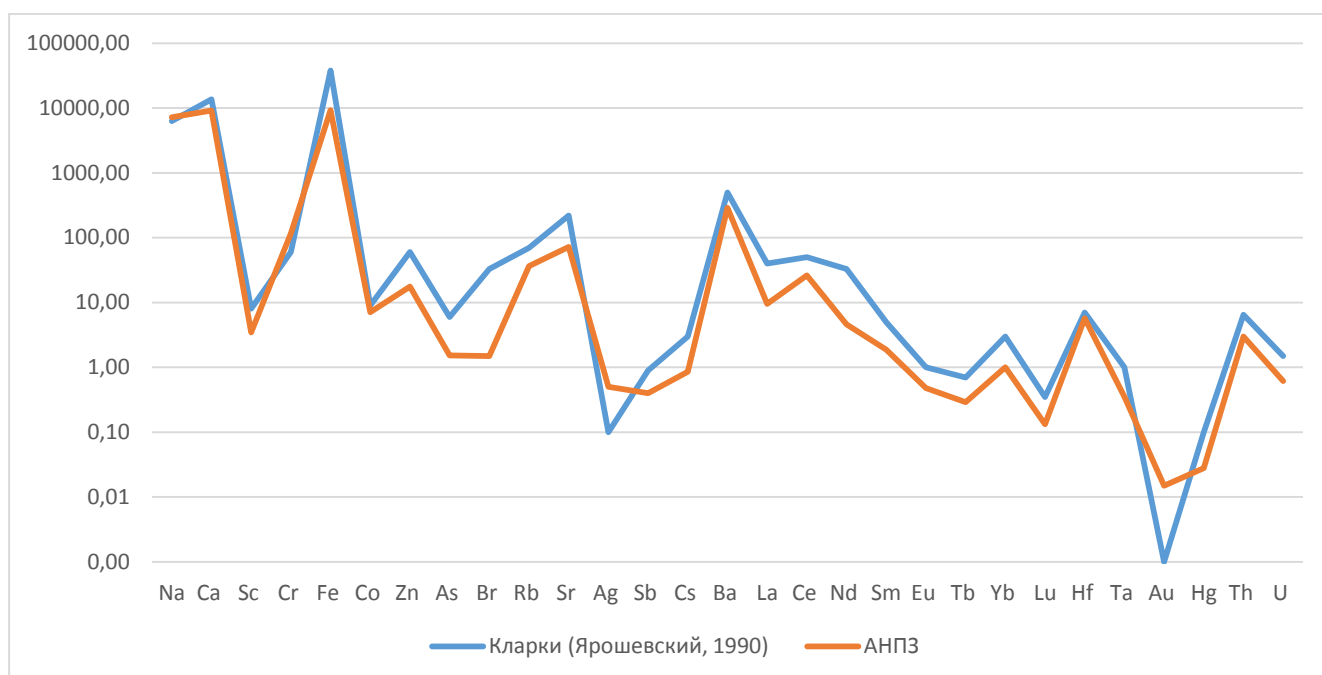


Рисунок 50 – Содержание химических элементов в горизонте А1 почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в сравнении с кларком (Ярошевский, 1990) (мг/кг, логарифмическая шкала)

Кроме того, возрастает показатель суммарного загрязнения до 2 (табл. 58).

Таблица 58 – Геохимический ряд и суммарный показатель загрязнения для верхнего горизонта почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно кларка (Ярошевский, 1990)

$\mathbf{Cr}_{1,9} > \mathbf{Na}_{1,1} > \mathbf{Hf}_{0,82} > \mathbf{Co}_{0,79} > \mathbf{Ca}_{0,67} > \mathbf{Ba}_{0,57} > \mathbf{Ce}_{0,52} > \mathbf{Rb}_{0,51} > \mathbf{Eu}_{0,48} > \mathbf{Th}_{0,46} > \mathbf{Sb}_{0,44} > \mathbf{Sc}_{0,44} > \mathbf{Tb}_{0,41} > \mathbf{U}_{0,41} > \mathbf{Lu}_{0,38} > \mathbf{Sm}_{0,38} > \mathbf{Ta}_{0,35} > \mathbf{Yb}_{0,33} > \mathbf{Zn}_{0,3} > \mathbf{Cs}_{0,29} > \mathbf{Hg}_{0,28} > \mathbf{As}_{0,26} > \mathbf{Fe}_{0,24} > \mathbf{La}_{0,24} > \mathbf{Nd}_{0,14} > \mathbf{Br}_{0,045}$	$Z_C = 2$
--	-----------

Примечание: жирным выделены элементы с  $K_k \geq 1$

В большей степени особенности химического состава почвы природно-техногенной территории проявляются при сравнении ее с условно-фоновой. В данном случае наблюдаются повышенные содержания большинства исследованных химических элементов (особенно Au, Br, Eu, Na, Co, Fe, Sb) (рис. 51, табл. 59).

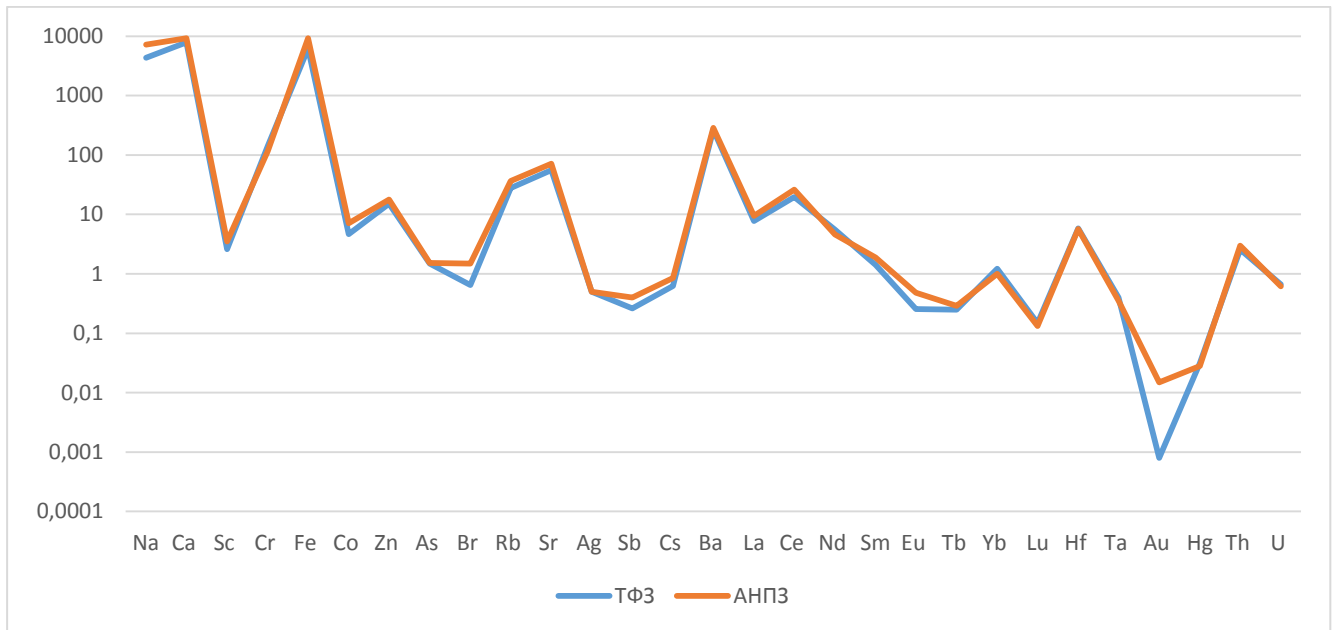


Рисунок 51 – Содержание химических элементов в горизонте А1 почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в сравнении с Тюменским федеральным заказником (мг/кг, логарифмическая шкала)

Показатель суммарного загрязнения составляет 23 (табл. 59), что соответствует среднему уровню загрязнения («Методические рекомендации...», 1990). Это говорит о том, что почвы не успели сконцентрировать достаточно много загрязняющих неорганических компонентов из-за относительно недолгой работы комбината.

Таблица 59 – Геохимический ряд и суммарный показатель загрязнения для верхнего горизонта почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно Тюменского федерального заказника

<b>Au<sub>13</sub>&gt;Eu<sub>2</sub>&gt;Br<sub>1,8</sub>&gt;Fe<sub>1,6</sub>&gt;Sb<sub>1,6</sub>&gt;Na<sub>1,6</sub>&gt;Co<sub>1,5</sub>&gt;Ce<sub>1,4</sub>&gt;Cs<sub>1,4</sub>&gt;Sc<sub>1,4</sub>&gt;Sm<sub>1,4</sub>&gt;Tb<sub>1,4</sub>&gt;Th<sub>1,2</sub>&gt;La<sub>1,2</sub>&gt;Rb<sub>1,2</sub>&gt;Hg<sub>1,2</sub>&gt;Lu<sub>1,2</sub>&gt;Zn<sub>1,2</sub>&gt;Ca<sub>1,1</sub>&gt;As<sub>1,1</sub>&gt;Sr<sub>1</sub>&gt;Ba<sub>1</sub>&gt;Ta<sub>0,9</sub>&gt;Hf<sub>0,9</sub>&gt;Cr<sub>0,9</sub>&gt;Yb<sub>0,8</sub>&gt;U<sub>0,8</sub>&gt;Nd<sub>0,6</sub></b>	Z <sub>C</sub> =23
---	--------------------

*Примечание: жирным выделены элементы с  $K_k \geq 1$*

Сравнение с данными для почв территорий расположения некоторых других НПЗ (Шахова, 2018) демонстрирует невысокую загрязненность изученной территории: содержание большинства химических элементов значительно ниже (рис. 52).

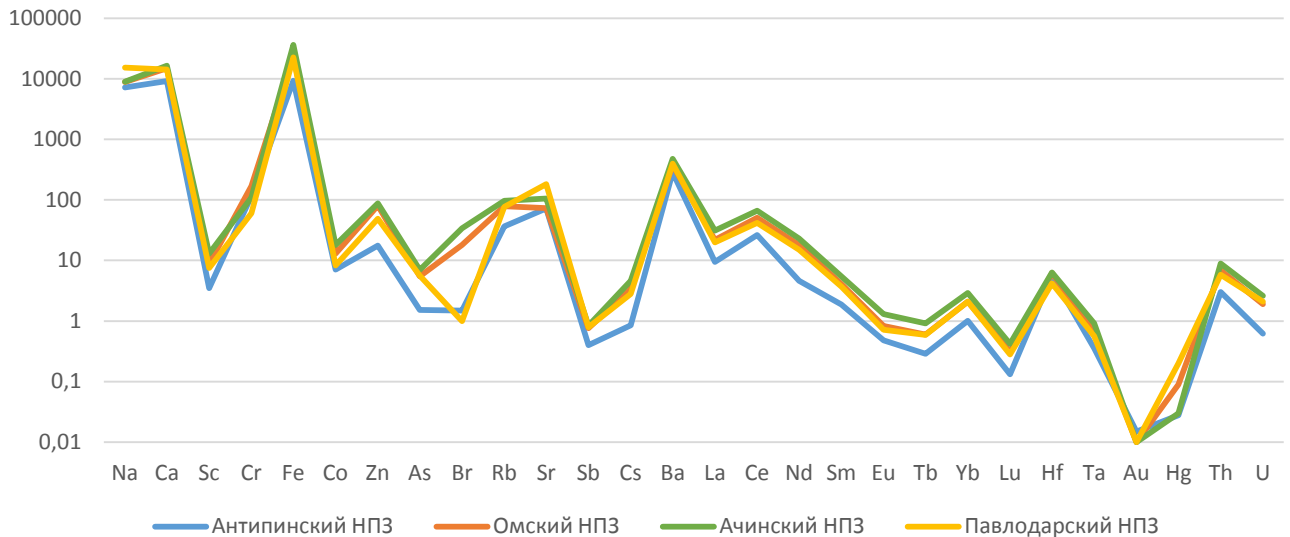


Рисунок 52 – Элементный состав верхнего горизонта почв территорий расположения некоторых НПЗ (мг/кг, логарифмическая шкала)

Анализ концентрирования химических элементов в верхнем горизонте почв территории расположения Антипинского НПЗ показал, что он имеет свою специфику. Так, для территории Западной Сибири отмечено специализированное накопление сурьмы, брома и ряда других элементов на территориях нефтегазодобычи и переработки (Язиков, 2006). Этот геохимический спектр ярко отличается от такового, сформировавшегося, например, в районах воздействия предприятий энергетического или ядерно - топливного цикла.

Таким образом, для большинства исследованных элементов, независимо от характера их распределения по профилю, характерно возрастание содержания в верхнем горизонте в сравнении с условно-фоновой территорией, что свидетельствует об их атмосферном поступлении.

В верхнем горизонте природно-техногенной почвы зафиксировано возрастание содержания почти всех исследованных химических элементов, при этом значительные превышения в сравнении с условным фоном отмечены для Au, Br, Eu, Na, Co, Fe, Sb.

Наши исследования (Боев и др., 2019) по содержанию химических элементов в почвах района расположения Антипинского нефтеперерабатывающего предприятия свидетельствуют о том, что имеет место специфика накопления, не только отличная от приведенного по Западной Сибири комплекса элементов, но и характеризующая каждое отдельное предприятие. Геохимические показатели формируются в зависимости от длительности работы предприятия, применения технологических схем, также влияния различных типов катализаторов, часто используемых на таких объектах. В сравнении с почвами территорий расположения некоторых других НПЗ содержание большинства химических элементов в почве района Антипинского НПЗ значительно ниже (табл. 60). Исключение составляют Cr и Hf.

Таблица 60. Содержание химических элементов в верхнем горизонте почв территорий, подверженных воздействию НПЗ

Элементы	Территории, прилегающие к Антипинскому НПЗ	Территории, прилегающие к Омскому НПЗ	Территории, прилегающие к Ачинскому НПЗ	Территории, прилегающие к Павлодарскому НПЗ
Na	7205±189	8800±200	8900±300	15300±400
Ca	9189±443	15000±1100	16500±700	14200±1300
Sc	3,5±0,34	8,8±0,45	13±0,31	7,5±0,7
Cr	116±11	169±48	109±4,61	60±6,11
Fe	9255±920	23800±1200	36200±900	22500±1700
Co	7,1±1,2	13±0,5	18±0,56	8,3±0,7
Zn	18±6	81±18,7	88±3,44	49±5,42
As	1,5±0,14	5,5±0,26	7±0,4	5,6±0,41
Br	1,5±0,37	18±1,9	34±3,1	1±0,72
Rb	36±2,5	79±2,7	97±2,2	77±4,29
Sr	НПО>50	73±12,4	105±17,2	182±34
Sb	0,4±0,069	0,76±0,05	0,84±0,04	0,79±0,06
Cs	0,86±0,094	3,4±0,16	4,6±0,16	2,8±0,4
Ba	287±10	377±10,2	478±14	398±11
La	9,5±0,74	22±0,7	31±0,7	20±1,6
Ce	26±1,9	51±1,5	66±1,36	42±2,61
Nd	4,6±0,8	18±0,9	23±0,9	15±0,9
Sm	1,9±0,13	4,1±0,12	5,5±0,12	3,7±0,23
Eu	0,48±0,036	0,83±0,04	1,3±0,03	0,72±0,05
Tb	0,29±0,026	0,6±0,03	0,91±0,04	0,59±0,05
Yb	1±0,066	2,1±0,07	2,9±0,06	2,1±0,14
Lu	0,13±0,011	0,31±0,01	0,42±0,01	0,28±0,02
Hf	5,7±0,41	6,2±0,26	6,3±0,2	4,2±0,41
Ta	0,35±0,059	0,65±0,05	0,92±0,05	0,56±0,05
Au	НПО>50	0,01±0,001	0,01±0,008	0,01±0,001
Hg	0,028±0,0041	0,09±0,02	0,03±0,01	0,2±0,05
Th	3±0,25	6,9±0,3	8,9±0,3	5,8±0,46
U	0,62±0,05	1,9±0,12	2,6±0,13	2,1±0,14

Наименьшая загрязненность почв территории Антипинского НПЗ в сравнении с используемыми данными подтверждается при сопоставлении значений содержания химических элементов с кларком (Ярошевский), 1990. Так, в данном случае наблюдаются повышенные коэффициенты концентрации лишь для Na и Cr, а показатель суммарного загрязнения равен 1. Наибольший суммарный показатель загрязнения имеет территория г. Томска (средний уровень), для которой характерно комплексное техногенное воздействие. На втором месте находится территория, подверженная воздействию бывшего

Семипалатинского испытательного полигона (низкий уровень). Весьма значительным спектром элементов с повышенным содержанием характеризуется территория, прилегающая к Ачинскому НПЗ, при суммарном показателе загрязнения, характеризующемся, согласно (Методические рекомендации по ..., 1990), как низкий.

Таблица 61. Геохимический ряд и суммарный показатель загрязнения для верхнего горизонта почв территорий, подверженных воздействию факторов техногенеза (относительно кларка по (Ярошевский, 1990))

Территории, прилегающие к Антипинскому НПЗ	<b>Cr<sub>1,9</sub>&gt;Na<sub>1,1</sub>&gt;Hf<sub>0,82</sub>&gt;Co<sub>0,79</sub>&gt;Ca<sub>0,67</sub>&gt;Ba<sub>0,57</sub>&gt;Ce<sub>0,52</sub>&gt;Rb<sub>0,51</sub>&gt;Eu<sub>0,48</sub>&gt;Th<sub>0,46</sub>&gt;Sb<sub>0,44</sub>&gt;Sc<sub>0,44</sub>&gt;Tb<sub>0,41</sub>&gt;U<sub>0,41</sub>&gt;Lu<sub>0,38</sub>&gt;Sm<sub>0,38</sub>&gt;Ta<sub>0,35</sub>&gt;Yb<sub>0,33</sub>&gt;Zn<sub>0,3</sub>&gt;Cs<sub>0,29</sub>&gt;Hg<sub>0,28</sub>&gt;As<sub>0,26</sub>&gt;Fe<sub>0,24</sub>&gt;La<sub>0,24</sub>&gt;Nd<sub>0,14</sub>&gt;Br<sub>0,045</sub></b>	Z <sub>C</sub> =2
Территории, прилегающие к Омскому НПЗ	<b>Cr<sub>2,8</sub>&gt;Co<sub>1,4</sub>&gt;Na<sub>1,4</sub>&gt;Zn<sub>1,4</sub>&gt;U<sub>1,3</sub>&gt;Cs<sub>1,1</sub>&gt;Rb<sub>1,1</sub>&gt;Sc<sub>1,1</sub>&gt;Ca<sub>1,1</sub>&gt;Th<sub>1,1</sub>&gt;Ce<sub>1</sub>&gt;As<sub>0,92</sub>&gt;Hg<sub>0,9</sub>&gt;Lu<sub>0,89</sub>&gt;Hf<sub>0,89</sub>&gt;Tb<sub>0,86</sub>&gt;Sb<sub>0,84</sub>&gt;Eu<sub>0,83</sub>&gt;Sm<sub>0,82</sub>&gt;Ba<sub>0,75</sub>&gt;Yb<sub>0,7</sub>&gt;Ta<sub>0,65</sub>&gt;Fe<sub>0,63</sub>&gt;La<sub>0,55</sub>&gt;Br<sub>0,55</sub>&gt;Nd<sub>0,55</sub>&gt;Sr<sub>0,33</sub></b>	Z <sub>C</sub> =5
Территории, прилегающие к Ачинскому НПЗ	<b>Co<sub>2</sub>&gt;Cr<sub>1,8</sub>&gt;U<sub>1,7</sub>&gt;Sc<sub>1,6</sub>&gt;Cs<sub>1,5</sub>&gt;Zn<sub>1,5</sub>&gt;Na<sub>1,4</sub>&gt;Rb<sub>1,4</sub>&gt;Th<sub>1,4</sub>&gt;Ce<sub>1,3</sub>&gt;Tb<sub>1,3</sub>=Eu<sub>1,3</sub>&gt;Ca<sub>1,2</sub>&gt;Lu<sub>1,2</sub>&gt;As<sub>1,2</sub>&gt;Sm<sub>1,1</sub>&gt;Br<sub>1</sub>&gt;Yb<sub>0,97</sub>&gt;Ba<sub>0,96</sub>&gt;Fe<sub>0,95</sub>&gt;Sb<sub>0,93</sub>&gt;Ta<sub>0,92</sub>&gt;Hf<sub>0,9</sub>&gt;La<sub>0,78</sub>&gt;Nd<sub>0,7</sub>&gt;Sr<sub>0,48</sub>&gt;Hg<sub>0,3</sub></b>	Z <sub>C</sub> =8
Территории, прилегающие к Павлодарскому НПЗ	<b>Na<sub>2,4</sub>&gt;Hg<sub>2</sub>&gt;U<sub>1,4</sub>&gt;Rb<sub>1,1</sub>&gt;Ca<sub>1</sub>&gt;Cr<sub>1</sub>&gt;Sc<sub>0,94</sub>&gt;Cs<sub>0,93</sub>=As<sub>0,93</sub>&gt;Co<sub>0,92</sub>&gt;Th<sub>0,89</sub>&gt;Sb<sub>0,88</sub>&gt;Tb<sub>0,84</sub>&gt;Ce<sub>0,84</sub>&gt;Sr<sub>0,83</sub>&gt;Zn<sub>0,82</sub>&gt;Lu<sub>0,8</sub>&gt;Ba<sub>0,8</sub>&gt;Sm<sub>0,74</sub>&gt;Eu<sub>0,72</sub>&gt;Yb<sub>0,7</sub>&gt;Hf<sub>0,6</sub>&gt;Fe<sub>0,59</sub>&gt;Ta<sub>0,56</sub>&gt;La<sub>0,5</sub>&gt;Nd<sub>0,45</sub>&gt;Br<sub>0,03</sub></b>	Z <sub>C</sub> =4
Территории, прилегающие к бывшему СИП	<b>Au<sub>10</sub>&gt;Zn<sub>3,4</sub>&gt;Na<sub>2,5</sub>&gt;U<sub>1,7</sub>&gt;Ca<sub>1,5</sub>&gt;Sc<sub>1,4</sub>&gt;Co<sub>1,3</sub>&gt;Cr<sub>1,3</sub>&gt;Lu<sub>1,1</sub>&gt;Sb<sub>1,1</sub>&gt;Th<sub>1,1</sub>&gt;Ce<sub>1</sub>&gt;Rb<sub>0,96</sub>&gt;As<sub>0,95</sub>&gt;Cs<sub>0,93</sub>&gt;Sm<sub>0,91</sub>&gt;Eu<sub>0,9</sub>&gt;Ba<sub>0,87</sub>&gt;Tb<sub>0,86</sub>&gt;Yb<sub>0,83</sub>&gt;Fe<sub>0,82</sub>&gt;Hf<sub>0,74</sub>&gt;Sr<sub>0,72</sub>&gt;Ta<sub>0,7</sub>&gt;La<sub>0,58</sub>&gt;Nd<sub>0,48</sub>&gt;Br<sub>0,39</sub></b>	Z <sub>C</sub> =16
Территория расположения предприятий г. Томска	<b>Au<sub>14</sub>&gt;Sb<sub>4</sub>&gt;Zn<sub>3</sub>&gt;As<sub>2,3</sub>&gt;Cr<sub>2,1</sub>&gt;Co<sub>1,9</sub>&gt;Tb<sub>1,4</sub>&gt;U<sub>1,4</sub>&gt;Sc<sub>1,4</sub>&gt;Eu<sub>1,2</sub>&gt;Ca<sub>1,2</sub>&gt;Lu<sub>1,1</sub>&gt;Ta<sub>1,1</sub>&gt;Cs<sub>1,1</sub>&gt;Th<sub>1,1</sub>&gt;Ce<sub>1,1</sub>&gt;Sm<sub>1</sub>&gt;Rb<sub>1</sub>&gt;Yb<sub>0,9</sub>&gt;Hf<sub>0,89</sub>&gt;Ba<sub>0,85</sub>&gt;Fe<sub>0,78</sub>&gt;Sr<sub>0,72</sub>&gt;La<sub>0,65</sub>&gt;Br<sub>0,3</sub></b>	Z <sub>C</sub> =24

*Примечание: для 26 химических элементов для Антипинского НПЗ (Au, Sr ниже предела обнаружения), для 27 химических элементов для Омского, Ачинского, Павлодарского НПЗ (Au ниже предела обнаружения), для 27 химических элементов для бывшего СИП (не определена Hg), для 25 химических элементов для г. Томска (не определены Na, Nd и Hg, Sr ниже предела обнаружения), жирным выделены химические элементы с коэффициентами концентрации более 1, курсивом более 1,5, подчеркиванием более 5.*

Среди рассмотренных территорий расположения НПЗ наибольшим загрязнением по отношению к кларку, как по количеству химических элементов с повышенными коэффициентами концентрации, так и по суммарному показателю



загрязнения, соответствующему низкому уровню загрязнения, характеризуются почвы территории расположения Ачинского НПЗ. При этом по показателю суммарного загрязнения остальные рассмотренные районы, подверженные влиянию нефтеперерабатывающих предприятий, характеризуются отсутствием загрязнения. Почвы, прилегающие к бывшему СИП, при том же количестве химических элементов с повышенными коэффициентами концентрации, что и почвы возле Омского НПЗ, имеют средний уровень загрязнения. Наибольший суммарный показатель загрязнения, соответствующий среднему уровню, имеют почвы г. Томска. Близкий уровень загрязнения почв территорий расположения предприятий г. Томска и прилегающих к бывшему СИП и сходный спектр элементов с повышенными коэффициентами концентрации, предположительно, связаны с аналогичным характером техногенной нагрузки, оказываемой предприятиями ядерно-топливного цикла. Кроме того, изученные территории, подверженные техногенному воздействию, были нормированы относительно условного фона (табл. 62).

Таблица 62. Геохимический ряд и суммарный показатель загрязнения для верхнего горизонта почв территорий, подверженных воздействию факторов техногенеза, относительно условно-фоновой территории Тюменского федерального заказника

Территории, прилегающие к Антипинскому НПЗ	$Eu_{1,8} > Br_{1,7} > Na_{1,6} > Fe_{1,5} > Sb_{1,4} > Sm_{1,4} > Co_{1,4} > Cs_{1,3} > Sc_{1,3} > Ce_{1,3} > Sr_{1,2} > Rb_{1,2} > Lu_{1,2} > Zn_{1,2} > Tb_{1,2} > Th_{1,2} > La_{1,2} > Ca_{1,1} > Ba_1 > Hg_1 > As_1 > Hf_{0,96} > Ta_{0,92} > U_{0,87} > Cr_{0,84} > Yb_{0,8} > Nd_{0,74}$	$Z_C=7$
Территории, прилегающие к Омскому НПЗ	$Br_{22} > Cs_{5,6} > Zn_{5,2} > Fe_4 > As_{3,9} > Sc_{3,5} > Hg_{3,5} > Eu_{3,3} > Sm_{3,1} > Sb_{2,9} > Lu_{2,9} > Th_{2,8} > La_{2,7} > Rb_{2,7} > Tb_{2,6} > Co_{2,6} > Nd_{2,6} > Ce_{2,5} > U_{2,5} > Na_{1,9} > Ca_{1,9} > Ta_{1,7} > Yb_{1,7} > Ba_{1,3} > Cr_{1,3} > Sr_{1,1} > Hf_1$	$Z_C=67$
Территории, прилегающие к Ачинскому НПЗ	$Br_{41} > Cs_{7,5} > Fe_6 > Zn_{5,6} > Eu_{5,2} > Sc_{5,2} > As_{4,9} > Sm_{4,1} > Tb_4 > Lu_{3,9} > La_{3,9} > Co_{3,6} > Th_{3,6} > U_{3,4} > Nd_{3,3} > Rb_{3,3} > Ce_{3,2} > Sb_{3,2} > Ta_{2,4} > Yb_{2,3} > Ca_2 > Na_{1,9} > Ba_{1,7} > Sr_{1,6} > Hg_{1,2} > Hf_{1,1} > Cr_{0,8}$	$Z_C=104$
Территории, прилегающие к Павлодарскому НПЗ	$Hg_{7,7} > Cs_{4,6} > As_{3,9} > Fe_{3,7} > Na_{3,3} > Zn_{3,1} > Sb_3 > Sc_3 > Eu_{2,9} > Sm_{2,8} > Sr_{2,8} > U_{2,7} > Tb_{2,6} > Lu_{2,6} > Rb_{2,6} > La_{2,5} > Th_{2,3} > Nd_{2,1} > Ce_{2,1} > Ca_{1,8} > Yb_{1,7} > Co_{1,7} > Ta_{1,5} > Ba_{1,4} > Br_{1,2} > Hf_{0,72} > Cr_{0,45}$	$Z_C=46$
Территории, прилегающие к бывшему СИП	$Br_{16} > Zn_{13} > Au_{12} > Fe_{5,2} > Cs_{4,6} > Sc_{4,4} > As_4 > Sb_{3,8} > Lu_{3,7} > Eu_{3,6} > Sm_{3,4} > U_{3,4} > Na_{3,4} > La_{2,9} > Th_{2,7} > Tb_{2,6} > Ca_{2,6} > Ce_{2,5} > Co_{2,4} > Sr_{2,4} > Nd_{2,3} > Rb_{2,2} > Yb_2 > Ta_{1,8} > Ba_{1,5} > Hf_{0,89} > Cr_{0,56}$	$Z_C=84$

## Продолжение таблицы 62

Территория расположения предприятий г. Томска	<u><i>Au</i></u> <sub>16</sub> > <u><i>Sb</i></u> <sub>14</sub> > <u><i>Br</i></u> <sub>12</sub> > <u><i>Zn</i></u> <sub>12</sub> > <u><i>As</i></u> <sub>9,9</sub> > <u><i>Cs</i></u> <sub>5,4</sub> > <u><i>Fe</i></u> <sub>4,9</sub> > <u><i>Eu</i></u> <sub>4,8</sub> > <u><i>Tb</i></u> <sub>4,4</sub> > <u><i>Sc</i></u> <sub>4,3</sub> > <u><i>Sm</i></u> <sub>3,9</sub> > <u><i>Lu</i></u> <sub>3,6</sub> > <u><i>Co</i></u> <sub>3,4</sub> > <u><i>La</i></u> <sub>3,2</sub> > <u><i>Ta</i></u> <sub>2,9</sub> > <u><i>Th</i></u> <sub>2,9</sub> > <u><i>Ce</i></u> <sub>2,7</sub> > <u><i>U</i></u> <sub>2,7</sub> > <u><i>Rb</i></u> <sub>2,4</sub> > <u><i>Yb</i></u> <sub>2,2</sub> > <u><i>Ca</i></u> <sub>2</sub> > <u><i>Ba</i></u> <sub>1,5</sub> > <u><i>Hf</i></u> <sub>1,1</sub> > <u><i>Cr</i></u> <sub>0,95</sub>	Z <sub>C</sub> =99
--	---	--------------------

*Примечание: для 26 химических элементов для Антипинского НПЗ (Au, Sr ниже предела обнаружения), для 27 химических элементов для Омского, Ачинского, Павлодарского НПЗ (Au ниже предела обнаружения), для 27 химических элементов для бывшего СИП (не определена Hg), для 25 химических элементов для г. Томска (не определены Na, Nd и Hg, Sr ниже предела обнаружения), жирным выделены химические элементы с коэффициентами концентрации более 1, курсивом более 1,5, подчеркиванием более 5*

Ввиду того, что данная территория характеризуется меньшими значениями содержания химических элементов в сравнении с кларком, для изученных данных всех районов большинство химических элементов имеют повышенные коэффициенты концентрации. Среди рассмотренных территорий район расположения Антипинского НПЗ характеризуется наименьшими количеством элементов с повышенными коэффициентами концентрации и суммарным показателем загрязнения, соответствующим фоновым условиям. К тому же в отличие от прочих изученных территорий здесь отсутствуют крайне высокие коэффициенты концентрации (все <2). Это, по нашему мнению, может быть связано с незначительным, по сравнению с другими предприятиями, временем функционирования данного производства. Это серьезно отличает территорию расположения данного предприятия. Так, например, для территории расположения Павлодарского НПЗ характерны повышенные коэффициенты концентрации для всех химических элементов, за исключением Hf и Cr, и суммарный показатель загрязнения, соответствующий высокому уровню загрязнения. Для почв, прилегающих к Омскому НПЗ, характерны повышенные коэффициенты концентрации для всех изученных химических элементов и высокий уровень загрязнения. Территория расположения Ачинского НПЗ отличается наибольшим среди рассмотренных районов суммарным показателем загрязнения. Коэффициенты концентрации повышены для всех химических элементов, кроме Cr. Если рассматривать полученные значения коэффициентов концентрации, можно отметить, что для всех территорий специфичным является концентрирование брома в 2 и более раз. Исключение составляет Павлодарский НПЗ, где коэффициент концентрации для этого элемента составляет 1,2. При этом максимальные коэффициенты накопления отмечены нами для территорий расположения Омского (22) и Ачинского (41) комбинатов. Этот элемент способен формировать собственные локальные геохимические провинции на территориях деятельности как предприятий нефтепереработки и добычи, так и деятельности предприятий ядерно-топливного цикла (Перминова, 2017). Приоритетное накопление Hg в районе Павлодарского НПЗ может объясняться общей экологической ситуацией (Гельдымамедова, 2007).

В целом для рассмотренных территорий, подверженных комплексному техногенному воздействию, характерно высокое содержание Fe, Cs, Zn, As, Sc, Sb, Lu, Eu. При этом для почв всех районов характерно невысокое накопление Hf и Cr.

Такой широкий спектр элементов, интенсивно накапливающихся на изученных территориях, объясняется сложным комплексным характером, сложившимся в результате деятельности не только предприятий нефтепереработки, а, как правило, многопрофильным воздействием других объектов, функционирующих на урбанизированных территориях.

Для территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего предприятия нами зафиксировано изменение минералогического состава почвы относительно условно-фоновой. Так, в верхнем горизонте почвы природно-техногенной территории значительно повышено содержание альбита, мусковита и микроклина за счет кварца. К тому же обнаружен тремолит, отсутствующий в условно-фоновых условиях (рис. 53).

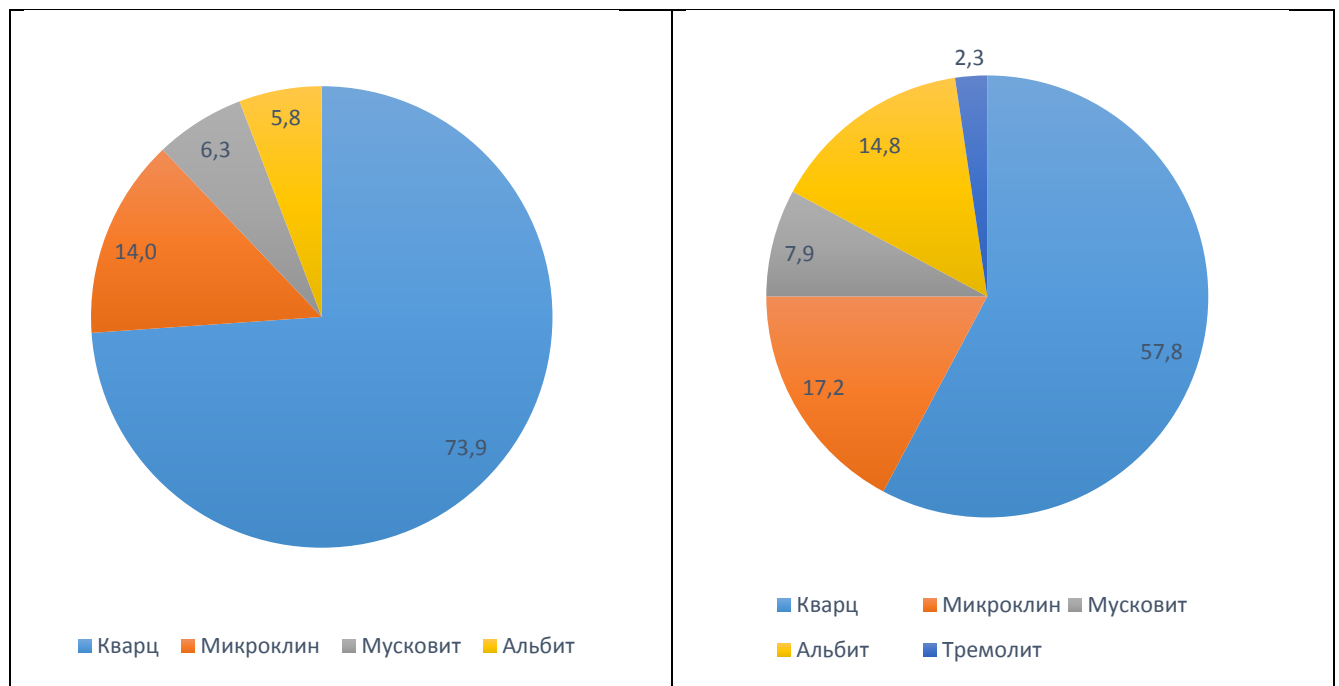


Рисунок 53 – Минералогический состав верхнего горизонта почв условно-фоновой и природно-техногенной территорий (%)

Это может свидетельствовать о том, что имеет место переходный характер геологических формаций, поскольку данный минерал не относится к техногенным.

Если район Тюменского федерального заказника находится на порфиритоидах, кварцево-серицитах и мраморах нижнего палеозоя, то значительная часть г. Тюмени, включая территорию расположения АНПЗ – на базальтах, туфах, туфопесчаниках, терригенных и глинистых отложениях (туринской серии) нижнего-среднего отделов триасовой системы. Тремолит, обнаруженный нами в почвах данной территории, относится к ленточным

силикатам группы моноклинных амфиболов, образующихся в результате метаморфизма на контактах изверженных пород с известниками или доломитами, а так же в кристаллических сланцах.

Таким образом, можно констатировать преобладание природного характера почв и их весьма слабую техногенную трансформацию, выражающуюся в некотором концентрировании химических элементов в верхнем горизонте почв.

## 5.2. Характеристика элементного состава органических компонентов территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Для природно-техногенной территории изучен химический состав тех же органических компонентов, что и для фоновой: подстилки, травостоя, березовых листьев.

В составе подстилки природно-техногенной территории в целом наблюдаются те же закономерности, что и для условно-фоновой (табл. 63, рис. 54).

Таблица 63 – Фракционный состав подстилки территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (г из 10 г)

Точка	Листовая	Хвойная	Прочее
1	0,65	3,76	5,55
2	0,12	5,6	4,26
ср	0,39	4,68	4,9

Однако здесь значительно больше хвойной фракции и меньше прочих компонентов (табл. 63, рис. 54).

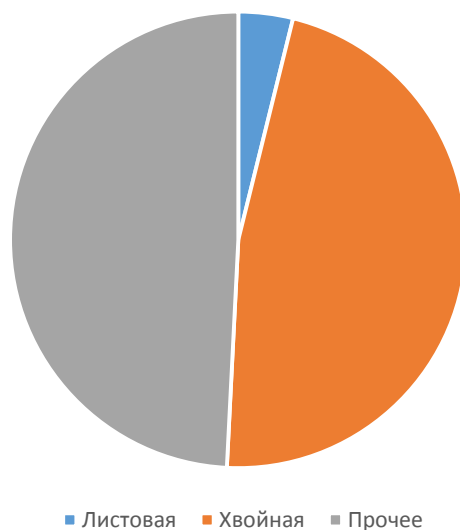


Рисунок 54 – Фракционный состав подстилки территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (г из 10 г)

В таблице 64 приведены данные элементного состава для подстилки.  
Таблица 64 – Параметры элементного состава подстилки территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Элементы , мг/кг	Ср (n=16)	Max	Min	$M_e$	S	V, %
Na	7196±346	9304	4191	7238	1384	19
Ca	40059±6587	108162	9171	34473	26347	66
Sc	4,8±0,4	9,5	3,2	4,2	1,6	33
Cr	263±34	565	83	224	136	52
Fe	17150±1672	34966	9025	14843	6689	39
Co	15±2	36	5,5	12	7,8	53
Zn	446±64	936	112	434	259	58
As	2,60±0,46	6,9	0,2	2,1	1,8	70
Br	14±2	34	0,9	13	8	59
Rb	41±1,7	60	30	40	7	17
Sr	280±34	716	171	239	134	48
Ag	<0,3 (НПО≥50%)					
Sb	1,90±0,31	4,4	0,48	1,5	1,2	65
Cs	1,30±0,13	2,4	0,5	1,1	0,53	42
Ba	643±68	1420	359	579	273	43
La	12±0,81	19	7,7	10	3,3	28
Ce	12±0,64	18	8,6	12	2,6	22
Nd	5,2±1,5 (НПО≥50%)	17	0,5	1,1	6	115
Sm	1,30±0,27	3,3	0,02	1,7	1,1	85
Eu	0,480±0,028	0,76	0,38	0,44	0,11	23
Tb	0,280±0,037	0,55	0,01	0,27	0,15	54
Yb	1,200±0,079	1,9	0,8	1,2	0,32	26
Lu	0,160±0,009	0,23	0,1	0,16	0,036	22
Hf	4,80±0,32	7,3	3	4,3	1,3	27
Ta	0,510±0,041	0,89	0,14	0,5	0,17	33
Au	<0,004 (НПО≥50%)					

Hg	0,140±0,016	0,28	0,053	0,12	0,066	49
----	-------------	------	-------	------	-------	----

Продолжение таблицы 64

Th	3±0,22	4,9	2	2,7	0,9	30
U	1,3±0,1	2,2	0,58	1,3	0,4	31

В ряду ранжирования химических элементов можно отметить, что типичными для этого компонента являются Ca, Fe, Na, Zn, Ba. Однако для территории расположения Антипинского НПЗ количество Na возросло в 2 раза, а Ca и Zn снизилось. Кроме того, следует отметить значимо высокую вариацию для Nd.

