

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИИ АКАДЕМИИ НАУК МОНГОЛИИ

На правах рукописи



Цагааны Бямбасурэн

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ
ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
Г. УЛАН-БАТОР**

Специальность 1.6.21. Геоэкология

Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-
минералогических наук

Научный руководитель:
доктор физ.-мат. наук,
Шабанова Елена Владимировна

Улан-Батор – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ И МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
Краткая характеристика территории исследования.....	9
Общая характеристика территории Монголии.....	9
Улан-Батор – город богатой истории, разных возможностей и "песчаных дорог".....	11
Изучение элементного состава почвенного покрова и растений.....	26
Особенности пробоотбора почв в городских условиях.....	28
Анализ почв и растительных материалов при экологическом мониторинге территорий.....	30
Способы обработки геохимических данных.....	33
Выводы.....	47
ГЛАВА 2. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ СОПРЯЖЁННЫХ СРЕД "ПОЧВА – РАСТЕНИЕ" НА ТЕРРИТОРИИ Г. УЛАН-БАТОР.....	49
Отбор материала почв и растений на территории г. Улан-Батор.....	49
Составление рациональных схем химического анализа почвенно-растительного покрова г. Улан-Батор.....	57
Оценка применимости аналитических методов для определения элементного состава почв и растений.....	57
Рациональные схемы химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение".....	67
Выводы.....	68
Глава 3. ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	69
Статистический разведочный анализ почвенных показателей.....	69
pH почвы.....	70
Органический углерод.....	71
Кремний.....	71
Алюминий.....	72
Магний.....	73
Кальций.....	74
Железо.....	75
Титан.....	76
Натрий.....	76
Калий.....	77
Фосфор.....	78
Сера.....	79
Фтор.....	79
Барий.....	80
Стронций.....	81
Литий.....	82
Бор.....	83
Марганец.....	84
Никель.....	85
Кобальт.....	86
Ванадий.....	86
Хром.....	87
Вольфрам.....	88
Молибден.....	89
Олово.....	90

Бериллий.....	91
Галлий.....	91
Свинец.....	92
Медь.....	93
Цинк.....	94
Серебро.....	95
Сурьма.....	96
Мышьяк.....	97
Таллий.....	98
Германий.....	98
Висмут.....	99
Кадмий.....	100
Цирконий.....	100
Поведение и источники поступления макро- и микроэлементов в почву г. Улан-Батор.....	101
Связь макроэлементного состава почв с рН и $C_{орг}$	102
Связь макро- и микроэлементного состава почв.....	104
Выводы.....	112
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ Г. УЛАН-БАТОР	114
Индексная оценка состояния почв г. Улан-Батор.....	114
Индивидуальные индексы загрязнения почвенной среды.....	114
Комплексные индексы загрязнения почвенной среды.....	118
Цифровое почвенное картирование.....	120
Пространственное распределение уровней загрязнения почв по комплексным индексам.....	120
Источники поступления микроэлементов в почвах города.....	121
Выводы.....	123
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛАНДШАФТОВ Г. УЛАН-БАТОР ПО ДАННЫМ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ	125
Изучение городских сопряжённых сред "почва – растение".....	126
Распределение и перенос биофильных и токсичных элементов в растениях, произрастающих в городских и естественных условиях.....	134
Особенности переноса биофильных и токсичных элементов травяных растений одуванчик обыкновенный (<i>Taraxacum vulgare</i>) и чабрец ползучий (<i>Thymus serpyllum</i> L.) в фоновой почве.....	134
Особенности элементных профилей дикорастущего чабреца (<i>Thymus</i> L.) и зависимость от ландшафтно-климатических условий.....	135
Применение интегральных биохимических характеристик растений для оценки загрязнённости территорий их произрастания.....	141
Выводы.....	143
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	150
ПРИЛОЖЕНИЕ А.1	166
ПРИЛОЖЕНИЕ А.2	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.1	207
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.2	224

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Процесс урбанизации г. Улан-Батор, как и других мегаполисов, оказывает влияние на уровень техногенного загрязнения экосистемы. Однако выбор способа оценивания степени загрязнения почвенно-растительного покрова различными токсикантами и их соединениями по сей день является серьёзной проблемой. Благодаря современным методам химического анализа в природных средах можно определить большинство элементов Периодической таблицы Д.И. Менделеева, но вопрос о выборе аналитических методов/методик и их комбинации в рациональную схему для получения достоверных данных об элементном составе почв и растений до сих пор открыт.

Комплексное исследование биогеохимических особенностей в сопряжённой системе "почва – растение" включает установление закономерностей миграции и аккумуляции химических элементов (ХЭ) и их подвижных форм, оценку состояния почвенной среды, выделение источников загрязнения. В существующих отечественных и зарубежных исследованиях территории г. Улан-Батор отсутствует изучение влияния макроэлементного состава на поведение широкого круга химических элементов в сопряжённой системе "почва – растение".

Выводы о состоянии почвенной среды обычно основаны на разных статистических оценках, например, индексах загрязнения. В настоящее время предложено множество индексов, но условия их применимости при экологических исследованиях городских почв, и тем более растений, мало изучены. В связи с необходимостью нетривиальной обработки разноплановой первичной геохимической информации, применение многомерных методов статистического анализа (разведочный анализ данных, дисперсионный и дискриминантный анализ, вариации кластерного и факторного анализов) является перспективным для выявления ХЭ, обладающих схожим геохимическим поведением, особенностям их перераспределения в городских почвах. Поэтому остаётся необходимым и актуальным выявление оптимальных способов получения и структурирования первичных геохимических данных, а также способов и критериев оценки экологического состояния окружающей среды г. Улан-Батор для создания научно обоснованных моделей, позволяющих описать динамику изменения отдельных геохимических показателей, происходящих в системе "почва – растение".

Цель исследований заключалась в выявлении эколого-геохимических особенностей почвенно-растительного покрова г. Улан-Батор путём изучения взаимоотношения между макро- и микроэлементами; установлении источников поступления микроэлементов в поверхностные почвы и растения, а также интерпретации выявленных геохимических связей.

Для установления закономерностей миграции и аккумуляции химических элементов в почвенно-растительном покрове г. Улан-Батор было необходимо решить следующие задачи:

- изучить макро- и микроэлементный состав городских почв и растений, произрастающих на них, с целью определения валовых содержаний и форм нахождения биофильных и токсичных элементов;

- составить рациональные схемы анализа проб сопряжённых сред "почва – растение" для получения надёжной первичной геохимической информации при минимальных финансовых и временных затратах;
- сравнить и выбрать из индивидуальных и комплексных индексов загрязнения (PI , I_{geo} , Z_c и IPI – для почв; показателей фотосинтеза, интенсивности ферментогенеза и токсичности – для растений) наиболее полно описывающие экологическую ситуацию для городских почв и растений;
- оценить применимость статистических методов анализа и моделирования пространственных данных для установления источников загрязнения; построения карт загрязнения и выявления границ повышенного уровня загрязнения.

Объекты, методы и методология исследования, личный вклад соискателя

Материалом для исследований послужили образцы почв и растений, которые представляют компоненты сложной и постоянно изменяющейся части окружающей среды г. Улан-Батор. Более 600 образцов отобраны лично автором в 2010, 2011, 2017 и 2019 гг. с мест, имеющих разную степень антропогенной нагрузки. Пробы почв и растений приготовлены к аналитическим исследованиям лично автором. Валовый состав почв и растений, концентрации подвижных форм элементов, экстрагируемых аммонийно-ацетатным буфером из почв, определён методами атомно-эмиссионной, атомно-абсорбционной и рентгенофлуоресцентной спектрометрией в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. При выполнении работы получены и обработаны значения более 28 000 элементо-определений для макро- и микроэлементов. Степень загрязнения почв оценена с помощью индивидуальных и комплексных индексов загрязнения, и дополнительно с помощью интегральных биохимических характеристик растений. Источники загрязнения химическими элементами, а также направления миграции их подвижных форм установлены с помощью методов многомерного статистического анализа (разведочный анализ данных, вариации кластерного и факторного анализов). Все вычисления выполнены лично автором в программах Microsoft Office Excel 2013, STATISTICA 13 и ArcGIS 13.

Научная новизна

Установлены закономерности миграции и аккумуляции химических элементов в почвенно-растительном покрове г. Улан-Батор на основе аналитических данных, полученных с помощью разработанных рациональных схем анализа почв и растений. Выявлены структуры первичной геохимической информации, с помощью которых возможна характеристика элементного и вещественного составов почв, и построение карт с их пространственным распределением. Показано, что комплексный индекс загрязнения Z_c более чётко выделяет очаги накопления потенциально токсичных элементов и даёт более категоричные характеристики загрязнения почв г. Улан-Батор, чем комплексный индекс IPI . Продемонстрировано, что для надёжного выявления очагов заражения и поиска их источников необходимо сочетать индексный подход с геостатистическим оцениванием на основе факторного анализа (цифровое почвенное картирование). Оценено влияние генетических особенностей растений и природных ландшафтно-климатических условий на перенос микроэлементов в системе "почва – растение".

Практическая значимость

- По итогам опробования разных схем химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение" составлены рациональные схемы химического анализа, результаты применения которой обеспечили получение надёжной геохимической информации при минимальных финансовых затратах.
- По результатам 2010, 2011, 2017 и 2019 гг. выявлены районы города, подверженные загрязнению потенциально токсичными элементами.
- Установлены источники загрязнения и направления миграции химических элементов с помощью многомерного статистического анализа данных.
- Доказано преобладание генетической устойчивости растений вида *Thymus L.* на изменение элементного состава органов по сравнению с влиянием почвенно-климатических условий произрастания.
- Показана высокая контрастность показателя токсичности (отношение содержаний токсичного Pb и биофильного Mn элементов) для оценки экологического состояния по листьям (цветам) как травянистых, так и древесных растений.

Защищаемые положения

1. Предложенные рациональные схемы химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение" обеспечивают необходимым и достаточным объёмом данных процедуры геостатистического моделирования для установления распределения макро- и микроэлементов, выявления источников их поступления в эти среды.
2. Для корректной интерпретации экологической ситуации и классификации источников поступления микроэлементов в городские почвы с помощью многомерного статистического анализа структура аналитико-геохимических данных должна содержать информацию о макро- и микроэлементном составе, а также показателях рН и $C_{орг}$.
3. Для описания экологического состояния городских почв и растений, произрастающих на них, необходимо сочетание геостатистического картирования (поиск и выделение источников загрязнения) и вычисление двух индексов: комплексный индекс загрязнения почв (Z_c) и показатель токсичности для растений (отношение содержаний Pb/Mn). Оценивание степени загрязнения почв г. Улан-Батор выявило только точечные потенциально опасные участки.

Достоверность защищаемых положений

Объём собранного, проанализированного и обработанного фактического материала за многолетний период подтверждает достоверность результатов исследования. Отбор и подготовка материала выполнены в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019, МУ 2.1.7.730-99 и MNS 5850-2019. Контроль правильности и надёжности полученных аналитических результатов подтверждён анализом российских и международных стандартных образцов состава почв, золы углей, рыхлых и донных отложений, а также профессиональным тестированием. Корректность результатов обработки гарантирована применением современного математического аппарата и согласованностью с результатами эколого-геохимических наблюдений, выполненных ранее.

Исследования проведены в 2010-2019 гг. в рамках международных Договоров о научном сотрудничестве между Институтом геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск (Россия), и Институтом физики и технологии Академии наук Монголии, Улан-Батор (Монголия).

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты работы и представлены на конференциях и совещаниях: Всероссийское совещание Современные проблемы геохимии (Иркутск, 2012); Всероссийская конференция по аналитической спектроскопии (Туапсе, 2012); IX и XII Международная конференция «Окружающая среда и устойчивое развитие Монгольского плато и сопредельных территорий» (Улан-Удэ, 2013; Улан-Батор, 2016); Международная научно-практическая конференция «Социально-экологические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий» (Иркутск, 2018 и 2019); GMIT Symposium on Environmental Science and Engineering (Nalaikh, 2018); 2nd International conference on environmental science and technology (Ulaanbaatar, 2018); VII Всероссийский симпозиум «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XIV Всероссийское чтение памяти акад. А.Е. Ферсмана (Чита, 2018); 16th East Eurasia International Workshop – Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia (Ulaanbaatar, 2019); Всероссийская конференция «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 2019 и 2022); XIII Всероссийское петрографическое совещание (Иркутск, 2021).

Основные результаты по теме диссертации изложены в 22 печатных работах, четыре из которых проиндексированы международными базами данных (Scopus, WoS и RSCI) и две опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность за всестороннюю поддержку на всех стадиях подготовки научной работы научному руководителю д.ф.-м.н Шабановой Е.В., д.т.н. Васильевой И.Е, д.г.-м.н. Королькову А.Т. и к.т.н. Б. Хуухэнхуу. Автор выражает особую благодарность за проведение аналитических исследований сотрудникам ИГХ СО РАН д.т.н. Васильевой И.Е, д.х.н. Гуничевой Т.Н., к.х.н. Пройдаковой О.А., вед. инж. Долгих П.Т. и вед. инж. Чернышовой О.М., а также за помощь в обработке и графическом представлении первичной геохимической информации сотруднику ИФиТ АНМ Очирбату Г.

Структура и объём работы

Диссертационная работа изложена на 232 страницах; состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (256 источника) и четырёх приложений. Работа содержит 57 рисунков и 29 таблиц.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология, в частности разделам:

1. Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов;

5. Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны;

14. Научные основы организации геоэкологического мониторинга природотехнических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗУЧАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ И МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Краткая характеристика территории исследования

Общая характеристика территории Монголии

Территория Монголии занимает площадь 1 564 116 км². Рельеф представляет равнину со слабо расчленённой поверхностью, ограниченную отчётливыми уступами от соседних равнинных пространств, возвышенную над уровнем моря на 900-1 500 м, так называемую Монгольское плато. Протяжённость страны с севера на юг составляет 1 260 км, а с запада на восток – 2 400 км. (рис.1.1)

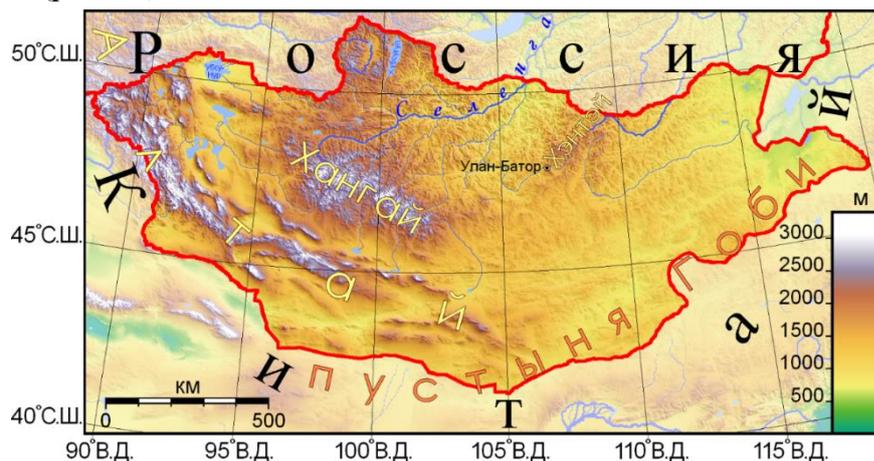


Рисунок 1.1. Физическая карта Монголии

Равнина обрамлена горными массивами и хребтами, которые занимают 42.5 % общей площади Монголии. Хребты Монгольского Алтая с горными вершинами высотой до 3 000-4 000 м, растянулся на 900 км по западной и юго-западной части территории страны, являются самыми высокими. Высшая точка Монгольского Алтая – пик Куйтэн-Уул (Найрамдал) высотой 4 370 м. Продолжением этого горного массива являются более низкие хребты, получившие общее название Гобийский Алтай и не образующие единого массива. Вдоль границы с Сибирью на северо-западе Монголии расположены несколько хребтов, также не образующих единого массива: Хан Хухэй, Улаан-Тайга, Восточный Саян, на северо-востоке – горный массив Хэнтэй, в центральной части Монголии – массив Хангай протяжённостью около 700 км и высотой 2 000- 3000 м (наибольшая гора Отгон-Тэнгэр высотой 3 905 м), разделяющийся на несколько самостоятельных хребтов. На восток и юг от Улан-Батора, в сторону границы с Китаем, высота Монгольского плато постепенно уменьшается, и оно переходит в равнины. Юг, юго-запад и юго-восток Монголии занимает местность (пустыня) Гоби, пересекаемая холмами, лощинами и увалами, которая продолжается на севере центральной части Китая. Пустыня Гоби по ландшафтным признакам является не однородной и состоящей из неравномерных участков песчаных, скалистых, покрытых мелкими осколками камней, ровных на многие километры и холмистых, разных по цвету. В монгольском языке слово "Гоби" обозначает полупустынные степи со скудной (солончаковой) растительностью. Наземные источники воды здесь очень редки, но уровень подземных вод высокий.

Длительность континентального периода развития страны, рельеф и геологическое строение в значительной степени определили характер почвообразующих пород на территории страны.

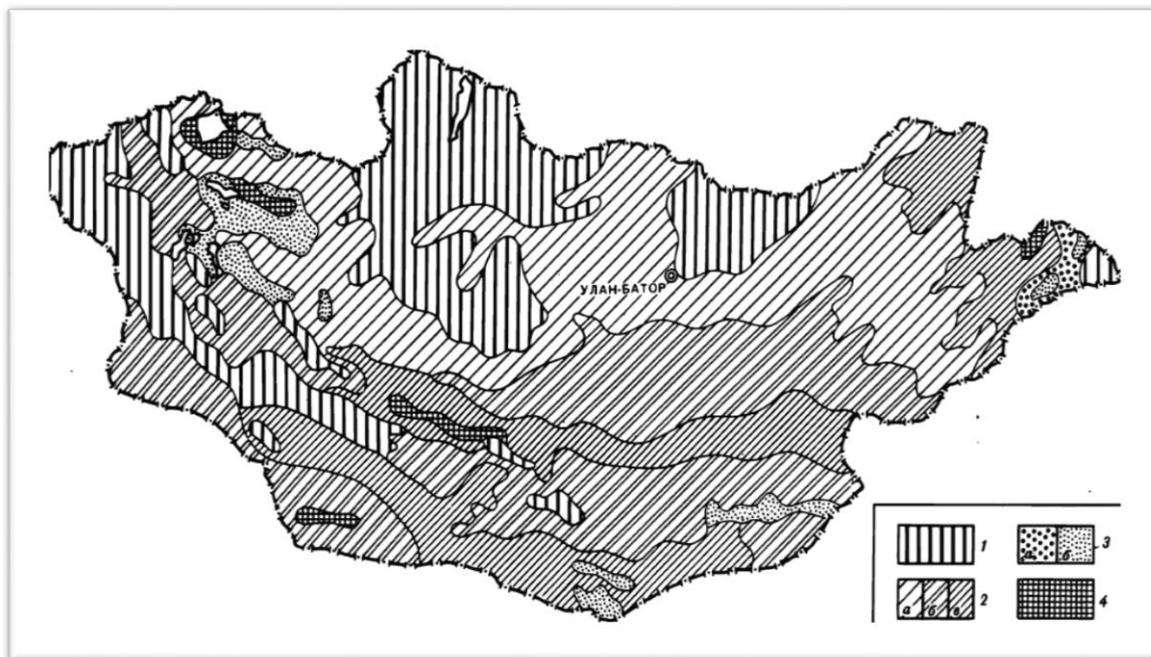


Рисунок 1.2. Карта-схема почвообразующих пород Монголии (Герасимов и др, 1984):
 1 – элювиальные и элювиальнодевиальные; 2 – элювиально-делювиальные и пролювиально-делювиальные (а – преобладают легкосуглинистые, б – преобладают супесчаные и легкосуглинистые; в – преобладают супесчаные и песчаные);
 3 – золовые (а – пески закреплённые; б – пески полужакреплённые и незакреплённые);
 4 – озёрные различного механического состава

На карте-схеме почвообразующих пород Монголии (рис. 1.2) главными почвообразующими породами территории являются легкосуглинистые элювиально-делювиальные и пролювиально-делювиальные рыхлые наносы, и аллювиальные отложения [Уфимцева, 1984; Касимов и др., 1995].

Для полупустынной и пустынной зон характерны бурые малогумусные почвы со значительным распространением солончаков, а также песков. В монгольских степях, которые поднимаются на высоту 1500 м, преобладает суглинок и супесь, цвета спелого каштана и светло-каштановые. В отличие от европейских степей зональным почвенным типом монгольских степей являются выщелоченные каштановые почвы, которые отличаются от тёмно-каштановых почв меньшей мощностью гумусового горизонта. Содержание гумуса колеблется в пределах 0.27-2.68 %, содержание углерода – 0.62-0.70 мас. %, а содержание азота изменчиво только в верхних горизонтах. По механическому составу эти почвы неоднородны и состоят из легких и тяжелых суглинков. В верхних горизонтах содержат 0.90-11.79% физической глины (<0.01 мм) и от 11.42-19.70 пылеватых частиц (0.05-0.01 мм). Почвообразующие породы щебнистые или песчаные. Содержание илестых частиц по сравнению с вышестоящими горизонтами падает, они более подвержены интенсивному выветриванию [Даваабаатар и др., 2013]. Различают каштановые, тёмно-каштановые и светло-каштановые почвы. Монгольские степи имеют более скудную растительность, чем степи России и Казахстана. Хотя растительный покров степной зоны характеризуется разнотравьем, однако сплошного травяного покрытия почти не наблюдается из-за влияния аридного климата с резкими колебаниями температур в течение суток и в году.

Горным районам присуща вертикальная зональность почвы, при которой происходит смена каштановых почвы на черноземовидные и местами чернозёмными; а далее горно-луговыми и

частично торфянистыми. Южные склоны гор, как правило, песчано-каменистые, северные – с более плотным глинистым грунтом. На северных склонах гор Монголии (осадков 500 мм и более) растут преимущественно хвойные леса из сибирской лиственницы, кедра, сосны, берёзы и осины.

Большинство рек Монголии зарождаются в горах. Самые крупные реки страны – Селенга (600 км в границах Монголии), Керулен (1 100 км), Тэсийн-Гол (568 км), Онон (300 км) и др. Река Селенга берёт начало с одного из хребтов Хангая и принимает в себя несколько крупных притоков – Орхон, Хануй-Гол, Чулутын-Гол, Дэлгэр-Мурэн и др. Вода в ней тёмно-серого цвета, протекающая в глинисто-песчаных берегах. Покинув пределы Монголии, Селенга течёт по территории Бурятии и впадает в Байкал. Реки в западной и юго-западной частях страны, стекая с гор, попадают в межгорные котловины; выхода в океан они не имеют и, как правило, заканчивают свой путь в одном из озёр.

Монголия делится на 21 аймак, которые состоят из 329 сомонов, и столицу Монголии – г. Улан-Батор, который является самостоятельной административной единицей (рис. 1.3).



Рисунок 1.3. Административное деление территории Монголии

Улан-Батор – город богатой истории, разных возможностей и "песчаных дорог"

Город Улан-Батор (УБ) основана в 1639 году как буддистский монастырь в северо-центральной части страны в долине реки Туул, окружённой горами. УБ растянут на 25-30 км вдоль реки. Согласно статистическим данным (табл.1.1) численность населения в столице неуклонно увеличивается [Batjargal et al., 2010; Nishikawa et al., 2011; Монгол Улсын..., 2022; Архив статистич...]

Таблица 1.1 – Численность населения г. Улан-Батор

Год	Численность населения (чел.)	Плотность чел./м ²
В начале 1960-х	150 000	-
1986	500 200	-
1990	586 228	-
2003	927 103	197.3
2006	1 053 548	224.2
2017	1 462 973	311.3
2020	1 597 290	339.8
2022	1 639 172	348.8

Лавинообразный рост населения города произошёл после ратификации в 1992 году новой Конституции Монголии, которая отменила ограничения на передвижение людей внутри страны

[Монгол Улсын...,1992]. Такая политэкономическая установка в сочетании со специфическими климатическими условиями ускорила исход сельского населения в город. В настоящее время в городе проживает более 60 % от общей численности населения Монголии (табл. 1.1) [Болдын Бат, 2004; Kamata et al., 2010; Vyambadorj et al., 2011].