В распределении по слоям большинство элементов сохраняют условно-фоновые закономерности: Na, Sc, Rb, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Th, U по-прежнему сконцентрированы в нижнем слое, а Ca, Zn, Br, Sr, Au – в верхнем (табл. 65, рис. 55).

Таблица 65 – Значения элементного состава слоев подстилки территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Элементы, мг/кг	Верхний	Средний	Нижний
Na	1833	3560	6192
Ca	182900	129504	64606
Sc	3,5	6,2	6,3
Cr	501	761	638
Fe	19112	28761	23937
Co	15	21	17
Zn	1547	1365	805
As	4,4	6,9	5,3
Br	26	19	11
Rb	32	44	50
Sr	614	536	314
Ag	<0,5 (НПО≥50%)	<0,5 (НПО≥50%)	<0,5 (НПО≥50%)
Sb	4,5	7,3	5,8
Cs	1,1	1,9	1,9
Ba	777	892	656
La	7	13	15
Ce	13	28	34
Nd	4,7	7,2	8,7
Sm	2	3,2	3,7
Eu	0,29	0,65	0,71
Tb	0,1	0,37	0,36
Yb	0,64	1,2	1,4
Lu	0,1	0,16	0,19
Hf	0,79	2,3	4,5

Ta	0,34	0,31	0,76
----	------	------	------

Продолжение таблицы 65

Au	0,004	<0,004 (НПО $\geq$ 50%)	<0,004 (НПО $\geq$ 50%)
Hg	0,042	0,091	0,094
Th	1,6	3,7	4,5
U	<0,04 (НПО $\geq$ 50%)	0,32	0,57

Однако ряд элементов переходит в средний слой: Cr, Fe, Co, As, Sb, Ba, Tb (табл. 65, рис. 55).

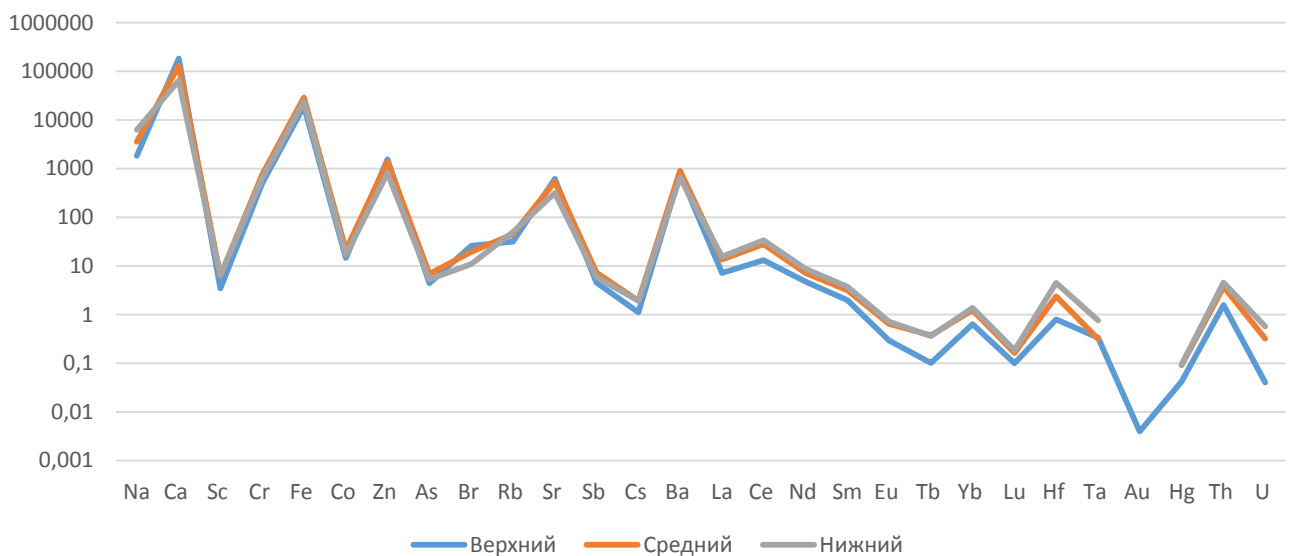


Рисунок 55 – Элементный состав слоев подстилки территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг, логарифмическая шкала)

Таблица 66 содержит параметры элементного состава травостоя.

Таблица 66 – Параметры элементного состава травостоя территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Элементы , мг/кг	С <sub>ср</sub> (n=20)	Max	Min	M <sub>e</sub>	S	V, %
Na	1937±315	6218	395	1590	1410	73
Ca	54763±5892	120008	24000	46185	26351	48
Sc	1,50±0,32	6,3	0,16	1	1,4	99
Cr	123±21	364	32	96	95	77
Fe	4851±856	16859	938	3567	3829	79
Co	3,90±0,55	9,6	1,1	3,3	2,5	64



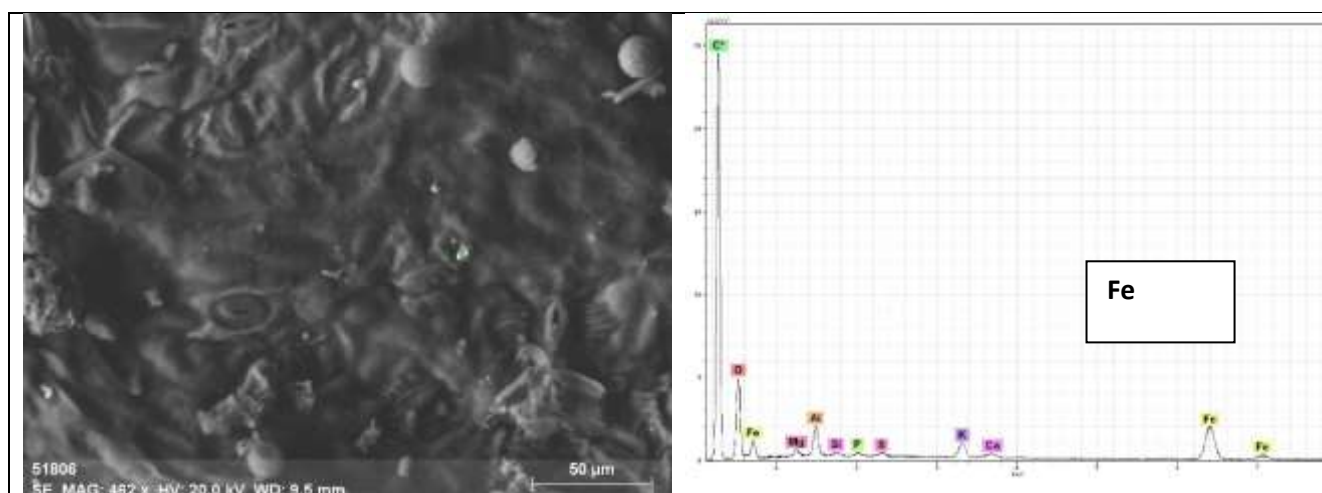
Zn	348±38	717	85	313	171	49
----	--------	-----	----	-----	-----	----

Продолжение таблицы 66

As	0,57±0,20 (НПО≥50%)	3,4	0,2	0,2	0,9	158
Br	53±11	149	7,1	27	51	95
Rb	85±15	261	33	56	68	80
Sr	352±56	1039	30	266	248	71
Ag	0,180±0,028 (НПО≥50%)	0,64	0,07	0,15	0,13	72
Sb	0,530±0,069	1,4	0,08	0,43	0,31	59
Cs	0,440±0,091	1,8	0,05	0,34	0,41	93
Ba	555±66	1160	153	459	295	53
La	2,30±0,66	12	0,05	1,2	3	129
Ce	4,4±1,5	28	0,1	1,5	6,6	151
Nd	2,40±0,69 (НПО≥50%)	13	0,45	0,81	3,1	128
Sm	0,69±0,17	3	0,02	0,49	0,74	107
Eu	0,130±0,034	0,67	0,005	0,085	0,15	114
Tb	0,093±0,025	0,45	0,01	0,055	0,11	123
Yb	0,42±0,12	2,3	0,03	0,22	0,55	131
Lu	0,048±0,011	0,23	0,003	0,033	0,051	106
Hf	1,4±0,4	8	0,01	0,72	1,8	132
Ta	0,120±0,027	0,49	0,005	0,099	0,12	96
Au	0,0039±0,0016	0,035	0,0002	0,0019	0,0073	187
Hg	0,170±0,013	0,28	0,066	0,18	0,059	35
Th	0,50±0,18	3,2	0,02	0,02	0,82	164
U	0,33±0,11	1,6	0,019	0,1	0,47	144

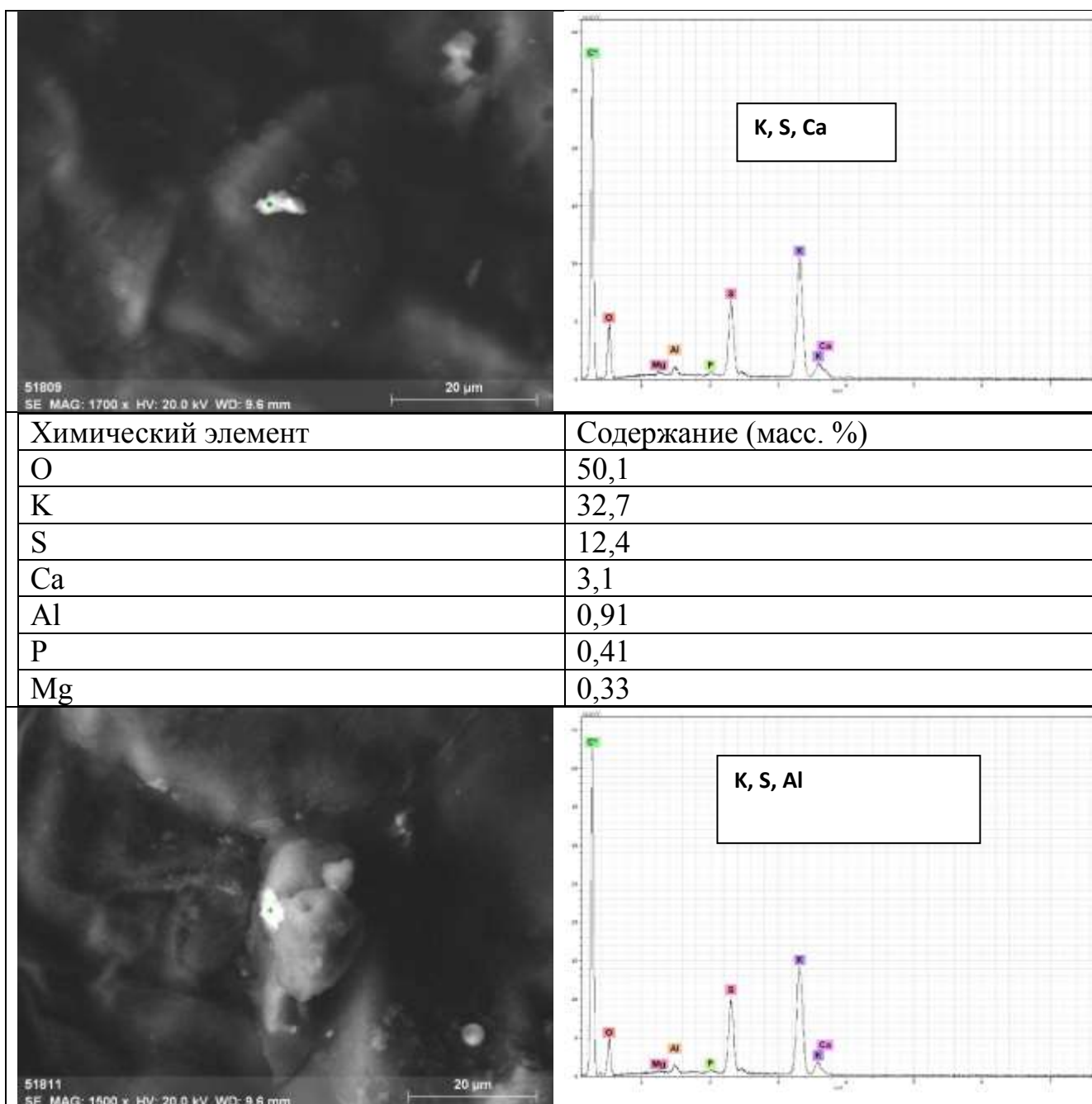
Для травостоя зафиксировано возрастание вариативности всей группы редкоземельных элементов и U.

В листьях природно-техногенной территории также обнаружены микрочастицы. В их состав входят Fe, K, Ca, P, Al, Mg, Si, S (рис. 56).



Химический элемент	Содержание (масс. %)
O	42,3
Fe	42,1
Al	5,62
K	5,07
Ca	1,95
Mg	1,45
S	0,65
P	0,48
Si	0,43

Рисунок 56 – Микрочастицы на поверхности листьев территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода



Продолжение рисунка 56

Химический элемент	Содержание (масс. %)
O	43,6
K	38,2
S	15,3
Al	1,23
Ca	0,85
Mg	0,49
P	0,38

Химический элемент	Содержание (масс. %)
Fe	77,3
O	19,9
Al	0,92
K	0,85
Ca	0,51
P	0,25
Si	0,19
S	0,14

Продолжение рисунка 56

В таблице 67 приведено содержание химических элементов в золе березовых листьев.

Таблица 67 – Параметры элементного состава листьев территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Элементы , мг/кг	С <sub>ср</sub> (n=12)	Max	Min	M <sub>e</sub>	S	V, %
Na	749±212	2477	147	489	734	98
Ca	130972±4921	162322	90769	130775	17047	13
Sc	0,37±0,06	0,86	0,16	0,31	0,21	57
Cr	35±6,9	96	13	28	24	68

## Продолжение таблицы 67

Fe	2392±292	4329	1051	2369	1010	42
Co	7,4±1	16	2,8	7,4	3,5	47
Zn	2441±212	3719	1500	2291	734	30
As	0,69±0,22 (НПО≥50%)	2,3	0,2	0,2	0,77	112
Br	11±1,9	26	0,83	8,7	6,4	59
Rb	60±9,4	152	22	55	32	53
Sr	814±87	1452	438	775	301	37
Ag	0,50±0,21 (НПО≥50%)	2,7	0,15	0,24	0,71	144
Sb	0,49±0,10	1,3	0,13	0,37	0,35	73
Cs	0,210±0,075	0,98	0,05	0,14	0,26	123
Ba	1662±186	2647	726	1651	644	39
La	0,71±0,19	2,2	0,045	0,6	0,67	94
Ce	0,54±0,20 (НПО≥50%)	2,2	0,25	0,25	0,69	128
Nd	1,10±0,43 (НПО≥50%)	5,4	0,45	0,45	1,5	141
Sm	0,48±0,16	1,6	0,002	0,24	0,57	118
Eu	0,067±0,014	0,15	0,005	0,075	0,047	70
Tb	0,049±0,016	0,18	0,01	0,029	0,056	115
Yb	0,083±0,021	0,26	0,02	0,054	0,074	89
Lu	0,0100±0,0036 (НПО≥50%)	0,037	0,0019	0,0025	0,013	126
Hf	0,110±0,027	0,33	0,006	0,094	0,094	83
Ta	0,0090±0,0029 (НПО≥50%)	0,037	0,0008	0,005	0,01	112
Au	0,00610±0,0009 4	0,011	0,0012	0,0069	0,0032	53
Hg	0,120±0,011	0,17	0,075	0,12	0,037	30
Th	0,0230±0,0033 (НПО≥50%)	0,059	0,02	0,02	0,011	49

## Продолжение таблицы 67

U	0,150±0,067 (НПО≥50%)	0,69	0,015	0,045	0,23	150
---	--------------------------	------	-------	-------	------	-----

Среди органических компонентов биогеоценоза природно-техногенной подстилка сохраняет близкие к фоновым закономерности распределения химических элементов. Лишь несколько элементов (Ca, Cr, Co, Zn, Br, а также As) повышают дифференциацию. Для Sr она наоборот снижается. В отличие от подстилки, в растительных компонентах закономерности значительно изменяются. В травостое наблюдается значительное повышение дифференциации большинства рассматриваемых элементов. Так, почти все редкоземельные элементы переходят к интенсивнодифференцированному распределению (Sc – к дифференцированному). Помимо них это наблюдается для Na, Fe, Cr, Br, Rb, Sr, As, Au, Hf, Th, Lu. Таким образом, травостой оказывается средой с наиболее дифференцированным распределением химических элементов среди рассмотренных. В березовых листьях также наблюдается значительное повышение дифференциации распределения большинства элементов. Среди них снова редкоземельные элементы, а также Na, As, Ag, Cs, U, Sb. При этом, как и в подстилке, Sr переходит к однородному распределению (табл. 68).

В органических компонентах биогеоценоза природно-техногенной территории относительно условно-фоновой выявлены повышенные концентрации для большинства изученных химических элементов. В рассмотренных средах обнаружен общий спектр: Fe, Eu, Sc, Hf, Yb, La, Sm, Tb, Co. К тому же каждая из них накапливает специфические элементы (табл. 69).

Таблица 68 – Типы распределения химических элементов в органических компонентах территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (согласно классификации Шестакова (1988))

Среда	Однородное (V<50%)	Слабодифференцированное (V=50–70%)	Дифференцированное (V=70–100%)	Интенсивно дифференцированное (V>100%)
Подстилка (n=16)	<u>Na</u> , <u>Sc</u> , <u>Fe</u> , <u>Rb</u> , <u>Sr</u> , <u>Cs</u> , <u>Ba</u> , <u>La</u> , <u>Ce</u> , <u>Eu</u> , <u>Yb</u> , <u>Lu</u> , <u>Hf</u> , <u>Ta</u> , <u>Hg</u> , <u>Th</u> , <u>U</u>	Ca, Cr, Co, Zn, Br, <u>Sb</u> , <u>Tb</u>	As, <u>Sm</u>	<u>Nd</u>
Травостой (n=20)	<u>Ca</u> , <u>Zn</u> , <u>Hg</u>	Co, <u>Sb</u> , Ba	Na, Sc, Cr, Fe, Br, Rb, Sr, <u>Ag</u> , <u>Cs</u> , <u>Ta</u>	As, <u>La</u> , <u>Ce</u> , Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Au, <u>Th</u> , <u>U</u>

## Продолжение таблицы 68

Листья (n=12)	<u>Ca</u> , <u>Fe</u> , <u>Co</u> , <u>Zn</u> , Sr, <u>Ba</u> , <u>Hg</u> , Th	Sc, Br, Rb, Au, Cr	Na, Sb, La, <u>Eu</u> , <u>Yb</u> , Hf	As, Ag, Cs, Ce, Nd, Sm, Tb, Lu, <u>Ta</u> , <u>U</u>
---------------	---	-----------------------	---	--

*Примечание: подчеркиванием выделены химические элементы, сохраняющие в природно-техногенных условиях те же параметры распределения, что и в условно-фоновых*

Таблица 69 – Геохимические ряды и суммарные показатели накопления для органических компонентов территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно Тюменского федерального заказника

Подстилка (n=16)	<b>Cr<sub>2,3</sub></b> > <b>Na<sub>2,2</sub></b> > <b>U<sub>1,8</sub></b> > <b>Th<sub>1,5</sub></b> > <b>Fe<sub>1,5</sub></b> > <b>Eu<sub>1,4</sub></b> > <b>Sc<sub>1,4</sub></b> > <b>Ta<sub>1,4</sub></b> > <b>Hf<sub>1,4</sub></b> > <b>Ce<sub>1,3</sub></b> > <b>Rb<sub>1,3</sub></b> > <b>Yb<sub>1,3</sub></b> > <b>La<sub>1,3</sub></b> > <b>Sm<sub>1,3</sub></b> > <b>Lu<sub>1,2</sub></b> > <b>Tb<sub>1,1</sub></b> > <b>Co<sub>1</sub></b> >Cs <sub>0,96</sub> >Sb <sub>0,84</sub> >Sr <sub>0,77</sub> >Hg <sub>0,64</sub> >As <sub>0,62</sub> >Ba <sub>0,45</sub> >Ca <sub>0,38</sub> >Br <sub>0,36</sub> >Zn <sub>0,32</sub>	Z <sub>C</sub> =8,7
Травостой (n=20)	<b>Ce<sub>3,7</sub></b> > <b>Br<sub>2,5</sub></b> > <b>Ta<sub>2,3</sub></b> > <b>Hf<sub>2,1</sub></b> > <b>Eu<sub>2,1</sub></b> > <b>La<sub>1,9</sub></b> > <b>Sm<sub>1,9</sub></b> > <b>Sc<sub>1,9</sub></b> > <b>Yb<sub>1,8</sub></b> > <b>U<sub>1,8</sub></b> > <b>Fe<sub>1,8</sub></b> > <b>Lu<sub>1,7</sub></b> > <b>Cs<sub>1,6</sub></b> > <b>Tb<sub>1,6</sub></b> > <b>Na<sub>1,6</sub></b> > <b>Hg<sub>1,5</sub></b> > <b>Co<sub>1,4</sub></b> > <b>Rb<sub>1,4</sub></b> > <b>Au<sub>1,2</sub></b> > <b>Sb<sub>1,2</sub></b> > Cr <sub>0,95</sub> >Sr <sub>0,81</sub> >Ca <sub>0,71</sub> >Zn <sub>0,63</sub> >Ba <sub>0,3</sub>	Z <sub>C</sub> =18
Листья (n=12)	<b>Sm<sub>24</sub></b> > <b>La<sub>16</sub></b> > <b>Cr<sub>5,1</sub></b> > <b>Sb<sub>4,6</sub></b> > <b>Cs<sub>3,9</sub></b> > <b>Yb<sub>3,7</sub></b> > <b>Tb<sub>3,5</sub></b> > <b>Eu<sub>3,3</sub></b> > <b>Fe<sub>3</sub></b> > <b>Co<sub>3</sub></b> > <b>S</b> <b>c<sub>1,9</sub></b> > <b>Br<sub>1,9</sub></b> > <b>Sr<sub>1,8</sub></b> > <b>Hf<sub>1,8</sub></b> > <b>Au<sub>1,3</sub></b> >Ca <sub>0,89</sub> >Na <sub>0,82</sub> >Rb <sub>0,71</sub> >Zn <sub>0,69</sub> >Hg <sub>0,59</sub> >Ba <sub>0,56</sub>	Z <sub>C</sub> =65

*Примечание: жирным выделены элементы с  $Kk \geq 1$ , подчеркнуты элементы с  $Kk \geq 1$ , общие для всех сред*

Для подстилки это Cr, Na, Ta, Rb, Lu (табл. 69, рис. 57).

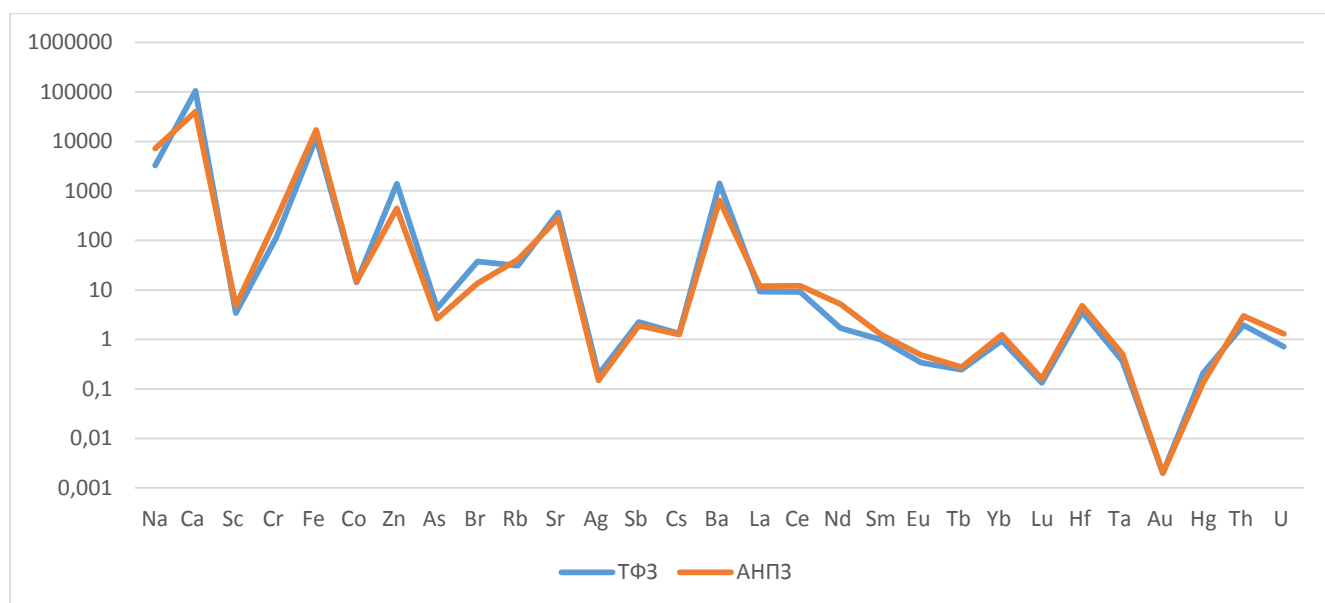


Рисунок 57 – Содержание химических элементов в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в сравнении с Тюменским федеральным заказником (мг/кг, логарифмическая шкала)



Для травостоя – Br, Ta, Lu, Cs, Na, Hg, Rb, Sb (табл. 69, рис. 58).

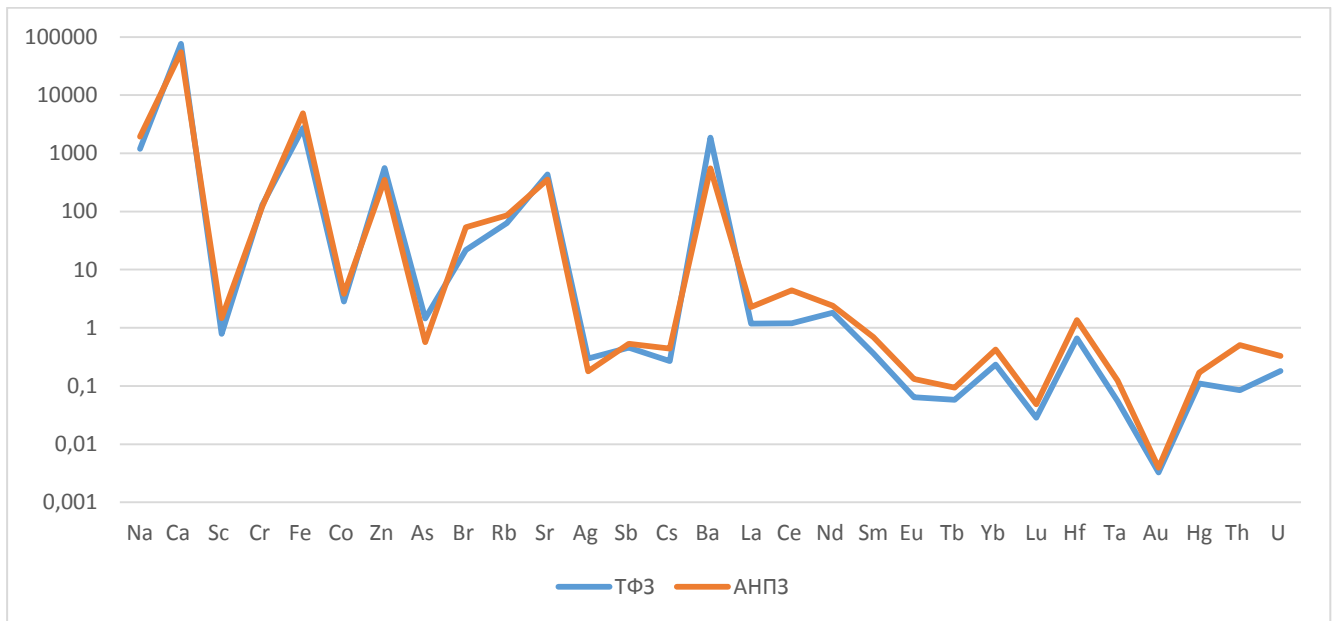


Рисунок 58 – Содержание химических элементов в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в сравнении с Тюменским федеральным заказником (мг/кг, логарифмическая шкала)

Для листьев – Cr, Sb, Cs, Br, Sr, Ag (табл. 69, рис. 59).

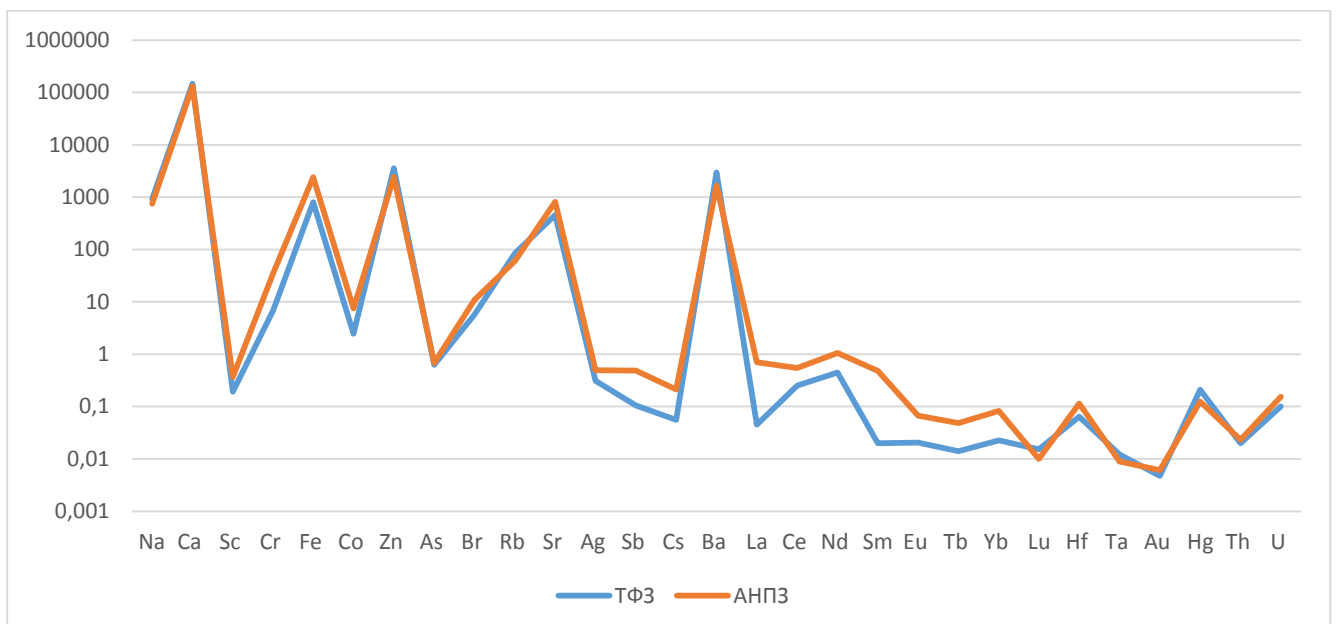


Рисунок 59 – Содержание химических элементов в листьях территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в сравнении с Тюменским федеральным заказником (мг/кг, логарифмическая шкала)

При этом наибольший суммарный показатель накопления имеют листья, наименьший – подстилка (табл. 69).

В сравнении с литературными данными (Ткалич, 1969) на природно-техногенной территории рассмотренные органические компоненты биогеоценоза сохраняют тот же общий спектр элементов с повышенным содержанием, что и на условно-фоновой, но изменяется количественный порядок, и возрастают показатели суммарного накопления. Специфическим элементом для подстилки становится вместо Zn Cr. В наибольшей степени, как и на условно-фоновой территории, накапливает химические элементы подстилка, в наименьшей – листья березы (табл.70).

Таблица 70 – Геохимические ряды и суммарные показатели накопления для органических компонентов территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно среднего содержания в золе современных континентальных растений (Ткалич, 1969)

Подстилка (n=16)	<b>Ta</b> <sub>101</sub> > <b>Hf</b> <sub>96</sub> > <b>Sc</b> <sub>53</sub> > <b>Sb</b> <sub>38</sub> > <b>Sr</b> <sub>2,3</sub> > <b>As</b> <sub>8,7</sub> > <b>Ba</b> <sub>6,4</sub> > <b>Th</b> <sub>5,9</sub> > <b>U</b> <sub>2,6</sub> > <b>Fe</b> <sub>1,7</sub> > <b>Hg</b> <sub>1,4</sub> > <b>Ca</b> <sub>1,3</sub> > <b>Cr</b> <sub>1,1</sub> > <b>Co</b> <sub>1</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,63</sub> > <b>Zn</b> <sub>0,5</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,41</sub> > <b>Na</b> <sub>0,36</sub> > <b>Ce</b> <sub>0,12</sub> > <b>La</b> <sub>0,12</sub> > <b>Br</b> <sub>0,091</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,012</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,012</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,0048</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,0028</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,0016</sub>	Z <sub>C</sub> =314
Травостой (n=20)	<b>Hf</b> <sub>27</sub> > <b>Ta</b> <sub>25</sub> > <b>Sc</b> <sub>16</sub> > <b>Sr</b> <sub>12</sub> > <b>Sb</b> <sub>11</sub> > <b>Ba</b> <sub>5,5</sub> > <b>Ca</b> <sub>1,8</sub> > <b>Hg</b> <sub>1,7</sub> > <b>Th</b> <sub>1</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,85</sub> > <b>U</b> <sub>0,66</sub> > <b>Cr</b> <sub>0,49</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,49</sub> > <b>Zn</b> <sub>0,39</sub> > <b>Br</b> <sub>0,36</sub> > <b>Co</b> <sub>0,26</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,22</sub> > <b>Na</b> <sub>0,097</sub> > <b>Ce</b> <sub>0,044</sub> > <b>La</b> <sub>0,023</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,0069</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,0042</sub> > <b>Au</b> <sub>0,0039</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,0013</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,00093</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,00048</sub>	Z <sub>C</sub> =93
Листья (n=12)	<b>Sr</b> <sub>27</sub> > <b>Ba</b> <sub>17</sub> > <b>Sb</b> <sub>9,7</sub> > <b>Ca</b> <sub>4,4</sub> > <b>Sc</b> <sub>4,1</sub> > <b>Zn</b> <sub>2,7</sub> > <b>Hf</b> <sub>2,3</sub> > <b>Hg</b> <sub>1,2</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,6</sub> > <b>Co</b> <sub>0,5</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,24</sub> > <b>Cr</b> <sub>0,14</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,11</sub> > <b>Br</b> <sub>0,073</sub> > <b>Na</b> <sub>0,037</sub> > <b>La</b> <sub>0,0071</sub> > <b>Au</b> <sub>0,0061</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,0048</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,00083</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,00067</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,00049</sub>	Z <sub>C</sub> =61

*Примечание: жирным выделены элементы с  $Kk \geq 1$ , подчеркнуты элементы с  $Kk \geq 1$ , общие для всех сред, Hg нормирована относительно Markert, B. (1992)*

Как и в условно-фоновых условиях, наибольшим количеством химических элементов с коэффициентом биологического поглощения  $>1$  характеризуется подстилка: помимо Ca, Sc, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Eu, Hg, U, за исключением Au, на природно-техногенной территории к ним относятся также Cr, Nd, Yb, Lu, Ta. В травянистых растениях перечень химических элементов повторяется кроме Au (Ca, Zn, Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Au, Hg), а также к ним добавляется Cr. В листьях зафиксирован тот же перечень за исключением Au, но также присутствуют Sb, Co. Во всех изученных средах наблюдается следующий перечень элементов: Ca, Zn, Br, Rb, Sr, Ba, Au, Hg. Таким образом, в перечне общих для всех рассмотренных сред элементов в сравнении с условно-фоновой территорией отсутствует Au (табл. 71).

Таблица 71 – Показатели коэффициента биологического поглощения химических элементов органическими компонентами территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

Химические элементы	Подстилка	Травостой	Листья
Na	0,99	0,27	0,1
<b>Ca</b>	<b>4,4</b>	<b>5,9</b>	<b>14</b>

Продолжение таблицы 71

Sc	<b>1,4</b>	0,42	0,11
Cr	<b>2,3</b>	<b>1,1</b>	0,3
Fe	<b>1,9</b>	0,52	0,26
Co	<b>2,1</b>	0,55	<b>1</b>
<u>Zn</u>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>138</b>
As	<b>1,7</b>	0,37	0,45
<u>Br</u>	<b>9,2</b>	<b>36</b>	<b>7,3</b>
<u>Rb</u>	<b>1,1</b>	<b>2,4</b>	<b>1,7</b>
<u>Sr</u>	<b>3,9</b>	<b>4,9</b>	<b>11</b>
Ag	0,3	0,36	0,99
<u>Sb</u>	<b>4,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>
Cs	<b>1,5</b>	0,51	0,25
<u>Ba</u>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>5,8</b>
La	<b>1,2</b>	0,24	0,075
Ce	0,47	0,17	0,021
Nd	<b>1,1</b>	0,52	0,23
Sm	0,66	0,37	0,26
Eu	0,99	0,27	0,14
Tb	0,97	0,32	0,17
Yb	<b>1,2</b>	0,42	0,08
Lu	<b>1,2</b>	0,36	0,076
Hf	0,84	0,24	0,019
Ta	<b>1,4</b>	0,34	0,026
Au	0,13	0,26	0,41
<u>Hg</u>	<b>4,8</b>	<b>6,1</b>	<b>4,4</b>
Th	0,99	0,17	0,0077
U	<b>2,1</b>	0,54	0,24

*Примечание: подчеркиванием выделены химические элементы, имеющие повышенные коэффициенты биологического накопления во всех изученных средах, жирным выделены значения коэффициента биологического поглощения >1.*

### 5.3. Общая характеристика элементного состава компонентов биогеоценоза территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

В сравнении с кларком ноосферы (Глазовская, 1988) помимо Ba и Sr, характеризующихся повышенным содержанием во всех рассмотренных компонентах биогеоценоза условно-фоновой территории, в природно-техногенных условиях к таким химическим элементам относится Sb. При этом для рассмотренных органических компонентов характерно снижение суммарного накопления химических элементов на природно-техногенной территории по сравнению с условно-фоновой (табл. 72).

Таблица 72 – Геохимические ряды и показатели суммарного загрязнения (накопления) для компонентов территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно кларка ноосферы (Глазовская, 1988)

Почва (A1) (n=20)	<b>Ba</b> <sub>8</sub> > <b>Cr</b> <sub>2,3</sub> > <b>Hf</b> <sub>2,3</sub> > <b>Sb</b> <sub>1,6</sub> > <b>Ce</b> <sub>0,81</sub> > <b>La</b> <sub>0,79</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,75</sub> > <b>Ca</b> <sub>0,57</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,53</sub> > <b>As</b> <sub>0,5</sub> > <b>Sc</b> <sub>0,5</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,45</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,42</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,42</sub> > <b>Zn</b> <sub>0,39</sub> > <b>Th</b> <sub>0,39</sub> > <b>Na</b> <sub>0,38</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,38</sub> > <b>U</b> <sub>0,32</sub> > <b>Co</b> <sub>0,32</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,29</sub> > <b>Nd</b> <sub>0,29</sub> > <b>Ta</b> <sub>0,19</sub> > <b>Hg</b> <sub>0,16</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,14</sub> > <b>Br</b> <sub>0,057</sub>	Z <sub>C</sub> =11
Подстилка (n=16)	<b>Ba</b> <sub>18</sub> > <b>Zn</b> <sub>9,7</sub> > <b>Sb</b> <sub>7,6</sub> > <b>Sr</b> <sub>7</sub> > <b>Cr</b> <sub>5,3</sub> > <b>Ca</b> <sub>2,5</sub> > <b>Hf</b> <sub>1,9</sub> > <b>La</b> <sub>0,99</sub> > <b>As</b> <sub>0,86</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,78</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,75</sub> > <b>Hg</b> <sub>0,72</sub> > <b>Sc</b> <sub>0,69</sub> > <b>U</b> <sub>0,68</sub> > <b>Co</b> <sub>0,67</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,65</sub> > <b>Br</b> <sub>0,52</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,44</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,43</sub> > <b>Th</b> <sub>0,39</sub> > <b>Ce</b> <sub>0,38</sub> > <b>Na</b> <sub>0,38</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,36</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,28</sub> > <b>Ta</b> <sub>0,27</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,21</sub>	Z <sub>C</sub> =46
Травостой (n=20)	<b>Ba</b> <sub>15</sub> > <b>Sr</b> <sub>8,8</sub> > <b>Zn</b> <sub>7,6</sub> > <b>Ca</b> <sub>3,4</sub> > <b>Cr</b> <sub>2,5</sub> > <b>Sb</b> <sub>2,1</sub> > <b>Br</b> <sub>2</sub> > <b>Hg</b> <sub>0,94</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,89</sub> > <b>Au</b> <sub>0,78</sub> > <b>Hf</b> <sub>0,54</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,22</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,22</sub> > <b>Sc</b> <sub>0,21</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,2</sub> > <b>La</b> <sub>0,19</sub> > <b>Co</b> <sub>0,18</sub> > <b>U</b> <sub>0,17</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,15</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,15</sub> > <b>Ce</b> <sub>0,14</sub> > <b>Lu</b> <sub>0,11</sub> > <b>Na</b> <sub>0,1</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,075</sub> > <b>Th</b> <sub>0,066</sub> > <b>Ta</b> <sub>0,063</sub>	Z <sub>C</sub> =35
Листья (n=12)	<b>Zn</b> <sub>53</sub> > <b>Ba</b> <sub>46</sub> > <b>Sr</b> <sub>20</sub> > <b>Ca</b> <sub>8,2</sub> > <b>Au</b> <sub>2</sub> > <b>Sb</b> <sub>2</sub> > <b>Cr</b> <sub>0,7</sub> > <b>Hg</b> <sub>0,69</sub> > <b>Rb</b> <sub>0,63</sub> > <b>Br</b> <sub>0,42</sub> > <b>Co</b> <sub>0,34</sub> > <b>Fe</b> <sub>0,11</sub> > <b>Eu</b> <sub>0,11</sub> > <b>Sm</b> <sub>0,11</sub> > <b>Tb</b> <sub>0,078</sub> > <b>La</b> <sub>0,059</sub> > <b>Sc</b> <sub>0,053</sub> > <b>Hf</b> <sub>0,044</sub> > <b>Yb</b> <sub>0,042</sub> > <b>Na</b> <sub>0,039</sub> > <b>Cs</b> <sub>0,036</sub>	Z <sub>C</sub> =126

*Примечание: жирным выделены элементы с  $Kk \geq 1$ , подчеркнуты элементы с  $Kk \geq 1$ , общие для всех сред*

Для всех рассмотренных компонентов биогеоценоза природно-техногенной территории выделен общий спектр элементов с повышенным содержанием относительно условно-фоновой территории: Au, Eu, Co, Fe, Sc, Ce, Sm, Tb, Th. Кроме того, выявлено накопление Br, Sb, La, Tb, Yb, Ce, As, Hg, Zn, Co специфичных для нефтеперерабатывающей промышленности (Шатилов, 2001; Кирюшин и др., 2013; Лагутин, 2005; Vozlaker et al., 2013; Шахова, 2016, 2017; Таловская и др., 2017; Иванов, 1994; Robson, 1993; Плеханова, 2008; Химия тяжелых металлов ..., 1975; Ладонин, 2002). Наибольший суммарный показатель накопления имеют листья березы (126) (табл. 72), что свидетельствует о наилучшей их индикаторной способности среди изученных объектов, подтвержденной литературными данными (Панин и др., 2011-2013; Опекунова, 2004). Хотя, относительно литературных данных наибольшее накопление химических элементов проявляет подстилка.