Функциональное зонирование городской территории УБ

Город состоит из девяти районов (монг. дүүрэг), которые состоят из кварталов-микрорайонов (монг. хороо) (рис. 1.4.) с промышленными, транспортными, селитебными и рекреационного назначениями зонами. Общая площадь города охватывает примерно 4 704.4 км², из них застроенная площадь, включая районы Налайх, Багануур и Багахангай, составляет 520 км² [Болдын Бат, 2004].

Промышленная зона города, в основном, расположена вдоль р. Туул в юго-западной части города и содержит основные промышленные предприятия страны (более 70 %), многочисленные котельные; тепловые электростанции. Главными промышленными секторами являются заводы по производству стройматериалов, металлоремонтные производства, предприятия деревообрабатывающей, текстильной, обувной, пищевой отраслей, топливно-энергетический комплекс (ТЭК).

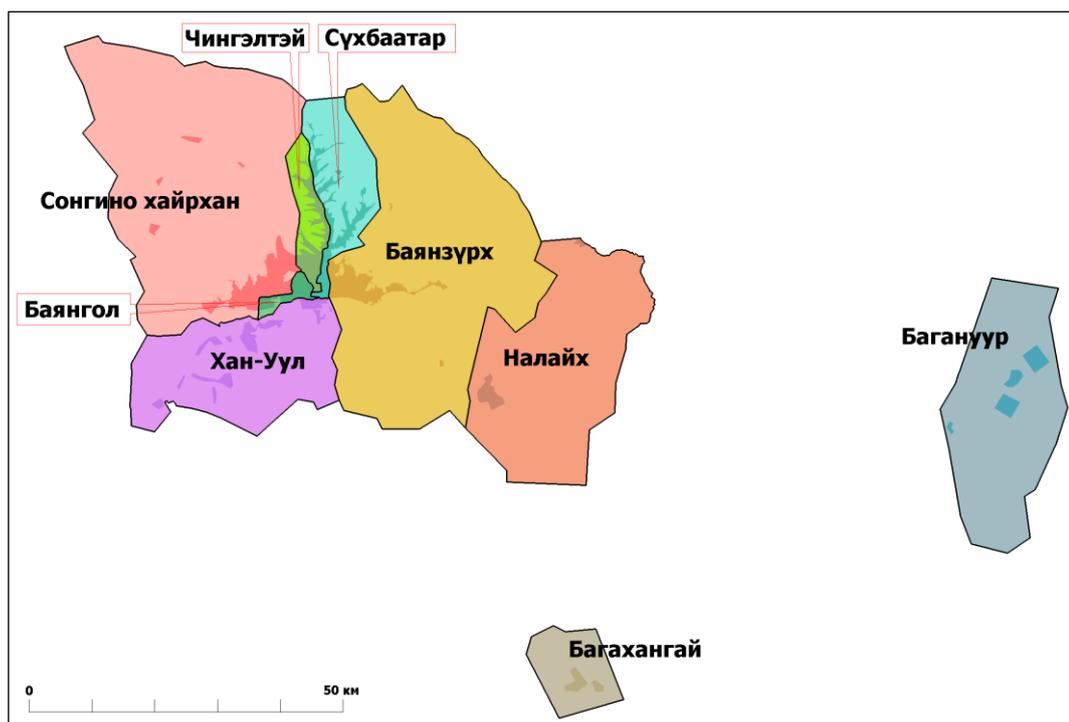


Рисунок 1.4. Девять районов г. Улан-Батор

К северу от основной промышленной зоны находятся элеватор и мясокомбинат. ТЭК включает три действующие теплоэлектростанции (ТЭС) и котельные, работающие на бурых углях месторождений Налайх и Шарын гол, Бага-Нуур и Шивээ-Овоо. Помимо действующих ТЭС имеется золошлакоотвалы от ТЭК, и закрытая станция ТЭС. В ТЭК используются бурые и суббитуминозные угли [Сарантуяа, 2005; Erdenetsogt et al., 2009; Coal Mine Methane..., 2014; Amarsaikhan et al., 2014]. В западной части города находятся очистные сооружения, где стоки очищаются методом естественного разбавления и отстаивания. Таким образом, в промышленной

зоне наблюдаются разнообразные виды антропогенного воздействия: химическое, биологическое, механическое, шумовое, тепловое.

Транспортная зона включает все районы города, так как они соединены с центром автомобильными дорогами. Хотя в юрточных районах и отсутствует централизованный транспортный доступ, наблюдается ежегодное увеличение количества автотранспорта.



Рисунок 1.5. Типичный вид дорог в г. Улан-Батор летом

Например, по статистическим данным 2022 г. в столице Монголии было зарегистрировано 642 315 единиц транспорта, из которых более 500 тыс. старше 10 лет [Нийслэлийн статистик..., 2022; Архив статистич...]. Дороги в центре города и районах многоэтажной застройки асфальтированные, а в районах юрточной застройки – в большинстве, грунтовые.

Для Улан-Батора характерно два типа **селитебных зон**, которые включают старые и новые (возникшие после 1992 года) кварталы застройки: многоэтажной – административные и жилые здания; и частный жилой сектор – традиционные юрты (монг. гэр) и небольшие частные дома. Селитебные зоны располагаются вдоль притоков р. Туул и поднимаются на склоны гор, окружающих город. Около 60 % жителей города проживает в юрточных районах, в которых более 430 000 юрт и частных домов [Нийслэлийн статистик..., 2022; Архив статистич...]. Площади этих юрточных районов за период с 1990 по 2013 гг. увеличились более чем на 588 % [Park et al., 2019] и они продолжают расти. Юрточным районам присуще отсутствие коммуникаций. В центральной части города, которая расположена в пойме р. Туул, в настоящее время расширяется зона многоэтажной застройки административного и жилищного назначения.

Зоны рекреационного назначения расположены в каждом районе города, так как включают земли, предназначенные и используемые для организации отдыха, спортивной деятельности граждан – парки и скверы (центральная и южная часть города), спортивный комплекс и Ботанический сад (восточная часть города). В целом эта зона составляет менее 5 % территории города.

Зоны резерва однозначно выделить трудно из-за их некоторой организационной стихийности. Однако на северо-западе города имеются три официальных свалки: Цагаан Даваа, Морингийн энгэр и Нарангийн энгэр. В связи с тем, что на этих свалках, в основном, складировались отходы производства, эта зона приравнена к промышленной зоне.

Каждой городской зоне присущи свои типы почвенного покрова. Например, для транспортной зоны характерно опесчанивание грунтовых дорог из-за воздействия большого количества проезжающего автотранспорта. Отсутствие асфальтированных дорог и установка юрт без заложения фундамента приводят к уплотнению верхних горизонтов почв с перекрытием наносами антропогенного и природного (пролювиального и делювиального) происхождения. В связи со строительством современных многоэтажных зданий и прокладкой асфальтированных дорог кардинально меняется почвенный покров: от перемешивания и "запечатывания" вплоть до полного уничтожения естественного почвенного покрова и формирования урбанозёмов (техногенные поверхностные образования), отличающиеся от естественных как структурой и свойствами, так и выполняемыми основными экологическими функциями [Герасимова и др., 2003]. Хотя почвы в городе развиваются под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но антропогенное влияние оказывается более существенным. Почвам города присущи отличительные особенности – мелкоконтурность, пространственное варьирование свойств, низкая буферная способность, утрата плодородия, большое количество включений (артефактов) [Федорец, Медведева, 2009]. Кроме этого, антропогенные почвообразующие породы характеризуются, как правило, наличием геохимических барьеров, резких градиентов водопроницаемости, теплопроводности, водоудерживающей способности, которые зависят от геолого-географических и климатических условий. Поэтому при описании почв города невозможно избежать характеристики элементов географической среды, которые влияют на свойства почвенного покрова. Так как согласно формуле В.В. Докучаева почва – это продукт функции почвообразователей, имевших место в прошлом и существующих в настоящем [Добровольский, 2013].

Ландшафтно-климатические особенности территории города

Город Улан-Батор находится на севере центральной части Монголии, граничит с аймак Туве и расположен в межгорных долинах и котловинах Хангайско-Хэнтэйской горной области в пределах бассейна р. Селенги, в широкой долине р. Туул, у подножия горы Богд-Уул, на высоте 1350 м над уровнем моря. Географические координаты города 47°55" с.ш. и 106°55" в.д.

Геологическое строение

В соответствии с основными элементами орографического и тектонического строения территория г. Улан-Батора относится к геоморфологической области нагорья Хангая, Хэнтэя и Хэнтэйскому горному массиву, которые представлены средневысотными горами, разделенными широкими межгорными долинами [Геоморфология..., 1982]. Территория города сформировалась в этап позднепалеозойской герцинской складчатости и была активизирована в этап мезозойской киммерийской складчатости. По схеме тектонического районирования эта территория находится в Восточно-Хэнтэйском части Агинского террейна, относящийся к Хэнтэй-Даурский системе коллажа террейнов Монгольско-Охотского складчатого пояса. Центральный район г. Улан-

Батора располагается в Улан-Баторском субтеррейне (рис 1.6). Улан-Баторский субтеррейн простирается более чем на 700 км от Южного Хэнтэя до Восточного Забайкалья [Dojjsuren et al., 2004; Гордиенко и др., 2017; Kurilenko, Minina, 2017]. Основанием для выделения Улан-Баторского субтеррейна следует считать девонский аккреционный комплекс, который с перерывом перекрывает турбидитовая формация каменноугольного возраста, объединяемый в Хэнтэйскую серию.

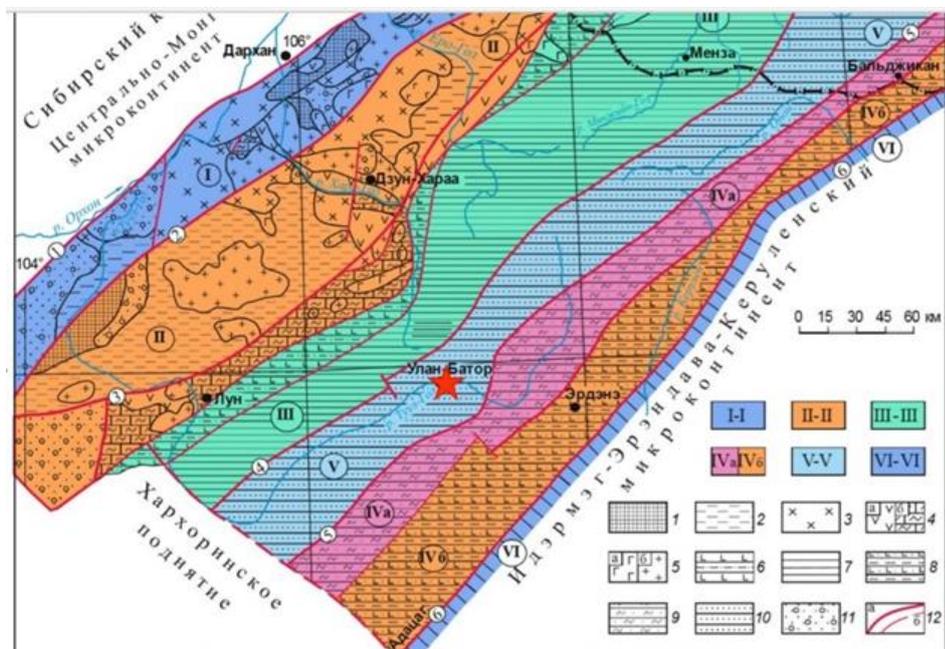


Рисунок 1.6. Схема структурно-формационного районирования Хэнтэй-Даурской складчатой системы, представленная карбовыми терригенными, сланцево-терригенно-карбонатными отложениями (10) в Улан-Баторском субтеррейне - из работы (Гордиенко и др., 2018).

Геология окрестностей и самого города достаточно хорошо изучены и описаны в научных работах многих исследователей [Tomurtogoo, 1997, 2003; Tomurtogoo et al., 1998; Badarch et al., 2002; Minjin et al., 2006; Kurihara et al., 2009; Takeuchi et al., 2012; Suzuki et al., 2012; Khishigsuren et al., 2012; Nara et al., 2013; Tsukada et al., 2013 и др.]. Древний фундамент района города представлен породами терригенной формации верхнего рифея (нижнего карбона) осадочно-метаморфическими породами карбового возраста: различные каменноугольные метаморфические глинистые сланцы, гравелиты, песчаники с прослоями яшм и туффитов, неогеновые пестроцветные глины, часто содержащие легкорастворимые соли и гипс, пески и конгломераты. Этот комплекс осложнен внедрившимися в мезозое интрузиями гранитоидов [Батхишиг, 1999; Геология..., 1973; Маринов, 1967]. Мезозойский гранитный массив образовался среди вмещающих пород формации Алтан-Овоо и Оргиох-Уул в юго-восточной области [Tomurtogoo et al., 1998], а складчатый аккреционный комплекс из осадочных пород позднего палеозоя [Kurihara et al., 2009]. В долинах преобладают галечниковые песчано-суглинистые аллювиальные отложения четвертичного возраста. Глинистые метаморфические сланцы обогащены элементами группы железа – Fe, Mn, Cr, Co, Ti, а мезозойские граниты, песчаные отложения и речной аллювий – обеднены. Пестроцветные глины неогена отличаются повышенным содержанием Fe, Mn, Co, Pb, Ni. В образцах четвертичного аллювия наблюдаются околосларковые содержания только для Mn, Mo, V, Co, Pb [Батхишиг, 1999].

Палеозойские породы подразделяются на следующие литостратиграфические формации: Сэргэлэн (D₁-ранний девон), Горхи (D₂₋₃-средний-поздний девон), Алтан-Овоо (C₁-нижний карбон), Оргиох-Уул (C₁₋₂-нижний и верхний карбон) и мелководную каменноугольную систему каменноугольного периода [Takeuchi et al., 2012]. Формации Горхи (D₂₋₃), Оргиох-Уул (C₁₋₂) и Алтан-Овоо (C₁) занимают юго-восточную и восточную части этой территории соответственно.

Климатические условия

По макроклиматическому районированию умеренного пояса Азии, территория г. Улан-Батора относится к восточному сектору наиболее континентальной части засушливой зоны Центральной Азии [Береснева, 2006] и имеет горный климат с чертами резко-континентального характера [Мурзаев, 1952; Архив погоды...]. Зима в городе долгая и суровая, лето – прохладное (табл. 1.2, рис. 1.7.). Многолетняя среднегодовая температура в Улан-Баторе до 1989 г. составляла примерно -1.69 °С, тогда как по данным 2000-2018 гг. зафиксировано её повышение до 0.37 °С. В эти периоды средние температуры января, самого холодного месяца, были -22.58°С и -21.49°С, а июля составляли +16.9°С и +19.4°С [Мурзаев, 1952; Архив погоды...].

Над территорией г. Улан-Батора формируется Азиатский антициклон, сопровождаемый нисходящими потоками воздуха, мощными приземными температурными инверсиями, слабыми ветрами, застоями воздушных масс. Его центр располагается у северной окраины Монголии, южнее оз. Байкал.

Таблица 1.2 – Температура воздуха и осадки по месяцам в Улан-Баторе (Монголия) [Архив погоды...]

Месяцы	Среднесуточная температура (°С)		Среднее количество	
	минимальная	максимальная	осадков (мм)	ненастных дней
Январь	-26.1	-15.5	2.6	7.6
Февраль	-22.3	-9.6	2.6	6
Март	-13.6	-0.6	4.1	7.6
Апрель	-4.4	9.7	7.5	8
Май	3.2	17.9	19.8	9.1
Июнь	9.5	22.7	48.7	14.5
Июль	12.7	24.6	67.8	17.1
Август	10.5	22.4	71.7	15.7
Сентябрь	3.5	16.8	27.8	9.3
Октябрь	-4.8	7.7	8.3	7.5
Ноябрь	-15.7	-4.8	5	8.5
Декабрь	-23.1	-13.5	3.7	9.4

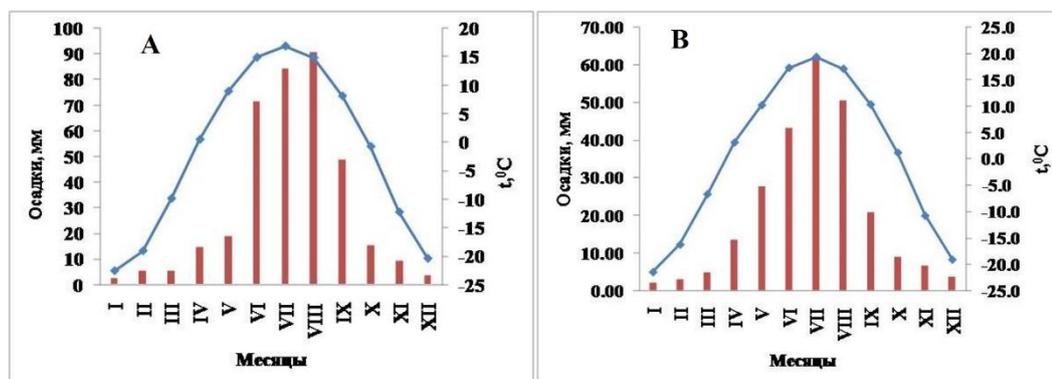


Рисунок 1.7. Годовой ход среднемесячных температур и осадков по данным метеостанции в г. Улан-Батор за 1969-1989 гг. (А) и за 2000-2018 гг. (В)

Климату УБ присуща неравномерность выпадения осадков в течение года, и значительные вариации годового количества осадков в отдельные годы. В целом, около 95% осадков выпадает с конца весны до начала осени, причем более 70% приходится на летние месяцы. Зимние осадки незначительны и снежный покров в среднем не превышает 15 см. Среднее годовое количество осадков за 1969-1989 гг. и за 2000-2018 гг. соответственно составило 396.81 и 246.97 мм (рис.1.7). [Архив погоды...].

Согласно данным В.Л. Убоновой режим влажности определяется, с одной стороны, иссушающим влиянием городских пространств, примыкающих к долине р. Туул, с другой – условиями атмосферной циркуляции [Убонова, 2005]. Среднемесячная относительная влажность воздуха колеблется утром в пределах 65-85 %, в вечерний период – 40-70 %. Весна оказывается самым засушливым периодом, в котором среднемесячная относительная влажность воздуха изменяется от 40 до 65 %. Самый высокий среднемесячный уровень относительной влажности воздуха приходится на зимние месяцы декабрь и январь, иногда достигая 83-85 %.

Ветровой режим города определяется преимущественно местными особенностями рельефа и орографии долины р.Туул [Сарантуяа, 2005; Убонова, 2005]. Котловинный характер рельефа и узкая долина создают условия для застоя холодного воздуха с последующим возникновением местных ветров, связанных с внутрикотловинной циркуляцией. Наблюдается, в основном, северные и северо-западные ветры; южные и юго-восточные ветры дуют значительно реже (рис. 1.8).

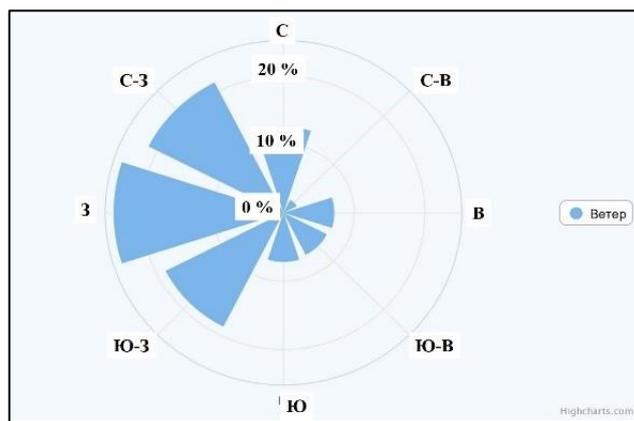


Рисунок 1.8. Роза ветров в Улан-Баторе

Наименьшая повторяемость характерна для восточных и юго-восточных ветров. Преобладающими направлениями ветра в летний период года являются северо-западное и северное, в зимний – юго-восточное. Весна характеризуется сильными ветрами, бурями, малой относительной влажностью и скудными осадками. В январе и декабре скорости ветра не превышают 0.2-2.4 м/с, в то время как в мае и августе они колеблются от 0.8 до 7.0 м/с. Средняя скорость ветра от 1.67 до 2.6 м/сек (2000-2022 гг.), максимальная скорость достигает 30 м/сек (май 2008). Наименьшая повторяемость характерна для восточных северо-восточных и юго-восточных ветров. Повторяемость штилей в среднем за год составляет 64-80 % [Сарантуяа, 2005; Аргучинцев и др., 2009].

По режиму увлажнения территория г. Улан-Батора относится к умеренной зоне с небольшой продолжительностью инсоляции 2862-2816 час в год. На основании записей 1961-

1990 г. среднегодовая среднесуточная продолжительность инсоляции составила 7.7 часа [Сарантуяа, 2005]. Атмосферное давление в течение года находится в обратной зависимости к годовому изменению температуры воздуха и максимально зимой, а летом минимально [Сарантуяа, 2005; Аргучинцева и др., 2011].

Геохимическая и экологическая характеристика почв городской территории

Длительность континентального периода развития страны, рельеф и геологическое строение в значительной степени определили характер почвообразующих пород на территории страны. Однако почвенный покров в городе – это важнейшая составная часть окружающей человека среды, подвергаемой влиянию сложного комплекса природных и антропогенных факторов. Причём антропогенное воздействие преобладает над природными факторами почвообразования, что приводит к формированию специфических почв. Поэтому состав городских почв зависит не только от региональной направленности процессов почвообразования, но и истории формирования города, а также техногенной деятельности человека [Еремченко и др., 2016]. Благодаря последнему фактору почвенный покров городов оказывается неоднородным в пространстве, имеет сложную мозаичную структуру, сопровождаемую минералогическим и химическим разнообразием [Строганова, Агаркова, 1992; Строганова и др., 1997; Герасимова и др., 2003; Водяницкий, 2008; Федорец, Медведева, 2009; Семендяева, 2011; Шестаков и др., 2014; Kosheleva et al., 2015; Еремченко и др., 2017].

Всё это приводит к изменяю эколого-биологических функций почвы. Таким образом, функциональное зонирование территории и связанные с ним виды и степень воздействия на почвы оказывается превалирующим фактором, обеспечивающим изменение естественной структуры почвенного покрова в городе. Почвообразование в районе г. Улан-Батора, как и всей территории Монголии, протекает в резко континентальных условиях, характеризующихся замедленными темпами биологического круговорота, длительностью холодного периода при сильном переохлаждении верхних горизонтов почв и глубоком их промерзании [Ногина, 1989]. До 1990-х гг. почвенный покров города состоял из горных (горно-луговые, горно-лугово-степные); горно-лесных (горно-таёжные, горно-таёжные дерновые); горно-степных (горные черноземы и горные каштановые); степных (чернозёмы, каштановые и тёмно-каштановые) почв и почв речных долин (алювиальные и алювиальные дерновые) [Доржготов, 1973, 1976; Почвенный покров..., 1984]. Почвы преимущественно мало и среднемощные, супесчаные, щебнистые, слабокислые, нейтральные, слабощелочные и щелочные, умеренно и малоувлажнённые, холодные, длительно промерзающие, обеспечивающие среднюю продуктивность растительности [Национальный атлас..., 1990].

Механический, элементный и вещественный составы почв г. Улан-Батор изучали и продолжают исследовать как монгольские [Батхишиг, 1999; Сарантуяа, 2005; Баярсайхан, 2009; Batjargal et al., 2010; Гантомор, 2013; Мягмаржав и др., 2018; Алтанцэцэг, 2019; Enkhchimeg et al., 2020; Оуунбат et al., 2021 и др.], так и иностранные учёные [Касимов, Перельман, 1994; Касимов и др., 1995; Кошелева и др., 2010; Касимов и др., 2011б; Сорокина, 2013; Chung, Chon, 2014; Pecina et al., 2023 и др.]. Большое количество работ, в которых изучается состав почв г. Улан-Батор, связано с тем, что город интенсивно развивается, и поэтому распределение химических

элементов и закономерности их миграции в почвах необходимо контролировать. Ряд исследователей, кроме фиксации некоторых артефактов, проводят обобщение своих результатов и данных других исследователей по оценке почвенного и почвенно-растительного покрова металлами и металлоидами на всей территории города, а также в почвах определенных функциональных зон [Кошелева и др., 2010; Batjargal et al., 2010; Касимов и др., 2011a; Касимов и др., 2011b; Enkhchimeg et al., 2020; Oyunbat et al., 2021, Pecina et al., 2023].