Техногенное влияние на минералогический состав более детально проявляется при сопоставлении почв по удалению от НПЗ. Так со снижением техногенного воздействия последовательно возрастает содержание кварца и сокращается доля мусковита и альбита (рис. 60, табл. 73).

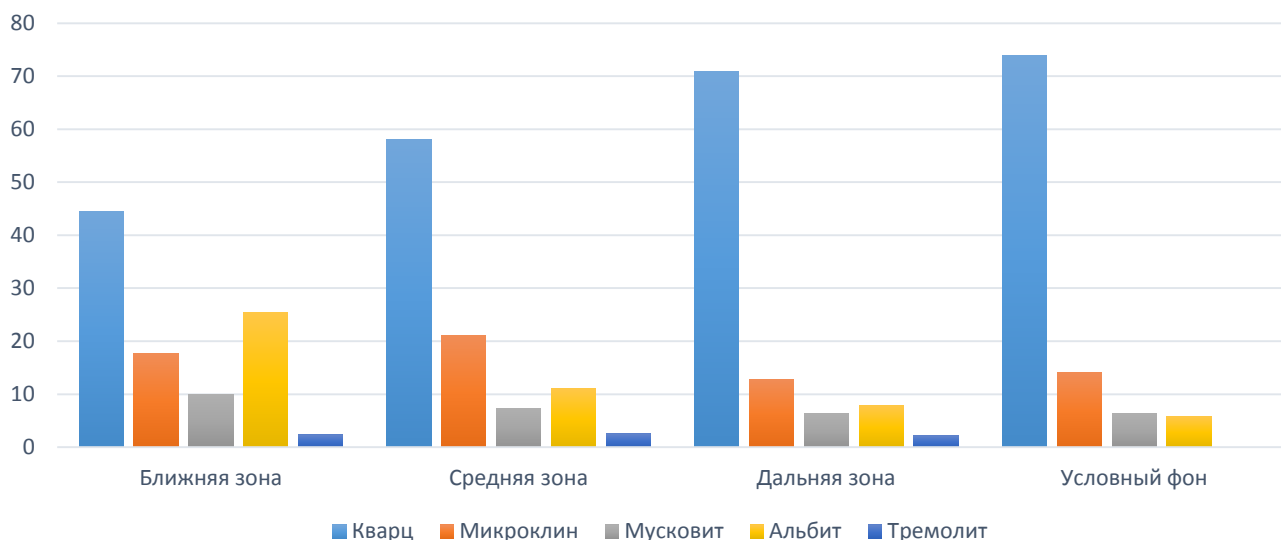


Рисунок 60 – Минералогический состав верхнего горизонта почв условно-фоновой и природно-техногенной территорий по удалению от НПЗ (%)

Для микроклина отсутствует четкая закономерность, однако его содержание на природно-техногенной территории также выше (рис. 60, табл. 73).

Таблица 73 – Минералогический состав верхнего горизонта почв условно-фоновой и природно-техногенной территорий по удалению от НПЗ (%)

	Ближняя зона	Средняя зона	Дальняя зона	Фон
Кварц	44,5	58	70,9	73,9
Микроклин	17,7	21,1	12,8	14
Мусковит	10	7,3	6,3	6,3
Альбит	25,5	11,1	7,8	5,8
Тремолит	2,3	2,5	2,2	-

Таким образом, с ростом техногенного воздействия увеличивается доля глинистых минералов. Это отчасти подтверждается приведенными выше изменениями гранулометрического состава.

Для определения распространения загрязнения от техногенного объекта изучены закономерности пространственного изменения элементного состава рассмотренных компонентов биогеоценоза.

Выявлено, что многие химические элементы концентрируются в почве в ближней к НПЗ зоне: Cr, Fe, Cs, Ba, Hf, Ta, Th, U, Na, PЗЭ, Sc (рис. 61).



Рисунок 61 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве в ближней зоне (мг/кг)

При этом для Cr и Ba зафиксировано наименьшее содержание в средней зоне, в то время как для прочих названных элементов содержание снижается с удалением от техногенного объекта (рис. 61).

Ряд элементов накапливается в дальней от НПЗ зоне: Co, Zn, Br, Sr, Sb, Au (рис. 62).

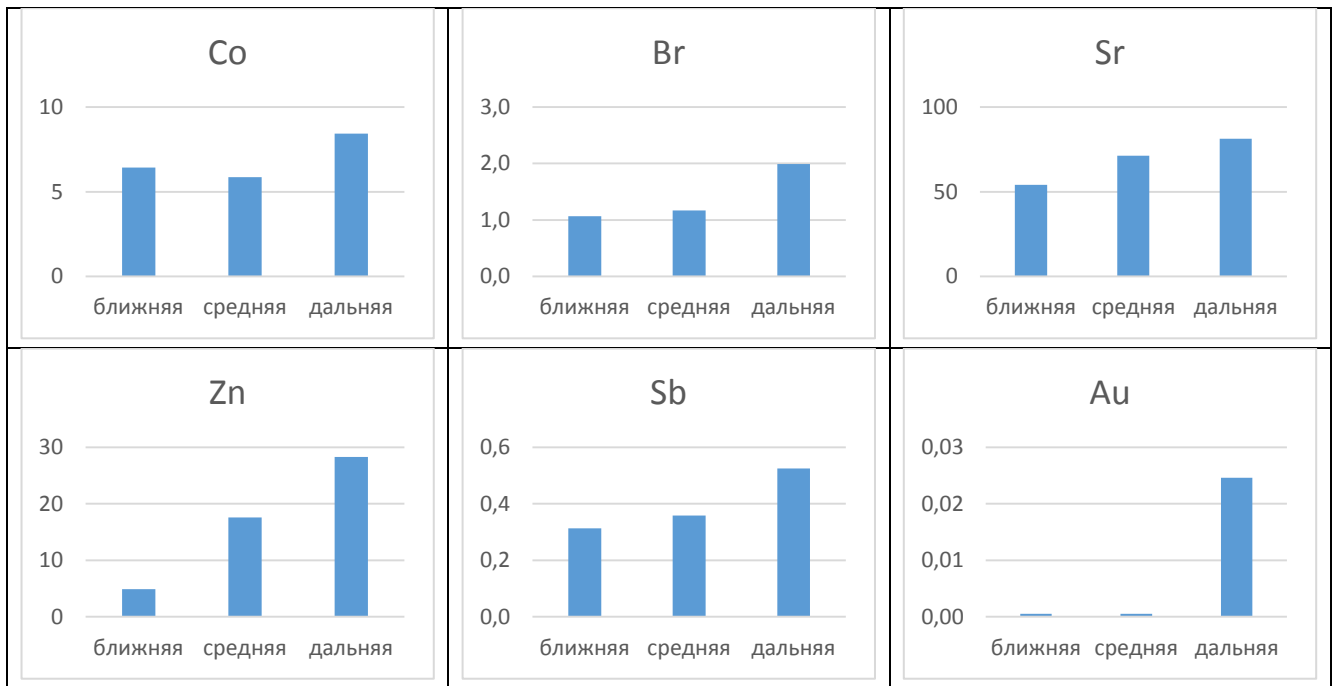


Рисунок 62 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в дальней зоне (мг/кг)

Для четырех химических элементов зафиксировано преимущественное накопление в средней зоне (рис. 63).

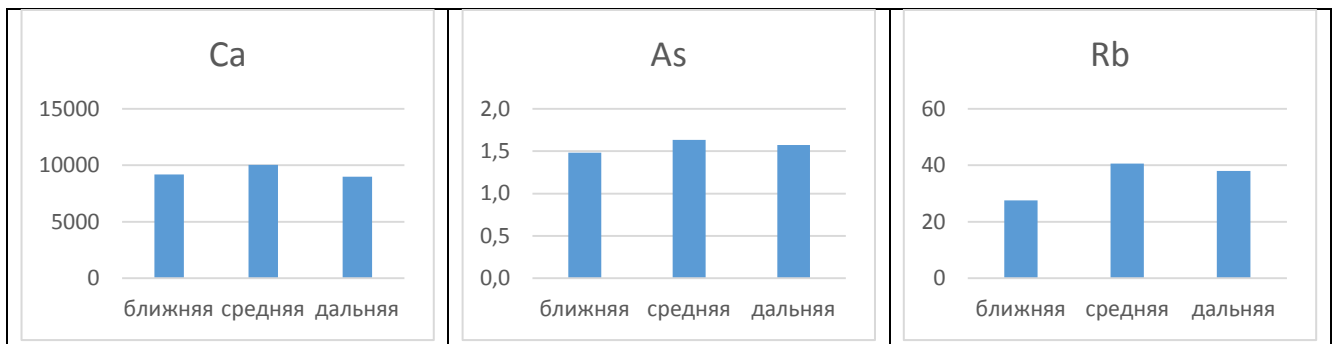


Рисунок 63 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в средней зоне (мг/кг)

По сторонам света для большинства химических элементов выявлено преимущественное накопление в северном направлении от НПЗ и минимальное в южном: Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Sb, Cs, Ba, Ta, Th, PЗЭ, Sc (рис. 64).



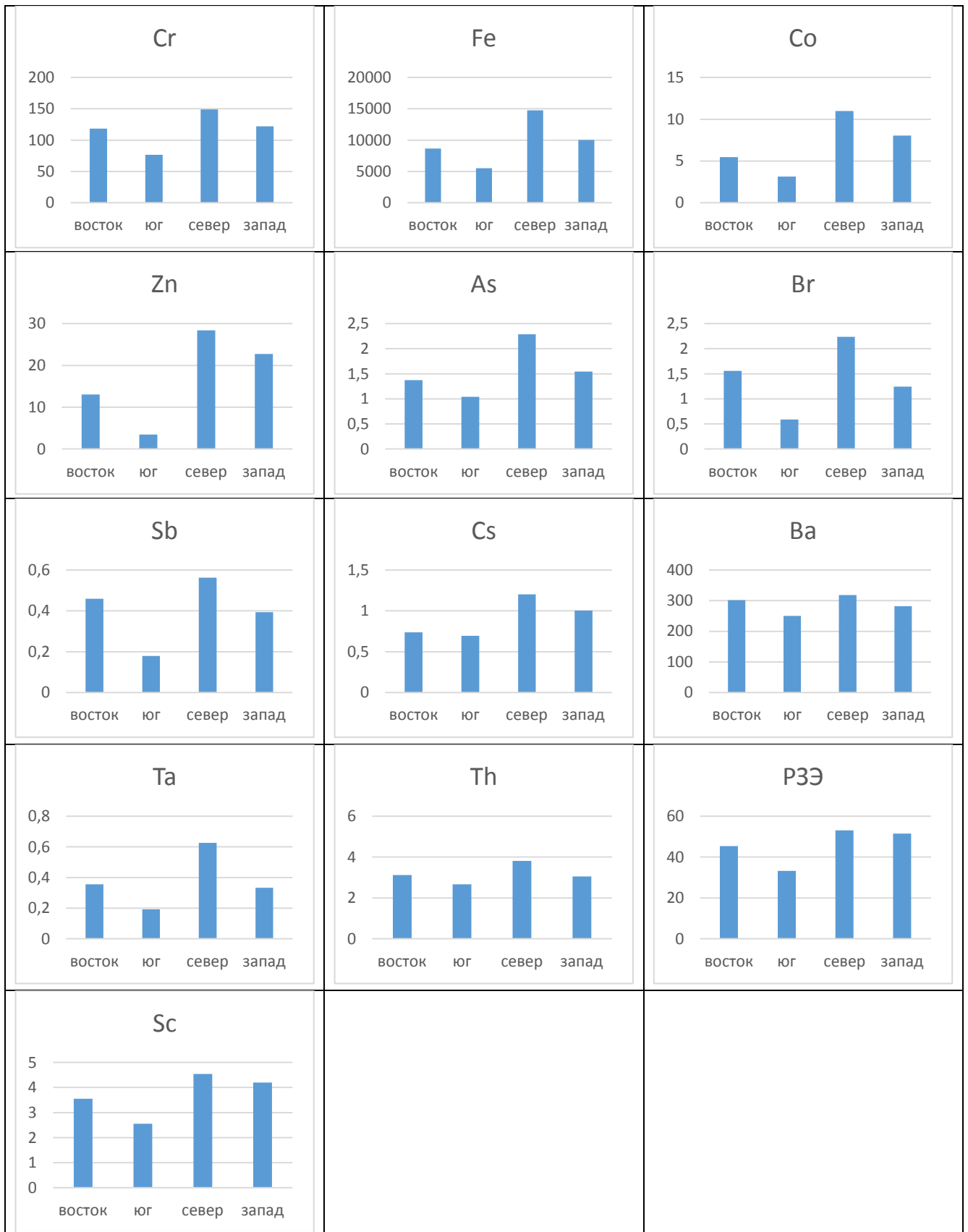


Рисунок 64 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в северном направлении (мг/кг)

Три химических элемента накапливаются преимущественно в восточном направлении: Sr, Hf, U (рис. 65).

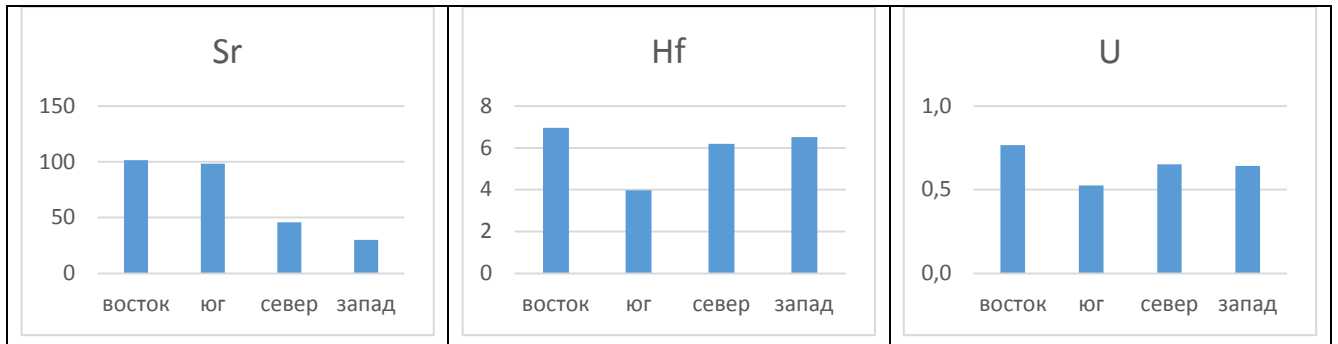


Рисунок 65 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в восточном направлении (мг/кг)

Три химических элемента характеризуются преимущественным накоплением на западе: Ca, Rb, Au (рис. 66).

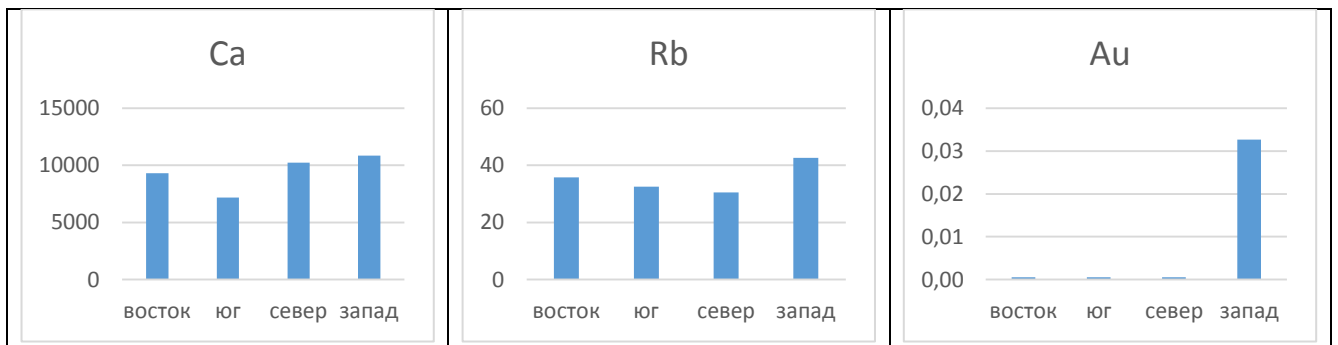


Рисунок 66 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в западном направлении (мг/кг)

Na является единственным химическим элементом, накапливающимся преимущественно в южном направлении (рис. 67).



Рисунок 67 – Химические элементы с преимущественным накоплением в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в южном направлении (мг/кг).

В подстилке большинство химических элементов характеризуется накоплением также в ближней зоне: Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr, Sb, Cs, Ta, Th, U, РЗЭ, Sc (рис. 68).

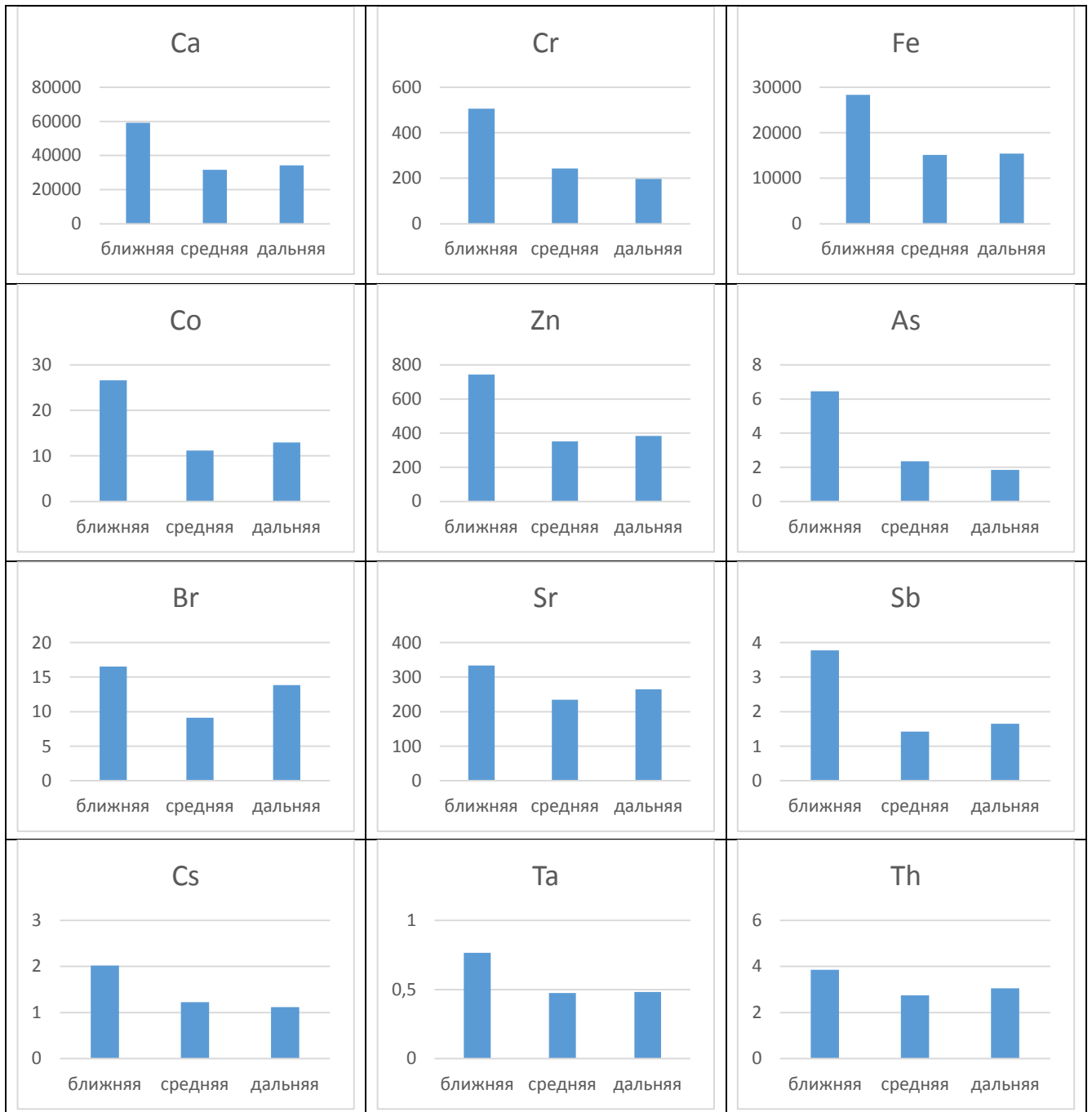


Рисунок 68 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в ближней зоне (мг/кг)



Продолжение рисунка 68

Ва и Hf накапливаются в основном в дальней зоне (рис. 69).

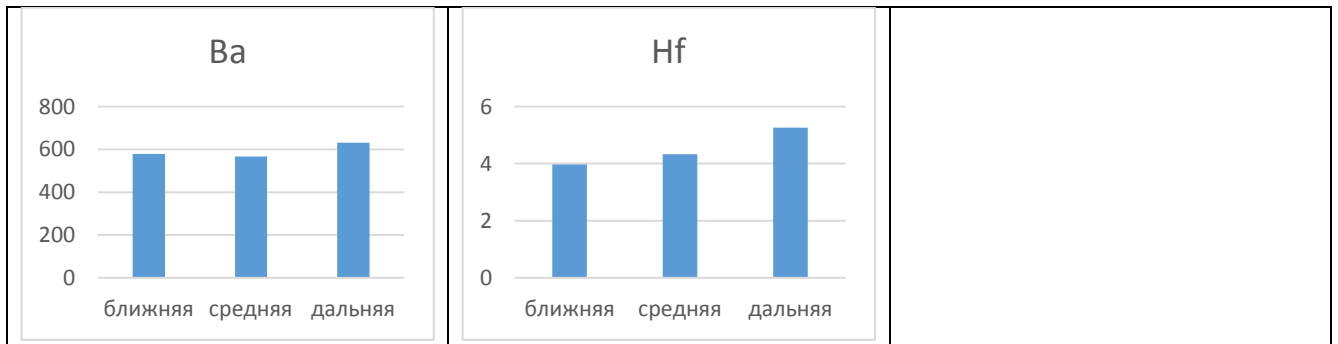


Рисунок 69 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в дальней зоне (мг/кг)

Na и Rb сосредоточены в средней зоне (рис. 70).

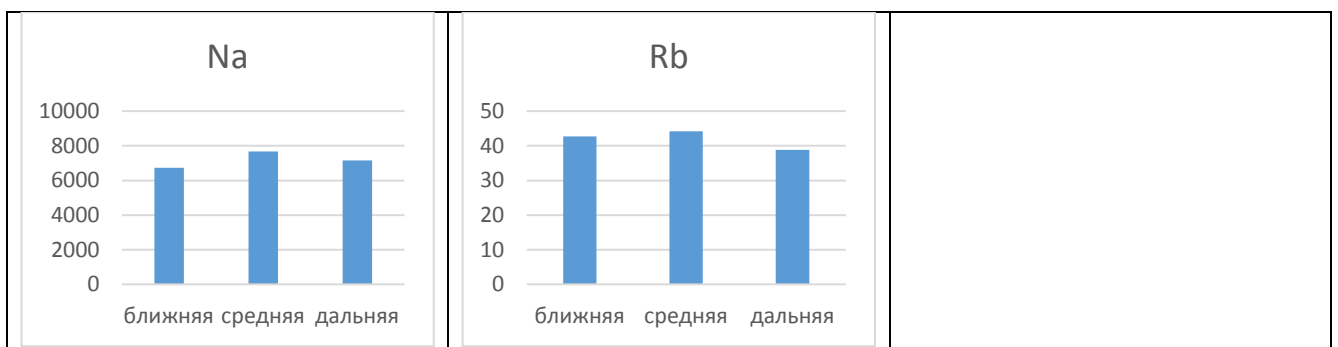


Рисунок 70 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в средней зоне (мг/кг)

В подстилке ряд химических элементов накапливается на востоке: Fe, Co, Hf, Ta, U, РЗЭ, Sc (рис. 71).

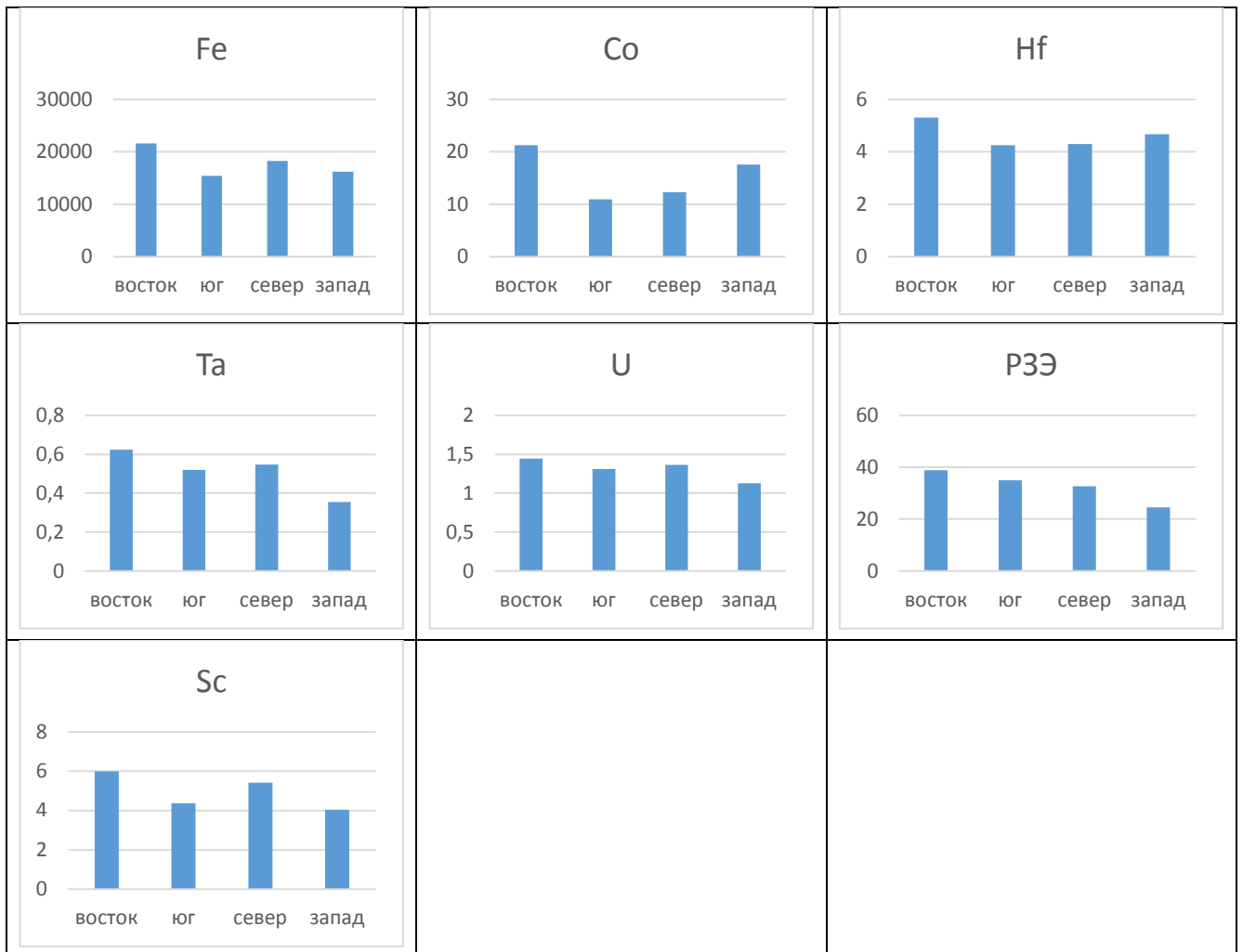


Рисунок 71 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в восточном направлении (мг/кг)

Некоторые химические элементы проявляют накопление на западе: Ca, Zn, Br, Sr, Ba (рис. 72).

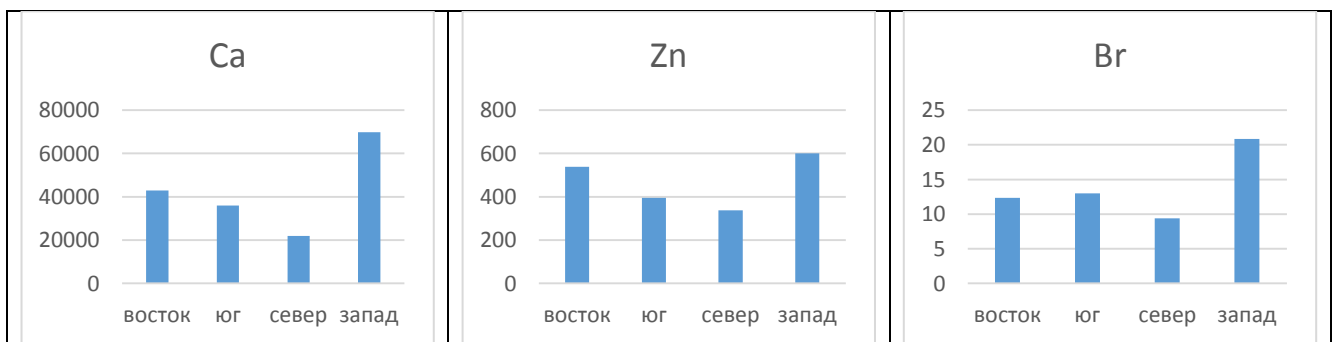
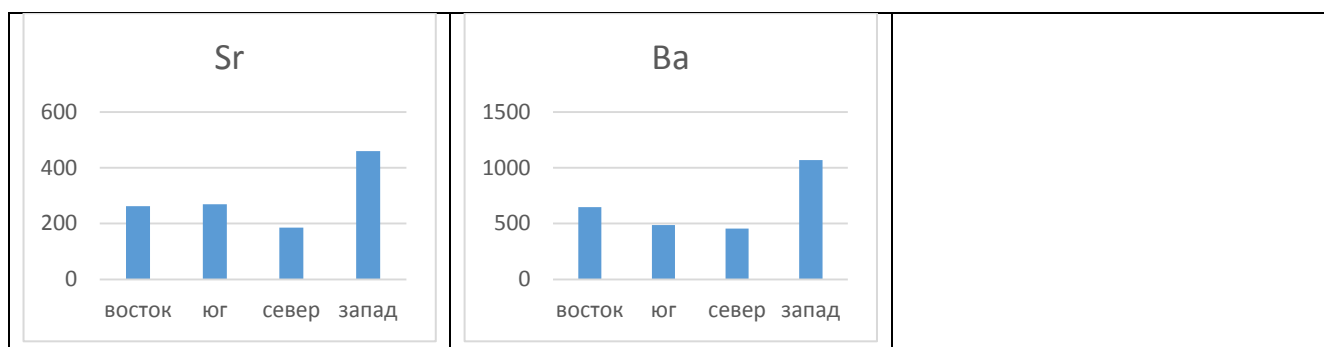


Рисунок 72 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в западном направлении (мг/кг)



Продолжение рисунка 72

Na, Cr, As, Sb сконцентрированы на юге (рис. 73).

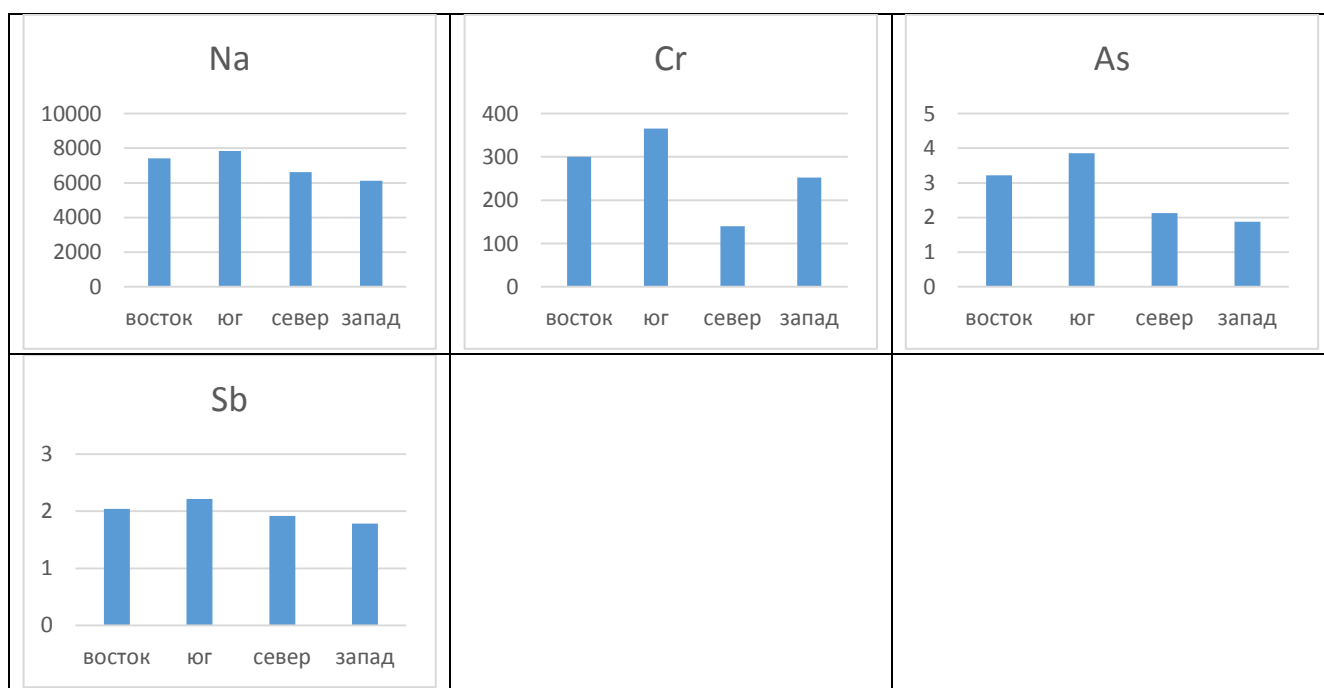


Рисунок 73 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в южном направлении (мг/кг)

Rb, Cs, Th накапливаются преимущественно в северном направлении (рис. 74).

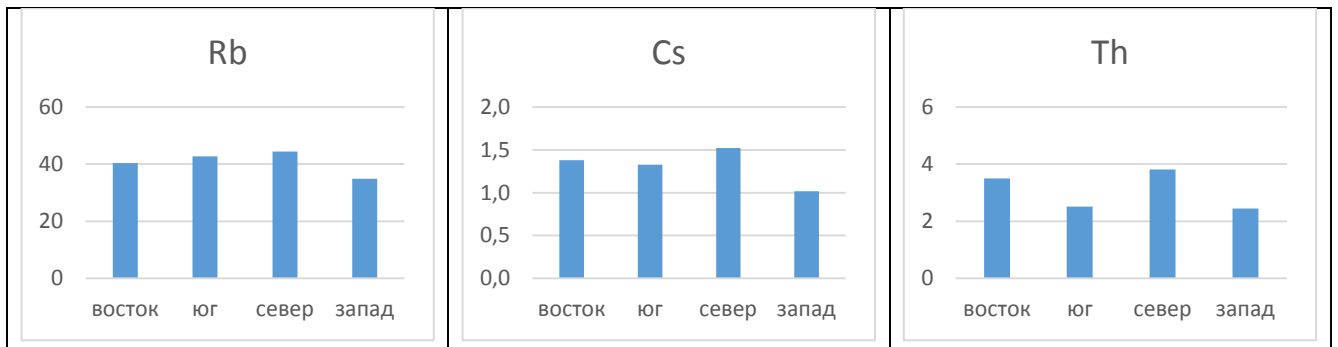


Рисунок 74 – Химические элементы с преимущественным накоплением в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в северном направлении (мг/кг)

Таким образом, подстилка является наиболее изменчивой средой среди рассмотренных по пространственному распределению химических элементов от НПЗ. В отличие от прочих природных компонентов, они распределяются почти равномерно по сторонам света.

В травостое также многие элементы накапливаются преимущественно в ближней к НПЗ зоне: Na, Cr, Fe, Co, As, Ag, Cs, Hf, Ta, Th, U, РЗЭ, Sc (рис. 75).

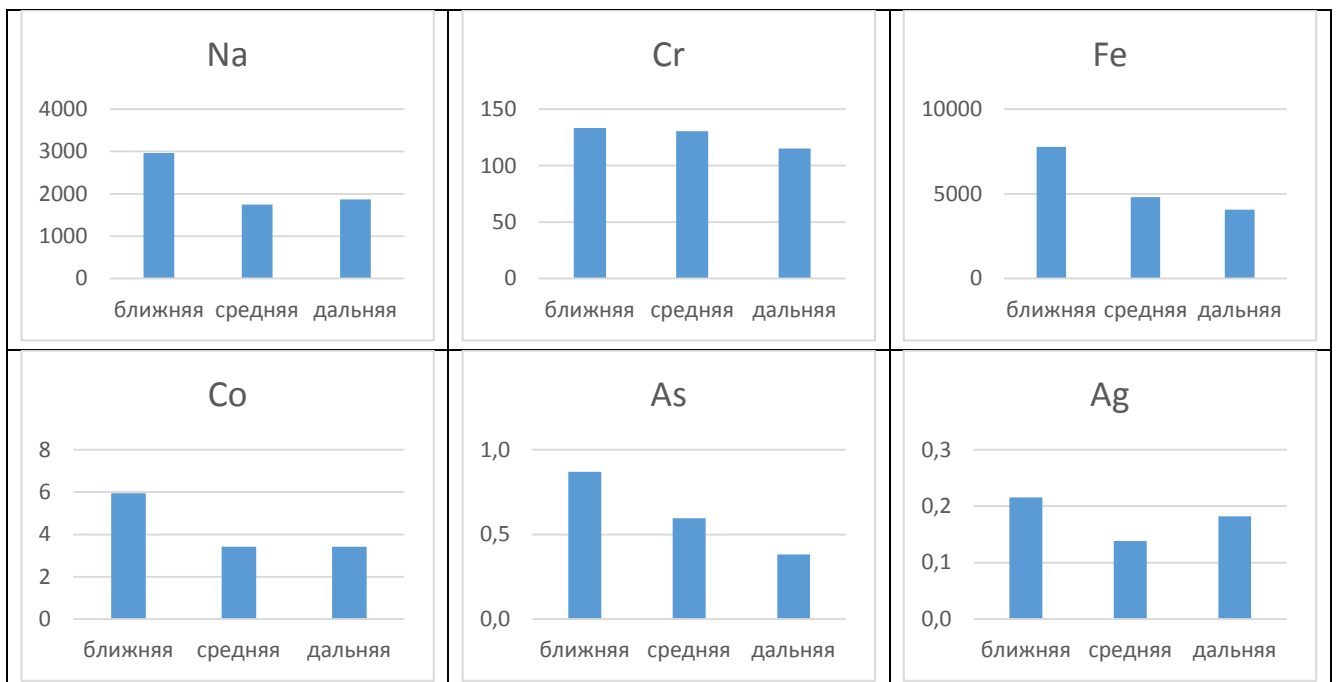
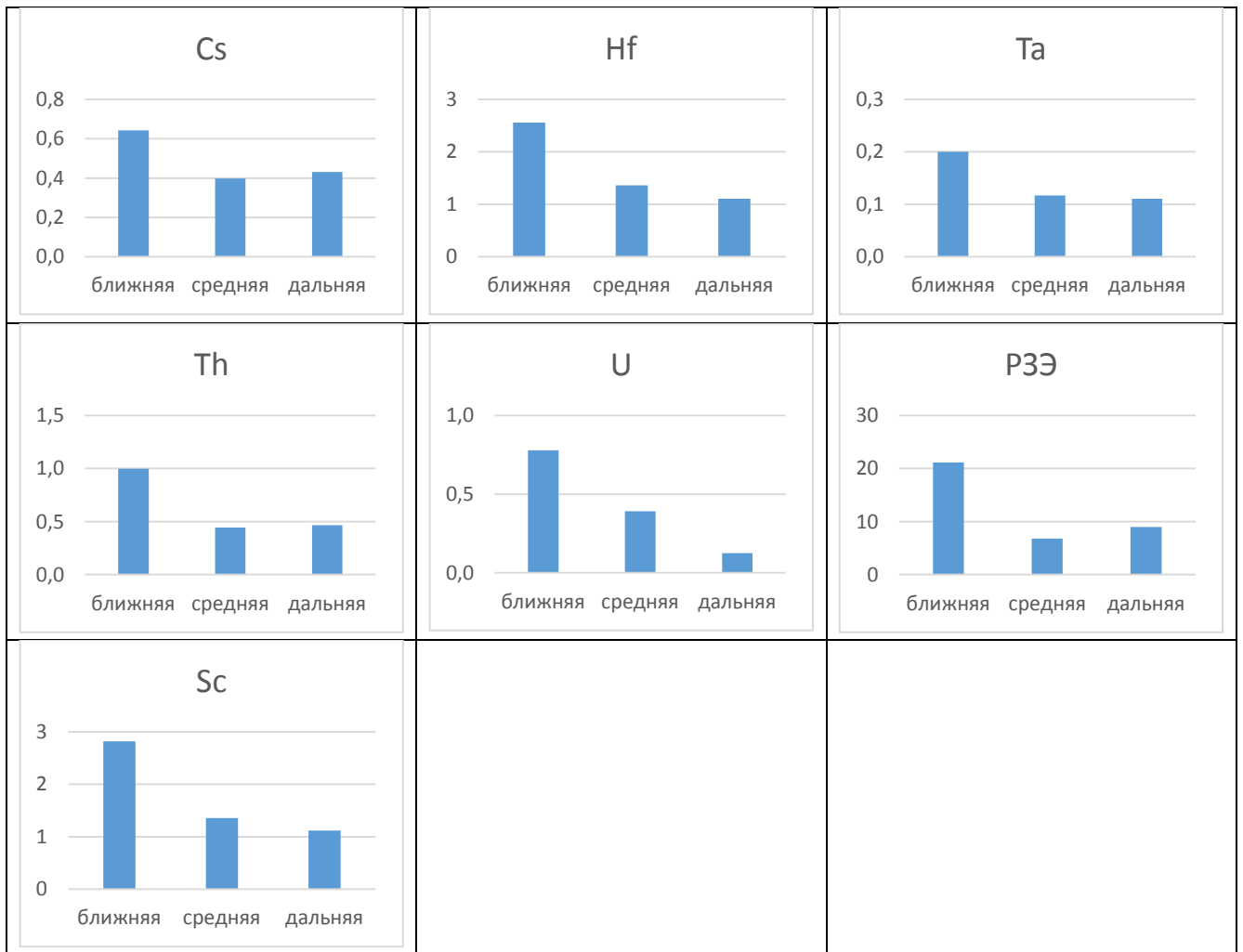


Рисунок 75 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в ближней зоне (мг/кг)





Продолжение рисунка 75

Ряд химических элементов накапливается в основном в дальней зоне: Br, Rb, Sr, Sb, Ba, Au (рис. 76).

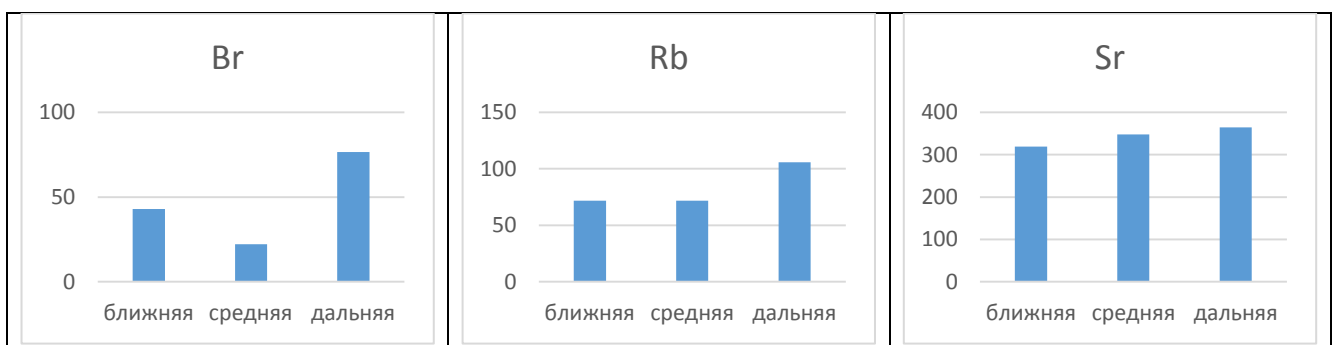
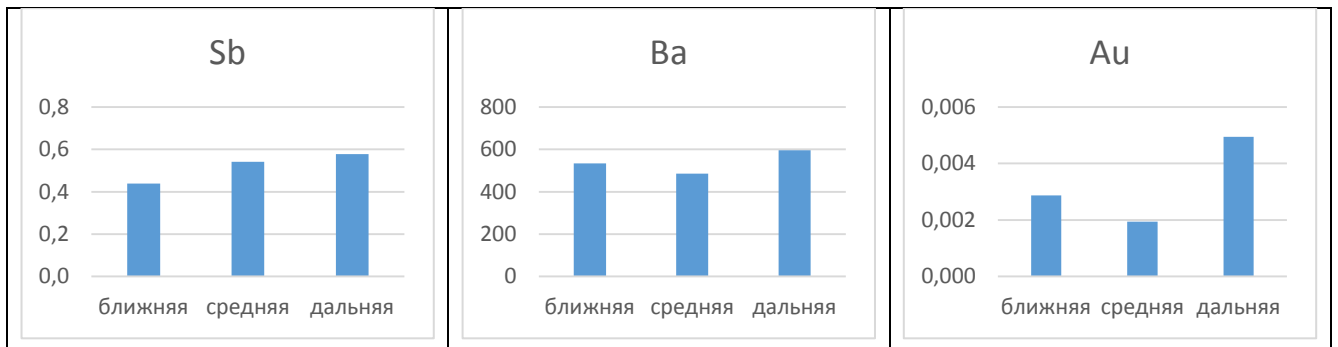


Рисунок 76 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в дальней зоне (мг/кг)



Продолжения рисунка 76

Ca и Zn сосредоточены преимущественно в средней зоне (рис. 77).

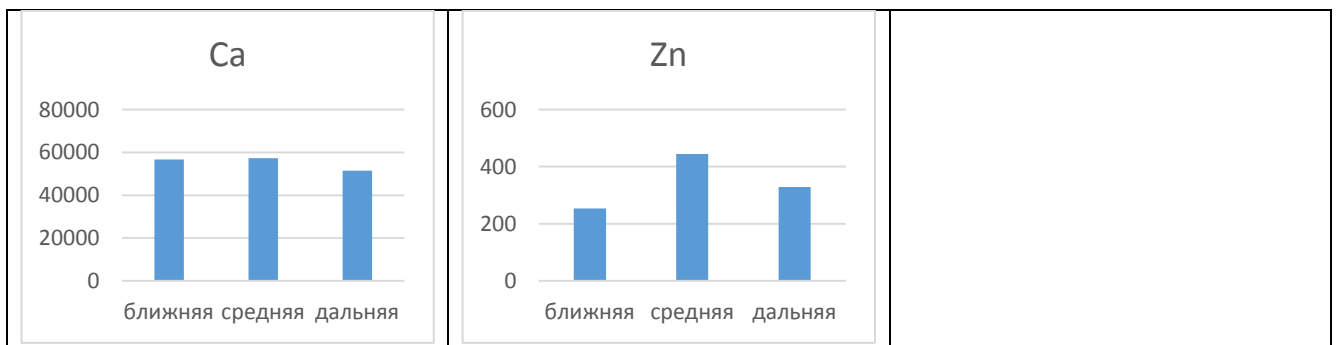


Рисунок 77 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в средней зоне (мг/кг)

В травянистых растениях для ряда элементов сохраняется почвенная закономерность преимущественного накопления в северном направлении и минимального в южном: Fe, Cr, РЗЭ, Sc. Кроме того, к такому пространственному распределению переходят Hf и Na. Некоторые другие элементы также накапливаются преимущественно на севере: As, Cs, Ta, Th (рис. 78).

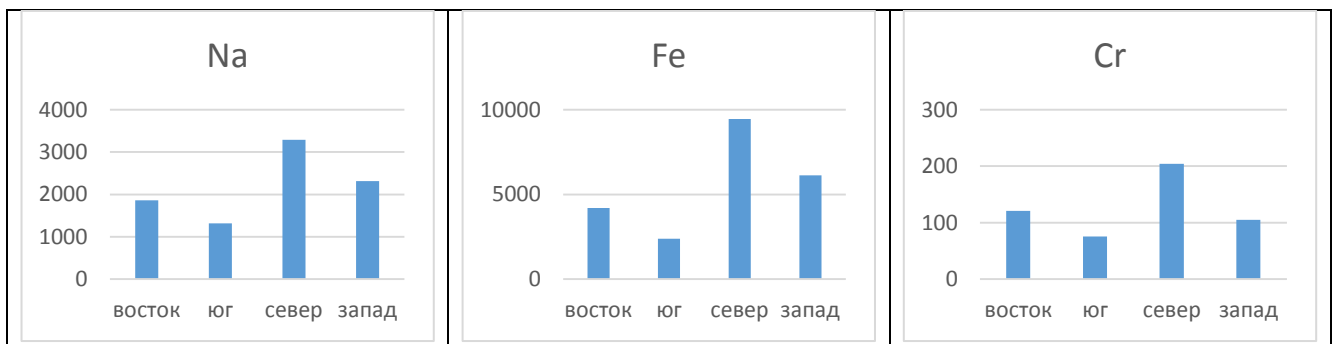
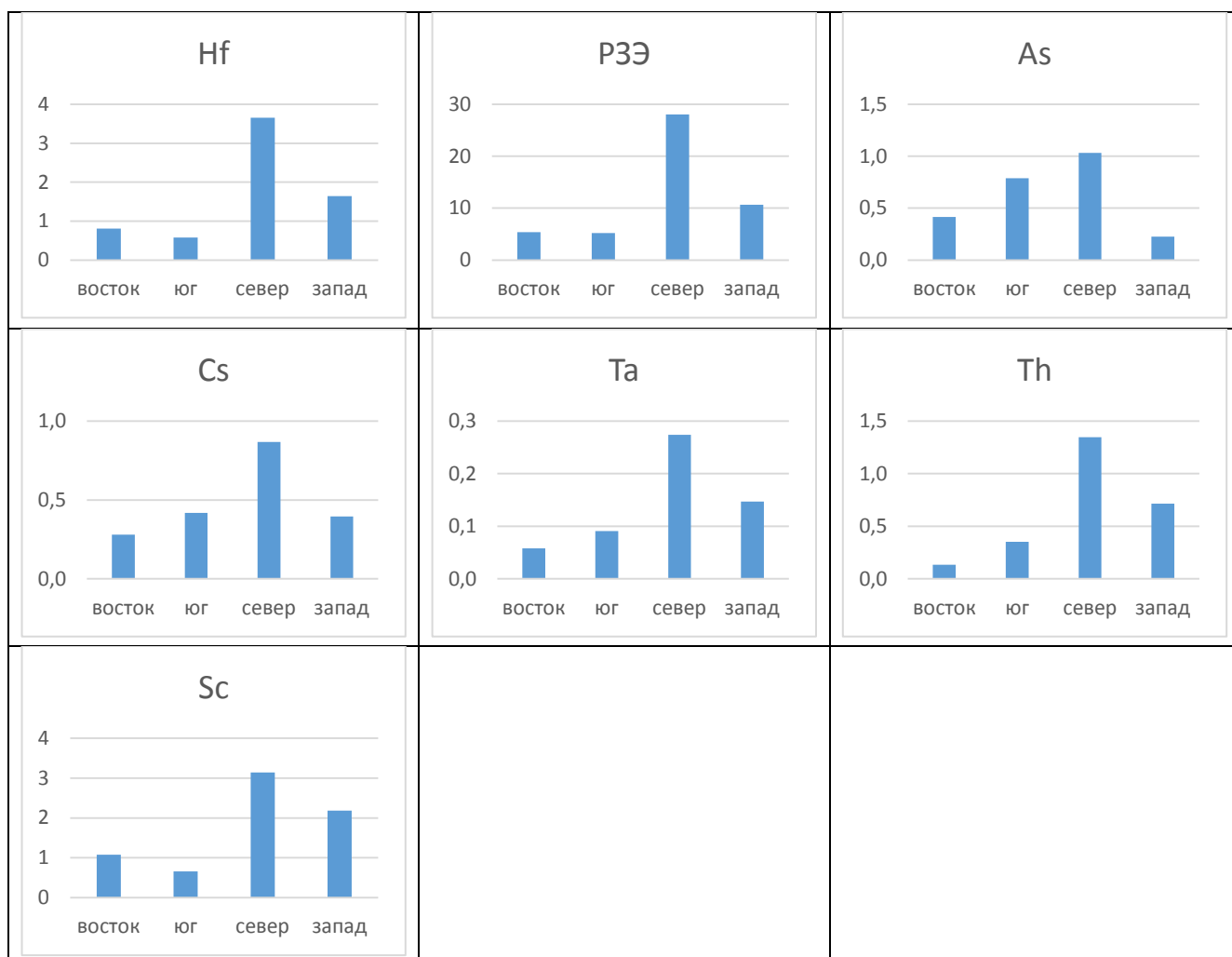


Рисунок 78 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в северном направлении (мг/кг)



Продолжение рисунка 78

В отличие от почвы в травостое ряд элементов накапливается преимущественно в южном направлении: Ca, Zn, Rb, Sr, Ag, Ba (рис. 79).

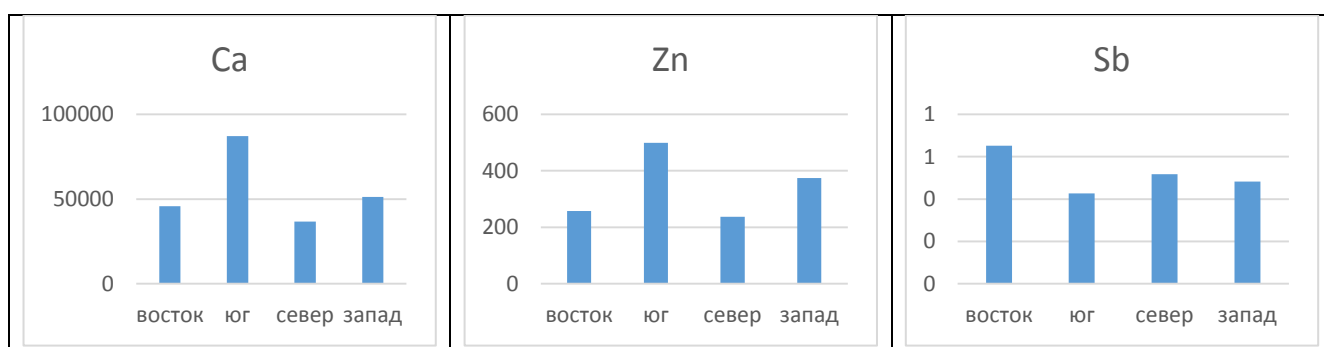
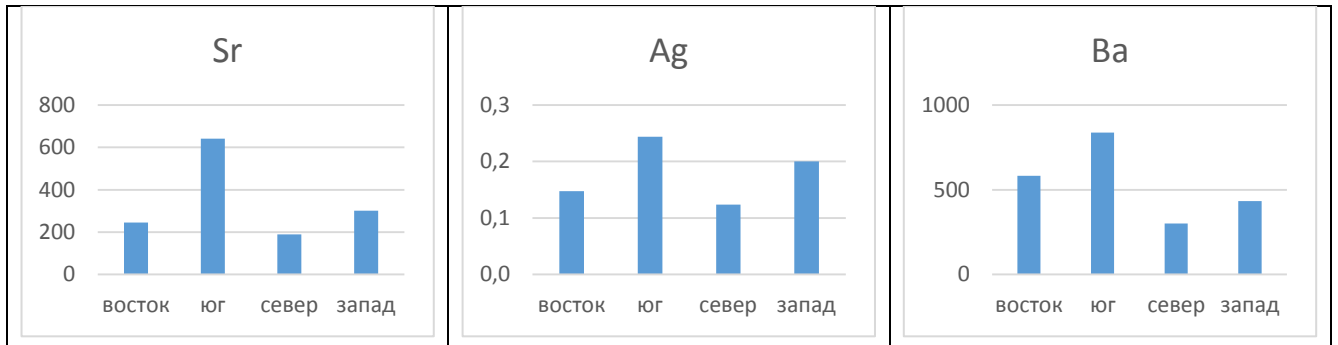


Рисунок 79 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в южном направлении (мг/кг)



Продолжение рисунка 79

Четыре химических элемента проявляют преимущественное накопление на западе: Co, Br, Au, U (рис. 80).

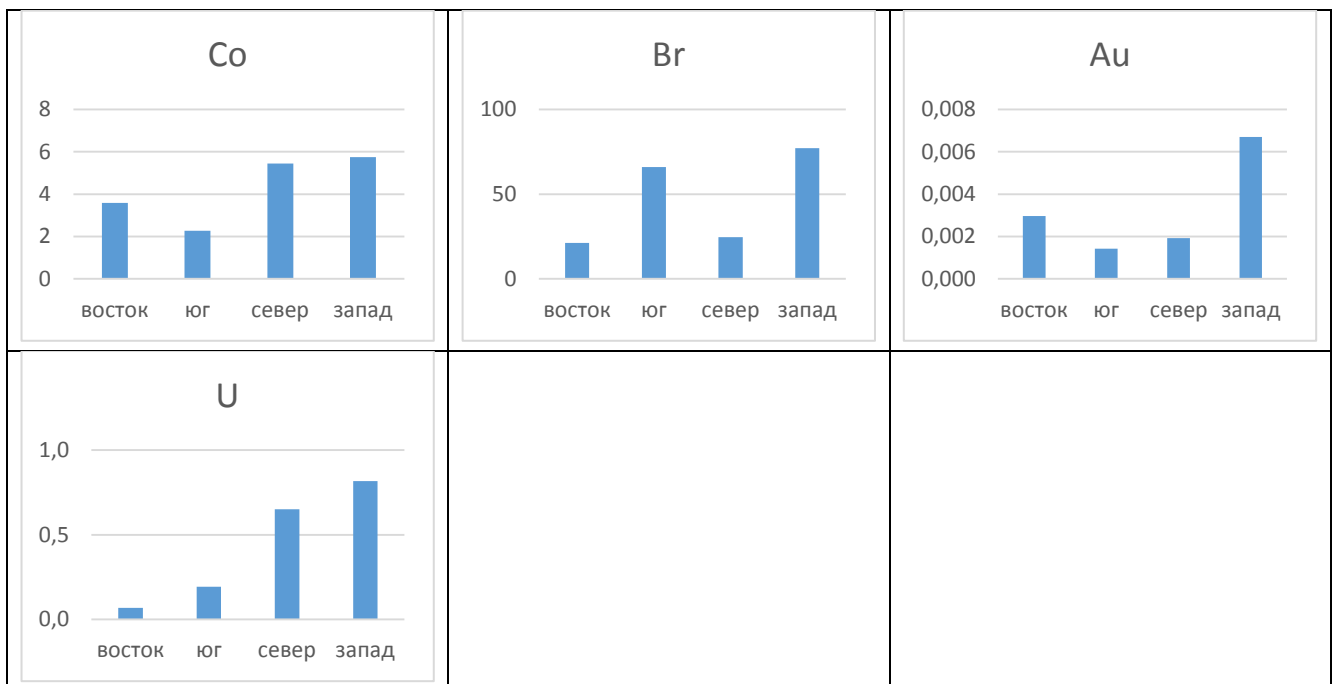


Рисунок 80 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в западном направлении (мг/кг)

Sb накапливается в основном в восточном направлении (рис. 81).



Рисунок 81 – Химические элементы с преимущественным накоплением в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в восточном направлении (мг/кг)

В листьях природно-техногенной территории в ближней к техногенному объекту зоне накапливается наименьшее среди рассмотренных сред количество элементов: Fe, Zn, Ag, Sb, Th, Sc. При этом для Sb и Fe невелика разница в накоплении в ближней и дальней зонах (рис. 82).

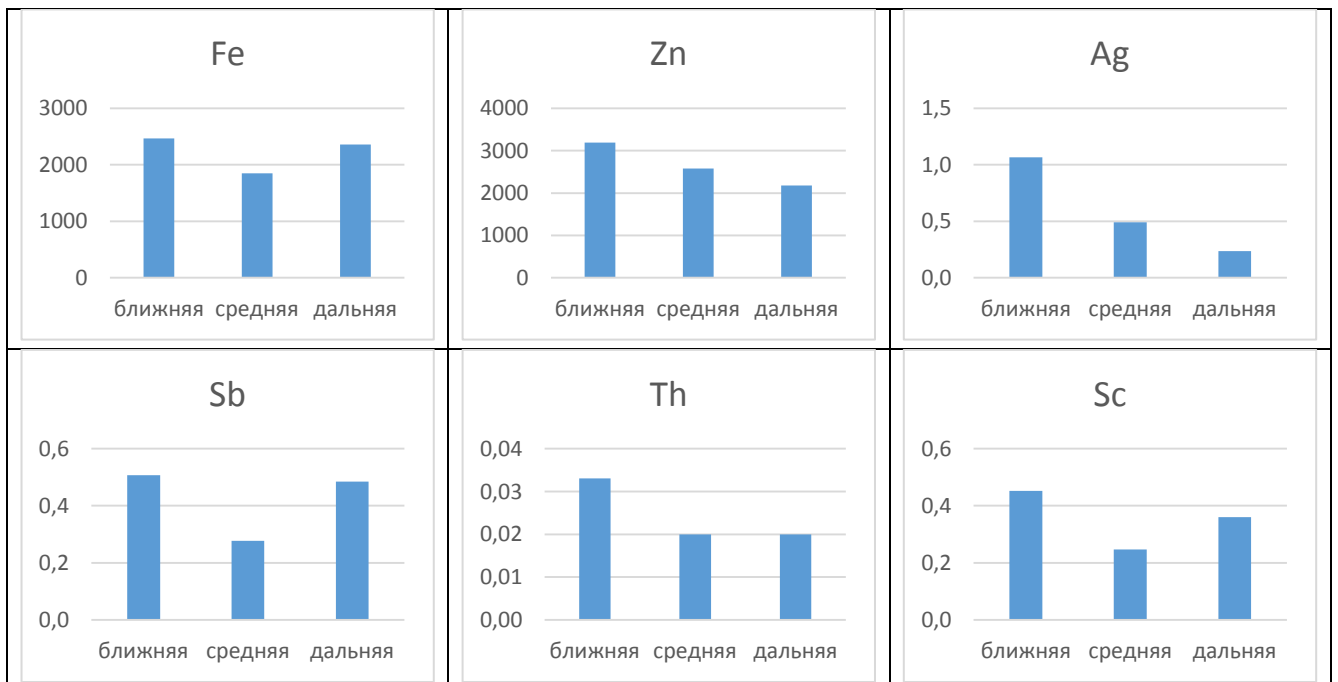


Рисунок 82 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в ближней зоне (мг/кг)

Для большинства химических элементов характерно накопление в дальней зоне: Ca, Cr, Br, Rb, Sr, Cs, Ba, Hf, Ta, Au U. При этом зафиксировано возрастание содержания по удалению от НПЗ для многих из них: Rb, Sr, Ba, Hf, Ta, Au (рис. 83).

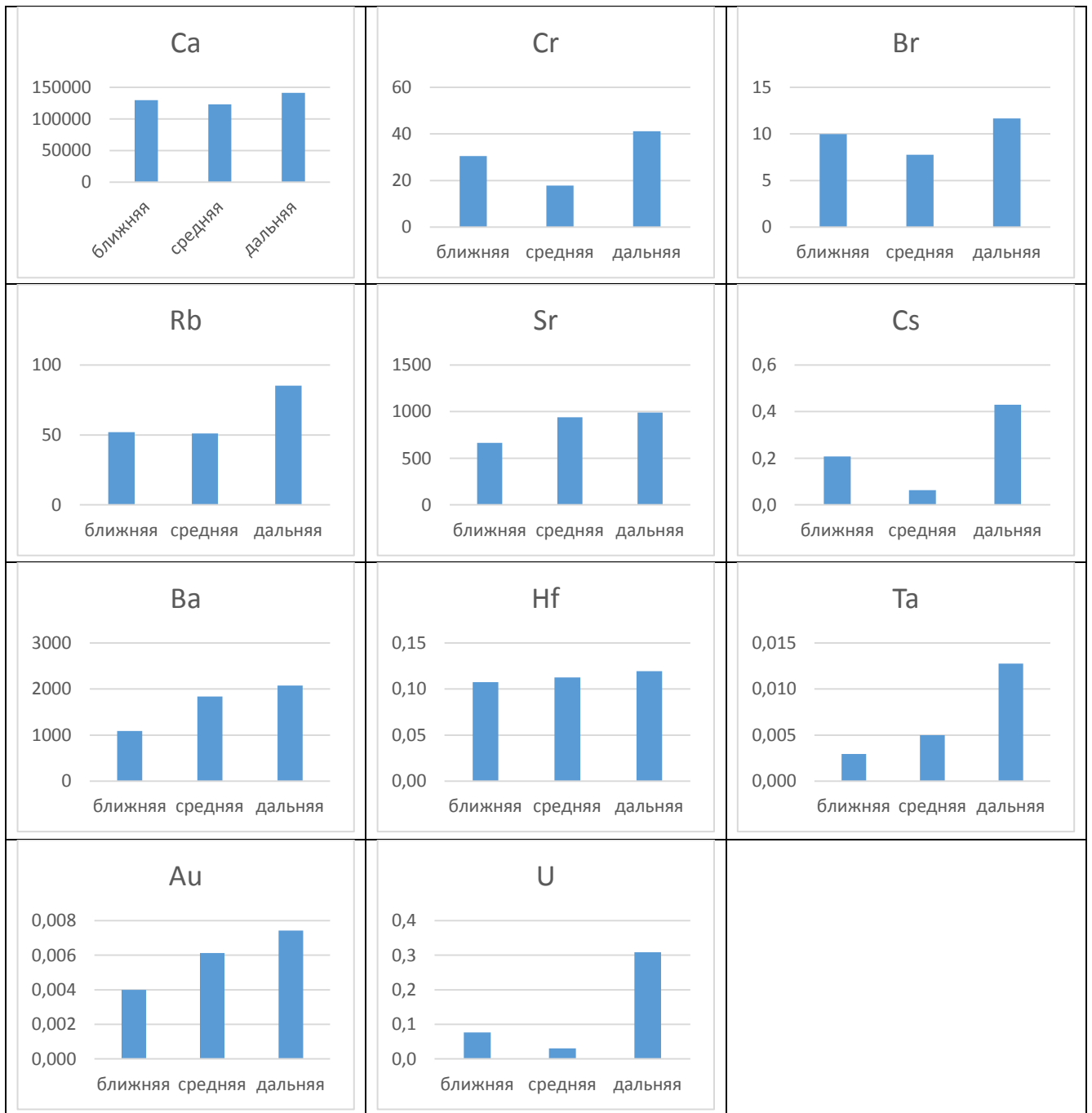


Рисунок 83 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в дальней зоне (мг/кг)

Для Co, As, PЗЭ характерно накопление в средней зоне (рис. 84).

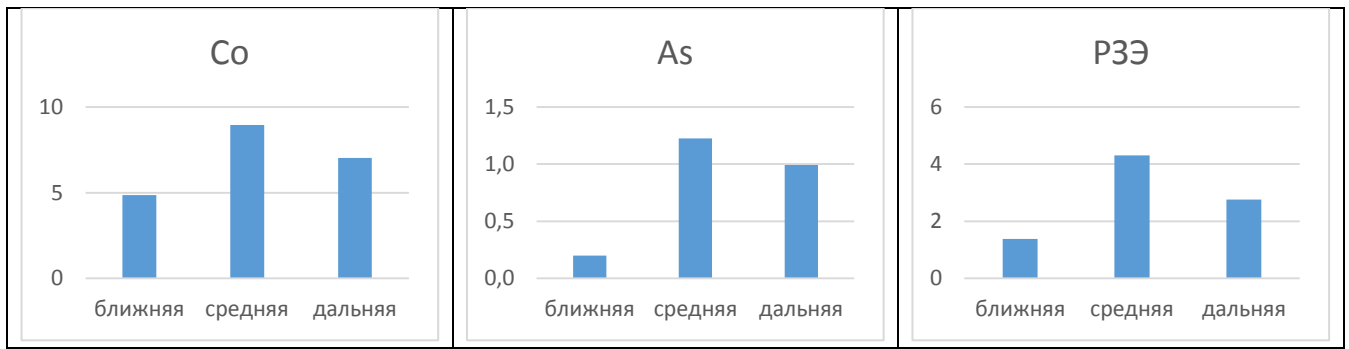


Рисунок 84 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в средней зоне (мг/кг)

Na равномерно накапливается в ближней и дальней зонах (рис. 85).



Рисунок 85 – Химические элементы с равномерным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в ближней и дальней зонах (мг/кг)

В листьях некоторые химические элементы накапливаются в восточном и направлении от НПЗ: Fe, Hf, Th, P3Э, Sc (рис. 86).

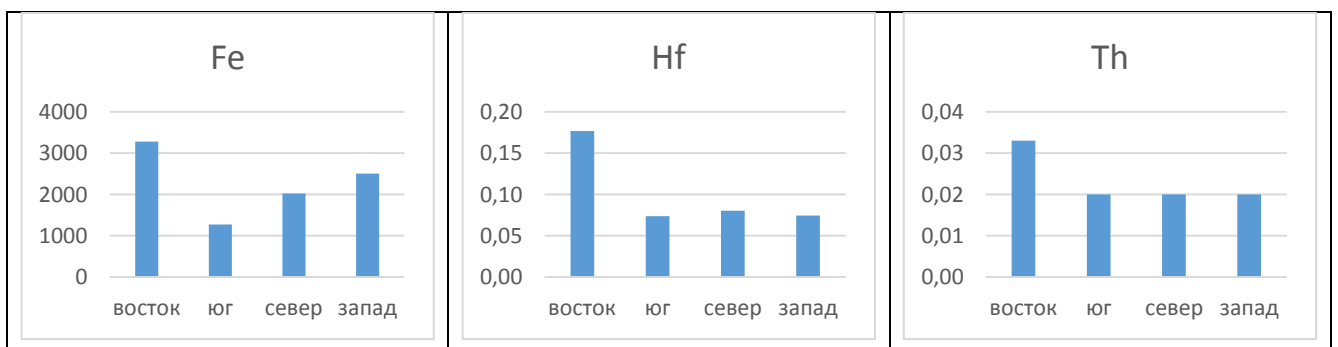
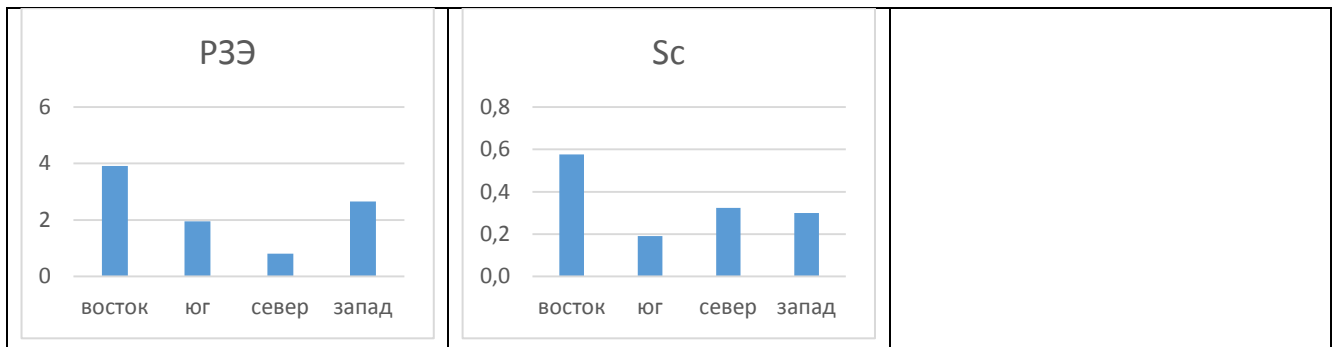


Рисунок 86 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в восточном направлении (мг/кг)





Продолжение рисунка 86

Ряд химических элементов сконцентрирован преимущественно на западе: Na, Cr, Co, Br, Sb, Ta, Au, U (рис. 87).

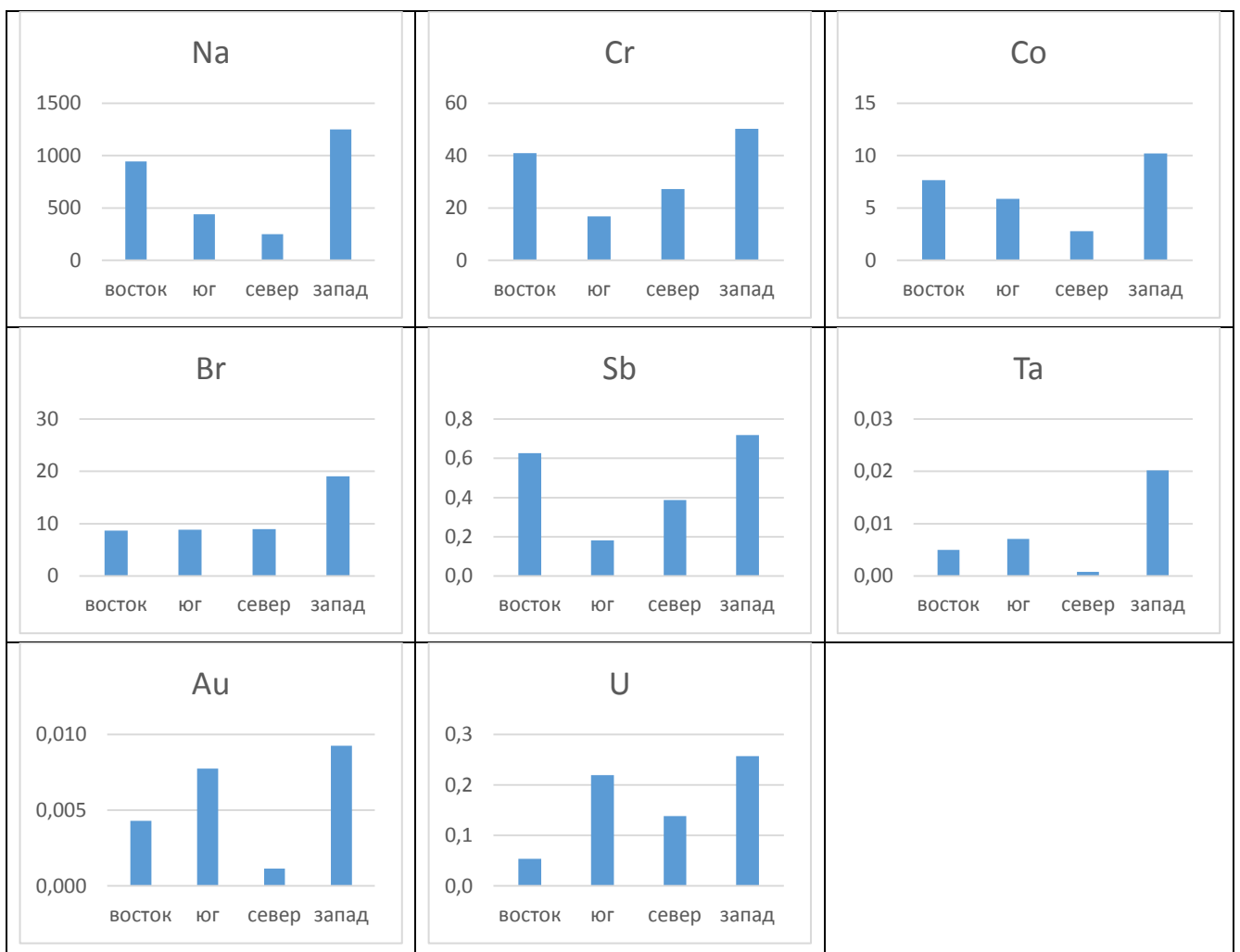


Рисунок 87 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в западном направлении (мг/кг)

При этом Na, Cr, Co, Sb проявляют достаточно высокое накопление на востоке, а Au и U – на юге (рис. 87).

В южном направлении накапливаются As, Rb, Sr, Ag, Cs (рис. 88).

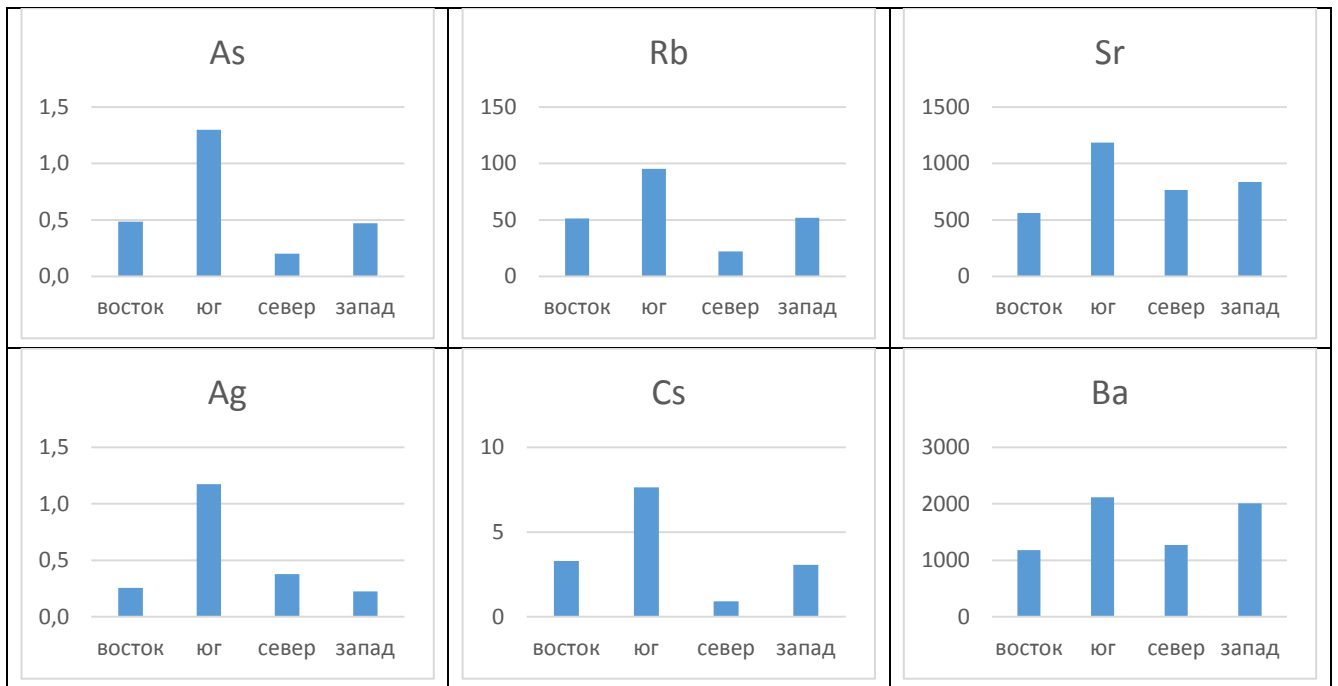


Рисунок 88 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в южном направлении (мг/кг)

Ca и Zn накапливаются в основном на севере и юге (рис. 89).

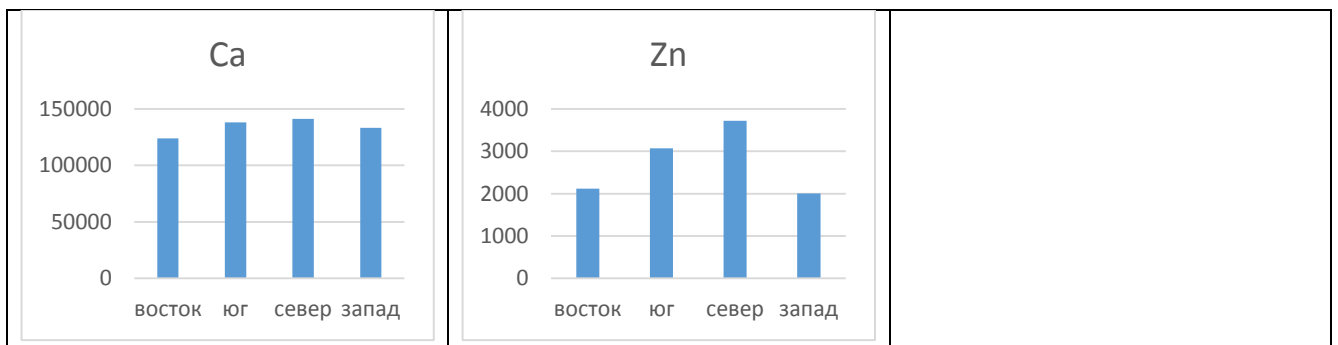


Рисунок 89 – Химические элементы с преимущественным накоплением в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в южном направлении (мг/кг)

В целом выявлено, что в почве, подстилке и травостое большинство химических элементов накапливается в ближней к НПЗ зоне, в листьях – наоборот в дальней. В почве и травостое большинство химических элементов накапливается в северном направлении, что отражает длительные закономерности накопления. В листьях зафиксировано почти равномерное накопление на западе и юге, что отражает смену преимущественного направления ветра в летний период с юго-западного на северо-восточное (<http://www.nashgorod.ru/forum/viewtopic.php?f=34&t=323317>). В подстилке выявлено близкое к равномерному распределение по сторонам света (рис. 90-93).