На механический состав почв сказываются специфические особенности городского ландшафта, который растянут с запада на восток в пределах поймы и надпойменной террасы р. Туул и расположен среди отрогов гор. С расширением города и деятельности людей зафиксировано, что на более возвышенных местах почвы обладают лёгким и средне-глинистым механическим составом, а вдоль русел – песчаным с небольшим слоем перегноя в скрытом слое со слабощелочной реакционной средой в верхнем слое, а в нижнем слое – чаще щелочной. В составе раствора преобладает содержание ионов калия. При удалении от русел слой перегноя увеличивается и имеет глинистый механический состав, в котором реакционная среда также слабощелочная с преобладанием ионов натрия в растворе. Причём для степной почвы характерно появление песчаного состава постепенно, с поднятием над уровнем реки, переходящего в глинистый механический состав. В юго-восточной части города трёхслойная почва элювиаль-аккумулятивной фазы соседней низкой горы имеет песчаный механический состав, который начиная с центральной части города переходит к лёгкой глине [Баярсайхан, 2009]. Близко протекающие процессы переноса вещества образуют песчаные части, накапливающиеся вдоль наклона поверхности земли. Хотя большую часть общего механического состава занимает фракция песков, в поверхностном слое почвы увеличивается содержание фракции пыли из частиц разного элементного состава и размеров [Amgalan et al., 2016; Amarsaikhan et al., 2014]. В работе [Oyunbat et al., 2021] показано, что почвы УБ содержат песок (32-69 %), ил (до 48 %), глину (9-19 %), пылевые частицы (около 18 %), их рН изменяется от 6.78 до 7.53 при содержании гумуса около 2.85 % мас. Ранее в работе Н.С. Касимова и соавторов [Касимов и др., 2011a] для исследованных суглинисто-песчаных и супесчаных почв города приведены другие характеристики: содержание гумуса 0.5-1.5 % мас. при рН 7.5-9.0. Пробы почв, изученные в работе [Batjargal et al., 2010], имели рН в диапазоне 5.96-8.20, а количество органического вещества варьировало от 2.07 до 12.40 мас. %, при этом большинство значений составляли приблизительно 5.53 мас. %. Таким образом, разные исследователи показывают, что почвы города имеют от кислого до сильно щелочного рН, указывая на возможные изменения состава почв при изменении влажности даже в сухом (аридном) климате Монголии. Например, повышенные содержания карбонатов в степных монгольских почвах связано с теплым и влажным периодом года (конец весны – начало лета), когда существуют нисходящие токи влаги в почвенном профиле и значительно увеличивается содержание углекислоты в почвенном воздухе, и происходит переход карбонатов в более растворимую (миграционную форму). В результате этих природных процессов верхние горизонты почвы оказываются обогащены карбонатами. Такая миграция карбонатов не характерна для степных почв других регионов мира [Доржготов, Батхишиг, 2012].

Наибольшее влияние на содержание химических элементов в почвах оказывает их гранулометрический состав, на что указывают высокие коэффициенты корреляции между содержанием элементов и количеством физической глины [Алтанцэцэг, 2019]. При значительном увлажнении почв за счет хемосорбции и катионного обмена некоторые металлы и металлоиды входят в глинистый комплекс. При этом первоначально металл(оид)ы сорбируются не селективно. Со временем происходит упрочение связи металлов с почвенным поглощающим комплексом, что выражается в уменьшении содержания водорастворимых и непрочносвязанных форм этих элементов. В процессе сорбции почвой металл(оид)ы иммобилизуются и могут переходить в нетоксичные формы. Например, техногенные Pb и Cu трансформируются в почве в менее подвижные формы, а Zn и Cd наоборот – в более подвижные [Алтанцэцэг, 2019].

Одной из первых работ по изучению закономерностей геохимической миграции и распределения химических элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Co, Pb, V, Cr, Ni, Ti, Sr, Sn) в почве пойменных участков долины реки Туул, в том числе почв города является работа [Батхишиг, 1999], где показано, что почвообразующие породы (сланцы и граносиениты) обогащены этими элементами, а песчаные отложения и речной аллювий, – наоборот, обеднены ими, третичные красноцветные отложения обогащены железом, марганцем, кобальтом и др. Кроме этого, выявлена связь содержания Fe, Cu, Ni и Cr в почвах долины р. Туул с механическим составом, особенно с фракцией 0.05-0.001мм, представляющей частицы пыли. Из-за преобладания нейтральной, слабо щелочной и щелочной реакции среды выявлена слабая зависимость накопления изученных элементов, за исключением стронция, от почвенной реакции. Содержание стронция коррелирует с содержанием CO₂ в почве и её высокими значениями рН.

Сарантуяа [Сарантуяа, 2005] сделал попытку покомпонентной оценки состояния геоэкологической обстановки г. Улан-Батор. Для этого изучена многолетняя средняя годовая изменчивость загрязнения атмосферы города ингредиентами, постоянно превышающими ПДК: F, формальдегид, CO, NO, NO₂, и; загрязнение поверхностных вод (биологические показатели); загрязнение твёрдыми веществами территории города через снежный покров; Cd, Cu, Co, Ni, Cr, V, Pb. Проанализировано 300 почвенных и 50 растительных проб. Установлено, что в почвах и растениях наблюдается повышение валовых содержаний V, Ni, Pb и Cu по сравнению с их фоновыми значениями. Однако в работе не указано, какие содержания приняты за фоновые. Повышенные содержания SO₂ и F отнесены к используемым в быту углю плохого качества. Выявленные накопления Cd, Cr, Pb характерные для территорий ТЭЖ зависят, кроме качества угля, от производственных технологических условий. Изучение ветровой нагрузки выявило четыре типа воздушного переноса в районах: слабый, средний, значительный и сильный. И как следствие, выявлены районы города с разным уровнем загрязнения атмосферы. Высокий (опасный) класс присущ районами Чингэлтэй, Сухэ-Батор, части Баянзурх, т.е. территориями, где присутствуют юрточная застройка, высокая заселённость, плотная речная сеть, а также преобладают грунтовые (не асфальтированные) дороги. Наименее загрязнённая атмосфера находится в западной части города. Автор считает основной причиной загрязнения природной среды г. Улан-Батора неблагоприятные социально-экономические и микроклиматологические природные условия города.

В работе [Batjargal et al., 2010] доказано, что в почвах города количество легко извлекаемой фракции As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn было ниже, чем количество трудноэкстрагируемой (остаточной) фракции, т.е. потенциал выщелачивания металло(идо)в довольно низок. На основании этого сделан вывод о незначительности загрязнения городских почв As, Cd, Cr, Cu, Ni и Zn перечисленными элементами из-за их близких содержаний в верхнем слое почвы и подпочве. Зафиксированное увеличение содержания Pb в верхнем слое почвы, чем в подпочве связано со значительным увеличением количества подержанных транспортных средств и увеличением использования этилированного топлива за последние несколько лет.

Другие исследователи, например, [Nishikawa et al., 2011], отмечают повышение в поверхностных почвах города содержаний органического углерода, SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , Zn, As и Pb, которое присуще холодным периодам года, т.е. когда для отопления юрт сжигается много угля. Привнесение из летучей фракции золы Al, Fe, Ca, K, Na, Mg и Mn не наблюдается, в связи с этим сделан вывод о природном происхождении этих элементов в почвах.

Однако в работе [Tserenpil et al., 2016] по результатам изучения изотопов свинца в почвах показано, что загрязнение почв свинцом больше зависит от присадок к этилированным бензинам, содержащих Pb, чем непосредственно от продуктов горения углей.

Исследование валовых содержаний Ni, Cr, Pb, Zn, Cu и Cd в почвах, отобранных в 12 точках г. Улан-Батор, показало, что только в точках вблизи дорог свинец имеет повышенные содержания по сравнению с ПДК [Мягмаржав и др., 2018].

Сопоставление элементного состава поверхностных почв с территории от г. Улан-Батор до г. Каракурума (Монголия), проанализированных методами PIXE и PIGE указывает на то, что составы образцов по содержаниям макроэлементов (Al, K и Fe) близки [Markwitz et al., 2008]. Содержание Si в песках выше, чем в почвах, а содержания S, Zn и Cu наоборот в почвах выше, чем в песках. Причём содержания цинка и меди в почвах сильно коррелируют между собой, что указывает на один и тот же источник поступления – природный. Несмотря на то, что авторы [Markwitz et al., 2008] утверждают, что для классификации почв и почвообразовательных процессов достаточно использовать знания о содержании кремния, серы, цинка и меди. Однозначным этот факт признать нельзя. Хотя бы, потому что установлена взаимосвязь между содержаниями S и Hg, из-за которой поступление ртути в почву г. Улан-Батор относят к процессам горения углей при отоплении жилищ [Chung, Chon, 2014].

В результате масштабной почвенно-биогеохимической съёмки территории города, выполненной 2008 и 2009 гг., при которой были отобраны пробы поверхностной почвы, растений и снега было изучено большее число элементов – As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Zn [Кошелева и др., 2013]. Кроме указанных элементов дополнительно определяли основные физико-химические свойства: в почвах – pH, количество гумуса, гранулометрический состав; содержание ионов CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и Ca^{2+} в водной вытяжке из почв. Исследователи указывают на геохимическую неоднородность территории города, которая определена размещением источников загрязнения и варьированием сорбционных свойств почв. Слабо- и среднеконтрастные аномалии металлов и металлоидов образуются в промышленной и юрточной зонах, а также вдоль крупных автомагистралей. При том что ландшафты г. Улан-Батор

оценены как слабозагрязнённые зафиксировано превышение норм ПДК по As, Cr, Mo, Pb и Zn, и показано, что очень высокий уровень загрязнения растворенными формами металлов и металлоидов может поступать из снега и представлять экологическую опасность для грунтовых вод. Выделены наиболее устойчивы ассоциации элементов: (1) Ni-Co-V, (2) As-Sr и (3) Cu-Cd-Cr-Zn. Авторы связывают первую ассоциацию с составом почвообразующих пород (сланцев и глин), вторую – с выбросами золы при сжигании угля, третью – с выбросами предприятий, транспорта, промышленными и бытовыми отходами. Однако, приводя состав бурых углей месторождений Бага-Нуур, Налайх и Чулуут, упоминают о значительном обогащении этих углей более широким кругом элементов: Pb, As, Mo, Cu, Sr, Cd и Ni. При этом для углей, добываемых на территории Монголии характерно повышенное содержание серы [Zavorin et al., 2014; Park et al., 2020]. В настоящее время широко применяются угли Шивэ-Овооского месторождения, которые отнесены к группе высокорекреационных среднесернистых углей. При этом в них доля серы (75-99.9 % мас.) представлена колчеданными и органическими соединениями [Zavorin et al., 2014].

Из данных [Сорокина и др., 2013] исследования атмосферной пыли и снежного покрова г. Улан-Батора основным источником поступления токсичных элементов (Ti, V, Co, Mn, Fe, Th, Be, U, Zn, Mo, Cd, Sn, As, Sr, Cu, Bi, Ni, Cr, W, Sb, Pb) являются: терригенная пыль (Be, Cr, Mn, Th, Ti, U, V, W), промышленность и транспорт (As, Bi, Cd, Cr, Cu, Mo, Pb, Sb, Sn, W, Zn), топливная энергетика (As, Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Sr, V, W). Специализация выбросов различается в зависимости от условий сжигания углей на промышленных установках ТЭК (As, Bi, Zn, Th, Fe, Co, Cr, Cu) или в юрочных печах (Be, Cd, Mo, Sb, Sr, V).

В последние годы увеличилось число исследований посвященных состоянию воздуха и почвы города. Серьезной является проблема привноса в атмосферу города твёрдых частиц (PM_{2.5} и PM₁₀), особенно в зимний сезон [Касимов и др., 1995; Гунин и др., 2003; Аргучинцева и др., 2008; Hasenkopf et al., 2016; Warburton et al., 2018].