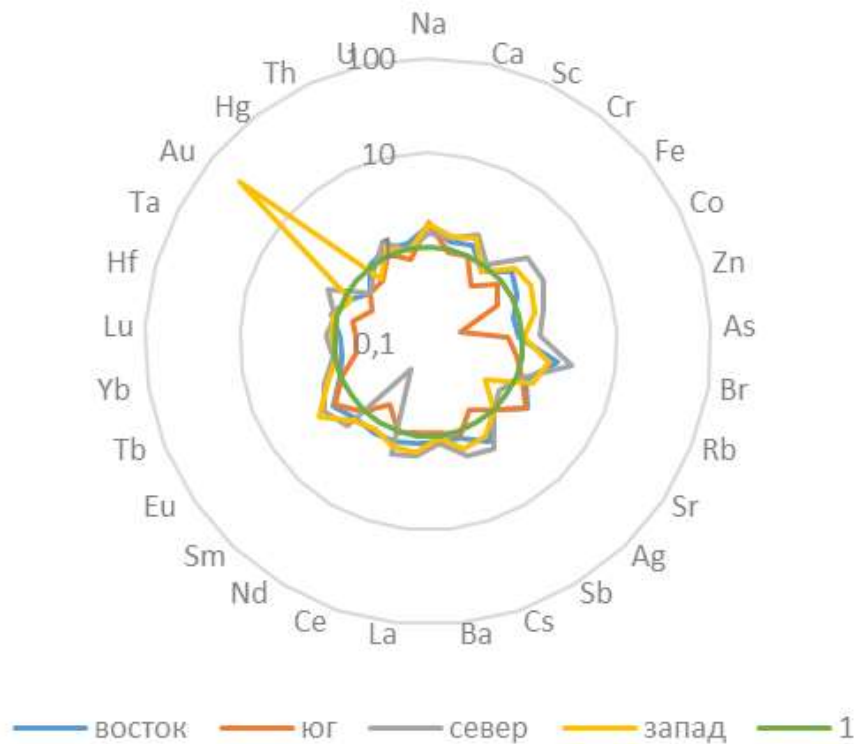


Рисунок 90 – Распределение химических элементов в почве по сторонам света относительно Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг, логарифмическая шкала)

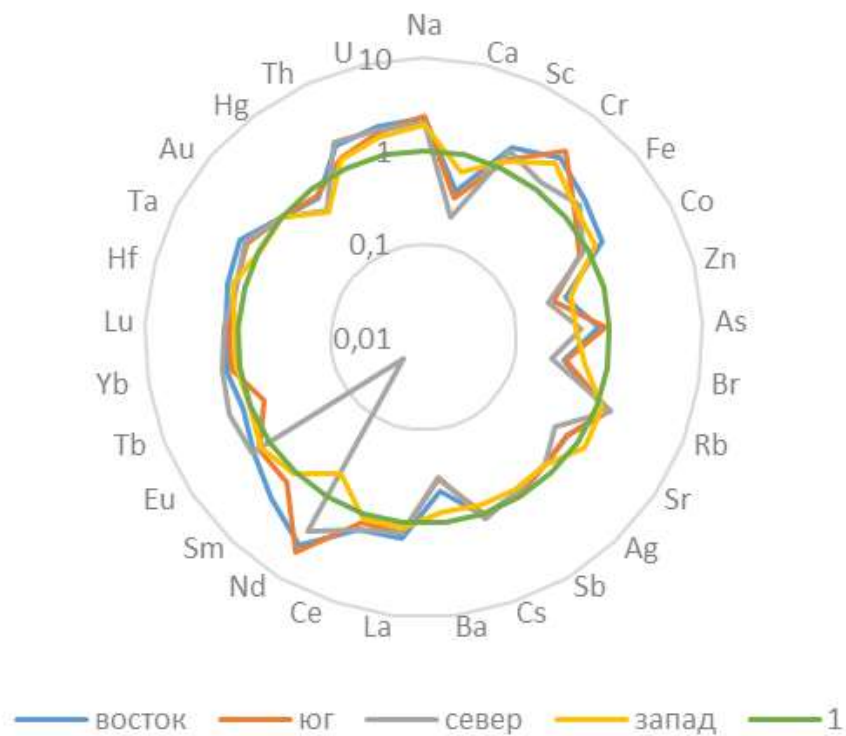


Рисунок 91 – Распределение химических элементов в подстилке по сторонам света относительно Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг, логарифмическая шкала)

Травостой весьма четко отражает закономерности распространения химических элементов по территории влияния Антипинского нефтеперерабатывающего завода (рис. 92). РЗЭ, Th, Na, Sc, Cr, Fe, Cs, Hf, Ta, Th накапливаются в направлении преобладающего ветра (северном). Близкий спектр элементов накапливается в западном направлении: Sc, Fe, Co, Br, Cs, РЗЭ, Hf, Ta, Au, Th U. Это господствующее направление ветра в летний период.

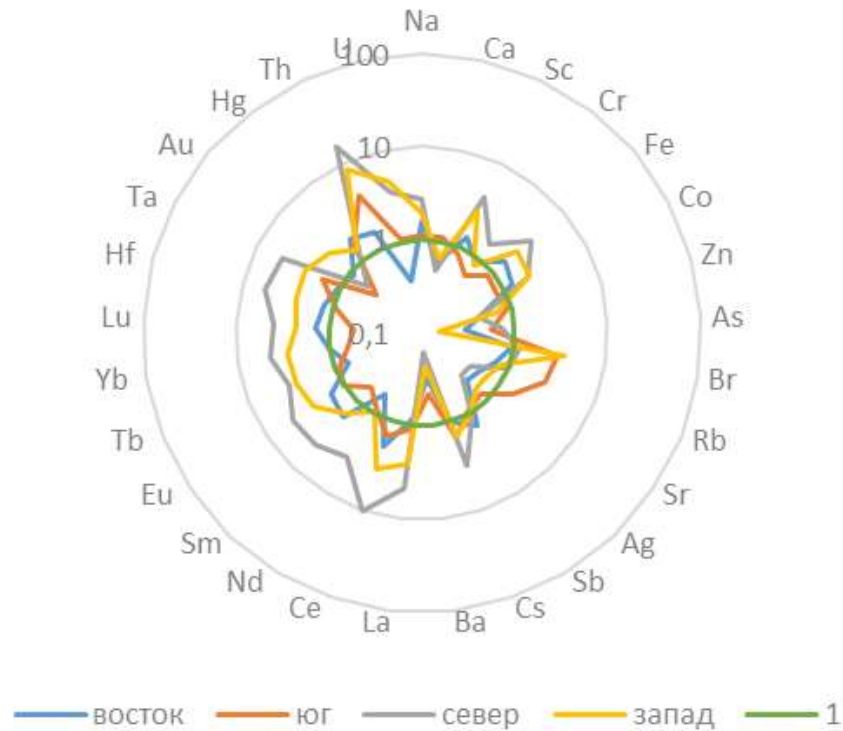


Рисунок 92 – Распределение химических элементов в травостое по сторонам света относительно Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг, логарифмическая шкала)

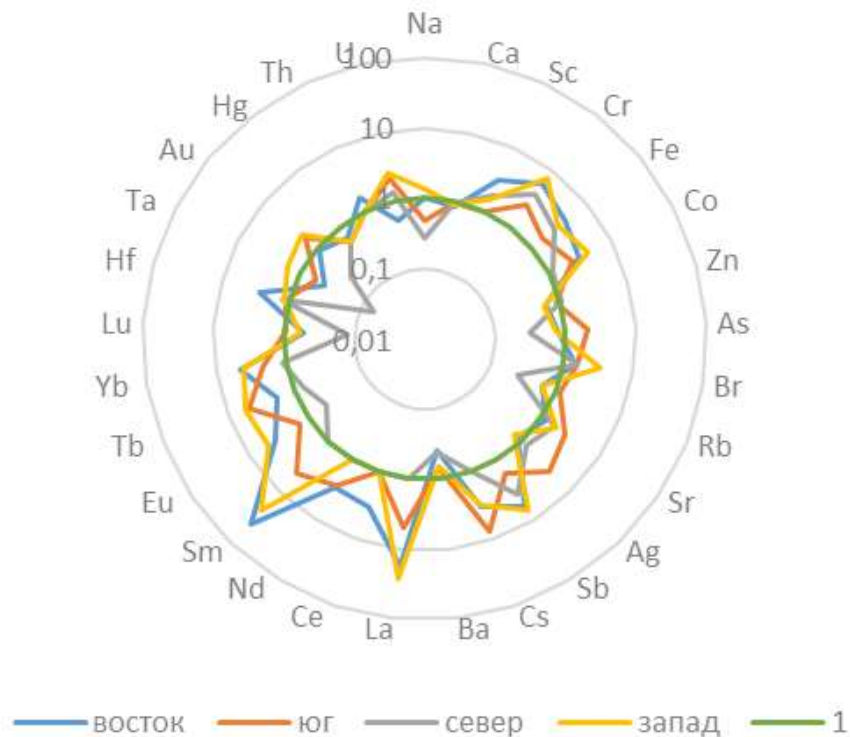


Рисунок 93 – Распределение химических элементов в листьях березы повсилью по сторонам света относительно Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг, логарифмическая шкала)

В целом на техногенной территории наблюдаются различные закономерности распределения изученных химических элементов в разных средах.

Так, в почве для Na наибольшее содержание наблюдается на участках, наименее затронутых техногенезом, в том числе в лесном ландшафте к югу от НПЗ, наименьшее – в урбанизированном районе на севере. Rb сконцентрирован на севере и западе. К югу содержание сокращается. Ba имеет близкие закономерности, однако для него наблюдаются точки с низким содержанием в средней зоне на западе и севере. РЗЭ, Th, U, Hf, As, Ca, Fe в основном сосредоточены на севере и на западе, а также в дальней зоне на востоке. При этом для Th наблюдается высокое накопление у факелов. Cr, Ta, Cs накапливаются преимущественно в ближней зоне на севере. Для Sb и Co характерно накопление на севере и западе, для Sb и Zn также на востоке. Br, Zn накапливаются только в дальне зоне на севере, Au – на западе. Весьма специфичные закономерности распределения имеет Sr, который в наибольшей степени накаливается к югу, на востоке и в дальней зоне на севере (рис. 94).



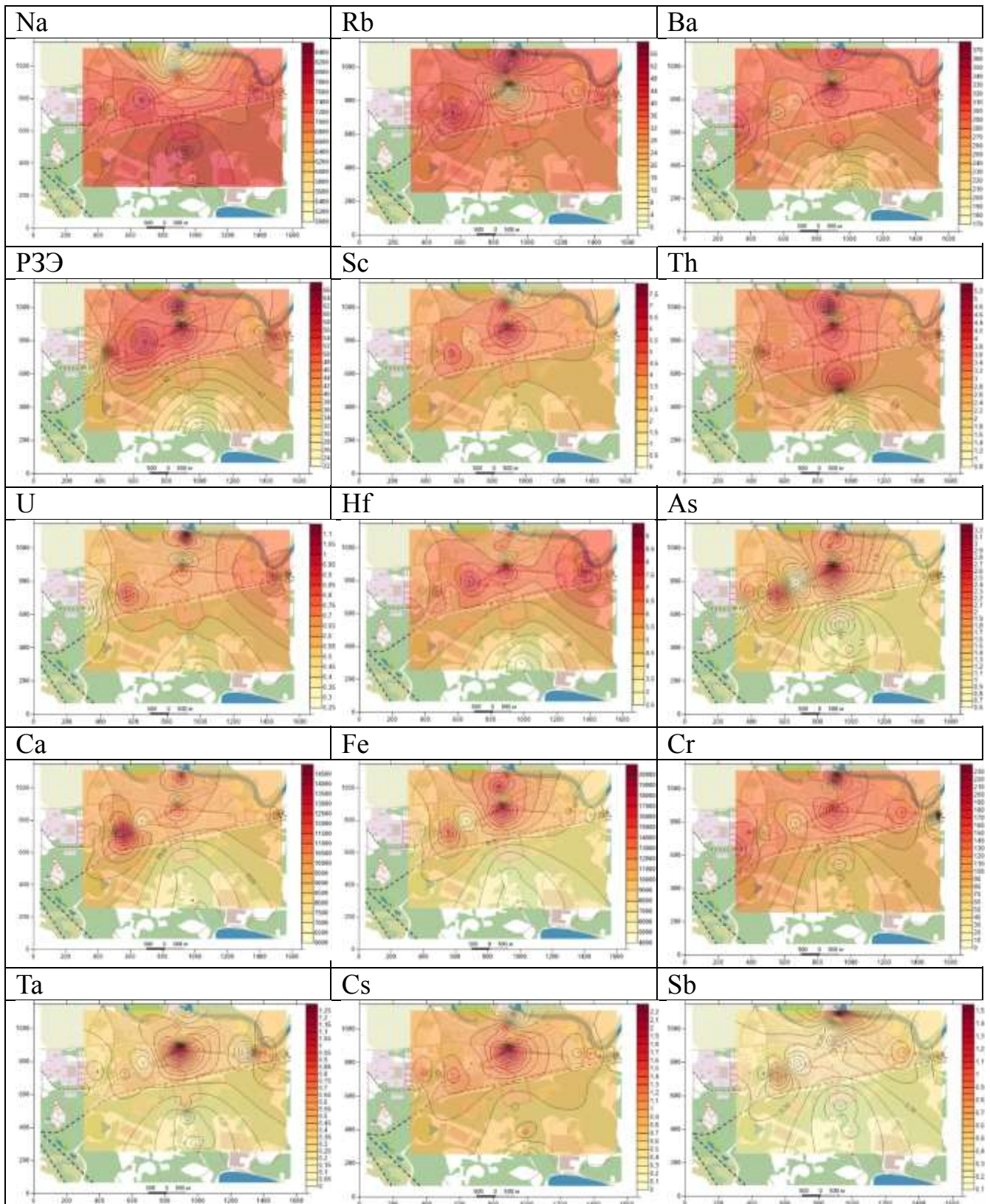
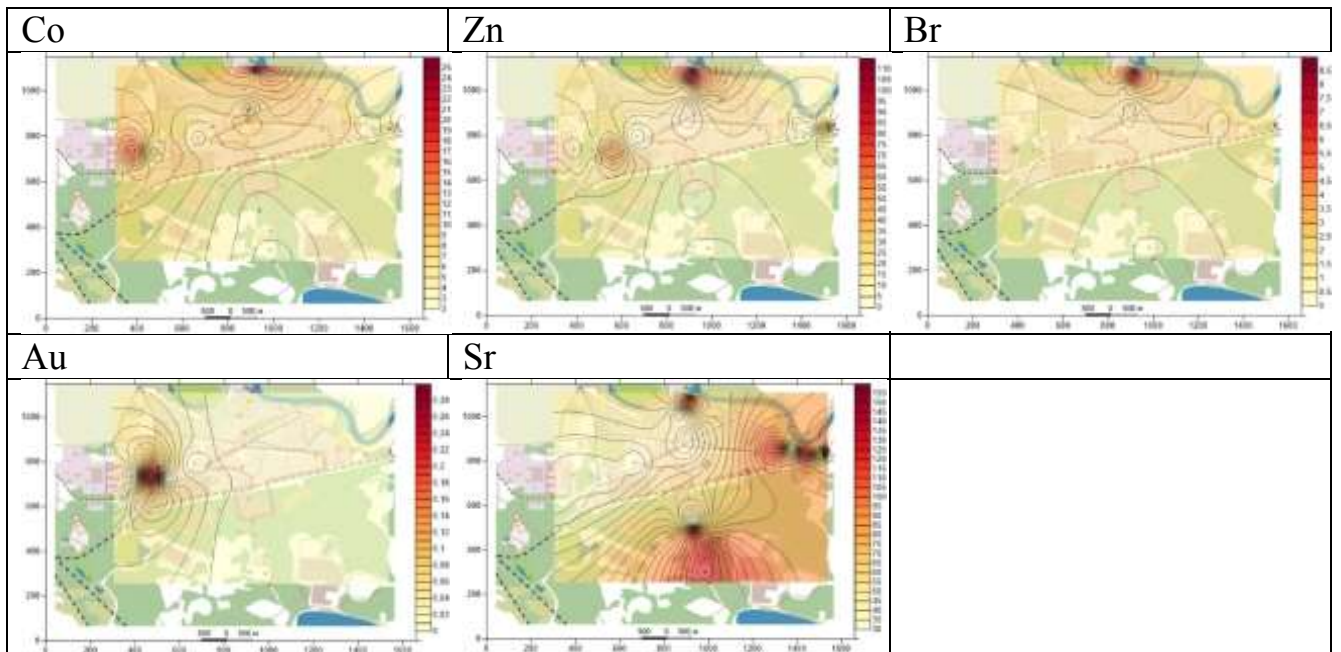


Рисунок 94 – Схемы распределения содержаний химических элементов (мг/кг) в верхнем горизонте почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

*Примечание: границы основной территории Антипинского нефтеперерабатывающего завода отмечены красной линией*



Продолжение рисунка 94

В подстилке техногенной территории Na характеризуется наибольшим накоплением в лесном ландшафте на юге, меньшим в восточном, северном и западном направлениях. Cr, As, Sb характеризуются наибольшим содержанием на юге в ближней зоне и меньшим в дальних зонах остальных направлений. Для Zn и Ca характерно большее накопление на западе, а Rb преимущественно сконцентрирован у факела. Редкоземельные элементы и U накапливаются в основном на востоке и юге (у факела и в дальней зоне соответственно). Ta, Fe, Th сосредоточены в основном на востоке и севере, Co – на востоке и западе, Sc – на востоке. Ba, V и Sr накапливаются только на западе. Hf сосредоточена в дальних зонах всех направлений, Cs концентрируется ближе на юге и востоке (рис. 95).

В травостое Ba, Rb, Zn, Ca, Sr сконцентрированы на юге. Na, РЗЭ, Sc, Th, Hf, Fe, Ta, Cs, Cr накапливаются в основном в ближней зоне на севере, многие из них также в дальней на востоке, а As – на юге, U и Co – на западе. Для V характерно накопление на западе и юге (в основном в дальней зоне), для Ag – на западе и у факелов. Au сосредоточено на западе, Sb – в дальних зонах (преимущественно на востоке и западе) (рис. 96).



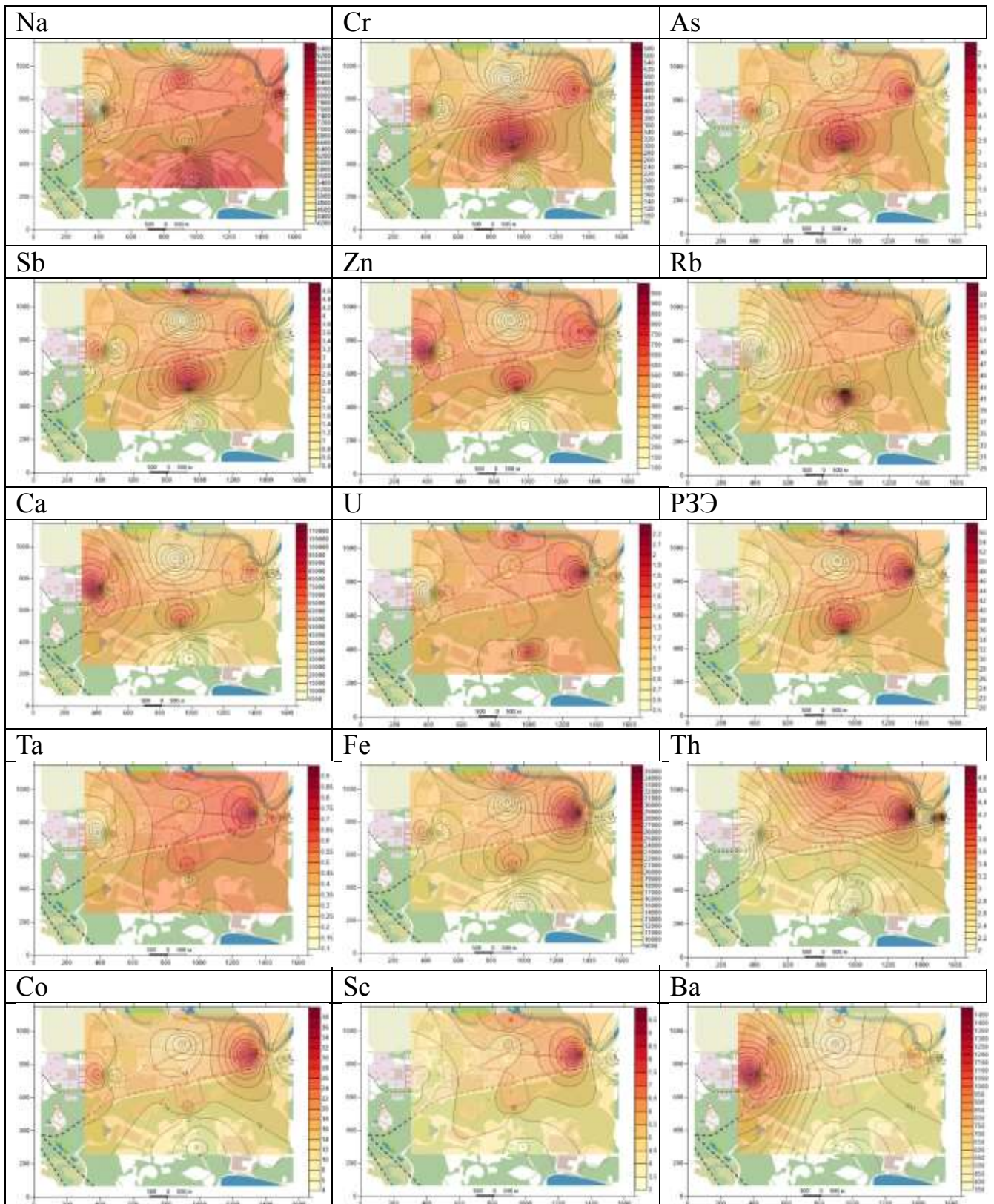
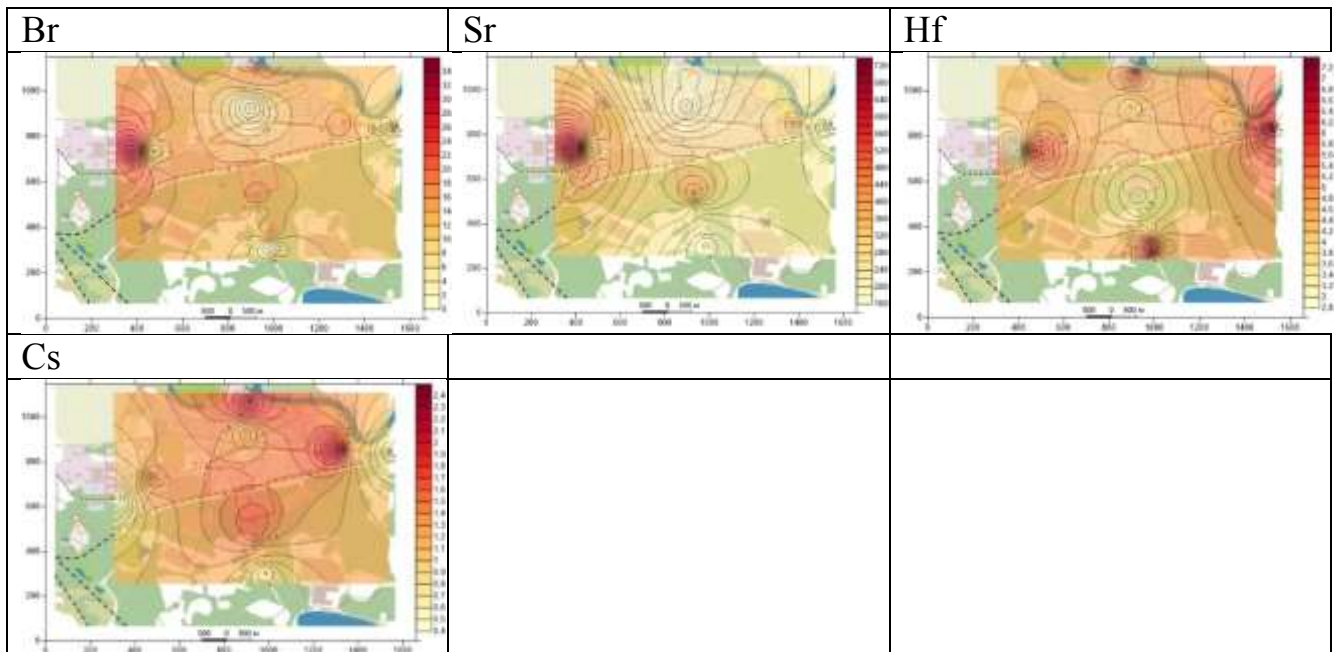


Рисунок 95 – Схемы распределения содержаний химических элементов (мг/кг) в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

*Примечание: границы основной территории Антипинского нефтеперерабатывающего завода отмечены красной линией*



Продолжение рисунка 95

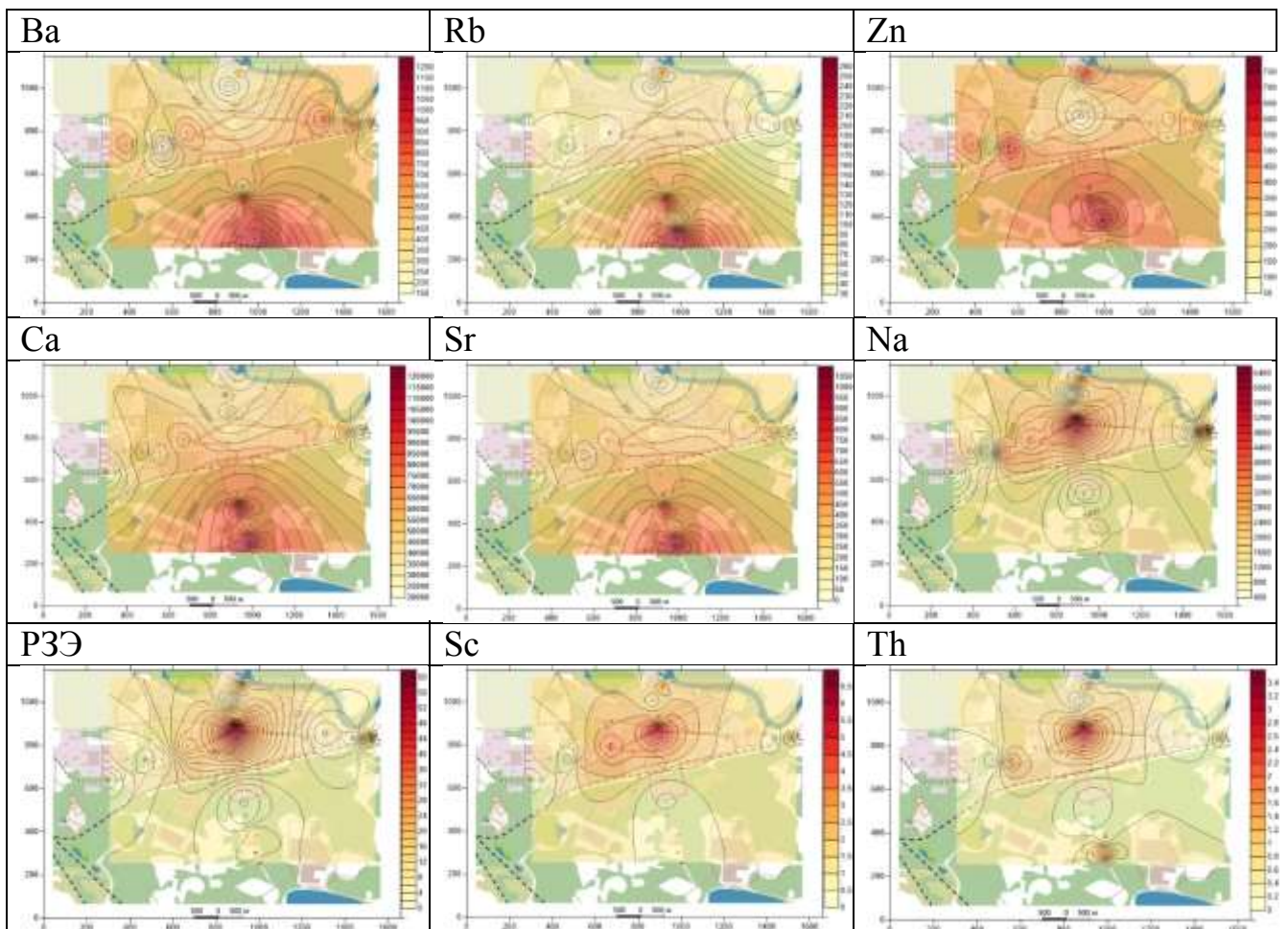
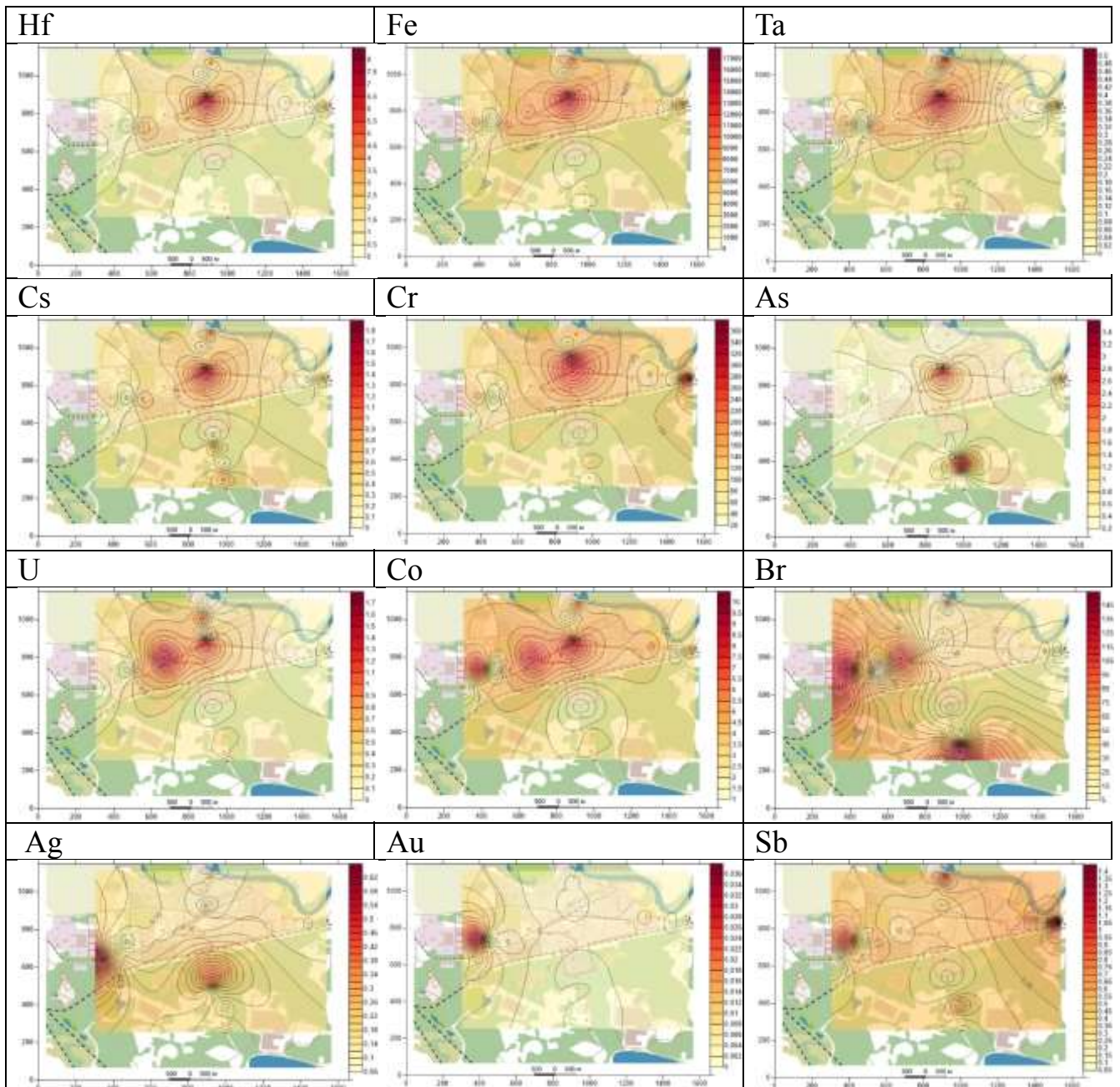


Рисунок 96 – Схемы распределения содержаний химических элементов (мг/кг) в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

*Примечание: границы основной территории Антипинского нефтеперерабатывающего завода отмечены красной линией*





Продолжение рисунка 96

Для листьев техногенной территории характерно накопление Rb, As, Cs, Sr на юге по удалению от НПЗ, Ag и Zn у факелов (последнего также на севере). Ba, Au, Ca, U сосредоточены на юге и западе, Ta, Br, Cr, Co – на западе, Sb, Na – на западе и востоке, Fe, Th, РЗЭ, Sc, Hf – на востоке (рис. 97).

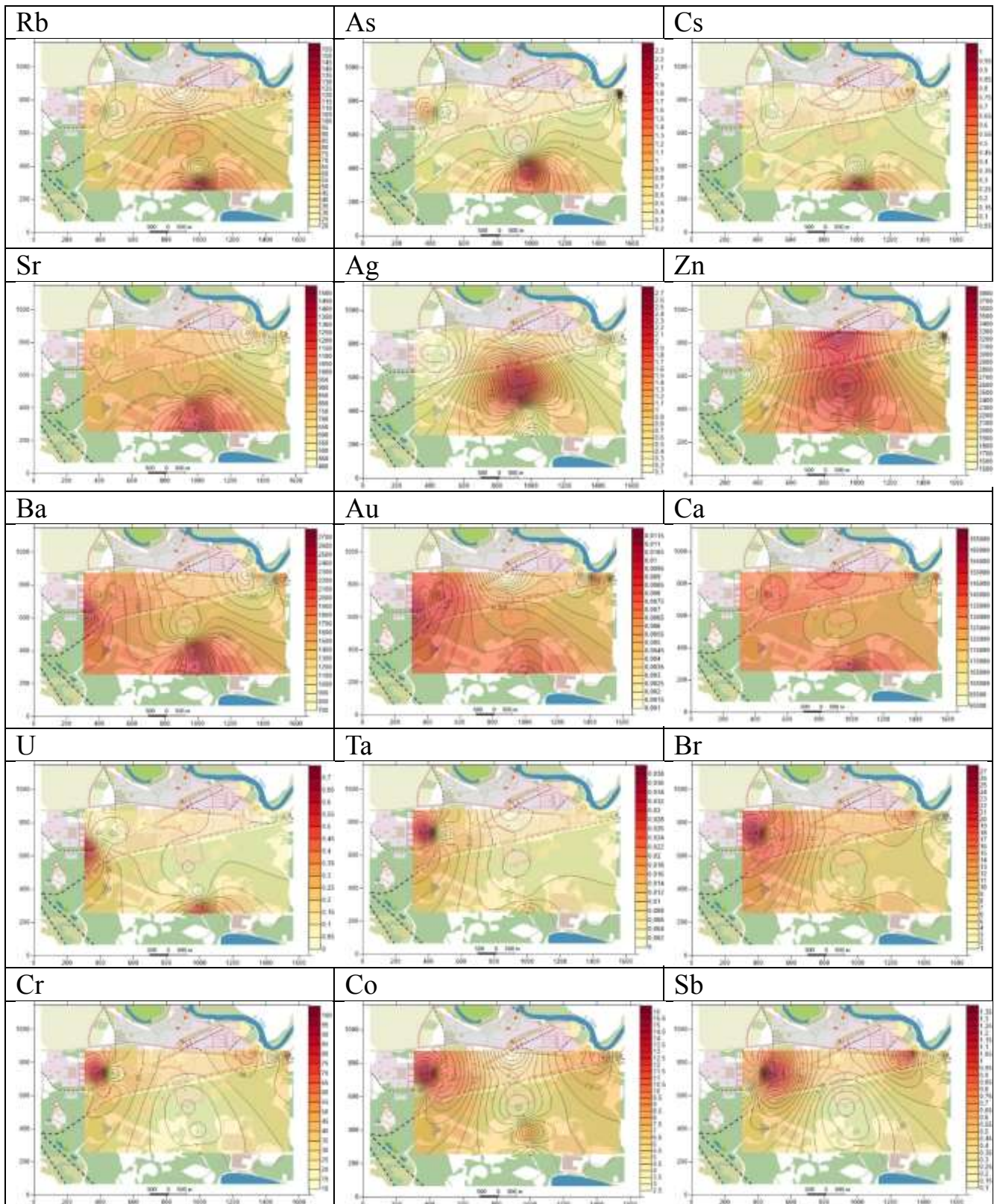
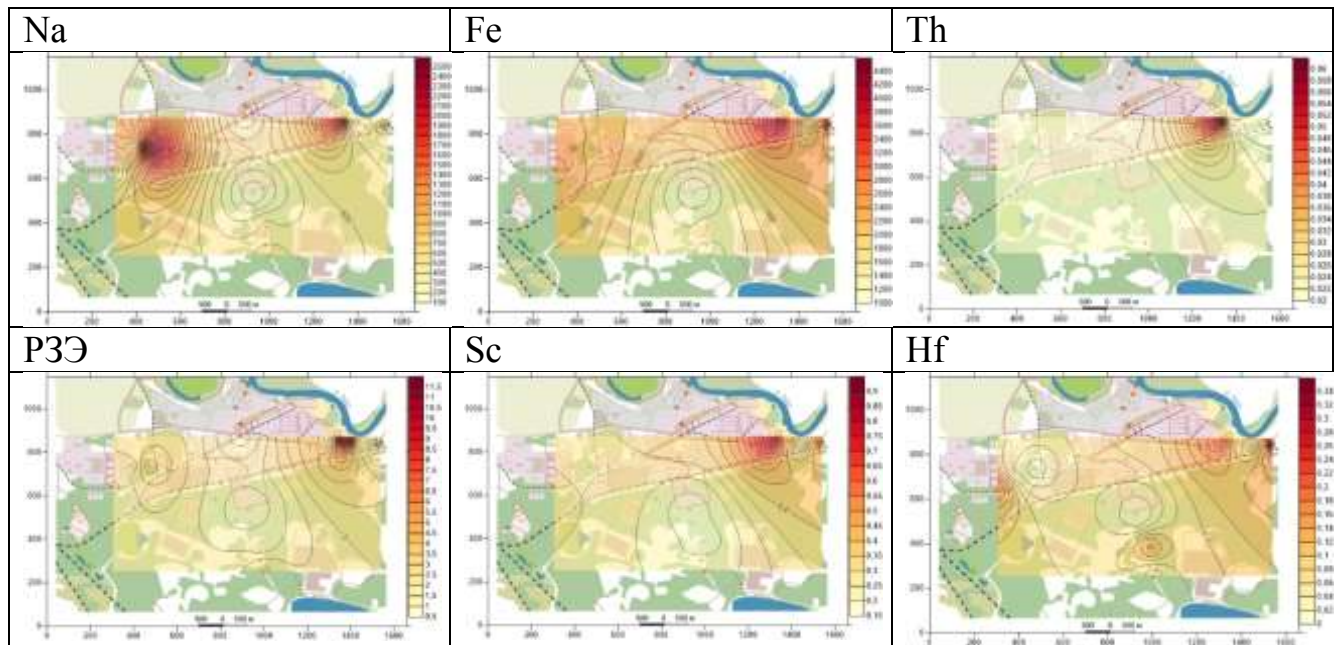


Рисунок 97 – Схемы распределения содержаний химических элементов (мг/кг) в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

*Примечание: границы основной территории Антипинского нефтеперерабатывающего завода отмечены красной линией*





Продолжение рисунка 97

Наконец, многие химические элементы с повышенными концентрациями в компонентах территории расположения Антипинского НПЗ содержатся в нефти: Fe, Br, Au, Hg, As, U, Cr, Zn, Co, As, Ta, Hg, Sb (Маракушев и др., 2008; Маслов и др., 2015; Якуцени, 2005)

Таким образом, каждая среда имеет специфические закономерности распределения химических элементов по территории. В целом, в районе влияние НПЗ наблюдается неоднородный характер распределения с локальными аномалиями содержания химических элементов.

Отмечено изменение Th/U соотношения в компонентах биогеоценозов территории, подверженной воздействию Антипинского НПЗ. Оно возрастает в почве и травостое и понижается в подстилке и листьях березы (табл. 74).

Таблица 74 – Значения Th/U в изученных компонентах биогеоценозов на условно-фоновой и природно-техногенной территориях Тюменской области

Среда	Тюменский федеральный заказник	Антипинский нефтеперерабатывающий завод
Почва (A1)	3,3	4,9
Подстилка	2,7	2,3
Травостой	0,46	1,5
Березовые листья	0,2	0,15

Кроме того, рассмотрено соотношение La/Ce, отмеченное в качестве индикаторного для нефтеперерабатывающей промышленности (Шахова, 2018). Для почвы его значения соответствуют фоновым. В подстилке показатель превышен в обоих случаях. В травостое также наблюдаются превышенные

значения, особенно для условно-фоновой территории. В березовых листьях La/Ce anomalно высокое для природно-техногенной территории (табл. 75).

Таблица 75 – Значения La/Ce в изученных компонентах природной среды на условно-фоновой и природно-техногенной территориях Тюменской области

Среда	Тюменский федеральный заказник	Антипинский нефтеперерабатывающий завод
Почва (A1)	0,4	0,36
Подстилка	1	0,97
Травостой	0,99	0,52
Березовые листья	0,18	1,3

В почве природно-техногенной территории выявлено три ассоциации химических элементов. Помимо естественной, значительно меньшей, чем в условно-фоновой почве, ассоциации, присутствуют не обнаруженные в ней техногенные ассоциации, связывающие Br, Hg, Zn и Co, Sb (рис. 98).

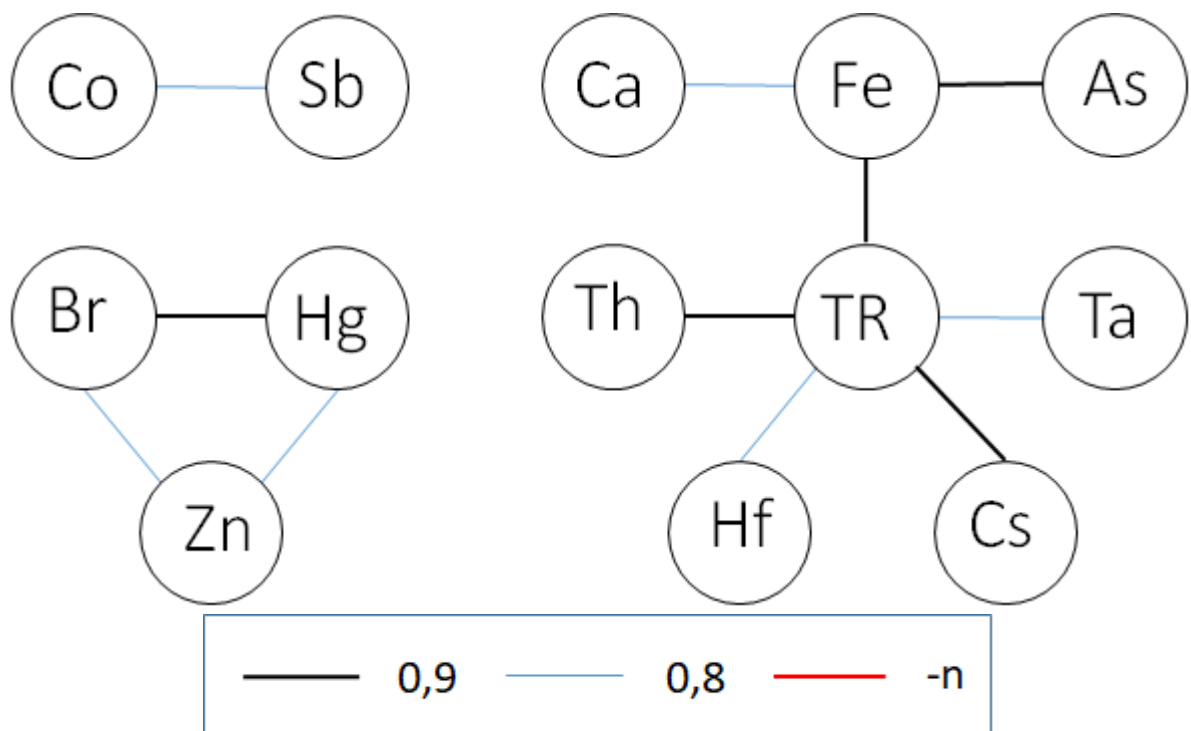


Рисунок 98 – Ассоциации химических элементов в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (критическое значение коэффициента корреляции – 0,33,  $p=0,05$ )

В подстилке выявлена более широкая ассоциация, чем в почве, но все равно значительно меньшая, чем условно-фоновая. В данной ассоциации наблюдаются две основных группы, связанных с РЗЭ и Ca (рис. 99).

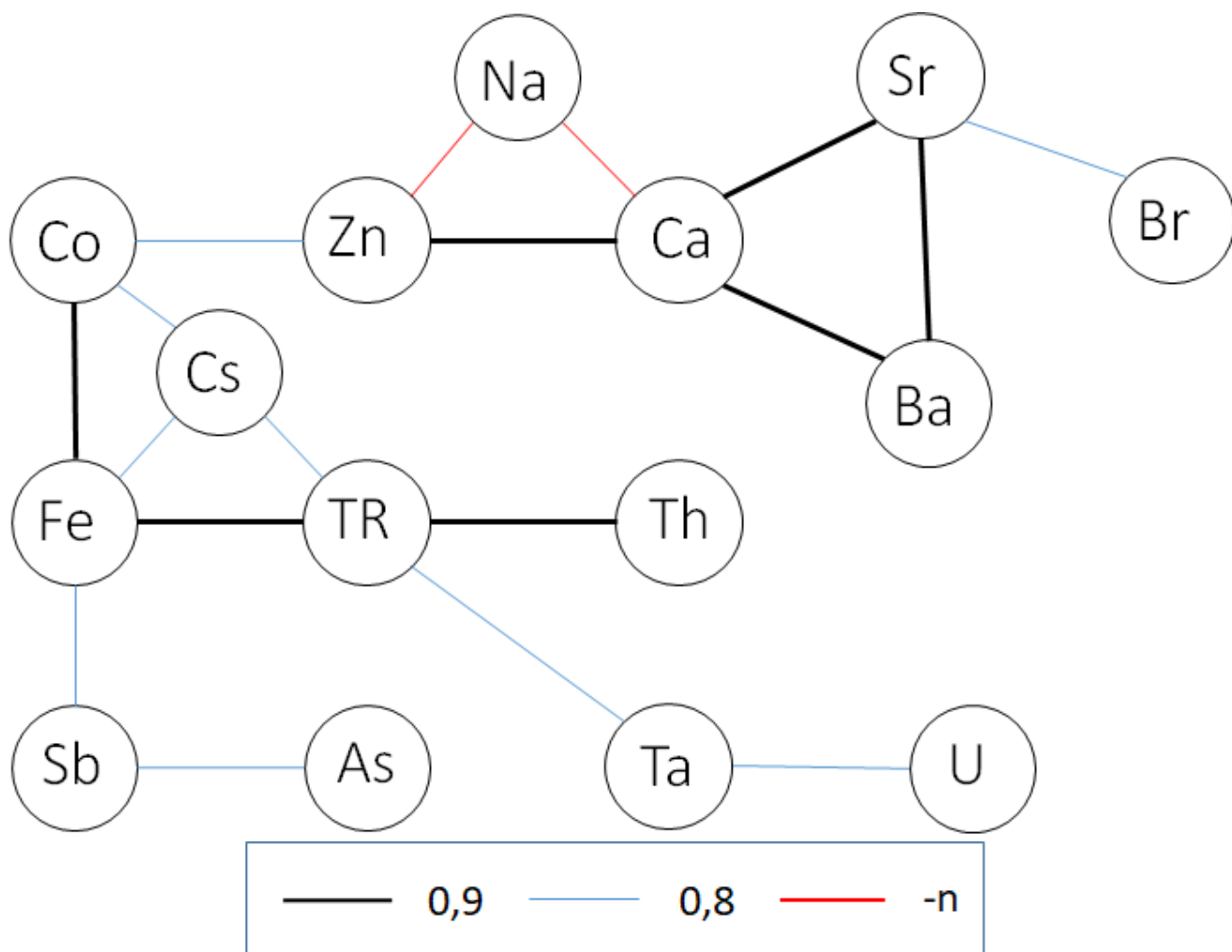


Рисунок 99 – Ассоциации химических элементов в подстилке территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (критическое значение коэффициента корреляции – 0,47,  $p=0,05$ )

Травостой характеризуется наиболее прочно связанной ассоциацией химических элементов, хоть и меньшей, чем в условно-фоновых условиях. Помимо основной, выявлена побочная ассоциация, связанная с Sr (рис. 100).



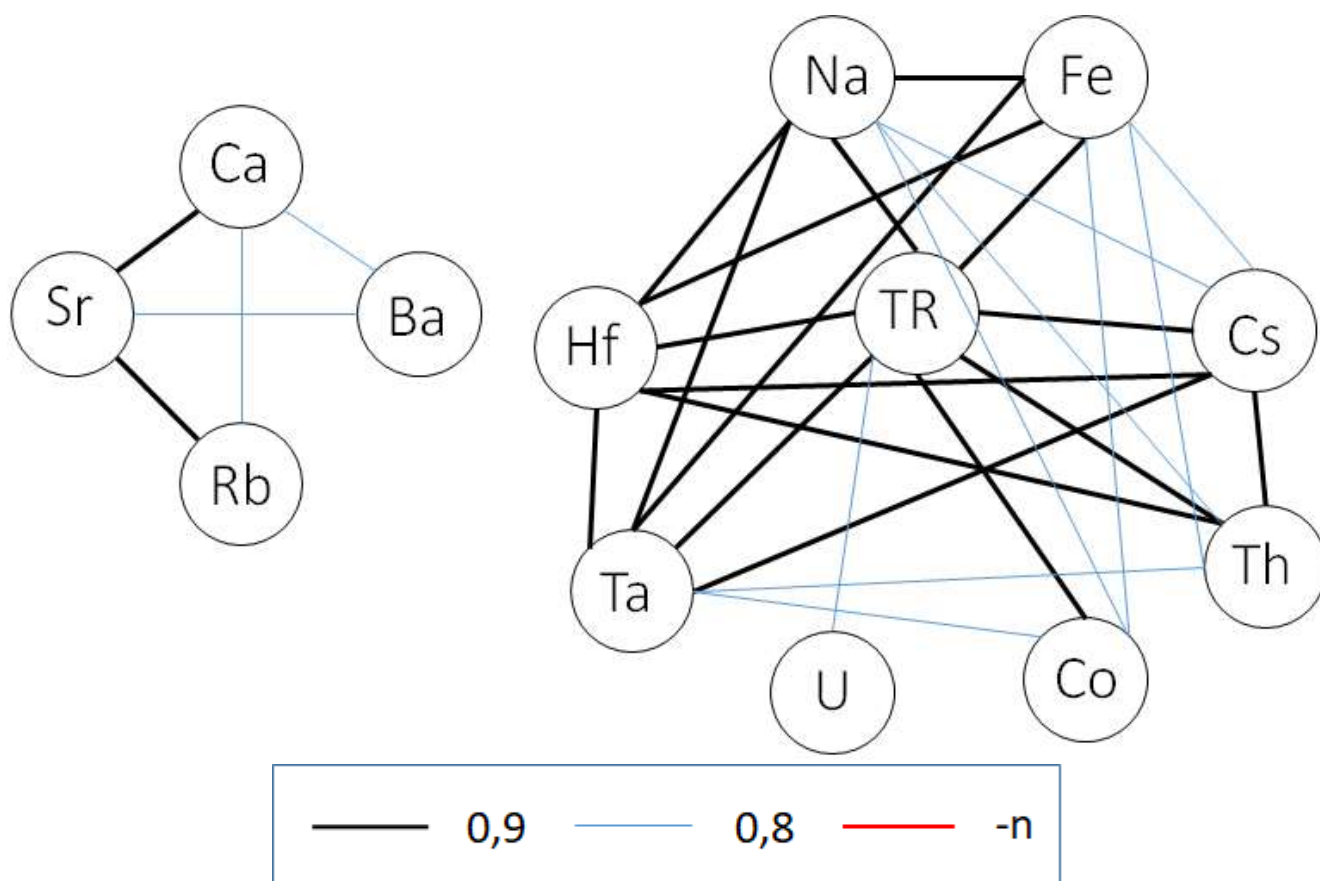


Рисунок 100 – Ассоциации химических элементов в травостое территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (критическое значение коэффициента корреляции – 0,42,  $p=0,05$ )

В березовых листьях химические элементы наиболее разрознены среди изученных сред природно-техногенной территории: выявлен ряд мелких ассоциаций (рис. 101).

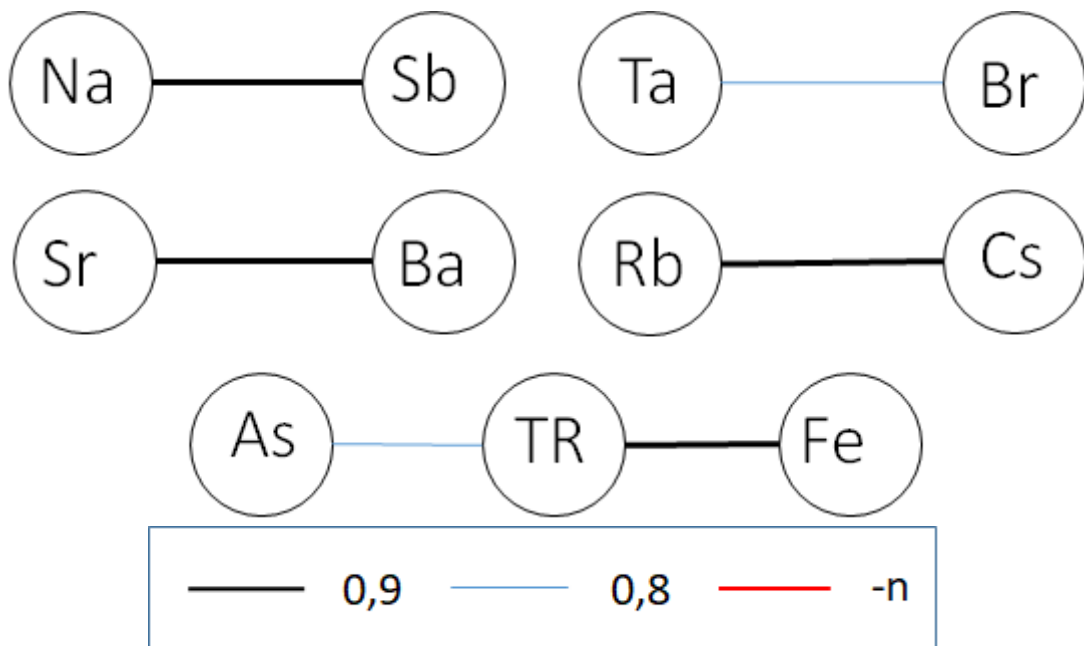


Рисунок 101 – Ассоциации химических элементов в листьях березы повислой территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (критическое значение коэффициента корреляции – 0,53,  $p=0,05$ )

В природно-техногенной почве трансформация по сравнению с условно-фоновой проявляется в верхней части профиля и сокращается с глубиной. В верхнем горизонте зафиксирован наибольший спектр химических элементов с повышенными коэффициентами концентрации: Au, Br, Eu, Na, Co, Fe, Sb, Cs, Sc, Ce, Sm, Rb, Sr, La, Ca, Zn, Tb, Th, Ba, As. Несмотря на это, как по разрезу, так и в А1, большинство из них сохраняет однородное распределение. Зафиксировано изменение вертикального распределения большинства рассмотренных химических элементов. В пространственном распределении относительно НПЗ выявлено накопление большинства химических элементов в ближней к НПЗ зоне и преимущественно в северном направлении. Выявлена прямая зависимость доли глинистых минералов от техногенной нагрузки. Обнаружены микрочастицы. Помимо естественной, значительно меньшей, чем в условно-фоновой почве, ассоциации, обнаруженная техногенная, связывающая Br, Hg и Zn

В органических компонентах природно-техногенной территории обнаружено повышенное содержание многих химических элементов. Зафиксирован общий спектр (Nd, U, Th, Fe, Eu, Sc, Hf, Ce, Yb, La, Sm, Tb, Co, Au), а также специфические элементы для каждого из них. При этом в сравнении с литературными данными сохраняется условно-фоновый общий спектр элементов с повышенным содержанием, но изменяется количественный порядок, и возрастают показатели суммарного загрязнения. В пространственном распределении относительно завода в подстилке химические элементы накапливаются преимущественно в ближней зоне и равномерно распределяются по сторонам света. В травостое установлено преимущественное накопление также в ближней зоне, но в северном направлении. Листья отличаются преимущественным накоплением в дальней зоне и равномерным накоплением в

западном и южном направлениях. Обнаружены посторонние частицы сложного состава. Как и в почве, в природно-техногенных компонентах большинство ассоциаций нарушено, особенно в листьях, где сохранились лишь отдельные связи. Наиболее прочную ассоциацию сохранил травостой.

Источник поступления редкоземельных элементов – цеолитные катализаторы, применяемые при переработке нефти (процесс каталитического крекинга). Многие прочие элементы с повышенными концентрациями содержатся в нефти: Fe, Br, Au, As, Cr, Zn, Co, Ta, Sb и др. (Маслов и др., 2015; Якуцени, 2005) Источником Br является сжигание попутного газа на факелах. Присутствие Cr объясняется выделением при каталитических операциях (содержится в алюмохромовых катализаторах). Источник As – факельное сжигание нефтепродуктов, очистка газов от сероводорода мышьяково-содовым способом.

#### 5.4. Характеристика накопления ртути в компонентах природной среды территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода

В почвах природно-техногенной территории ртуть почти полностью переходит в верхний горизонт, однако ее содержание ниже, чем в условно-фоновых условиях (табл. 76, рис. 102).

Таблица 76 – Содержание ртути в почве территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

Элементы	Ср	Max	Min	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Разрез	0,017±0,003	0,09	0,0004	0,014	0,018	106
A1	0,028±0,004	0,09	0,0099	0,025	0,018	66

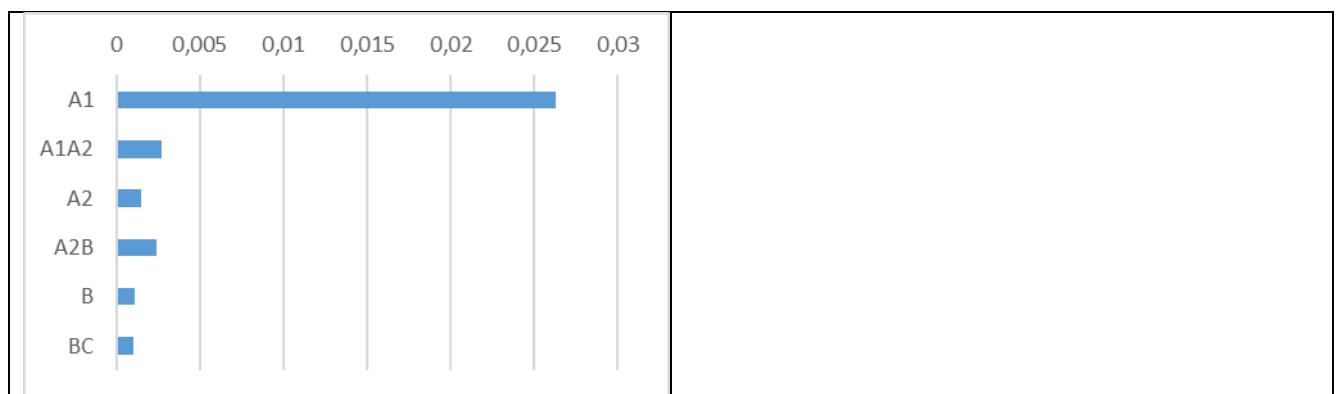


Рисунок 102 – Распределение Hg в профиле почвы территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

Это соответствует литературным данным о том, что загрязненные дерново-подзолистые почвы концентрируют ртуть в двух горизонтах: верхнем гумусовом и нижнем бескислородном. Первый аккумулирует атмосферные загрязнения, а во

второй ртуть проникает из него, окисляясь и образуя легкорастворимые соединения, где они переходят в труднорастворимые формы (HgS и др.) (Фурсов, 1993).

Таблица 77 – Содержание ртути в органических компонентах территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг)

	Ср	Max	Min	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Подстилка	0,14±0,016	0,28	0,053	0,12	0,066	49
Травостой	0,17±0,013	0,28	0,066	0,18	0,059	35
Листья	0,12±0,011	0,17	0,075	0,12	0,037	30

В органических компонентах в сравнении с литературными данными (Markert, 1992) ртуть, как и на условно-фоновой территории, проявляет повышенное содержание, но в меньшей степени. Это отражают и абсолютные данные (табл. 77). По кларку биосферы (Глазовская, 1988) содержание ртути в природно-техногенных условиях ниже для всех рассмотренных сред. При сравнении полученных данных по условно-фоновой и природно-техногенной территориям наблюдается меньшее содержание Hg в районе расположения НПЗ в подстилке и листьях березы, но большее в травостое и почве (табл. 78).

Таблица 78 – Изменение распределения ртути в компонентах биогеоценоза территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода относительно нормирования к разным литературным источникам

Источник	Компоненты биогеоценоза в порядке уменьшения концентрации ртути
Ярошевский, 1990, Markert, 1992 (ТФЗ)	Подстилка <sub>2,1</sub> =листья <sub>2,1</sub> >травстой <sub>1,1</sub> >почва (А1) <sub>0,1</sub>
Ярошевский, 1990, Markert, 1992 (АНПЗ)	Травстой <sub>1,7</sub> >подстилка <sub>1,4</sub> >листья <sub>1,2</sub> >почва (А1) <sub>0,28</sub>
Кларк ноосферы (ТФЗ)	Подстилка <sub>1,2</sub> =листья <sub>1,2</sub> >травстой <sub>0,61</sub> >почва (А1) <sub>0,1</sub>
Кларк ноосферы (АНПЗ)	Травстой <sub>0,94</sub> >подстилка <sub>0,72</sub> >листья <sub>0,69</sub> >почва (А1) <sub>0,16</sub>
ТФЗ/АНПЗ	Травстой <sub>1,5</sub> >почва (А1) <sub>1,2</sub> >подстилка <sub>0,64</sub> >листья <sub>0,59</sub>

Таким образом, несмотря на принадлежность ртути к перечню элементов, характерных для нефтеперерабатывающих производств, в данном случае наблюдается ее избыточное содержание лишь в травостое и почве. Все прочие изученные среды характеризуются пониженным содержанием в сравнении с условно-фоновой территорией. Это может объясняться высокой

чувствительностью стеблей многолетних злаков, входящих в травостой, как геохимического индикатора (Клос и др., 2014).

Из приведенных данных следует, что большее содержание ртути в почве природно-техногенной территории в сравнении с условно-фоновой при меньшем ее поступлении с листовым опадом древесных растений (что обусловлено, во-первых, значительно меньшим количеством деревьев в районе, подверженном воздействию Антипинского НПЗ, во-вторых, меньшим содержанием данного химического элемента в их листьях как в источнике его поступления) может объясняться осаждением ее из атмосферы

В пространственном распределении относительно техногенного объекта наблюдается накопление Hg в дальней зоне в почве и травостое и в ближней в листьях и подстилке (рис. 103).

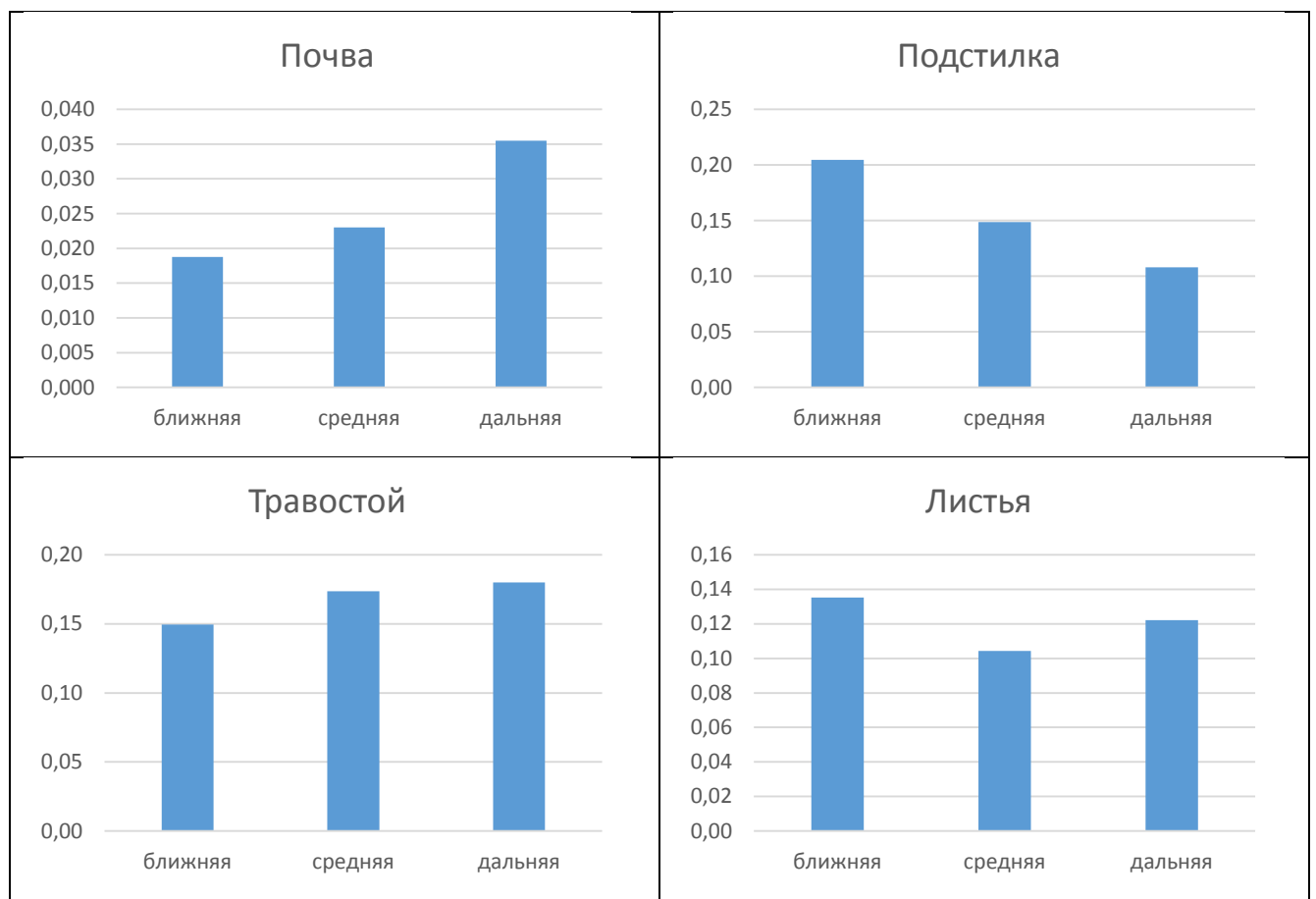


Рисунок 103 – Содержание Hg по удалению от Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг).

Во всех изученных средах проявляется накопление Hg в восточном направлении от НПЗ во всех зонах, что соответствует преимущественному ветровому переносу. Однако, в почве данный химический элемент накапливается также на севере, а в подстилке – преимущественно на юге (рис. 104).

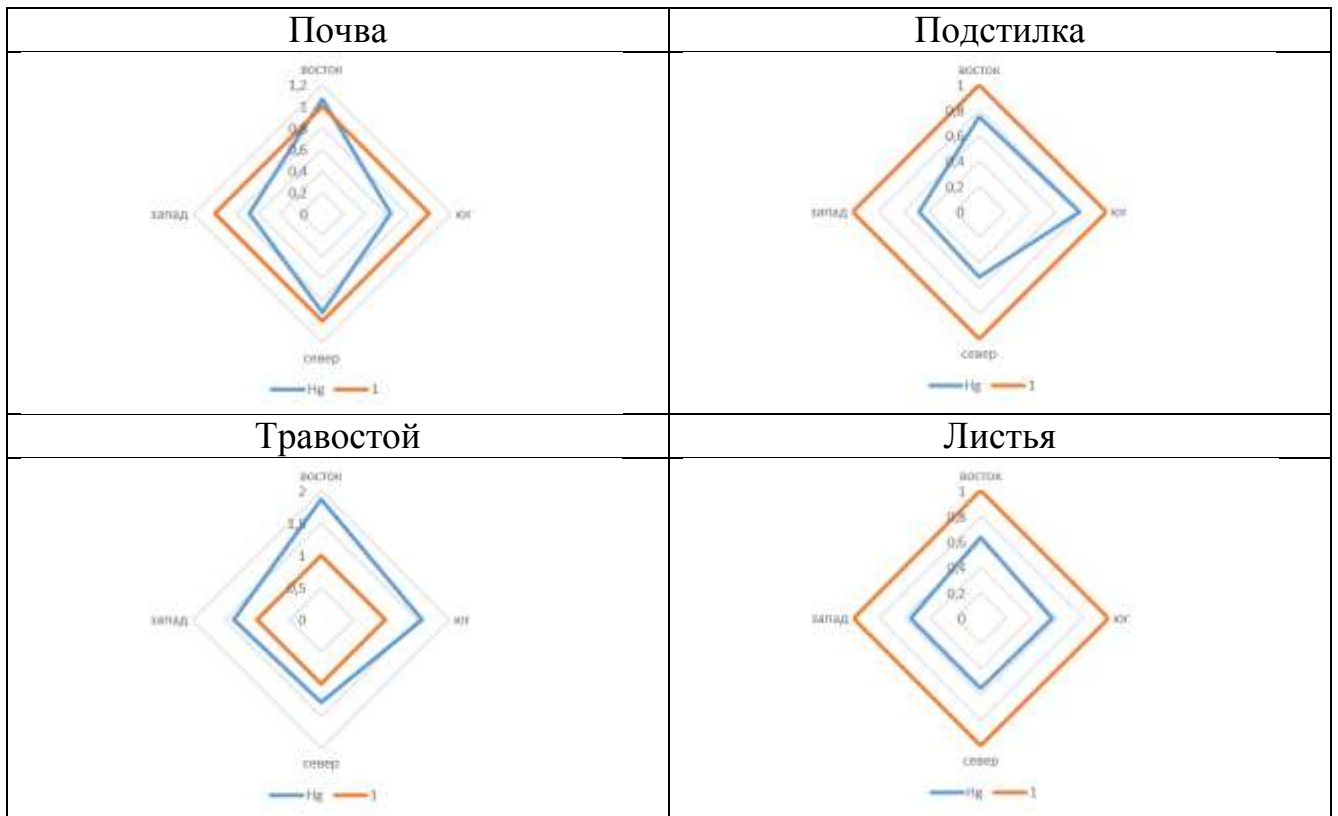


Рисунок 104 – Распределение Hg по сторонам света от Антипинского нефтеперерабатывающего завода (мг/кг, логарифмическая шкала)

Таким образом, в пространственном распределении относительно техногенного объекта ртуть проявляет летучесть, концентрируясь во многих случаях в дальней зоне по направлению преобладающих ветров (северное и восточное направления). При этом в южном и в некоторых случаях восточном направлении Hg наоборот в наибольшей степени накапливается вблизи НПЗ.

При этом на природно-техногенной территории в почве наблюдается наибольшее концентрирование данного элемента на севере в дальней точке, а во всех органических средах – в точке вблизи факелов (рис. 105). Однородность распределения Hg почти не изменяется в зависимости от техногенной нагрузки. Лишь для травостоя отмечено более однородное распределение на природно-техногенной территории. В любом случае, во всех средах на обеих территориях Hg распределяется однородно, за исключением почвенного профиля и травостоя на условно-фоновой территории (табл. 79).



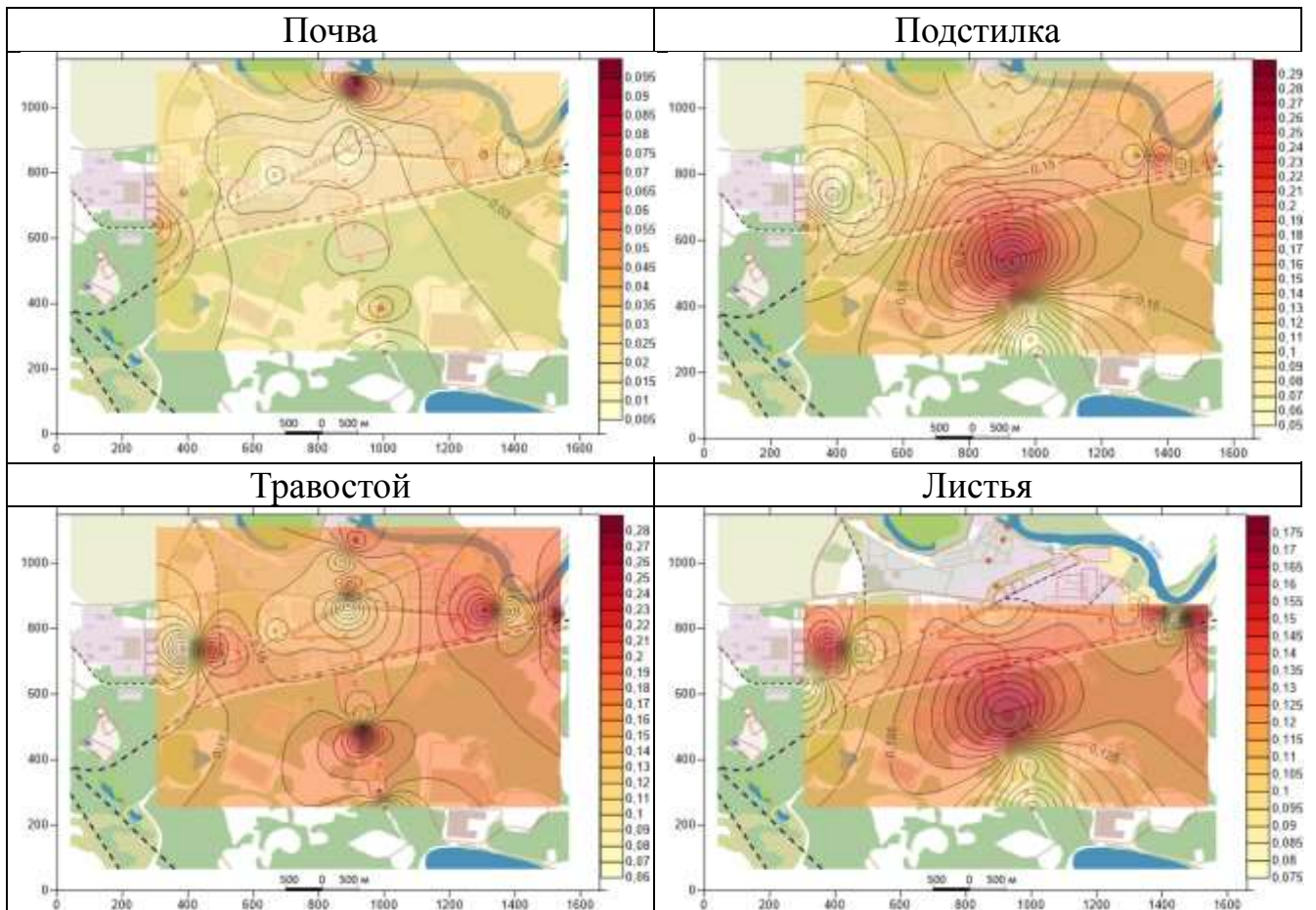


Рисунок 105 – Распределение ртути (мг/кг) на территории расположения Антипинского нефтеперерабатывающего завода в изученных объектах  
*Примечание: границы основной территории Антипинского нефтеперерабатывающего завода отмечены красной линией*

Таблица 79 – Типы распределения ртути в компонентах природной среды территорий Тюменской области (согласно классификации Шестакова (1988))

	Почва (профиль/А1)	Подстилка	Травостой	Березовые листья
ТФЗ	Интенсивно дифференцированное/ дифференцированное	Однородное	Слабодифференцированное	Однородное
Антипинский НПЗ	Интенсивно дифференцированное/ слабодифференцированное	Однородное	Однородное	Однородное

Hg, по данным (Якуцени, 2005), входит в состав нефти.

Ртуть в почве и в условно-фоновых, и в природно-техногенных условиях характеризуется преимущественным накоплением в верхнем горизонте почвы. На условно-фоновой территории наблюдается повышенное накопление в березовых листьях и подстилке, на природно-техногенной – в почве и травостое. Листовой



опад в фоновых условиях может являться источником поступления ртути в почву. Количество ртути поступающей на поверхность почвы смешанных хвойно-лиственных лесов с листовым опадом определяется видовым составом и соотношением древесных растений-эдификаторов. В пространственном распределении от НПЗ Hg проявляет высокую летучесть в подветренных направлениях.

### Заключение

Проведенные нами исследования геоэкологической ситуации территории расположения Антипинского НПЗ позволяет установить ряд специфических закономерностей.

Так, в природно-техногенной почве, по сравнению с условно-фоновой, трансформация проявляется в верхней части профиля и сокращается с глубиной. В верхнем горизонте зафиксирован наибольший спектр химических элементов с повышенными коэффициентами концентрации: Au, Br, Eu, Na, Co, Fe, Sb и др. Несмотря на это, как по разрезу, так и в горизонте А1 большинство из них сохраняет однородное распределение. Зафиксировано изменение вертикального распределения большинства рассмотренных химических элементов. Наблюдается большая доля глинистой фракции в сравнении с условно-фоновой территорией и прямая зависимость ее количества от техногенной нагрузки. В глинистой фракции содержатся микрочастицы сложного состава.

Для почв Тюменского федерального заказника характерны содержания изученных химических элементов ниже кларка, за исключением Cr. При этом большинство из них имеет однородное распределение и накапливается преимущественно в нижнем горизонте.

В органических компонентах природно-техногенной территории расположения АНПЗ обнаружено повышенное содержание многих химических элементов. Зафиксирован общий спектр (Nd, U, Th, Fe, Eu, Sc, Hf, Ce, Yb, La, Sm, Tb, Co, Au), а также специфические элементы для каждого из них. При этом в сравнении с литературными данными сохраняется общий региональный условно-фоновый спектр элементов с повышенным содержанием, но изменяется количественный порядок, и возрастают показатели суммарного загрязнения.

В органических компонентах условно-фоновой территории наблюдается общий спектр химических элементов с повышенным содержанием: Hg, Ba, Sr, Hf, Ta, Sb, Sc, As, Ca. Таким образом, рассмотренные органические компоненты весьма схожи, несмотря на некоторые специфические элементы, которых больше всего в подстилке. При этом по дифференциации распределения они значительно различаются. На поверхности листьев условно-фоновой территории отмечено наличие микрочастиц сложного состава.

Большинство химических элементов в компонентах условно-фонового биогеоценоза образует обширные и прочно связанные ассоциации, особенно в органических, с общей редкоземельной специализацией.

Пространственное распределение химических элементов в компонентах природной среды на изучаемой территории относительно НПЗ определяется господствующими направлениями ветра, летучестью элементов, параметрами изученных компонентов и прочими факторами, влияние которых зафиксировано в неоднородном характере получаемых схем как для отдельно взятого компонента, так и для каждого из изученных элементов. В целом выявлено, что в почве, подстилке и травостое большинство химических элементов накапливается в ближней к НПЗ зоне, в листьях березы – наоборот в дальней. В почве и травостое большинство химических элементов накапливается в северном направлении. В

листьях зафиксировано почти равномерное накопление на западе и юге. В подстилке распределение элементов по сторонам света приблизительно равномерное. В травостое и березовых листьях проявляется рост дифференциации распределения большинства химических элементов. В целом, в районе влияние промышленного объекта наблюдается неоднородный характер распределения с локальными аномалиями содержания химических элементов вблизи него.

Во всех рассмотренных компонентах изученной территории наблюдается разрушение большинства выявленных в условно-фоновых условиях ассоциативных связей химических элементов и присутствие других связей и ассоциаций. Наиболее прочную элементную ассоциацию сохранил травостой.

Hg в почве и в условно-фоновых, и в природно-техногенных условиях характеризуется преимущественным накоплением в верхнем горизонте. На условно-фоновой территории наблюдается повышенное накопление в березовых листьях и подстилке, на природно-техногенной – в травостое и почве. Листовой опад в фоновых условиях может являться источником поступления ртути в почву. Количество ртути поступающей на поверхность почвы смешанных хвойно-лиственных лесов с листовым опадом определяется видовым составом и соотношением древесных растений-эдификаторов. В пространственном распределении от НПЗ Hg проявляет высокую летучесть в подветренных направлениях, что отражается как на графиках, так и на картах-схемах ее распределения по удаленности от промышленного объекта.