В Улан-Баторе отопительный сезон длится с середины октября до середины мая, наибольшее количество угля потребляется в это время. Согласно правительственному отчету об использовании угля в 2007 году, в г. Улан-Баторе было сожжено 4.9 млн. тонн угля, причём 70 % потребления угля пришлось на ТЭС, а 30 % – домашними хозяйствами [Batnum, Enhmaa, 2008]. Угли, используемые для отопления Улан-Батора, обогащены элементами Se, Sb, Cu, Bi, Pb, а также W, Be, Mo – элементами, характеризующими геохимическую специализацию угленосного бассейна, и содержат радиоактивные элементы [Даваасурэн и др., 2015]. В городском воздухе изучаются и контролируются, в основном, различные фракций тонкодисперсных твёрдых частиц и их состав, газообразные примеси: NO_x, SO₂, CO, O₃, синтетические органические вещества [Касимов и др., 1995; Гунин и др., 2003; Сарантуяа, 2005; Gutticunda, 2007; Аргучинцева и др., 2008; Air Pollution..., 2009; Environmental..., 2009; Allen, 2013; Davy, 2011; Сорокина и др., 2013; Amarsaikhan et al., 2014; Amgalan et al., 2016; Hasenkopf et al., 2016; Sonomdagva et al., 2017; Prikaz et al., 2019; Mamontova et al., 2015].

Например, авторы работы [Davy, 2011] по наблюдениям с октября 2004 по апрель 2008 гг. при мониторинге качества воздуха обнаружили, что весной (март - май) и осенью (сентябрь -

ноябрь) в атмосферном бассейне города преобладает концентрации крупной фракции твёрдых частиц, а пик концентрации мелких частиц приходится на зиму (декабрь - февраль). С помощью факторного анализа установили, что фракции крупных частиц связаны с четырьмя источниками, а фракции мелких частиц – семью. Основные источники – это природные – отложения земной коры, изменённые в процессе климатического воздействия (в основном крупная фракция $PM_{2.5-10}$); и антропогенные – сжигание угля (в зимний период преобладает мелкая фракция). При этом как городская пыль и так частицы грунта, которые переносятся в Улан-Батор с запада и северо-запада, особенно в сухие и ветреные месяцы весны и осени образованы из вещества подстилающих пород. Грунт, находящийся в воздухе, как основной источник крупной фракции $PM_{2.5-10}$, так как в частицах преобладают элементы Al, Si, Ca, Ti и Fe (причём соотношение Si: Al составляет 2.6:1, что типично для состава природных алюмосиликатов). В частицах $PM_{2.5}$ соотношение Si к Al приблизительно 2.5:1. Также присутствует грунт, обогащённый сажой и Zn наряду с элементами, типичными для природных веществ. Интересно, что третий фактор был идентифицирован, как вклад продуктов горения (угля), который содержит большую часть сажи и значительный компонент серы. Исследователи предполагают наличие неких агломераций, конденсаций или осаждения мелкой фракции (т.к. частицы от продуктов горения в основном находятся в субмикрометровом диапазоне) на более крупные частицы. Продукты горения, которые являются основным источником поступления частиц $PM_{2.5}$, разделены на три вида: процессы высокотемпературного горения, происходящий от выбросов электростанций в западной части г. Улан-Батора; сжигания угля, используемого в юрточных районах для бытового отопления в зимний период; а также от сжигания древесины (приготовление пищи на дровах, лесные пожары на севере Монголии и на юге России). Кроме перечисленного, в образовании частиц $PM_{2.5}$, участвует перенос выбросов тяжелой промышленности (добыча и выплавка цинка), расположенной в северо-западном Китае с центром в Урумчи.

Однако работа [Pecina et al., 2023] опровергает перенос выбросов Zn на большие расстояния, а появление частиц с цинком связывают с интенсивным транспортным потоком и различными отраслями промышленности. Дополнительным подтверждением является то, что Zn проявляет большее сродство к минеральным компонентам почв, чем Cu, Pb и Cd, в связи с чем илистая фракция почв города обогащена Zn и обеднена Cu по сравнению со всей остальной почвенной массой [Алтанцэцэг, 2019].

В работе [Amgalan et al., 2016] также показана связь размера частиц с их составом: C, S, Al, Si, Ca, Ti, Fe, Na, Mg, Mn, P, Ni, Cu, Pb и Zn, – которые обычно содержатся в почве разных районов города. Не все элементы однозначно относятся к продуктам горения углей. С увеличением числа автотранспорта зафиксировано вдоль бордюров накопление частиц пыли, содержащих Pb, Zn, Cd, Cu, Fe и V. Появление значительных содержаний этих элементов связывают с выхлопными газами, истиранием шин и тормозных колодок, разрушением дорожного покрытия и выдуванием дорожной пыли и частиц почвы [Gutticunda, 2007; Batjargal et al., 2010; Гунин и др., 2003; Касимов и др., 1995; Amgalan et al., 2016].

На экологию почв и грунтовых вод, кроме атмосферных эмиссий, влияют сливы негерметичных выгребных ям [Batsaikhan et al., 2021], которые распространены в пригородных

районах с высокой плотностью населения и являются основными источниками повышенных концентраций нитратов в воде. Кроме этого, сливы промышленных предприятий, чей состав включает повышенные содержания Zn, Pb, Co, Ni, Cu, Mo, Sr, Hg, V, также влияют на экологическую ситуацию в городе. Например, вода на выходе из очистных сооружений, находящихся в западной части города, как правило, бывает в десятки раз обогащена Cu, Cr, Ni [Сагт и др., 1990; Гунин и др., 2003]. Например, в районе Хан-Уул работают 60 кожевенных предприятий, технология на которых предполагает применение сульфатов хрома (III) ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$). Всё это приводит к опасному заражению сточных вод и ила вблизи кожевенных заводов [Naidansuren et al., 2017] и, как следствие, буферных свойств почв [Maurice, 2009].

В работе [Гантомор, 2013] показано, что у почвенного покрова города наблюдаются:

- слаборазвитость плодородного слоя – гумусовый горизонт не более 4 см;
- отсутствие генетического почвенного слоя A+B, что указывает на искусственное происхождение почв в городе;
- существенные изменения буферных свойств (высокая щелочность, низкое содержание гумуса, высокая ёмкость поглощения катионов, ухудшение азотного режима, засоление), которые повышают аккумуляционную способность почв к накоплению потенциальных поллютантов;
- отсутствие полного представления о масштабах распространения химических элементов и нефтепродуктов, с учетом их внутрипрофильной миграции.

Так как в отобранных почвах автор изучал только рН (потенциометрическое определение) и отдельные химические элементы – Cu, Cd, Ni, Pb, Zn, Hg, As (атомно-абсорбционная спектрометрия); C – органический и карбонатный, а также $N_{\text{общ}}$ (по Тюрину), ему не удалось дать полное описание распределения химических элементов в почвах города.

Известно, что определение валовых содержаний металл(оид)а не даёт достаточной информации о характеристиках, влияющих на его токсичность, таких как его способность переноситься в окружающей среде и/или потенциальные экологические риски [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Maurice, 2009; Алтанцэцэг, 2019]. Биодоступность элементов в значительной степени зависит от их химических фракций в почве. Следовательно, более широкое исследование общего содержания и геохимических фракций металлов и металлоидов является наилучшим методом оценки загрязнения и рисков, связанных с ними в почве. На основе результатов последовательной экстракции по BCR-методу для шести (!) проб сделан вывод о серьёзных (!) загрязнениях Cu, Zn, Cr, Sb, As, Cd и Pb [Bilguun et al., 2020].

Однако в работах Касимова, Кошелевой и Сорокиной [Кошелева и др., 2013; Сорокина и др., 2013; Сорокина, 2013] почвы города оценены как слабозагрязнённые, хотя авторы указывают на наличие слабо- и среднеконтрастные заражений в промышленной и юрточной зонах, а также вдоль крупных автомагистралей, по сравнению с состоянием почвенного покрова в 1990-х годов. Эта оценка получена по результатам более 200 проб (21 проба снега, 90 проб поверхностных почв и 103 проб растений), в которых определены валовые содержания и в выборке из почвенных проб водорастворимые формы химических элементов. Вывод о незначимом загрязнении городских почв вблизи главных дорог города Улан-Батор сделан по результатам вытяжек из 22 проб в

работе [Batjargal et al., 2010]. В то время, как ранее [Сарануя, 2005] из определения валовых содержаний Cr, V, Cu и Ni в более 300 пробах делает заключение о неблагоприятном накоплении их в почве. Наиболее глобальные по времени наблюдения проведены только в [Davy, 2011]. Умеренное загрязнение Hg в почвах г. Улан-Батор установлено по анализу 33 проб [Chung, Chon, 2014]. Сильное загрязнение Cr и средний уровень загрязнения Pb, Cu и Zn зафиксированы для почв юго-восточной части города, где расположена кожевенная фабрика (3.9 га), станция очистки сточных вод (8.5 га) и один из жилых районов (15.3 га), по результатам анализа 30 проб [Oyunbat et al., 2021].

При оценке уровня загрязнения почвы искажение понимания может возникнуть из-за отсутствия информации о региональных фоновых значениях или несоответствующем их использовании. В исследованиях, оценивающих местное загрязнение, часто использовались общие стандартизированные значения [Кошелева и др., 2010; Vilguun et al., 2020 и т.д.]. Использование региональных фоновых значений встречается реже, поскольку нет достоверных данных, с которыми авторы согласны на местном уровне [Pecina et al., 2023]. Это указывает на то, что реальность загрязнения городских почв может отличаться от того, что предполагают исследования.

Растительный покров города

По ботанико-географическому районированию территория г. Улан-Батора относится к Евроазиатской степной области, Центральноазиатской подобласти, Монгольской степной провинции [Грубов, 1954] отличается разнообразием и самобытностью, обусловленными спецификой природных условий. Однако существующая городская территория и инфраструктура из-за растущего населения претерпевают изменения, что, в свою очередь, изменяет окружающую среду: видоизменяется рельеф и гидрографическая сеть; естественная растительность уничтожается или заменяется на урбофитоценозы; сильно трансформируется почвенный покров. Всё это приводит к образованию антропогенно-преобразованных почв, не имеющих аналогов в естественной среде [Почва, город, экология..., 1997; Шишов и др., 2004].

На всех типах землепользования имеется незначительный растительный покров [Касимов и др., 2011]. На территории города представлены небольшие лесные и кустарниковые сообщества. Резко континентальный климат, недостаточное увлажнение и низкие зимние температуры способствовали формированию местного степного флористического комплекса, представленного, главным образом, южносибирскими и дауро-монгольскими видами. Равнинную часть территории занимают сухие дерновиннозлаковые степи. Преобладают мелкодерно-виннозлаково-тырсовые сообщества с доминированием тырса (*Stipa krylovii*), змеёвки растопыренной (*Cleistogenes squarrosa*), тонконога сизового (*Koeleria cristata*) и (*Sibbaldianthe adpress*) на темно-каштановых мучнисто-карбонатных маломощных почвах. На верхних частях склонов сопок северной экспозиции преобладают леса из лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), которые в местах вырубki на пологих склонах замещены зарослями кустарников с преобладанием берёзы бурой (*Betula fusca*) и степными сообществами с доминированием осоки (*Carex pdiformis*). Сохранившиеся небольшие участки лесов выполняют почвозащитную функцию, представляют собой резерв редких растений. В городе древесные насаждения

представлены тополем и лиственницей. На газонах и небольших участках юрточной селитебной зоны преобладают полынь (*Artemisia frigida*, *A. spp.*), вострецы (*Agropyrum pseudoagropyrum*) и лапчатка (*Potentilla spp.*). Контрастность радиационного режима, обусловленная экспозицией и крутизной склонов, резкие различия в их тепло – и влагообеспеченности приводят к мозаичности пространственной структуры растительности.

В настоящее время растительный покров города значительно сократился по сравнению с 1990-1995 гг. во всех районах города [Amarsaikhan et al., 2009]. Например, установлено, что загрязнение воздушного бассейна города и его окрестностей являются причиной гибели лиственницы сибирской и негативно сказываются на состоянии лесных и лесостепных почв на севере г. Улан-Батор [Науцк, 2008]. Кроме этого, селитебная зона многоэтажной застройки практически не отделена от промышленной зоны поясом зеленых насаждений. Золошлакоотвалы ТЭК не имеют устойчивого растительного покрова. В рекреационных зонах отмечено уплотнение почвы и, как следствие, изменения растительных сообществ вследствие выпаса скота. Наименее описаны морфологически нарушенные почвы на пойме р. Туул, однако они находятся в зоне непосредственного влияния выбросов промышленной зоны.

Малый гумусовый слой в совокупности с аридным климат приводят к тому, что засушливые территории Монголии значительно подвержены ветровой эрозии, которая является основным фактором деградации земель и опустынивания [Mandakh et al., 2016]. В следствии аридизации, происходит изменение доминантного состава растительных сообществ. Наряду с этим происходит деградация почв – дегумификация, вынос мелкозема (частиц менее 1 мм и, особенно, <0.01 мм, наиболее обогащенных гумусом и элементами питания), а также приобретение почвами свойств и признаков пустынных почв [Батхишиг и др., 2012].

Изучение элементного состава почвенного покрова и растений

Почва состоит из твёрдой фазы, содержащей минеральные и органические вещества, а также жидкой и газовой фаз, и является структурированной средой, содержащей набор минеральных и органических частиц, с непрерывным распределением по размеру. Причём развития почвы связано с процессами минерализации (превращение органических остатков, находящихся в почве, в неорганические вещества, а присутствующих в атмосфере и гидросфере, в формы вещества доступные для флоры или микроорганизмов) и иммобилизации (превращение органического вещества в более стабильные органические и органоминеральные соединения с большой молекулярной массой, которые связываются в межпакетных промежутках глинистых минералов). Эти процессы развития почвы в свою очередь зависят от климата; ландшафта; подстилающих пород (гранулометрический и минералогический состав, pH); типа растительного покрова и т.д. [Пансю, Готеру, 2014]. В связи с этим полная характеристика почв осуществляется с помощью минералогического, органического и неорганического анализа. Каждый вид анализа является совокупностью разных физико-химических методов изучения почв. Например, минералогический анализ почв включает:

- Определение влажности (физические и химические свойства твёрдых компонент почвы зависят от содержания влаги в ней);

- Оценку гранулометрического состава ("анализ механического состава"; морфологический анализ; результат – размер частиц, но не форма частиц или их природа);
- Петрографический анализ (качественная и количественная идентификация минералов методами рентгеновской дифракции, ИК-спектromетрии, термическим анализом);
- Микроскопический анализ (рентгеноспектральный микроанализ – РСМА).
- Органический анализ почв включает:
 - Физическое фракционирование каждого компонента почвы (растительные и биологические остатки, микроорганизмы и метаболиты органоминеральных комплексов);
 - Определение органического вещества и общего количества С, N, H, O и S (например, в поверхностных горизонтах почвы соотношение C/N можно определить только по данным валового содержания этих элементов);
 - Изучение биохимической динамики органических остатков (скорость круговорота органического вещества, биологические выделения газа);
 - Микроскопические исследования морфологи систем для характеристики границ между органическим и неорганическим веществом;
 - Определение гуминовых и негуминовых веществ.

Неорганический анализ почв включает:

- Определение показателя концентрации ионов (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Eh), скорости диффузии кислорода, ёмкость катионного обмена;
- Полный элементный анализ;
- Анализ экстрагируемых элементов в виде конкретных форм и т.д.

Изучение одной пробы методами минералогического, органического и неорганического анализа оказывается финансово затратным в связи с чем на практике исследователи список аналитических методов значительно сокращают, акцентируясь только, по их мнению, на наиболее необходимых, ограничивают изучаемые территории, т.е. снижая число проб, рассматривают изучаемые объекты только с экологической или агрохимической точки зрения.

Технический прогресс, в частности добычи и переработки полезных ископаемых, наложил свой отпечаток на структуру почвенного покрова и его функций (например, элементный состав), который косвенно сказывается на виды и свойства растений, произрастающих на ней [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Maurice, 2009]. Например, во всём мире заражение почв металлами и металлоидами является одной из наиболее важных экологических проблем [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Maurice, 2009; Vilguun et al., 2020], но наиболее опасными химическими элементами признано достаточно малое число из-за ограниченного знания о связях и взаимовлияниях большинства химических элементов и их форм присутствия в объектах анализа. Далее в работе популярный в экологических журналах, но неотражающий действительность, термин "тяжёлые металлы" заменён на металл / металлоид / потенциально токсичный элемент [Pourret et al., 2021].

Процесс урбанизации и значительный прирост населения г. Улан-Батора, как и во многих других городах мира, интенсивно влияют на техногенное загрязнение экосистемы. Благодаря современным методам и методикам химического анализа в составе почв, вод и атмосферных

аэрозолей определяется большинство элементов Периодической таблицы Д.И. Менделеева, что ежегодно порождает большое число публикаций, направленных на выявление высоких содержаний разных поллютантов в почвах городов и вблизи промышленных предприятий. Однако оценивание загрязнения почвенно-растительного покрова различными токсикантами и их соединениями, трансформирование микроэлементного состава и нарушение баланса в них биофильных элементов, влияющих на изменение структуры почвенного покрова и его функций (биоэкологической, биогеохимической, санитарной), по сей день является серьёзной проблемой.

Комплексное исследование биогеохимических особенностей почвенно-растительного покрова – это важная часть исследований городской экосистемы, в которых определённое место занимают выделение источников загрязнения, установление закономерностей миграции и аккумуляции биофильных и токсичных элементов. В связи с чем, возникает объективная необходимость в установлении подвижности разных элементов в этих средах. Разнообразие современных методов химического анализа расширяет возможности изучения природных образцов, но требует оптимизации схем их применения, в том числе и при определении биофильных и токсичных элементов и их форм нахождения в сопряжённых средах "почва – растение".

Особенности пробоотбора почв в городских условиях

В связи с тем, что городским почвам присуща мелкоконтурность, пространственное варьирование свойств, низкая буферная способность, утрата плодородия, поэтому прежде, чем производить отбор почв для анализов, необходимо выбрать участок для обследования или провести разбивку территорий по категориям землепользования [Федорец, Медведева, 2009]. Если почвы загрязнены равномерно, то места пробоотбора размечают по координатной сетке с равными расстояниями между линиями, если неравномерно, то с неравными расстояниями. Масштаб сетки должен учитывать направление ветра, уклон поверхности и расстояние от источника загрязнения. Таким образом, территория может быть разбита на равномерную или нерегулярную сеть. Первый вариант проще реализовывать на свободных пространствах, например, сельскохозяйственные поля или ограниченные небольшие промышленные участки, где загрязняющие вещества поступают по воздуху и предполагается прямо пропорциональная связь между уровнем загрязнения и расстоянием до источника. Если на обследуемой территории отсутствуют ярко выраженные точечные источники загрязнения (или много источников, влияние которых перекрывается), а также площадные источники загрязнения (свалки, полигоны и т.п.), то лучше использовать отбор проб по равномерной разреженной сетке (размер ячейки – от 1×1 до 5×5 км). Однако если в городских условиях использовать регулярную сеть, тогда сетка квадратов должна быть такого масштаба, который бы обеспечил частоту отбора проб не менее 5-6 образцов с 1 га. Пробоотбор по нерегулярной сети может оказаться предпочтительней в случаях неравномерной застройки, что не редко в городе, и таких специфических свойств городских почв, как неоднородность почвенного покрова, рельеф и т.д. Кроме этого, почвам города не присуще равномерное загрязнение.

Отбор проб при экологическом изучении городских почв можно проводить в течение всего года, но лучше в конце или после наиболее влажного периода, или, когда наблюдается вегетация

растений, произрастающих на этих территориях. При контроле загрязнения почв и оценки их качественного состояния отбор проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа проводят не менее одного раза в год. При наличии загрязнителей не реже трёх раз в год [ГОСТ Р 58595-2019].

Для характеристики всей изучаемой территории, а не только места отбора необходимо использовать представительные пробы. Усреднение материала не менее, чем из пяти точечных проб¹, взятых с одной пробной площадки, представляет объединенную пробу. Поэтому отбор точечных проб можно проводить из одного или нескольких горизонтов (слоёв) методом конверта, по диагонали или любым другим способом с таким расчётом, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для генетических горизонтов данного типа почвы.

Точечные пробы должны быть массой не менее 200 г, а глубина отбора с глубины 0-10 см, для определения содержания химических элементов в почве. Такая глубина обусловлена тем, что верхние горизонты почвы – это некий геохимический барьер на пути потока вещества, поступающего из атмосферы. В этих горизонтах могут содержаться труднорастворимые осадки в виде новообразований железа, обогащённые разными металлами и металлоидами, содержания которых от их общего запаса в почвенном покрове может составлять более 50 %. При мощности горизонта или слоя более 40 см отбирают отдельно не менее двух проб с различной глубины. Однако городские почвы находятся в зоне разнообразных городских коммуникаций, которые могут пересекать в глубь разные почвенные горизонты. В этой связи закладка полнопрофильных разрезов для морфологического описания является достаточно проблематичной даже на глубину 0.5 м. Территория города занимает более 1 га, что требует отбора большого количества образцов. В этой связи наиболее удобными способами признаны изучение поверхностных слоёв почвенного покрова города глубиной от 0 до 20 см, в зависимости от типа почв.

Так как одной из задач мониторинга состояния почв заключается в оценке их элементного состава, то после отбора представительных проб проводят их подготовку к химическому анализу. Для этого пробы рассыпают на бумаге или кальке и разминают пестиком крупные комки, выбирая включения – корни растений, насекомых, камни, стекло, уголь, кости животных. Почву истирают и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм, далее из просеянной пробы методом квартования² отбирают представительную пробу массой не более 100 г и растирают ее в ступке из агата, яшмы или плавленого корунда до пудрообразного состояния.

В работах, в которых изучаются отдельные территории города, используется регулярная сеть [Oyunbat et al., 2021; Pecina et al., 2023], а в работах, посвящённых экологии города – отдельные точки [Enkhchimeg et al., 2020; Oyunbat et al., 2021; Bilguun et al., 2020; Мягмаржав и др., 2018; Кошелева и др., 2010; Batjargal et al., 2010; Батхишиг, 1999].

¹ Точечная проба – это проба определенного объёма, взятая однократно из почвенного горизонта, слоя [ГОСТ Р 58595-2019].

² Метод квартования – способ отбора проб сыпучих тел для анализа. При квартовании пробы, отобранные из различных мест, смешиваются. Полученная проба рассыпается ровным слоем, делится накрест на четыре части (квартуется); из них две противоположные удаляются, а оставшиеся перемешиваются и снова делятся на четыре части. Так поступают, пока количество материала не уменьшится до требуемого.

Анализ почв и растительных материалов при экологическом мониторинге территорий

Анализ почвы – это совокупность операций, выполняемых с целью установления физико-механических, физико-химических, химических, агрохимических и биологических свойств почв. При изучении городских почв применяется методический подход с использованием полевых (сравнительно-географический, стационарный) и лабораторно-аналитических методов исследования.

Существует большое количество аналитических методов и методик, которые могут быть использованы для характеристики элементного состава почв. Однако содержание и качество аналитической информации не всегда соответствует жёстким требованиям экологического мониторинга. Поэтому широко используют комбинирование нескольких аналитических методов и методик. Требования к таким методам и методикам:

- одновременное определение широкого круга элементов и, желательно, без изменения агрегатного состояния анализируемого вещества;
- обеспечение нижних границ определяемых содержаний элементов ниже значений регионального фона (мировых кларков – распространённости элементов в литосфере) и ПДК/ОДК для валовых и подвижных форм элементов;
- анализ для больших партий проб почв при минимальных финансовых и временных затратах.

Вопрос, какие рациональные схемы анализа обеспечивают заказчиков наиболее полной и надёжной первичной геоэкологической информацией при минимальных финансовых и временных затратах, остаётся открытым. Известно, что для согласования качественных и количественных интересов в сложных системах, использующих результаты аналитических исследований, недостаточно "универсального скаляризатора", в роли которого выступают деньги. Поэтому на основе теории информации предложен ввод единой количественной меры, которая содержится в любых сообщениях, в том числе и в результатах анализа, – это дополнительный критерий выбора конкретной методики анализа из множества возможных с помощью её информативности, выраженной через количество информации, предоставляемой пользователю-интерпретатору аналитических результатов.