## Список литературы

1. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем: Учебник / Под ред. Д-ра хим. наук, проф. М.Ю. Доломатова, д-ра техн. наук, проф. Э.Г. Теляшева. - М.: Химия, 2002. - 608 с.: ил.
2. Авалиани С.Л. Системный анализ модельного риска для здоровья населения от загрязнения воздуха нефтеперерабатывающими предприятиями. 1. Выбросы и риски / С.Л. Авалиани, Б.М. Балтер, Б.А. Ревич, М.В. Фаминская // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2012. – № 3. – С. 120-134.
3. Авалиани С.Л. Системный анализ модельного риска для здоровья населения от загрязнения воздуха нефтеперерабатывающими предприятиями. 2. Источники и пространственные факторы / С.Л. Авалиани, Б.М. Балтер, Б.А. Ревич, М.В. Фаминская // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2012. – № 3. – С. 135–143.
4. Авалиани С.Л. Анализ риска для здоровья от загрязнения воздуха 15 нефтеперерабатывающими предприятиями. Часть I. Выбросы и риски / С.Л. Авалиани, Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, Б.А. Ревич, М.В. Стальная, М.В. Фаминская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. - № 2. – С. 38-46.
5. Авалиани С.Л. Анализ риска для здоровья от загрязнения воздуха 15 нефтеперерабатывающими предприятиями. Часть II. Типы источников и пространственные факторы / С.Л. Авалиани, Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, Б.А. Ревич, М.В. Стальная, М.В. Фаминская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. - № 2. – С. 17-22.
6. Агеева Е.А. Оценка пылеудерживающей способности листьев деревьев и кустарников в насаждениях г. Тюмени / Е.А. Агеева, М.Н. Казанцева // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск: БГИТА. – 2012. – Вып. 31. – С. 88-91.
7. Алберс Петер Х. Разливы нефти и живые организмы (Электронный ресурс) // Экологическая вахта Сахалина. URL: <http://www.sakhalin.environment.ru/search.html> (дата обращения: 20.10.2019)
8. Алексахин Р.М. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Р.М. Алексахин, Н.П. Архипов, Р.М. Бархударов, И.Я. Василенко, В.Ф. Дричко, Ю.А. Иванов, В.И. Маслов, К.И. Маслова, В.С. Никифоров, Г.Г. Поликарпов, О.Н. Погова, А.Н. Сироткин, А.И. Таскаев, Б.В. Тестов, Н.А. Титаева, Л.Т. Февралева. - М.: Наука, 1990. – 368 с.
9. Алексеенко В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография / В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко. – Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
10. Базанов В.А. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган / В.А. Базанов, О.Г. Савичев,

- Д.В. Волостнов, Б.А. Егоров, А.О. Крутовский, Е.Г. Языков // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. - № 2. – С. 72-75.
- 11.Баландина А.Г. Анализ воздействия предприятий нефтехимического комплекса на гидросферу и пути минимизации их негативного влияния / А.Г. Баландина, Р.И. Хангильдин, И.Г. Ибрагимов (и др.) // Башкирский химический журнал. – 2015. – № 1. Т.2. – С. 115–126.
  - 12.Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем / автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.02.08 // Барановская, Наталья Владимировна. - Томск: (б. и.), 2011. – 46 с.
  - 13.Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. Пер. с англ. - И.Н. Михайловой (Институт экологии растений и животных, г. Екатеринбург). М.: ГЕОС, 2005. - 457 с.
  - 14.Башкин В.Н. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, И.В. Евстафьева, В.В. Ермаков и др. - М.: Наука, 1993. – 300 с.
  - 15.Безель В.С. Экотоксикология: учебник для вузов / под ред. А.Г. Сармурзиной / В.С. Безель, М.С. Панин. – Алматы: Раритет, 2008. – 344 с.
  - 16.Березин Л.В. Лесное почвоведение: учеб. пособие / Л.В. Березин, Л.О. Карпачевский - Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. - 360 с.: ил.
  - 17.Берсенева А.Г. Содержание тяжелых металлов в почвах на территориях промышленных предприятий города Тюмени // Вестник КрасГАУ. – 2015. - № 6. – С. 41-44.
  - 18.Беус А.А. Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, Л.И. Грабовская, Н.В. Тихонова. - М.: Недра, 1976. - 248 с.
  - 19.Биогеохимическая оценка состояния природной среды (опыт разработки методики регионального анализа) / В.В. Батоян, В.С. Вшивцев, Н.С. Касимов и др. // Природные и антропогенноизмененные биохимические циклы: труды биогеохимической лаборатории. – М.: Наука, 1990. – Т. 21. – С. 108–125.
  - 20.Биогеохимические ореолы рассеяния химических элементов в экосистемах Дальнего Востока: сб. статей / Акад. наук СССР, Дальневосточ. отд., Ин-т водн. и экологич. проблем; отв. ред. П.В. Ивашов. – Владивосток, 1991. – 168 с.
  - 21.Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.В. Евстафьев, В.В. Снакин и др. – М.: Наука, 1993. – 304 с.
  - 22.Боев В.В. Распределение ртути в дерново-подзолистых почвах восточной части Тюменского федерального заказника / В.В. Боев; науч. рук. Н.В. Барановская // Творчество юных - шаг в успешное будущее: материалы VIII Всероссийской студенческой научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина, г. Томск, 23-27 ноября 2015 г. — Томск: Изд-во ТПУ. – 2015. – С. 214-216.
  - 23.Боев В.А. Соотношение хвойной и листовой составляющих и величина листового опада смешанных хвойно-лиственных лесов подзоны подтайги /

- В.А. Боев, В.В. Боев // Вестник Омского государственного аграрного университета, 2017. - № 1. – С. 43-49.
24. Боев В.А. Ртуть в листовом опаде подтаежных лесов на фоновой территории / В.А. Боев, Н.В. Барановская, В.В. Боев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – №. 8. – С. 124-131.
25. Бокарев Д.В. Экологические проблемы загрязнения урбазкосистем нефтепродуктами (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского университета. – 2000. – Вып. (5) 10. – С. 232-235.
26. Бочаров В.Л. Эколого-геохимические особенности загрязнения нефтепродуктами территории станции Графская Юго-Восточной железной дороги / В.Л. Бочаров, М.А. Овсянников // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2003. – №2. – С. 191–199.
27. Бузмаков С.А. Формирование природно-техногенных экосистем на территории нефтяных месторождений (на примере Пермского края) / С.А. Бузмаков, С.А. Кулакова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. - №1. – С. 20–24.
28. Ваймер А.А. Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах и сельскохозяйственной продукции Северного Зауралья / Автореф. дис. ... докт. биол. наук: 06.01.03 // Ваймер Александр Александрович. - Тюмень, Тюменская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. – 36 С.
29. Валеева Э.Т. Профессиональные заболевания и интоксикации, развивающиеся у работников нефтехимических производств в современных условиях / Э.Т. Валеева, А.Б. Бакирова, Л.К. Каримова, Р.Р. Галимова // Экология человека. – 2010. – №. 3. – С. 19-23.
30. Валеева Э.Т. Состояние здоровья лаборантов современных нефтехимических производств / Э.Т. Валеева, М.К. Гайнуллина, Л.К. Каримова, А.Б. Бакирова, М.Ф. Кабирова // Казанский медицинский журнал. – 2008. – Т. 89. – №. 4. – С. 534-538.
31. Васильченко А.В. Оценка токсического загрязнения почв нефтепродуктами в результате деятельности автозаправочных станций с использованием метода биотестирования / А.В. Васильченко, Л.В. Галактионова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20676> (дата обращения: 20.10.2019).
32. Васильченко А.В. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами / А.В. Васильченко, Т.С. Воеводина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10 (185). – С. 147–151.
33. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 1 / АН СССР. - М.: изд-во АН СССР, 1954. – 696 с.
34. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Изд-во АН СССР, 1965. – 374 с.



35. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. - 1962. - № 7. - С. 555-571.
36. Власов Д.В. Индикация по снежному покрову воздействия ОАО «Славнефть-ЯНОС» на ландшафты пригорода г. Ярославля для оценки экологического риска / Д. В. Власов, Д.Л. Голованов, Т.С. Кошовский, Г.А. Малахов, Т.Э. Минасян, А.В. Хлынина, Н.А. Чекменева, Л.В. Ястребова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2011. – №. 4. – С. 402-408.
37. Водяницкий Ю.Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах (обзор литературы). Почвоведение. – 2009. - № 5. – С. 551-559.
38. Водяницкий Ю.Н. Роль соединений железа в закреплении тяжелых металлов и металлоидов в почвах (обзор литературы) // Почвоведение. – 2010. - № 5. – С. 558-572.
39. Водяницкий Ю.Н. Соединения As, Pb и Zn в загрязненных почвах (по данным EXAFS-спектроскопии — обзор литературы) // Почвоведение. – 2006. - № 6. – С. 681-691.
40. Водяницкий Ю.Н. Состояние и поведение природных и техногенных форм As, Sb, Se, Te в рудных отвалах и загрязненных почвах (обзор литературы). Почвоведение. – 2010. - № 1. – С. 37-46.
41. Водяницкий Ю.Н. Формы цинка в загрязненных почвах (обзор литературы) // Почвоведение. – 2010. - № 3. – С. 293-302.
42. Водяницкий Ю.Н. Химические аспекты поведения урана в почвах (обзор литературы) // Почвоведение. – 2011. - № 8. – С 940-952.
43. Водяницкий Ю.Н., Роль соединений железа в закреплении тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных и дерново-подзолистых почвах в районе г. Пермь / Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев, М.Н. Власов, В.В. Коровушкин // Почвоведение. – 2009. - № 7. – С. 794-805.
44. Водяницкий Ю.Н. Распределение редкоземельных (Y, La, Ce) и других тяжелых металлов в профиле почв подзолистого ряда / Ю.Н. Водяницкий, С.В. Горячкин, А.Т. Савичев // Почвоведение. – 2011. - № 5. – С. 546-555.
45. Волков И.А. Покровные лессовые отложения и палеогеография юго-запада Западной Сибири в плиоцен-четвертичное время / И.А. Волков, В. С. Волкова, И.И. Задкова. – Новосибирск: Наука, 1969. – 332 с.
46. Габов Д.Н. Критерии оценки загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами / Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко, Е.В. Яковлева // Экология и промышленность России. – 2008. – № 11. – С. 42–45.
47. Гаджиев И.М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири. - Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1982. - 280 с.
48. Гаев А.Я. Процессы техногенеза в районах добычи и переработки нефти и газа / А.Я. Гаев, Д.А. Альбакасов, А.В. Малкин, И.Е. Клейменова, Н.Г. Беликова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. - № 5. – С. 39-41.

49. Гайнуллина М.К. Критерии нарушения репродуктивного здоровья женщин-работниц нефтехимической отрасли промышленности / М.К. Гайнуллина, Э.Т. Валеева, А.Х. Якупова, К.Ф. Сафина // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2009. – № 1. – С.107-110.
50. Галиев М.А. Экология Башкортостана / М.А. Галиев, Э.Ф. Шаретдинов. – Уфа: Изд-во «Республиканский учебно-научный методический центр Госкомитета РБ по науке, высшему и среднему профессиональному образованию». 2001. – 344 с.
51. Галинуров И.Г. Техногенные потоки нефтяных углеводородов в поймах рек Республики Башкортостан / И.Г. Галинуров, А.М. Сафаров, Р.М. Хатмуллина, Т.П. Смирнова // Вода: Химия и экология. – 2014. – № 5. – С. 3–11.
52. Галинуров И.Г. Техногенные потоки нефтяных углеводородов в поймах рек Республики Башкортостан / И.Г. Галинуров, А.М. Сафаров, Р.М. Хатмуллина, Т.П. Смирнова // Вода: Химия и экология. – 2014. – № 5. – С. 3-11.
53. Гарманова Т.В. Мониторинг загрязнения снежного покрова пылеаэрозолями в городе Тюмень / Т.В. Гарманова, Н.С. Ларина // Вестник Тюменского государственного университета, № 7. – 2012. – С. 55-62.
54. Гвоздецкий Н.А. и др. Схема физико-географического районирования Тюменской области. - В кн.: Физико-географическое районирование Тюменской области. - М.: - 1973. – 247 с.
55. Гельдымамедова Э.А. Тяжелые металлы в почвах и овощных культурах г. Павлодара республики Казахстан // автореферат дис. ... кандидата биологических наук. – Новосибирск, 2007. – 24 с.
56. Геннадиев А.Н. География почв с основами почвоведения: Учебник / А.Н. Геннадиев, М.А. Глазовская. - М.: Высш. шк., 2005. - 461 с.: ил.
57. Геологическая карта Тюменской области (южные районы). Масштаб 1:2500000. URL: [https://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya\\_obl/f\\_05\\_GK\\_2500.jpg](https://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya_obl/f_05_GK_2500.jpg) (дата обращения 20.10.2019)
58. Герасько Л.И. Подтайга Западной Сибири: ландшафтно-динамические аспекты // Сибирский экологический журнал. – 2007. - № 5. – С.719-724.
59. Гладкова Н.С. Модель распределения валовой ртуты в профиле лесных подзолистых почв / Н.С. Гладкова, М.С. Малинина // Почвоведение. – 2005. - № 8. – С. 960-968.
60. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: (Учеб. пособие для ун-тов по спец. "География") / М.А. Глазовская. - М.: Высш. шк., 1988. - 327, (1) с.: ил., карт.; 21 см.
61. Горбатов В.С. О выборе экстрагента для вытеснения из почв обменных катионов тяжелых металлов / В.С. Горбатов, Н.Г. Зырин // Вест. МГУ. Сер. Почвовед. – 1987. - № 2. – С. 22-26.

62. Горобцова О.Н. Роль почвенного покрова в миграции и аккумуляции полициклических ароматических углеводородов при техногенном загрязнении / О.Н. Горобцова, О.Г. Назаренко, Т.М. Минкина, Н.И. Борисенко, А.В. Ярошук // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2005. - № 1. – С. 73–79.
63. Горшенкин К.П. Почвы южной части Сибири - М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 592 с.
64. Госсен Л.П. Экологические проблемы нефтегазового комплекса / Л.П. Госсен, Л.П. Величина // Нефтехимия: Обзор. – 2006. – Т. 46, № 2. – С. 83–88.
65. ГОСТ Р. 12536-2014. Грунты // Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Москва. Стандартинформ, 2015 – 22 с.
66. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в ... году / Гос. ком. по охране окружающей среды Иркутс. обл. – Иркутск: (б. и.). 2007 г. - . - 2008. – 359 с.
67. Григор Г.Г. Природное районирование Западной Сибири / Г.Г. Григор, А.А. Земцов // «Вопр. геогр.», сб. 55. М., Изд-во АН СССР, 1961. – С. 82-90
68. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург. УрО РАН, 2009. – 383 с.
69. Гудовских М.В. Туризм в Тюменской области: потенциал и территориальная организация / автореф. дис.... канд. биол. наук: 25.00.24 // Гудовских Мария Владимировна. – Пермь, 2018. – 23 с.
70. Гуров В.И. Проект внутрихозяйственного устройства государственного заказника «Тюменский» / Н.А. Григорьев, К.В. Крюков. – Новосибирск, 1980. – 25 с.
71. Гусейнов А.Н. Экология города Тюмени: состояние, проблемы — Тюмень: Издательская фирма Слово, 2001. – 176 с.
72. Давыденко Н.М. Проблемы экологии нефтегазоносных и горнодобывающих регионов Севера России. - Новосибирск: Наука. Сибирские предприятия РАН, 1998. – 223 с.
73. Давыдова С.Л. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде / С.Л. Давыдов, В.И. Тагасов // Учеб. пособие. - М.: Изд-во РУДН, 2004. – 163 с.
74. Давыдова С.Л. Экологические проблемы нефтепереработки: учебное пособие / С.Л. Давыдова, В.В. Тепляков. - Москва: Изд-во РУДН, 2010. – 175 с.
75. Добежина Н.Л. Источники и динамика нефтяного загрязнения речных вод бассейна Оби в пределах Ханты-Мансийского автономного округа / Н.Л. Добежина, В.М. Калинин // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2000. – Т. 2. - № 1. – С. 14-28.
76. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. - М.: Мысль, 1983. – 272 с.
77. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студ. ВУЗов. М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

78. Добровольский Г.В. География почв: Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. - М.: Изд-во МГУ, Изд-во «Колосс», 2004. – 460 с.
79. Докучаев В.В. К учению о зонах природы. С-Петербург.: Типография Спб. градоначальства, 1899.
80. Дорожукова С.Л. Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области // автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 // Дорожукова Светлана Леонидовна. – Москва, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2004. – 28 с.
81. Евсеева Л.С. Геохимия урана в зоне гипергенеза / Л.С. Евсеева, А.И. Перельман, К.Е. Иванов. М.: Атомиздат, 1974. – 216 с.
82. Ермаков В.В. Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы / В.В. Ермаков, Ю.В. Ковальский // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. — Т. 1. — Институт водных и экологических проблем СО РАН Барнаул, 2015. — С. 8–12.
83. Ермохин А.И. Руководство по оценке загрязнения объектов окружающей природной среды химическими веществами и методам их контроля. Учебное пособие / А.И. Ермохин, Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков. - Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 96 с.
84. Есенжолова А.Ж. Биоиндикационная способность листьев древесных и кустарниковых насаждений для оценки загрязнения среды тяжелыми металлами в зоне действия металлургического комплекса / А.Ж. Есенжолова, М.С. Панин // Экология и промышленность России. – 2013. - № 7. – С. 49-53.
85. Есенжолова А.Ж. Биоиндикационный потенциал листьев древесных и кустарниковых растений г. Темиртау / А.Ж. Есенжолова, М.С. Панин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. - № 3 (19). – С. 160-168.
86. Желтобрюхов В.Ф. Экологическая безопасность процессов и производств в нефтегазовых комплексах: учебно-методическое пособие / В.Ф. Желтобрюхов, С.М. Леденев, Г.А. Севрюкова, Ю.Н. Картушина; ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – 112 с.
87. Жуйкова Т.В. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды / автореф. дис.... докт. биол. наук: 03.00.15., 03.00.05 // Жуйкова Татьяна Валерьевна. – Екатеринбург, 2009. – 40 с.
88. Жуйкова Т.В. Репродуктивная структура *Tagetes officinale* s.l. в условиях техногенного загрязнения среды / Т.В. Жуйкова, О.А. Северюхина // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии: материалы конф. Молодых ученых. – Екатеринбург: ИЭРЖ УрО РАН, 2001. – Вып. 2. – С. 79–83.
89. Журавлева Н.В. Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка / Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина, З.Р. Исмагилов, Е.Р.

- Хабибуллина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – №. 5. – С. 445-454.
90. Закирова З.А. Промышленная и экологическая безопасность ОАО «Башнефть-Уфанефтехим» / З.А. Закирова, Ф.А. Шахова, С.А. Бакиева // Уральский экологический вестник. – 2014. - № 2. – С. 21
91. Западная Сибирь (сер. «Природные условия и естественные ресурсы СССР»). М., Ишд-во АН СССР, 1963. – 490 с.
92. Захарова Е.В. Эколого-радиационное состояние природной среды Тюменской области / дис.... канд. биол. наук: 03.00.16 // Захарова Елена Викторовна. – Тюмень, 2006. – 134 с.
93. Зборищук Ю.Н. Среднее содержание В, Мп, Со, Сu, Zn, Vo и J в почвах европейской части СССР / Ю.Н. Зборищук, Н.Г. Зырин // Агрохимия. - 1974. - № 3. - С. 88-94.
94. Зволинский В.П. Влияние нефтяного загрязнения на состояние почв европейской части России / В.П. Зволинский, Е.К. Батовская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. - № 7. – С. 5-8.
95. Зонн С.В. Железо в почвах. - М.: Наука, 1982. – 209 с.
96. Зонн С.В. Почва как компонент лесного биогеоценоза. - В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М., 1964. – С. 322-410
97. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: в 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. - М.: Недра, 1994.
98. Изерская Л.А. Содержание и закономерности распределения микроэлементов в почвах Томского приобья / Автореф. Дис. ... канд. биол. наук // Изерская Л.А. - Новосибирск, 1979. - 18 с.
99. Ильин В.Б. К вопросу о разработке предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. – 1985. - № 10. – С. 94-101.
100. Ильин В.Б. О нормировании тяжелых металлов в почве // Почвоведение. – 1987. - № 11. – С. 87-94.
101. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. - Новосибирск: Наука, 1985. – 150 с.
102. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. - М.: Мир, 1989. – 440 с.
103. Каверина С.А. Почвенный аспект геоэкологического состояния ландшафтов, загрязненных нефтепродуктами / С.А. Каверина, К.В. Мячина // Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология, 2008. - № 1. – С. 83-87.
104. Калачникова И.Г. Исследование трансформации нефтяных углеводов в почвенной экосистеме, как основа оптимизации антропогенных воздействий на нее / И.Г. Калачникова, Е.И. Безенкова, Н.М. Колесникова // Научные труды института экологии и генетики микроорганизмов УрОРАН. Свердловск, 1999. – С. 99.
105. Калинин В.М. Вода и нефть (гидро-экологические проблемы Тюменского региона). Монография / Тюменский государственный университет. Тюмень, 2010. – 222 с.



106. Калинин В.М. Водно-экологические проблемы Тюменского региона // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2006. - № 5. – С. 33-46.
107. Калинин В.М. Водные ресурсы и водные проблемы Тюменского региона // Вестник Тюменского государственного университета. – 2005. - № 3. – С. 145-153.
108. Калинин В.М. Водные ресурсы Тюменской области (состояние, проблемы, перспективы) // Налоги. Инвестиции. Капитал. – 2003. - № 5-6. – С. 7.
109. Калинин В.М. Диффузионное загрязнение нефтепродуктами малых рек Среднего Приобья // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2001. – Т. 3. - № 4. – С. 384-393.
110. Калинин В.М. Источники загрязнения и пространственное распределение поллютантов в снежном покрове города Тюмени // В сборнике: Геоэкологические проблемы Тюменского региона Сборник. Российская Федерация, Министерство образования, Тюменский университет. Тюмень, 2008. – С. 3-16.
111. Калинин В.М. Поступление нефтепродуктов в речную сеть от рассредоточенных источников (по материалам Среднего Приобья) // Вестник Тюменского государственного университета. – 2001. - № 2. – С. 11-21.
112. Калинин В.М. Факторы формирования нефтяного загрязнения поверхностных и подземных вод природного парка «Кондинские озера» // Геоэкологические проблемы Тюменского региона Российская Федерация, Министерство образования, Тюменский университет. Тюмень, 2006. – С. 3-13.
113. Калинин В.М. Фоновое содержание нефтепродуктов в поверхностных и подземных водах (по материалам наблюдений в природном парке «Кондинские озера») // Проблемы природопользования в районах со сложной экологической ситуацией Материалы Межвузовской научной конференции. – 2003. – С. 127-129.
114. Калинин В.М. Формирование техногенного фона нефтяных углеводородов природных вод нефтегазовых месторождений // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2010. - № 7. – С. 137-146.
115. Калинин В.М. О фоновом содержании углеводородов в природных средах нефтегазовых месторождений Тюменской области / В.М. Калинин, Т.Л. Беспалова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2004. – Т. 6. - № 3. – С. 212-220.
116. Калинин В.М. Роль нефтепромыслового комплекса в формировании фоновых концентраций углеводородов на территории природного парка



- «Кондинские озера» / В.М. Калинин, Т.Л. Беспалова // Вестник Тюменского государственного университета. – 2004. - № 3. – С. 163-169.
117. Калинин В.М. Тяжелые металлы в снежном покрове города Тюмени и его окрестностей / В.М. Калинин, А.В. Соромотин // Геоэкологические проблемы Тюменского региона Тюменский государственный университет; под редакцией Калинина В.М. Тюмень, 2004. – С. 8-19.
118. Калинин В.М. Использование автоматизированных гидрологических комплексов при организации экологического мониторинга на нефтяных месторождениях / В.М. Калинин, В.Ю. Хорошавин, О.В. Гертер, А.Н. Знаменщиков, А.Г. Мальцев, Д.В. Пислегин // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2011. - № 12. – С. 150-159.
119. Камерилова Г.С. Экология города: урбоэкология. М.: Просвещение, 1997. – 192 с.: ил., карт.
120. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области, - Новосибирск: Наука, Сиб.отделение, 1990. – 286 с.
121. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. - М.: Лесн. Пром-сть, 1981. – 264 с.
122. Карпачевский Л.О. Курс лесного почвоведения. Учебное пособие для почвоведов университетов / Л.О. Карпачевский, Ю.Н. Ашинов, Л.В. Березин. - Изд-во: «Аякс», г. Майкоп, 2009. – 345 с.
123. Карпухин М.М. Влияние компонентов почвы на поглощение тяжелых металлов в условиях техногенного загрязнения / М.М. Карпухин, Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 2008. - № 11. – С. 1388-1398.
124. Касимов Н.С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Вестник Московского университета. География. – 2015. - № 2. – С. 7-17.
125. Качинский Н.А. Агрономия и почвоведение в Московском университете за 200 лет (1775–1955) // М.: Московский университет. – 1957. – С. 21.
126. Квашина Ю.А. Мониторинг почв и растительной продукции по содержанию тяжелых металлов на юге Тюменской области / автореф. дис. ... кандид. биол. наук: 06.01.03 // Квашина Юлия Анатольевна. - Тюмень, Тюменская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. – 18 с.
127. Киреева Н.А. Микробиологические грибы и актиномицеты в почвах, загрязненных нефтью // Эколого-флористические исследования по споровым растениям Урала. Свердловск. – 1990. – С. 51–56.
128. Кирюшин П.А. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России / П.А. Кирюшин, А.Ю. Книжников, К.В. Кочи, Т.А. Пузанова, С.А. Уваров. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. – 88 с.

129. Кичигин О.В. Потенциметрическое исследование устойчивости комплексов U(VI), Ni(II), Sr(II) с почвенными гумусовыми кислотами / О.В. Кичигин, О.А. Носова // Изв. вузов. Химия и хим. Технология. – 2004. – Т. 47. - № 1. – С. 94-96.
130. Классификация и диагностика почв СССР. М., К 47 «Колос», 1977. – 221 с.
131. Клос В.Р. Биогеохимические индикаторы зон экологического риска городских агломераций / В.Р. Клос, Э.Я. Жовинский // Пошукова та екологічна геохімія. – 2014. - № 1–2. – С. 14–15.
132. Князев С.Ю. Оценка влияния поллютантов Омского нефтеперерабатывающего завода на окружающую среду с помощью почвенной мезофауны // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19. – №. 5. – С.1304-1306.
133. Ковальский В.В. Геохимическая экология. - М.: Наука, 1974. – 300 с.
134. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианова. - М.: Наука, 1970. – 178 с.
135. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. Книга вторая. М.: Наука, 1973. – 474 с.
136. Ковда В.А. Образование вермикулитового минерала из компонентов грунтовой воды / В.А. Ковда, А.И. Трубин // Почвоведение. – 1977. - №6. – С. 99-104.
137. Ковригио В.П. Почвоведение с основами геологии / В.П. Ковригио, И.С. Кауричев, Л.М. Бурлакова. - М.: Колос, 2000. – 416 с.: ил.
138. Константинова Е.Ю. Валовые формы тяжелых металлов в поверхностном горизонте почв г. Тюмени // 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. В 2-х томах. Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – с. 805-807.
139. Константинова Е.Ю. Полициклические ароматические углеводороды в почвах промышленных и селитебных зон Тюмени / Е.Ю. Константинова, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Е.М. Антоненко, А.О. Константинов, В.Ю. Хорошавин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. - № 8. – С. 66–79.
140. Корнилович Б.Ю. Влияние фульвокислот на взаимодействие U(VI) с глинистыми компонентами почв / Б.Ю. Корнилович, Г.Н. Пшинко, И.А. Ковальчук // Радиохимия. – 2001. – Т. 43. - № 5. – С. 404-407.
141. Кочина Т.Я. Эколого-медицинские последствия загрязнения нефтепродуктами геологической среды / Т.Я. Кочина, Г.И. Кушникова // Гигиена и санитария. – 2008. - №4. – С.

142. Кремлева Т.А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав / Т.А. Кремлева, Т.И. Моисеенко, В.Ю. Хорошавин, А.А. Шавнин // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. - № 12. – С. 80-89.
143. Кремлева Т.А. Участие различных форм азота в биогеохимической трансформации нефтяных углеводородов в водной среде / Т.А. Кремлева, Л.П. Паничева // В сборнике: Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. Под редакцией: В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина. – 2018. – С. 80-89.
144. Крестьянникова Е.В. Химико-экологическая оценка загрязнения свинцом атмосферы города Тюмени / Е.В. Крестьянникова, В.В. Козлова, Н.С. Ларина, С.И. Ларин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. - № 5 (2). С. 679-684.
145. Криволицкий Д.А. Радиоэкология / Д.А. Криволицкий, А.И. Ильенко. – М.: Знание, 1971. – 32 с.
146. Криволицкий Д.А. Принципы экологического нормирования / Д.А. Криволицкий, Е.А. Федоров // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду: тез. докл. – Пушкино, 1984. – С. 104–106.
147. Кузин И.Л. Проблема оледенений Западно-Сибирской низменности / И.Л. Кузин, Н.Г. Чочиа // Основные проблемы изучения четвертичного периода. М.: Наука. – 1965. – С. 177-187.
148. Куранов П.Н. Загрязнение градопромышленных территорий нефтепродуктами и значение этого процесса для биосферы Земли / П.Н. Куранов, В.В. Алексашина, Т.М. Новикова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2016. - № 3 (15). С. 3-17.
149. Лагутин В.В. Защита атмосферы на объектах добычи и переработки природного газа, содержащего сероводород // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 3 – С. 61-62.
150. Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах — проблемы и методы изучения // Почвоведение. – 2002. - № 6. – С. 682-692.
151. Леденцова Е.Е. Оценка воздействия выбросов нефтеперерабатывающих производств на здоровье населения / Е.Е. Леденцова, Н.В. Зайцева, М.А. Землянова // Гигиена и санитария. – 2004. – № 1. – С.10-12.
152. Летувнинкас А.И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. и испр. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 290 с.: 92 ил., 103 табл.
153. Лобачева А.А. Влияние ОАО «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод» на почвенный и растительный покров прилегающих территорий / дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 // Лобачева Анна Анатольевна. – Самара, 2010. – 225 с.
154. Лыготин В.А. Эколого-геохимическое состояние ненарушенных болотных систем на территории Томской области (Западная Сибирь) / В.А.

- Льготин, О.Г. Савичев, О.Г. Савичева // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. - № 1. – С. 92-97.
155. Мазлова Е.А. Исследование воздействия объектов нефтепереработки на гидрологическое состояние территорий / Е.А. Мазлова, Д.О. Сидоренко, Ю.А. Анурина // труды РГУ Нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2011. - № 4 (265). – С. 195-203.
156. Макаренкова И.Ю. Сравнительный анализ экологического состояния водоемов, расположенных на территории нефтегазовых месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. - № 1. – С. 16-19.
157. Маликова И.Н. Корреляционные связи ртути в почвах и донных отложениях оз. Большое яровое / И.Н. Маликова, В.Д. Страховенко // Химия в интересах устойчивого развития. – 2017. – Т. 25. - № 2. – С. 195-203.
158. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае / М.А. Мальгин. – Новосибирск: Наука, 1978. – 272 с.
159. Малюга Д.П. К биогеохимии ртути в почвах и растениях / Д.П. Малюга, Р.Г. Никитина // Биогеохимия растений. Труды бурятского института естественных наук. – 1969. – Вып. 2. – С. 190-194.
160. Манская С.М. Связывание урана гуминовыми кислотами и меланоидами / С.М. Манская, Т.В. Дроздова, Т.Т. Емельянова // Геохимия. – 1956. - № 6. – С. 10-23.
161. Маракушев А.А. Образование нефтяных и газовых месторождений / А.А. Маракушев, С.А. Маракушев // Литология и полезные ископаемые. – 2008. – № 5. – С. 505-521.
162. Маркарова М.Ю. Оценка экологического состояния почв после нефтяного загрязнения и рекультивации / М.Ю. Маркарова, Е.М. Анчугова, Т.Н. Щемеленина, А.В. Молчанов // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: матер. IV всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. – Т. 3. – С.148-150.
163. Маркова А.А. Техногенное загрязнение промышленных территорий нефтью и нефтепродуктами / А.А. Маркова, Ю.Н. Мордвина // Молодая нефть: сб. статей. Всерос. молодежной науч.-техн. конф. нефтегазовой отрасли / отв. за выпуск О.П. Калякина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/oil2014/> (дата обращения 20.10.2019).
164. Маслов А.В. Распределение редких и рассеянных элементов в сырых нефтях ряда месторождений Западно-Сибирской и Волго-Уральской провинций / Ю.Л. Ронкин, В.Г. Изотов, К.Ш. Биглов, Л.М. Ситдикова // Литосфера. – 2015. – № 3. – С. 93-113.
165. Матвеев А.Н. Оценка воздействия на окружающую среду: учеб. пособие / А.Н. Матвеев, В.П. Самусенок, А.Л. Юрьев. - Иркутск: Изд-во Иркут. гос. Ун-та, 2007. – 179 с.

166. Мачулина Н.Ю. Геохимия окружающей среды (Текст): учеб. пособие. – Ухта: УГТУ, 2015. – 154 с.
167. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саев, Р.С. Смирнова (Утв. 15 мая 1990 г. № 5174-90). — М.: ИМГРЭ, 1990. – 17 с.
168. Методические указания по санитарной охране атмосферного воздуха в районах размещения предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (утв. Минздравом СССР 31.12.1982 N 2656-82). Москва. - Типография Минздрава СССР, 1982. – 38 с.
169. Методы изучения лесных сообществ. - СПб.: НИИХимии СПбГУ, М54 2002. – 240 с.
170. Микроэлементы в почвах СССР (подвижные формы). - М.: Изд-во МГУ, 1981. – 243 с.
171. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
172. Мильков Ф.Н. Природные зоны СССР. — М.: Мысль, 1977. — 293 с.
173. Моисеенко Т.И. Прогноз влияния возможного потепления климата на химический состав вод суши / Т.И. Моисеенко, Н.А. Гашкина, В.Ю. Хорошавин // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 441. - № 5. – С. 666-669.
174. Моисеенко Т.И. Биогехимическая индикация загрязнения металлами и радионуклидами в регионах нефтедобычи / Т.И. Моисеенко, С.Н. Гашев // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 447ю - № 5. - С. 557-560.
175. Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1998. – 112 с.
176. Мукатанов А.Х. Влияние нефти на свойства почв / А.Х. Мукатанов, П.Р. Ривкин // Нефтяное хозяйство. – 1980. – № 5. – С. 53–54.
177. Мухаматдинова А.Р. Оценка влияния предприятий нефтехимического комплекса на объекты окружающей среды / А.Р. Мухаматдинова, А.М. Сафаров, А.Т. Магасумова, Р.М. Хатмуллина // Георесурсы. – 2012. - № 8 (50). – С. 46-50.
178. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского университета. (Серия: Биология). – 2007. – № 5. – С. 135–141.
179. Ненашев А.А. Экологические аспекты транспортировки нефти и нефтепродуктов на территории Архангельской области // Экология человека. – 2005. - № 12. – С. 37-42.
180. Оборин А.А. Нефтезагрязненные биоценозы / А.А. Оборин, В.Т. Хмурчик, С.А. Илларионов. – Пермь: УрО РАН; Пермский государственный ун-т; Пермский государственный технический ун-т, 2008. – 511 с.
181. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. - М.: Недра, 1990. – 248 с.



182. Ознобихина А.О. Особенности накопления тяжелых металлов в почвах северной лесостепи районов Тюменской области / А.О. Ознобихина, Л.Н. Скипин, С.Г. Котченко, Е.В. Гаева, Е.В. Захарова // Вестник КрасГАУ. – 2018. - № 5. – С. 252-257.
183. Околелова А.А. Содержание бензапирена в почвенном покрове нефтеперерабатывающего предприятия / А.А. Околелова, А.С. Мерзлякова, В.П. Кожевникова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – Т. 30. – №. 3 (200). – С. 1-4.
184. Околелова А.А. Состояние почвенного покрова нефтеперерабатывающих заводов // А.А. Околелова, И.А. Куницына // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2010. – № 3. – С. 30–32.
185. Околелова А.А. Методы определения и расчета органических поллютантов в нефтезагрязненных почвах / А.А. Околелова, А.С. Карасева, И.А. Куницына // Фундаментальные исследования. – 2011. - № 8. – С. 687-689.
186. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. Учебное пособие, СПб, Издательство С.-Петербургского университета, 2004. – 266 с.
187. Основы промышленной экологии в нефтепереработке и нефтехимии: Учеб. пособие / Ю.Р. Абдрахимов, Р.Р. Хабибуллин, А.А. Рахматуллина. – Уфим. нефт. ин-т, 1991. – 138 с.
188. Охлопков А.С. Свойства товарной сырой нефти, позволяющие идентифицировать источник нефтяного загрязнения окружающей природной среды / дис. ... канд. хим. наук: 03.02.08 / Охлопков Алексей Сергеевич. – Нижний Новгород, – 2015. – 130 с.
189. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб: межгосударственный стандарт ГОСТ 17.4.3.01-2017: введен 01.01.19. М.: Стандартиформ, 2018. – 4 с.
190. Очерки геохимии человека: монография / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова и др.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.
191. Падавалов Ю.А. Экология нефтегазового производства. – М.: Инфа-Инженерия, 2010. – 416 с.
192. Пайметов Н.Г. Состояние вопроса загрязнения атмосферы предприятиями нефтепереработки // Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности: тезисы докладов 44-й Всерос. науч.-практ. конф. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – С. 39–42.
193. Панин М.С. Листья древесных растений как биоиндикаторы загрязнения атмосферы города Семей / М.С. Панин, А.Ж. Есенжолова // Экологические системы и приборы. – 2011. - № 10. – С. 43-47.
194. Панин М.С. Микроэлементный состав листьев *Betula pendula* Roth, произрастающих в горнодобывающих и урбопромышленных ландшафтах



- восточного Казахстана / М.С. Панин, Д.С. Жилкишинова, А.Ж. Есенжолова // Экология урбанизированных территорий. – 2012. - № 3. – С. 75-81.
195. Паничева Л.П. Биохимическая трансформация нефтяных углеводов в водах Западной Сибири / Л.П. Паничева, Т.И. Моисеенко, Т.А. Кремлева, С.С. Волкова // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2012. – № 12. – С. 38–48.
196. Паничева Л.П. Аккумуляция нефтепродуктов донными отложениями в фоновых водоемах Западной Сибири / Л.П. Паничева, Т.А. Кремлева, С.С. Волкова // Вестник Тюменского государственного университета. – 2013. - № 12. – С. 204.
197. Паничева Л.П. Биохимическая трансформация нефтяных углеводов в водах Западной Сибири / Л.П. Паничева, Т.И. Моисеенко, Т.А. Кремлева, С.С. Волкова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2012. - № 12. – С. 38-48.
198. Пархоменко В.В. Многолетняя оценка загрязнения атмосферного воздуха города Омска бенз(а)пиреном / В.В. Пархоменко, М.В. Кубарева // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 6-й международной научно-технической конференции (Омск, 25-30 апреля 2016 г.). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. – 214 с.
199. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. - М.: Недра, 1972. – С.
200. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М.: Недра, 1968. – 331 с.
201. Перельман А.И. Геохимия ландшафта и научные проблемы атомной промышленности // Вест. Моск. ун-та, Сер. 5, география. – 1996. – С. 22-27.
202. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. Издательство: Астрейя - 2000, 1999. – 610 с.
203. Перминова Т.А. Бром в почвах Томской области / Т.А. Перминова, Н.В. Барановская, Б. Ларатт, Л.В. Жорняк, А.Ф. Судыко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Т. 328. – № 2. – С. 36–45
204. Перхуткин В.П. Оценка степени влияния технологического процесса нефтепереработки на уровень загрязнения атмосферы жилой застройки / В.П. Перхуткин, З.И. Перхуткина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – №. 11. – С. 5-10.
205. Петрухин В.А. Фоновое загрязнение тяжелыми металлами природных сред в бассейне Верхней Волги // Мониторинг фонового загрязнения природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. – С. 147-165.
206. Петухов А.С. Анализ содержания тяжелых металлов в растениях из районов г. Тюмени с различной антропогенной нагрузкой / А.С. Петухов, Т.А. Кремлева, Н.А. Хритохин, Г.А. Петухова // Проблемы и мониторинг природных экосистем сборник статей V Всероссийской научно-

- практической конференции. Пензенский государственный аграрный университет, Межотраслевой научно-информационный центр; Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского. – 2018. – С. 114-118.
207. Петухов А.С. Активность каталазы травянистых растений в условиях загрязнения городской среды / А.С. Петухов, Н.А. Хритохин, Т.А. Кремлева, Г.А. Петухова // Самарский научный вестник. – 2019. – Т. 8. - № 1 (26). – С. 90-95.
208. Плеханова И.О. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах при увлажнении / автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.27 // Плеханова Ирина Овакимовна. – Москва, 2008. – 49 с.
209. Позолотина В.Н. Отдаленные последствия действия радиации на растения. – Екатеринбург: Академкнига, 2003. – 244 с.
210. Позолотина В.Н. Пути адаптации растительных популяций к токсическому загрязнению среды / В.Н. Позолотина, Е.В. Антонова, В.С. Безель // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы III Междунар. конф., г. Томск, 23 – 27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – С. 456–459.
211. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия элементов, нозогеография юга Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, 1992. – 168 с.
212. Полевой определитель почв / Мин-во сел. хоз-ва УССР и др.; под ред. Полупана Н.И. и др. - К.: Урожай, 1981. – 320 с.
213. Полозов М.Б. Экология нефтегазодобывающего комплекса: учебно-методическое пособие / М.Б. Полозов. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. – 174 с.
214. Потапова Т.М. Фоновые показатели эколого-геохимического состояния вод верховых болот в таежной зоне на территории Российской Федерации / Т.М. Потапова, М.Л. Марков, А.П. Носаль, О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. - № 9. – С. 83–92.
215. Почвоведение. Учеб. для ун-тов. В 2 ч. / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 2. Типы почв, их география и использование / Л.Г. Богатырев, В.Д. Васильевская, А.С. Владыченский и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 368 с: ил.
216. Почвы СССР / Т.В. Афанасьева, В.И. Василенко, Т.В. Терешина, Б.В. Шеремет; Отв. ред. Г.В. Добровольский. - М.: Мысль, 1979. – 380 с., карт., 16 л. ил.
217. Почвы Тюменской области / Л.Н. Каретин. - Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1990. – 286 с.
218. Прищепа Л.В. Дослідження впливу Кременчугського НПЗ на токсичність ґрунтів за ростовим тестом / Л.В. Прищепа, Ю.І. Денісов, О.В. Новохатко // Вісник КДПУ. – 2006. – Випуск 6 (41). – Частина 1. – С. 117 – 119.

219. Прокаев В.И. Физико-географическое районирование Свердловской области в связи с районированием Урала и Западной Сибири / В.И. Прокаев, А.М. Оленев. М. Сиб. геогр. сб., № 1, Изд-во АН СССР, 1962. – С. 96-118.
220. Прохорова Н.В. Загрязнение природной среды тяжелыми металлами в зоне влияния нефтеперерабатывающего завода / Н.В. Прохорова, А.А. Лобочева // Антропогенная трансформация природной среды. – 2010 – С.153-159.
221. Пузырев А.А. Оценка воздействия ООО «РН-Комсомольский НПЗ» на литогенную основу с помощью ГИС «Surfer 12» // Сборники статей - вестник научного общества студентов, аспирантов и молодых ученых Вестник научного общества студентов, аспирантов, молодых ученых сб. науч. статей. – Комсомольск-на-Амуре: АмГПУ, 2015. - № 2 – С. 92-102.
222. Рабинович З.И. Редкие и рассеянные химические элементы в почвах Молдавии / автореф. дис. ... канд. биол. наук// Рабинович З.И. – Кишинев, 1969. - 19 с.
223. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И.С. Ильина, Е.И. Лапшина, Н.Н. Лавренко и др. – Новосибирск: Наука, 1985. – 248 с.
224. Ревич Б.А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 4. – С. 87-99.
225. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. - Рига: Зинатне, 1982. – 304 с.
226. Рихванов Л.П. Содержание тяжелых металлов в почвах / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, С.И. Сарнаев. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 1993. – 85 с.
227. Ровинский Ф.Я. Фоновое содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в природных средах (по мировым данным) / Ф.Я. Ровинский, Л.В. Бурцева, Б.В. Пастухов // Мониторинг фонового загрязнения природных сред: (сборник) / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, Академия наук СССР, Лаборатория мониторинга природной среды и климата; ред.: Ю. А. Израэль, Ф. Я. Ровинский. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1982 – С. 14-35.
228. Рождественская Т.А. Тяжелые металлы и мышьяк в черноземах предгорий северного Алтая / Т.А. Рождественская, А.В. Пузанов // Мир науки, культуры, образования. – 2008. - № 1 (8). – С. 19-23.
229. Розанов Б.Г. Морфология почв: Учебник для высшей школы. - М.: Академический проект, 2004. – 432 с.
230. Савичев О.Г. Эколого-геохимическое состояние поверхностных водных объектов в Таз-Енисейском междуречье / О.Г. Савичев, Л.Г. Колесниченко, Е.В. Сайфулина // География и природные ресурсы. – 2011. - № 4. – С. 45-49.

231. Садов А.П. Экологические проблемы промыслов по добыче углеводородного сырья / А.П. Садов, П.П. Кречетов, С.С. Варущенко // Экологическая и промышленная безопасность. – 2008. - № 12. – С.116-119.
232. Саенко Г.Н. Металлы и галогены в морских организмах. - М.: Наука, 1992. – 200 с.
233. Сазонова О.В. Качественная и количественная оценка содержания специфических загрязнителей в почве санитарно-защитной зоны нефтеперерабатывающего предприятия / О.В. Сазонова, В.В. Сучков, Т.К. Рязанова, Т.В. Судакова, Н.М. Торопова, Д.С. Тупикова, А.К. Сергеев // Современные проблемы науки и образования. – 2017. - № 4. – С. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=26633> (дата обращения: 20.10.2019).
234. Сапрыкин Ф.Я. Геохимия почв и охрана природы. - Л.: Недра, 1984. – 231 с.
235. Сафаров А.М. Комплексная оценка воздействия предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли на природные воды и сопредельные среды / А.М. Сафаров, Р.М. Хатмуллина // Вода: химия и экология. – 2013. – № 10. – С. 3-13.
236. Сафаров А.М. Оценка и технология снижения негативного воздействия крупных нефтехимических комплексов на окружающую среду (На примере Республики Башкортостан) / дисс. ... докт. техн. наук: 03.02.08 / Сафаров Айрат Муратович. – Уфа, 2014. – 457 с.
237. Сванидзе И.Г. Воздействие техногенного галогенеза на водосборные ландшафты речных долин и водные системы (на примере юга Тюменской области) / И.Г. Сванидзе, Т.И. Моисеенко, А.С. Якимов, А.В. Соромотин // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. - № 1. – С. 94-103.
238. Сидорова Н.А. Методические подходы к организации мониторинга диффузного загрязнения водных объектов на территории нефтепромыслов (на примере месторождения уватской группы Тюменской области) / Н.А. Сидорова, В.М. Калинин // Проблемы региональной экологии. – 2010. - № 6. – С. 135-140.
239. Сиромля Т.И. К вопросу о подвижных формах соединений химических элементов в почвах // Сибирский экологический журнал. – 2009. - № 2. – С. 307-318.
240. Сиромля Т.И. Система форм соединений химических элементов в почвах и растениях юго-востока западной сибери / дис. ... докт. биол. наук: 03.02.08 // Сиромля Татьяна Ивановна. - Новосибирск, 2019. – 294 с.
241. Скипин Л.Н. Экологическая оценка урбаноземов на примере территорий города Тюмени / Л.Н. Скипин, А.Г. Берсенева // Аграрный вестник Урала. – 2014. - № 2 (120). – С. 41-44.
242. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты / В.Н.

- Позолотина, И.В. Молчанова, Е.Н. Караваева и др. – Екатеринбург: Гощицкий, 2008. – 204 с.
243. Соколова Е.Н. Редкие щелочные металлы в слюдах миароловых пегматитов жилы Шахдаринской (Юго-Западный Памир) / Е.Н. Соколова, С.З. Смирнов, Э.Н. Кунгулова, В.Н. Королюк // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. - № 5. – С. 83–96.
244. Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах / Т.А. Соколова, Т.А. Дронова, И.И. Толпешта // Учебное пособие. – Тула, Гриф и К, 2005. – 336 с.
245. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
246. Соромотин А.В. Техногенная трансформация природных экосистем таежной зоны в процессе нефтегазодобычи (на примере Тюменской области) / автореф. дис. ... докт. геогр. наук: 03.00.16 // Соромотин Андрей Владимирович. – Санкт-Петербург, С.-Петербург. гос. ун-т., 2007. – 48 с.
247. Справочник по удельным показателям выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для некоторых производств – основных источников загрязнения атмосферы. – СПб.: НИИ «Атмосфера»: МСЦ-В, 2005. – 125 с.
248. Степанов Е.Г. Влияние промышленных предприятий города Салавата на загрязнение снега, почвы и продуктов растениеводства / Е.Г. Степанов, Ф.А. Салимова, Р.М. Фасиков, М.А. Шафиков, А.А. Парахин, Н.А. Мулдашева // Фундаментальные исследования. – 2004. – № 5. – С. 51-54.
249. Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почв. - Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1976. – 106 с.
250. Страховенко В.Д. Геохимическая характеристика сапропелей Новосибирской области / В.Д. Страховенко, Н.А. Росляков, А.И. Сысо, Н.И. Ермолаева, Е.Ю. Зарубина, О.П. Таран, А.В. Пузанов // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. - № 3. – С. 336.
251. Суворова А.Б. Микробный пул как индикатор состояния почв на территориях, находящихся под воздействием нефтеперерабатывающих предприятий / А.Б. Суворова, Н.В. Верховцева // Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», Киров: Радуга-ПРЕСС. – 2016. – Т. 1. – С. 347-351
252. Судакова И.К. Эколого-токсикологическое состояние почв и сельскохозяйственной продукции юга Тюменской области / автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 // Судакова Ирина Константиновна. – Тюменский государственный университет. Тюмень, 2006. – 25 С.
253. Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Издательство: Наука, - 1972. – 424 с.; Т. 2. Проблемы болотоведения, палеоботаники и палеогеографии. Издательство: Наука, - 1973. – 356 с.; Т. 3. Проблемы фитоценологии. Издательство: Наука, - 1975. – 545 с.



254. Султанбаев А.С. Содержание урана в почвах и растениях Тянь-Шаня / А.С. Султанбаев, А.Ф. Григорьев // Совершенствование и возделывание сельскохозяйственных культур — научная основа интенсификации растениеводства в Киргизии. Фрунзе. — 1979. — Вып. 16. — С. 210-232.
255. Сысо А.И. Эколого-биогеохимическая оценка элементного и биохимического состава растительности антропогенно нарушенных экосистем (на примере *Achillea Millefolium L.*) / А.И. Сысо, Т.И. Сиромля, М.А. Мяделец, А.С. Черевко // Сибирский экологический журнал. — 2016. — Т. 23. — № 5. — С. 782-792.
256. Сысо А.И. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири / А.И. Сысо, В.Б. Ильин // Проблемы агрохимии и экологии. — 2008. — № 2. — С. 33-36.
257. Таловская А.В. Геохимия пылевой составляющей снегового покрова городских агломераций Западной Сибири / А.В. Таловская, Е.Г. Языков, Н.А. Осипова, В.В. Литау, Е.А. Филимоненко, Е.С. Торосян, Т.С. Шахова, Д.А. Володина, Е.А. Никулина // Современные направления развития геохимии: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. — Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2017. — 196 с.
258. Таскаев А.И. Закономерности распределения и миграции изотопов U, Th и Ra в почвенно-растительном покрове района повышенной естественной радиации / автореф. дис. ... канд. биол. наук // Таскаев Анатолий Иванович. — Сыктывкар, 1979. — 25 с.
259. Тентюков М.П. Особенности формирования загрязнения снежного покрова: морозное конденсирование техногенных эмиссий (на примере районов нефтедобычи в большеземельской тундре) // Криосфера Земли. — 2007. — № 4. — С. 31-41.
260. Тимошин А.Ф. Оценка проектных решений по технологическому перевооружению НПЗ на основе анализа эмиссий загрязняющих веществ / А.Ф. Тимошин, А.П. Николаев, А.Г. Бердников, А.М. Нитяговский // Приоритетные направления развития науки и образования: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 4 дек. 2015 г.) / редкол.: О.Н. Широков (и др.) — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. — С. 207-211.
261. Титов В.Н. Анализ негативного воздействия нефтеперерабатывающей промышленности на природные комплексы в условиях Саратовской области / В.Н. Титов, Н.В. Медведева // Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный социально-экономический университет". — 2014. — Т. 5 (54). — С. 107-110.
262. Титов В.Н. Основные экологические проблемы нефтяного комплекса Саратовской области / Титов В.Н. Д.А. Ходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2015. — № 3. — С. 35-40.



263. Ткалич С.М. Некоторые общие закономерности содержания химических элементов в золе растений. Биогеохимические поиски рудных. – Улан-Уде: Изд-во СО АН СССР, 1969. – 179 с.
264. Толочко В.А. Анализ основных источников загрязнения атмосферы на нефтеперерабатывающих предприятиях при сжигании топлива / В.А. Толочко, В.Д. Катин // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2016. – Т. 2. – С. 138-141.
265. Третьякова М.И. Динамика потока редкоземельных элементов из атмосферы на снежный покров на территории предприятий нефтехимической отрасли в г. Омске / М.И. Третьякова, В.В. Литау // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Межд. симп. им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск, 4-8 апреля 2016 г. – Т. 2. – Томск. – 2016. – С. 252-253.
266. Трофимов С.Я. Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы / С.Я. Трофимов, Я.М. Амосова и др. // Вест. МГУ. Сер. Почвоведение, 2000. – № 2. – С. 30–34.
267. Тяжелые металлы в системе почва-растение / Ильин В.Б. - Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1991. – 151 с.
268. Устинова О.Ю. Особенности соматической патологии детей, проживающих на территориях с развитой нефтеперерабатывающей промышленностью / О.Ю. Устинова, А.И. Аминова, О.А. Маклакова, П.З. Шур, Д.А. Кирьянова // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 10. – С. 25-28.
269. Фаухутдинов А.А. Влияние объектов нефтедобычи и нефтепереработки на качество природных вод / А.А. Фаухутдинов, В.И. Сафарова, В.П. Ткачев, А.Т. Магасумова, Г.Ф. Шайдулина, А.М. Сафаров, А.А. Колчина, Л.К. Шихова, Г.И. Теплова // Баш. хим. ж. – 2008. – Т.15. - №1. – С. 87-93.
270. Ферсман, А.Е. Геохимия. Т. 1. - Л.: Госхимтехиздат, Ленинград. отд-ние, 1933. – 328 с.
271. Физико-географическое районирование Тюменской области. Под редакцией проф. Н. А. Гвоздецкого. Издательство Московского университета, 1973. – 247 с.
272. Филиппов В.Н. Нефтепереработка и нефтехимия Башкортостана в экологическом разрезе / В.Н. Филиппов, Р.Н. Хлесткин // Нефтегазовое дело. – 2005. URL: <http://www.ogbus.ru> (дата обращения 20.10.2019)
273. Фомин Г.С. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам / Г.С. Фомин, А.Г. Фомин. Справочник. М.: Госстандарт России, 2001. – 300 с.
274. Фурсов В.З. Ртуть – индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. - М.: Недра, 1977. – 144 с.

275. Хазиев Ф.Х. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты экосистемы / Ф.Х. Хазиев, Е.И. Тишкина, Н.А. Киреева, Г.Г. Кузюметов // *Агрохимия*. – 1988. - № 2. – С. 56–61.
276. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой. М., 1975. – 206 с.
277. Хорошавин В.Ю. Ландшафтно-гидрологический анализ территории с целью оценки качества поверхностных вод в условиях средней тайги Западной Сибири / В.Ю. Хорошавин, В.М. Калинин, А.В. Лужецкая // В сборнике: *Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития материалы XII Международной ландшафтной конференции*. – 2017. – С. 439-444.
278. Хорошавин В.Ю. Вынос нефтяных углеводородов реками с территории нефтегазодобывающих районов севера Западной Сибири / В.Ю. Хорошавин, Т.И. Моисеенко // *Водные ресурсы*. – 2014. – Т. 41. - № 5. – С. 518-529.
279. Хренов В.Я. Почвы Тюменской области/Словарь-справочник. – Екатеринбург.: УрО РАН, 2002. – 156 с.
280. Чегринцев С.Н. Атомно-абсорбционный анализ: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Физико-химические методы анализа» для студентов IV курса, обучающихся по направлению 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики». Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 44 с.
281. Чернов В.П. О подзолистых песчаных почвах севера Пермской области // *Научн. тр. Перм. с.-х. ин-та*. – Пермь, 1961. – Т. ХУШ. – С. 103-123.
282. Шамраев А.В. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды / А.В. Шамраев, Т.С. Шорина // *Вестник Оренбургского государственного университета*. – 2009. – №6 (100). – С. 642–645.
283. Шатилов А.Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории Обского бассейна / автореф. ..., канд. геол.-мин. наук. – Томск, ТПУ, 2001. – 23 с.
284. Шахова Т.С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар) / дис. ..., канд. геол.-мин. наук. – Томск, ТПУ, 2018. – 192 с.
285. Шахова Т.С. Оценка загрязнения снежного покрова в зоне влияния предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (на примере г. Павлодара и г. Томска) (Электронный ресурс) / Т.С. Шахова, Е.А. Филимоненко // *Наука будущего - наука молодых: (Казань, 20-23 сентября 2016 г.): сборник тезисов участников форума: в 2 т.* – 2016. – Т. 2. – С. 174-177.
286. Шахова Т.С. Оценка ртутного загрязнения в окрестностях предприятий нефтехимического комплекса в зимний период (на примере г.

- Павлодара, Республика Казахстан) / Т.С. Шахова, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Е.А. Филимоненко, Е.Е. Ляпина // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – №. 12. – С. 16-25.
287. Шахова Т.С. Геохимическая характеристика твердого осадка снега в окрестностях нефтеперерабатывающих заводов России (гг. Омск, Ачинск) и Казахстана (г. Павлодар) / Т.С. Шахова, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. – Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2017. – с. 135-136.
288. Шестаков Ю.Г. Математические методы в геологии. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1988. – 205 с.
289. Шешукова Л.А. Оценка экотоксического воздействия на окружающую среду предприятий газоперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Л.А. Шешукова, Т.А. Мирюгина, Т.А. Косьяненко // Экология и промышленность России. – 2015. – №. 8. – С. 40-46.
290. Шигабаева Г.Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2015. – Т. 1. - № 2 (2). – С. 92-102.
291. Широков С.Н. Воздействие предприятий нефтепереработки и газовой промышленности на окружающую среду. Пути снижения выбросов вредных веществ в атмосферу // Экологический вестник России. – 2009. - № 11. – С. 2-9.
292. Шоба С.А. Минералогический состав почв южно-таежной подзоны Западной Сибири // Почвоведение. – 1972. – Т. 1. – №. 9. – С. 112-125.
293. Язиков Е.Г. Минералогия техногенных образований: учебное пособие / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.
294. Язиков Е.Г. Состав пылеаэрозолей и оценка экологического риска в зоне влияния предприятий нефтегазового комплекса / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Н.А. Осипова, Е.А. Филимоненко // Газовая промышленность. – 2013 – №. 12 (699). – С. 82-85.
295. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири / дис. ... докт. геол.-мин. наук: 25.00.36 // Язиков Егор Григорьевич– Томск, 2006. – 423 с.
296. Якуцени, С.П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков / С.П. Якуцени. – Недра, 2005. – 372 с.
297. Ярошевский А.А. Кларки геосфер // Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. – С. 7–14.
298. Alonso-Hernández С.М. Heavy metal content of bottom ashes from a fuel oil power plant and oil refinery in Cuba / С.М. Alonso-Hernández, J. Bernal-

- Castillo, Y. Bolanos-Alvarez, M. Gómez-Batista, M. Diaz-Asencio // *Fuel*. – 2011. – T. 90. – №. 8. – P. 2820-2823.
299. Ames L.L. Radionuclide interactions with soil and rock media: U. S. Environmental Protection Agency / L.L. Ames, D. Rai // Report EPA 520/6-78-007A. – 1978. – V. 1. – 306 p.
300. Andersson A. The distribution of heavy metals and soil material as influenced by the ionic radius // *Swed. J. Agr. Res.* – 1977. – Vol. 7 - № 2. – P. 79 – 83.
301. Baltrenas P. Atmospheric BTEX concentrations in the vicinity of the crude oil refinery of the Baltic region / P. Baltrėnas, E. Baltrėnaitė, V. Šerevičienė, P. Pereira // *Environmental monitoring and assessment*. – 2011. – T. 182. – №. 1. – P. 115-127.
302. Baroja O. Speciation of volatile aromatic and chlorinated hydrocarbons in an urban atmosphere using TCT-GC/MS / O. Baroja, E. Rodríguez, Z. Gomez de Balugera, A. Goicolea, N. Unceta, C. Sampredo, A. Alonso & R.J. Barrio // *Journal of Environmental Science and Health*. – 2005. – T. 40. – №. 2. – P. 343-367.
303. Borda M.J. Kinetics and mechanism of sorption-desorption in soils: a multiscale assessment / M.J. Borda, D.L. Sparks // *Biophysico-chemical processes of heavy metals and metalloids in soils environments* / Eds.: A. Violante, P.M. Huang and G.M. Cadd. USA: F.J. Willey & Sons, 2007. – P. 97 – 124.
304. Bosco M.L. Case study: inorganic pollutants associated with particulate matter from an area near a petrochemical plant / M.L. Bosco, D. Varrica, G. Dongarra // *Environmental Research*. – 2005. – T. 99. – №. 1. – P. 18-30.
305. Bowen H.J.M. *Environmental Chemistry of the Elements*. – N.Y.: Acad. Press, 1979. – 333 p.
306. Bowen H.J.M. *Trace elements in biochemistry*. – Ld. – N.Y.: Acad. Press, 1966. – 301 P.
307. Bozlaker A., et al. Insights into PM10 sources in Houston, Texas: Role of petroleum refineries in enriching lanthanoid metals during episodic emission events. *tm. Env.* 2013. – P. 109-117.
308. Brannon J.M. Fixation and mobilization of antimony in sediments / J.M. Brannon, W.H. Patrick // *Environ. Pollut.* – 1985. – V. 9. – P. 107–126.
309. Buzcu-Guven B. Comparison of VOC emissions inventory data with source apportionment results for Houston, TX / B. Buzcu-Guven, M.P. Fraser // *Atmospheric Environment*. – 2008. – T. 42. – №. 20. – P. 5032-5043.
310. Cetin E. Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery / E. Cetin, M. Odabasi, R. Seyfioglu // *Science of the Total Environment*. – 2003. – T. 312. – №. 1. – P. 103-112.
311. Chan C.C. Workers' exposures and potential health risks to air toxics in a petrochemical complex assessed by improved methodology / C.C. Chan, R.H.

- Shie, T.Y. Chang, D.H. Tsai // *International archives of occupational and environmental health*. – 2006. – T. 79. – №. 2. – P. 135-142.
312. Columella. *On Agriculture*. Volume II. Books 5–9 (Loeb Classical Library 407). Cambridge — MA: Harvard University Press, 1954. – P. 230-319.
313. Crecelius E.A. Geochemistries of arsenic, antimony, mercury, and related elements in sediments of Puget Sound / E.A. Crecelius, M.N. Bothner, R. Carpenter // *Environ. Sci. Technol.* – 1975. – V. 9. – P. 325–333.
314. De la Campa A. M. S. Size distribution and chemical composition of metalliferous stack emissions in the San Roque petroleum refinery complex, southern Spain / A.M.S. de la Campa, T. Moreno, J. de la Rosa, A. Alastuey, X. Querol // *Journal of hazardous materials*. – 2011. – T. 190. – №. 1. – P. 713-722.
315. Domínguez-Morueco N. Monitoring PAHs in the petrochemical area of Tarragona County, Spain: comparing passive air samplers with lichen transplants / N. Domínguez-Morueco, S. Augusto, L. Trabalón, E. Pocurull, F. Borrull, M. Schuhmacher, J.L. Domingo, M. Nadal // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – T. 24. – №. 13. – P. 11890-11900.
316. Du L. Using PM 2.5 lanthanoid elements and nonparametric wind regression to track petroleum refinery FCC emissions / L. Du, J. Turner // *Science of The Total Environment*. – 2015. – T. 529. – PP. 65-71.
317. El Bilali L. Role of sediment composition in trace metal distribution in lake sediments / L. El Bilali, P.E. Rasmussen, G.E.M. Hall, D. Fortin // *Appl. Geochem.* – 2002. – V. 17. – P. 1171–1181.
318. *Environmental Geochemistry and Health* / Ed. S. Bowie, I. Thornton. – Dordrecht; Boston; Lancaster: Reidel Publishing Company. 1984. – 140 p.
319. Epstein A.C. The Human Health Implications of Oil and Natural Gas Development // *Environmental Issues Concerning Hydraulic Fracturing*. – 2017. – T. 1. – P. 113.
320. Fernando A.W. Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution / A.W. Fernando, A. Muller, L.E. Busi, N. Cianni, L. Massolo, U. Schlink, A. Porta, P.D. Sly // *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2009 – № 123.3 – V. 123. – P. 632–638.
321. Finck A. *Fertilizers and Fertilization*. – Weinheim et al.: Verlag Chemie, 1982. – 438 p.
322. Gashev S.N. Heavy metals and radionuclides as a risk factor for biota in environmental monitoring of the Tyumen region / S.N. Gashev, T.I. Moiseyenko // *Tyumen State University Herald*. 2012. - №. 12. – P. 23-33.
323. Gariazzo C. et al. Monitoring and analysis of volatile organic compounds around an oil refinery // *Water, air, and soil pollution*. – 2005. – T. 167. – №. 1-4. – P. 17-38.
324. Goldberg S. Anion sorption on a calcareous montmorillonitic soil-arsenic / S. Goldberg, R.A. Glaubig // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1988. – V. 52. – P. 1297–1300.
325. Goldschmidt V.M. *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*. I – III. Kristiania. 1923 – P. 24.



326. Hsi C.-K.D. Adsorption of uranyl onto ferric oxyhydroxides: application of the surface complexation site-binding model / C.-K.D. Hsi, D. Langmuir // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1985. – V. 49. – P. 1931–1941.
327. Jafarinejad S. Control and treatment of sulfur compounds specially sulfur oxides (SO<sub>x</sub>) emissions from the petroleum industry: a review // *Chemistry International.* – 2016. – T. 2. – №. 4. – P. 242-253.
328. Jafarinejad S. Odours emission and control in the petroleum refinery: a review // *Current Science Perspectives.* – 2016. – T. 2. – №. 3. – P. 78-82.
329. Jain. A. Effect of competing anions on the adsorption of arsenate and arsenite by ferrigydrate / A. Jain., R.H. Loeppert // *J. Env. Qual.* – 2004. – V. 29. – P. 1422–1430.
330. Fortescue J.A.C. *Environmental geochemistry a holistic approach.* Springer-Verlag, 1980. – 347 p.
331. Jonasson I.R. Geochemistry of mercury and origins of natural contamination of the environment / I.R. Jonasson, R.W. Boyle // *Can. Mining. Met. Bull.* – 1972. – V. 65 (717). – P. 32-39.
332. Kaisarevic S. Characterization of dioxin-like contamination in soil and sediments from the “hot spot” area of petrochemical plant in Pancevo (Serbia) / S. Kaisarevic, K. Hilscherova, R. Weber, K.L. Sundqvist, M. Tysklind, E. Voncina, S. Bobic, N. Andric, K. Pogrmic-Majkic, M. Vojinovic-Miloradov, J.P. Giesy, R.Z. Kovacevic // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2011. – T. 18. – №. 4. – P. 677-686.
333. Kaisarevic S. Detection of dioxin-like contaminants in soil from the area of oil refineries in Vojvodina region of Serbia / S. Kaisarevic, N. Andric, S. Bobic, J. Trickovic, I. Teodorovic, M. Vojinovic-Miloradov, R.Z. Kovacevic // *Bulletin of environmental contamination and toxicology.* – 2007. – T. 79. – №. 4. – P. 422-426.
334. Kalabokas P.D. Atmospheric concentrations of saturated and aromatic hydrocarbons around a Greek oil refinery / P.D. Kalabokas, J. Hatzianestis, J.G. Bartzis, P. Papagiannakopoulos // *Atmospheric Environment.* – 2001. – T. 35. – №. 14. – P. 2545-2555.
335. Kaldor J. et al. Statistical association between cancer incidence and major-cause mortality, and estimated residential exposure to air emissions from petroleum and chemical plants / J. Kaldor, J.A. Harris, E. Glazer, S. Glaser, R. Neutra, R. Mayberry, V. Nelson, L. Robinson, D. Reed // *Environmental Health Perspectives.* – 1984. – T. 54. – P. 319-332
336. Kaohsiung Leukemia Research Group. Residential exposure to petrochemicals and the risk of leukemia: Using Geographic Information System tools to estimate individual-level residential exposure. *American Journal of Epidemiology.* – 2006. T – 164. – №. 3. – P. 200–207.
337. Khoroshavin V.Yu. Petroleum hydrocarbon runoff in rivers flowing from oil-and-gas-producing regions in Northwestern Siberia / V.Yu. Khoroshavin, T.I. Moiseenko // *Water resources.* – 2014. – V. 41. – I. 5. – P. 532-542.



338. Kluge E. Separation of  $^{230}\text{Th}$  (Ionium) from uranium ores in sulfuric acid and nitric acid solutions / E. Kluge, K.H. Lieser, I. Loc, S. Quandt // *Radiochem. Acta.* – 1977. – V. 24. – № 1. – P. 21–26.
339. Konstantinova E.Yu. Polycyclic aromatic Hydrocarbons in Soils of Industrial and Residential Areas of Tyumen / E.Yu. Konstantinova, S.N. Sushkova, T.M. Minkina, E.M. Antonenko, A.O. Konstantinov, V.Yu. Khoroshavin // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo-Assets Engineering.* – 2018. – V. 329. – Issue 8. – P. 66-79.
340. Krastinytė V. Analysis of snow-cap pollution for air quality assessment in the vicinity of an oil refinery / V. Krastinytė, E. Baltrėnaitė, A. Lietuvninkas // *Environmental technology.* – 2013. – T. 34. – №. 6. – P. 757-763.
341. Kremleva T.A. Geochemical features of natural waters of Western Siberia: trace element composition / T.A. Kremleva, T.I. Moiseenko, V.Yu. Khoroshavin, A.A. Shavnin // *Herald of Tyumen State University.* – 2012. – V. 12. – S. 80-89.
342. Kulkarni P. Lanthanum and lanthanides in atmospheric fine particles and their apportionment to refinery and petrochemical operations in Houston, TX / P. Kulkarni, S. Chellam, M.P. Fraser // *Atmospheric Environment.* – 2006. – T. 40. – №. 3. – P. 508-520.
343. Kulkarni P. Tracking petroleum refinery emission events using lanthanum and lanthanides as elemental markers for PM<sub>2.5</sub> / P. Kulkarni, S. Chellam, P. Fraser // *Environmental science & technology.* – 2007. – T. 41. – №. 19. – P. 6748-6754.
344. Lee M.H. Association of fallout-derived  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{239, 240}\text{Pu}$  with natural organic substances in soils / M.H. Lee, C.W. Lee // *J. of Environmental Radioactivity.* – 2000. – V. 47. – P. 253–262.
345. Leuz A.-K. Sorption of Sb (III) and Sb (V) to goethite: Influence on Sb (III) oxidation and mobilization / A.-K. Leuz, H. Monch, C.A. Johnson // *Environ. Sci. Technol.* – 2006. – V. 40. – P. 7277–7282.
346. Levy R. Adsorption and desorption of cadmium by synthetic and natural organo-claycomplexes / R. Levy, C.W. Francis // *Ibid.* – 1976. – V. 15. – P. 361–370.
347. Lewis R.C. Airborne concentrations of metals and total dust during solid catalyst loading and unloading operations at a petroleum refinery / R.C. Lewis, S.H. Gaffney, M.H. Le, K.M. Unice, D.J. Paustenbach // *International journal of hygiene and environmental health.* – 2012. – T. 215. – №. 5. – P. 514-521.
348. Li J. Distribution of heavy metals in agricultural soils near a petrochemical complex in Guangzhou, China / J. Li, Y. Lu, W. Yin, H. Gan, C. Zhang, X. Deng, J. Lian // *Environmental monitoring and assessment.* – 2009. – T. 153. – № 1-4. – P. 365-375.
349. Lin M.C. Adverse pregnancy outcome in a petrochemical polluted area in Taiwan / M.C. Lin, H.S. Yu, S.S. Tsai, B.H. Cheng, T.Y. Hsu, T.N. Wu, C.Y. Yang // *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A.* – 2001. – T. 63. – №. 8. – P. 565-574.

350. Luginaah I.N. Community reappraisal of the perceived health effects of a petroleum refinery / I.N. Luginaah, S.M. Taylor, S.J. Elliott, J.D. Eyles // *Social science & medicine*. – 2002. – T. 55. – №. 1. – P. 47-61.
351. Manceau A. Quantative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques / A. Manceau, M.A. Marcus, N. Tamura // *Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. Washington, DC. – 2002. – V. 49. – P. 341–428.
352. Manning B.A. Surface structures and stability of arsenic (III) on goethite: spectroscopic evidence for inner-sphere complexes / B.A. Manning, S.E. Fendorf, S. Goldberg // *Environ. Sci. Technol.* – 1998. – V. 32. – P. 2383–2388.
353. Markert B. *Plants as Biomonitors: Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment* VCH, Weinheim, FRGermany, 1993. – 644 p.
354. McCoy B.J. Characterizing Texas petroleum refining upset air emissions / B.J. McCoy, P.S. Fischbeck, D. Gerard // *Atmospheric Environment*. – 2010. – T. 44. – №. 34. – P. 4230-4239.
355. *Medical geology in Russia and the NIS* / eds O. Selinus, R.B. Finkelman, J.A. Centeno et al. // *Medical Geology a Regional Synthesis* / Series: International Year of Planet Earth. – New York: Springer Science; Business Media, 2010. – 559 p.
356. Mercury distribution across 14 U.S. forests. Part I: spatial patterns of concentrations in biomass, litter, and soils / D. Obrist, D.W. Johnson, S.E. Lindber, Y. Luo, O. Hararuk, R. Bracho, J.J. Battles, D.B. Dail, R.L. Edmonds, R.K. Monson, S.V. Ollinger, S.G. Pallardy, K.S. Pregitzer, D.E. Todd // *Environ. Sci. Technol.* – 2011. – V. 45. – P. 3974–3981.
357. Minkina T.M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Soils Within the Different Land Use: A Case Study of Tyumen, Russia / T.M. Minkina, S.N. Sushkova, E.Yu. Konstantinova, B.K. Yadav, S. Mandzhieva, A.O. Konstantinov, V.Yu. Khoroshavin, O. Nazarenko, E.M. Antonenko // *Polycyclic Aromatic Compounds*. Published Online 16.01.2019 URL: <https://doi.org/10.1080/10406638.2018.1540997> (дата обращения 20.10.2019)
358. Moiseenko T.I. Aquatic Geochemistry of Small Lakes: Effects of Environment Changes / T.I. Moiseenko, N.A. Gashkina, M.I. Dinu, T.A. Kremleva, V.Yu. Khoroshavin // *Geochemistry International*. – 2013. – V. 51. – № 13. – P. 1031–1148.
359. Montaño-Soto T. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient particulate matter PM<sub>2.5</sub> and 1-hydroxypyrene in children from an area near an oil refinery in Northeast Mexico / T. Montaño-Soto, L. Garza-Ocañas, C. Badillo-Castañeda, H. Garza-Ulloa // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. – 2017. – T. 23. – №. 1. – P. 125-140
360. Moreno T. Identification of FCC refinery atmospheric pollution events using lanthanoid and vanadium-bearing aerosols / T. Moreno, X. Querol, A.

- Alastuey, W. Gibbons // *Atmospheric Environment*. – 2008. – T. 42. – №. 34. – P. 7851-7861.
361. Mukerjee S. Spatial analysis of volatile organic compounds in South Philadelphia using passive samplers / S. Mukerjee, L.A. Smith, E.D. Thoma, K.D. Oliver, D.A. Whitaker, T. Wu, M. Colon, L. Alston, T.A. Cousett, C. Stallings // *Journal of the Air & Waste Management Association*. – 2016. – T. 66. – №. 5. – P. 492-498.
362. Murakami T. Mobility of uranium during weathering / T. Murakami, T. Ohnuki, H. Isobe, T. Sato // *Am. Mineral*. – 1997. – V. 82. – P. 888–899.
363. Nadal M. Metal pollution of soils and vegetation in an area with petrochemical industry / M. Nadal, M. Schuhmacher, J.L. Domingo // *Science of the total environment*. – 2004. – T. 321. – №. 1-3. – P. 59-69.
364. Oliveira R.L. Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon levels in the vicinity of a petrochemical complex located in a densely populated area of the Rio de Janeiro, Brazil / R.L. Oliveira, L.vVarandas, G. vArbilla // *Atmospheric Pollution Research*. – 2014. – T. 5. – №. 1. – P. 87–95.
365. Olmez I. Rare earths: atmospheric signatures for oil-fired power plants and refineries / I. Olmez, G. E., Gordon // *Science*. – 1985. – T. 229. – №. 4717. – P. 966-968.
366. Panicheva L.P. biochemical transformation of petroleum hydrocarbons in the waters of West Siberia / L.P. Panicheva, T.I. Moiseyenko, T.A. Kremleva, S.S. Volkova // *Tyumen State University Herald*. – 2012. - №. 12. – P. 34-43.
367. Park J. Factors related to the prevalence of respiratory symptoms in workers in a petrochemical complex / J. Park, C-G. Lee, S-Y. Ryu // *Journal of Occupational Health*. – 2006. V. 48. – P. 216–222.
368. Pasetto R. Mortality and morbidity study of petrochemical employees in a polluted site / R. Pasetto, A. Zona, R. Pirastu, A. Cernigliaro, G. Dardanoni, S.P. Addario, S. Scondotto, P. Comba // *Environmental Health*. – 2012. – P. 9-20.
369. Rao P.S. Measurement of particulate phase polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) around a petroleum refinery / Padma S. Rao, M. Faiyaz, Ansari, P. Pipalatkhar, A. Kumar, P. Nema, S. Devotta // *Environmental monitoring and assessment*. – 2008. – T. 137. – №. 1-3. – P. 387.
370. Rigol A. An overview of the effect of organic matter on soil-radiocesium interaction: implications in root uptake / A. Rigol, M. Vidal, G. Rauret // *J. of Environmental Radioactivity*. – 2002. – V. 58. – P. 191–216.
371. Robson A.D. Zinc in soil and plants. Klumer Acad. Publ. Australia. 1993. – 208 p.
372. Rumchev K. Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children / K. Rumchev, J. Spickett, M. Bulsara, M. Phillips, S. Stick // *Thorax*. – 2004. – T. 59. – №. 9. – P. 746-751.
373. Sarnela N. Sulphuric acid and aerosol particle production in the vicinity of an oil refinery / N. Sarnela, T. Jokinen, T. Nieminena, K. Lehtipalo, H. Junninen, J. Kangasluoma, J. Hakala, R. Taipale, S. Schobesberger, M. Sipilä, K. Larnima,

- H. Westerholm, J. Heijari, V.-M. Kerminen, T. Petäjä, M. Kulmala // *Atmospheric Environment*. – 2015. – T. 119. – P. 156-166.
374. Scheinost A.C. Quantitative antimony speciation in shooting-range soils by EXAFS spectroscopy / A.C. Scheinost, A. Rossberg, D. Vantelon, I.O. Xifra, R. Krezchmar, A.-K. Leuz, H. Funke, C.A. Johnson // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 2006. – V. 70. – P. 3299–3312.
375. Shuman L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions // *Soil Sci.* – 1979. – V. 127. - № 1. – P. 10–17.
376. Shacklette H.T. Element concentration in soils and other surficial materials of the Conterminous United States / H.T. Shacklette, J.G. Boernger // *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1984. – V. 1270. – 105 p.
377. Smargiassi A. Risk of asthmatic episodes in children exposed to sulfur dioxide stack emissions from a refinery point source in Montreal, Canada / A. Smargiassi, T. Kosatsky, J. Hicks, Céline Plante, B. Armstrong, Paul J. Villeneuve, S. Goudreau // *Environmental Health Perspectives*. – 2009. – T. 117. – №. 4. – P. 653.
378. Tarafdar A. Public health risk assessment with bioaccessibility considerations for soil PAHs at oil refinery vicinity areas in India / A. Tarafdar, A. Sinha // *Science of The Total Environment*. – 2018. – T. 616. – P. 1477-1484.
379. Taylor S.R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1964. - № 28. – P. 1273–1286.
380. Temmerman L.O. de. Determination of “normal” levels and upper limit values of trace elements in soils / L.O. de Temmerman, M. Hoenig, P.O. Scokart // *Z. Pflanzenernähr. und Bodenkunde*. – 1984. – Bd 147. – H. 6. – S. 687–694.
381. Tsunashima A. Adsorption of uranium from solutions by montmorillonite: compositions and properties of uranyl montmorillonites / A. Tsunashima, G.W. Brindley, M. Bastovanov // *Clays and Clay Miner.* – 1981. – V. 29. - № 1. – P. 10–16.
382. Ulman M. Volatile organic compounds: components, sources, determination. A review / M. Ulman, Z. Chilmonczyk // *Chemia analityczna*. – 2007. – T. 52. – №. 2. – P. 173-200.
383. Wei W. Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) emitted from a petroleum refinery in Beijing, China / W. Wei, S. Cheng, G. Li, G. Wang, H. Wang // *Atmospheric Environment*. – 2014. – T. 89. – P. 358–366.
384. Whitby L.M. Metals in soils of some agricultural watersheds in Ontario / L.M. Whitby, J. Gaynor, A.J. MacLean // *Can. J. Soil. Sci.* – 1978. – V. 58. - № 3. – P. 325–330.
385. Wilhelm S.M. Estimate of Mercury Emissions to the Atmosphere from Petroleum // *Environmental Science & Technology*. – 2001. – №. 24. – P. 4704–4710.
386. Yang C.Y. Female lung cancer mortality and sex ratios at birth near a petroleum refinery plant / C.Y. Yang, B.H. Chen, T.Y. Hsu, S.S. Tsai, C.F. Hung, T.N. Wu // *Environmental Research*. – 2000. – T. 83. – №. 1. – P. 33-40

387. Yang C.Y. Increased risk of preterm delivery among people living near the three oil refineries in Taiwan / C.Y. Yang, C.C. Changa, H.Y. Chuanga, C.K. Hob, T.N. Wub, P.Y. Changb // *Environment International*. – 2004. – V. 30. – I. 3. – P. 337–342.
388. Yang C.Y. Respiratory symptoms of primary school children living in a petrochemical polluted area in Taiwan / C.Y. Yang, J.D. Wang, C.C. Chan, J.S. Hwang, P.C. Chen // *Pediatric pulmonology*. – 1998. – T. 25. – №. 5. – P. 299–303
389. Yang C.Y. Sex ratio at birth associated with petrochemical air pollution in Taiwan / C.Y. Yang, S.S. Tsai, B.H. Cheng, T.Y. Hsu, T.N. Wu // *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. – 2000. – T. 65. – №. 1. – P. 126–131.
390. Zhang Z. Emission characteristics of volatile organic compounds and their secondary organic aerosol formation potentials from a petroleum refinery in Pearl River Delta, China / Z. Zhang, H. Wang, D. Chen, Q. Li, P. Thai, D. Gong, Y. Li, C. Zhang, Y. Gu, L. Zhou, L. Morawska, B. Wang // *Science of The Total Environment*. – 2017. – T. 584. – P. 1162–1174.
391. Zhao B. Characterization and quantification of PAH atmospheric pollution from a large petrochemical complex in Guangzhou: GC–MS/MS analysis / B. Zhao, S. Zhang, Y. Zhou, D. He, Yuqing Li, M. Ren, Z. Xu, J. Fang // *Microchemical Journal*. – 2015. – T. 119. – P. 140–144.
392. Официальный сайт Антипинский нефтеперерабатывающий завод. URL: <https://www.annpz.ru/> (дата обращения 20.10.2019)
393. URL: <https://oil-am.ru/our-projects/antipinsky-oil-refinery-cjsc.html> (дата обращения 20.10.2019)
394. Антипинский нефтеперерабатывающий завод. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%8B%D0%B2%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%8B%D0%B2%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4) (дата обращения 20.10.2019)
395. Энергаз. – Новости. – Отрасли ТЭК. - Антипинский НПЗ вышел на рекордную для России глубину переработки нефти – 98%. URL: <http://www.energyland.info/analitic-show-150762> (дата обращения 20.10.2019)
396. Тюмень Наш город.ру. – Антипинский НПЗ отмечает 10-й день рождения!. URL: <http://www.nashgorod.ru/news/news92180.html> (дата обращения 20.10.2019)
397. ЕвротЭК. – Справочник. – НПЗ России. – Антипинский НПЗ. URL: <http://www.eg-oil.ru/spravochnik/npz-rossii/antipinskiy-npz> (дата обращения 20.10.2019)
398. Архив погоды в Тюмени World Weather. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/tyumen/> (дата обращения 20.10.2019)



399. Форум Тюмень Наш город.ру. URL: <http://www.nashgorod.ru/forum/viewtopic.php?f=34&t=32331> (дата обращения 20.10.2019)
400. Карты Уральского федерального округа ВСЕГЕИ. URL: [http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya\\_obl/](http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/ufo/tyumenskaya_obl/) (дата обращения 20.10.2019)
401. Административно-территориальное деление Тюменской области. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE-%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%A2%D1%8E%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9\\_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE-%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%A2%D1%8E%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8) (дата обращения 20.10.2019)
402. Тюменская область. Урал в online. – Федеральные округа РФ. – Уральский Федеральный округ. URL: <https://uralvonline.ru/?id=fedokryga/yf-okryg3> (дата обращения 20.10.2019)
403. Сайт Geokniga. – Геологическая карта СССР (Тюменская область). URL: <http://local.www.geokniga.org/maps/2293> (дата обращения 20.10.2019)
404. Информационно-справочная система ООПТ России. – Тюменский заказник. URL: <http://oopt.info/index.php?oopt=547> (дата обращения 20.10.2019)