Для стандартизации аналитических процессов Г. Кайзер [Kaiser, 1970, 1973] предложил использовать понятия количественных пределов (обнаружения, определения, точности и т.д.) и информативности аналитических методов. Количество информации (P_{inf}) – объективная мера, позволяющая сравнивать между собой различные методы и методики анализа (Остроумов и др., 1988). Величина P_{inf} тем больше, чем лучше прецизионность, шире диапазон определяемых содержаний и больше число одновременно определяемых элементов.

$$P_{inf} = \sum_{u,i} \log_2 g_{ui}$$

P_{inf} – количество информации, бит; U – количество одновременно определяемых элементов; g_u – число различных градаций содержаний (концентраций) u -го элемента, которое определяется по формуле

$$g_u = \frac{(C_{верх} - C_{нижн}) \sqrt{n}}{2t\sigma_u}$$

$C_{\text{верх}}$ и $C_{\text{нижн}}$ – верхняя и нижняя границы определяемых содержаний i -го элемента при некотором среднем значении абсолютного СКО, принимаемом за постоянное ($\sigma_i = \text{const}$), %; t – критерий Стьюдента; n – число параллельных определений. Под градацией концентрации понимается доверительный интервал величиной $2t\sigma_i$ с границами $\pm t\sigma_i$.

Оценка валового содержания широкого круга элементов в почвах возможна с помощью разнообразных аналитических методов, таких как рентгеновская, атомно-эмиссионная и абсорбционная спектрометрия, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, ИК-спектрометрия, нейтронно-активационный анализ и т.д. Необходимо отметить, что использование того или иного метода и их комбинация зачастую связывается с экономическими возможностями исследователей почв, а не аналитическими возможностями методов. Однако к многоэлементными методам, не использующими изменение агрегатного состояния почв, а также достаточно экспрессным и мало затратным относятся рентгенофлуоресцентная спектрометрия и атомно-эмиссионная спектрометрия с дуговым разрядом или лазером. Ранее в работе [Danzer et al., 1998] было показано, что атомно-эмиссионная спектрометрия наиболее информативный и надёжный метод анализа твёрдого вещества, так как даёт одновременно информацию о макро- и микроэлементах.

При изучении городских почв, которые имеют мелкоконтурность, широкое пространственное варьирование свойств, низкую буферную способность и утрату плодородия, важно знать не только содержание химических элементов в них, но и геохимическую структуру для отслеживания связи с подстилающими породами и выявления потенциальных загрязнителей [Norra et al., 2006; Maurice, 2009; Zinkutė et al., 2011; Chai et al., 2015]. В связи с чем, возникает объективная необходимость в установлении подвижности разных элементов в этих средах, а также знание о макросоставе почв при изучении геохимических барьеров, где механизмы закрепления микроэлементов минералами обусловлены процессами сорбции, окисления-восстановления и образованием новых минералов-носителей [Водяницкий, 2008]. Определение содержания подвижных форм химических элементов, содержащихся в почве, требует использование аналитических методов, в которых анализируемая проба находится в жидком агрегатном состоянии. В связи с этим атомно-абсорбционная, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой оказываются полезными и удобными методами анализа. Однако из-за физических особенностей источников возбуждения атомов и ионов в плазме тем или иным методом необходимо применять специальную аппаратуру и/или ограничивать число определяемых элементов [Adams, 2004; Abbasse et al., 2002; Kroukamp et al., 2016].

Растения содержат практически все химические элементы Периодической системы Д.И. Менделеева и участвуют в биогеохимическом круговороте веществ на Земле [Kabata-Pendias, 2011; Reimann et al., 2001; Buck et al., 2016]. Усвоение растениями элементов минерального питания зависит от биологических особенностей самого растения, природных факторов (свойств почв, обеспеченности водой, экспозиции и высоты древостоев, инсоляции, микроклимата) и их взаимодействия, которые до сих пор слабо изучены [Reimann et al., 2001; Mengel et al., 2001]. В современном мире, определение валовых содержаний и форм присутствия

большого числа химических элементов в составе растений изучают с помощью практически всего разнообразия существующих аналитических методов.

В 2001 г. Международная организация "Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group" [ITRC, 2001] отнесла С, Н, О, N, P, K, Ca, Mg, S, Mo, Zn, Cu, B, Mn, Co, Cl, I, Na, V и Fe к эссенциальным (биофильным или биогенным) элементам, т.е. незаменимым для роста, развития и размножения растений. Каждый эссенциальный элемент при наличии его биологически доступной формы в достаточной концентрации выполняет или активизирует в организме растения специфические функции. Считается, что потребность растения в том или ином элементе вырабатывалась в длительном эволюционном развитии, но физиологическое значение в жизни растений ультрамикрорезультатов, содержание которых менее 0.0001 мас. %, до сих пор изучено мало [Васильева, Шабанова, 2021].

Наиболее часто используемыми для анализа растений являются многоэлементные и производительные методы, такие как рентгенофлуоресцентная спектрометрия, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, атомно-эмиссионная спектрометрия с дуговым разрядом / индуктивно связанной плазмой / лазером, инструментальный нейтронно-активационный анализ и др. На элементный анализ растения обычно поступают после высушивания на воздухе или лиофилизации (вымораживания) в виде порошков, которые представляют сложные многокомпонентные смеси органических, элементорганических и минеральных веществ. Для получения представительной пробы высушенные или лиофилизованные растения измельчают до порошка с размером частиц менее 0.1 мм или меньше. Надёжность определения аналитов инструментальными методами, использующими растворы, значительно зависит от качества химической пробоподготовки образцов, а прямыми методами – без изменения агрегатного состояния вещества, – возможностей методов. Аналитические методы, такие как титриметрия, спектрофотометрия, электрохимические методы, атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), атомно-эмиссионная спектрометрия в пламени или с индуктивно связанной плазмой (ПАЭС и АЭС-ИСП) и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), перед измерением требуют переведения проб растений в раствор. Обычно используют разложение смесями кислот в закрытых системах (автоклавах) для снижения потерь легколетучих элементорганических соединений и уменьшения объёма используемых высокочистых кислот, имеющих высокую стоимость [Vasil'eva, Shabanova, 2019]. Однако практический интерес представляют методики анализа растений одновременного определения элементов в широком диапазоне содержаний без использования кислотного разложения и озоления. Атомно-эмиссионная спектрометрия является одним из наиболее распространенных аналитических методов при проведении экологического мониторинга сопряженных сред «почва – растение», а также при оценке качества растительного сырья, используемого в пищевой и фармацевтической отраслях [Ковалевский, 1991; Mengel, 2001; Selina et al., 2014].

Одним из экспрессных вариантов метода является атомно-эмиссионная спектрометрия с дуговым разрядом – экономичный, доступный и многоэлементный метод с достаточно низкими пределами обнаружения (10^{-6} – 10^{-4} мас. %), но его применение требует учета особенностей биологических объектов, связанных с присутствием больших количеств разнообразных

органических веществ, влияющих на процессы испарения и поведение атомов при возбуждении в дуговом разряде [Vasil'eva, Shabanova, 2019].

Способы обработки геохимических данных

Геохимический фон

Загрязнение почв потенциально токсичными элементами связана с их гео- и биоаккумуляционными способностями, а также скоростью переноса химических элементов (ХЭ) в пределах почвенного профиля. Распределение ХЭ в почвенном профиле может предоставить информацию об их происхождении. Накопление ХЭ могут способствовать естественные процессы почвообразования (педогенные) и деятельность человека (антропогенные). Педогенные процессы создают благоприятные или неблагоприятные условия для накопления ХЭ. Например, выветривание материнского материала является естественным процессом, влияющим на количество металлов и металлоидов в почве [Kabata-Pendias, 1993; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. В то время, как антропогенные процессы всегда приводят к их накоплению. Большинство антропогенных загрязнителей выбрасываются в атмосферу, а затем осаждаются на поверхности почвы. Источниками антропогенного влияния являются историческая деятельность человека [Kowalska et al., 2016], транспорт [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1984; Сает, 1990; Kabata-Pendias, 2011; Водяницкий, 2013], промышленность и сельское хозяйство [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1984; Сает, 1990; Kabata-Pendias, 2011; Касимов и др., 2011a; Vyambasuren, 2012; Водяницкий, 2013; Vasilyeva et al., 2013; Chai et al., 2015].

Одной из распространённых оценок является гигиеническая оценка опасности загрязнения почва металлами и металлоидами, которая заключается в сопоставлении найденных содержаний химических элементов в почве с установленными их предельно- или ориентировочно допустимыми концентрациями (ПДК и ОДК, соответственно). Однако, в настоящее время, большинство ученых выступают с критикой этой системы [Водяницкий, 2012, 2014б; Экологическое нормирование..., 2013].

Фиксированные значения нормативов не учитывают природно-климатические и геохимические особенности регионов, поэтому рекомендуется для подобных исследований использовать значения фоновых концентраций на конкретной территории [Reimann, Garrett, 2005; Johnson, 2012; Ander et al., 2013; Сысо, 2015].

Согласно ГОСТ 27593, "фоновое содержание веществ в почве – это содержание вещества в почве, соответствующее её природному составу", т.е. некому фоновому значению [ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2042-06]. Однако для многих химических элементов остаётся открытым вопрос их распределения в окружающей среде [Сает et al., 1990].

Множество работ ссылаются на фоновые содержания по миру или региональному фону. Однако трудно определить фоновое значение, где, как предполагается, единственным источником изменений является исследуемый антропогенный источник [Gałuszka, Migaszewski, 2011; Dung et al., 2013]. Так как возникает необходимость в знании содержания элементов в почвах до "эпохи индустриализации". Трудно найти соответствующий материал, который не претерпел химических изменений, переформирования или осаждения. Экологические материалы являются частью живой системы в общем биогеохимическом цикле, случаи, когда материалы

были заморожены во времени, редки. С другой стороны, ледяные щиты и ледники мира свидетельствуют о том, что небольшие количества элементов были перенесены в межконтинентальных масштабах в отдаленные регионы и отложены в результате выброса в атмосферу в результате деятельности человека. Аналогичным образом, большие массы природных материалов выбрасываются в атмосферу и транспортируются между континентами в результате извержений вулканов и пыли от бурь в пустыне. Оба эффекта изменяют естественный фон в месте, где хранится материал, независимо от природного или антропогенного источника [Reimann, Garrett, 2005]. Использование фоновых оценок, основанных на содержаниях химических элементов в более глубоких слоях почвы, для оценки содержаний элементов в верхних горизонтах почвы (например, соотношение поверхностная почва/мировой фон) может привести к серьезным ошибочным интерпретациям, если игнорируются естественные биогеохимические процессы почвообразования. Из-за больших естественных колебаний концентраций элементов, например, в почвах, даже установление ПДК на основе эколого-токсикологических исследований является трудным делом, так как известно об адаптационных возможностях разных организмов к естественным изменениям среды. Кроме того, существуют проблемы с преобразованием концентраций растворимых веществ, используемых в эколого-токсикологических исследованиях, в соответствующие уровни в твердофазных материалах, например, в почвах, анализируемых с помощью обычно используемых процедур кислотного разложения. Таким образом, токсикологические пороговые значения также требуют учёта пространственного компонента, которым сейчас в большинстве исследований пренебрегают. Рейманн и Гарретт [Reimann, Garrett, 2005] доказали, что уровень экологического риска может быть установлен только после тщательного изучения минералогии образцов, чтобы понять, как потенциальный поллютант связан и при каких обстоятельствах может он быть биологически доступным и способным нанести ущерб экосистеме. Мероприятия по очистке почв без такого исследования, проводимые только потому, что выполнено статистически выведенное триггерное значение, вполне могут ухудшить экологическую ситуацию. Одни только высокие и низкие значения и статистически полученные уровни риска не подходят для разграничения "чистой" или "естественной" и "загрязненной" среды без вспомогательной информации, например, карт и профилей.

Геохимические индексы

Многочисленные геохимические исследования способствовали созданию обширной базы данных фоновых значений ХЭ, которые теперь могут быть использованы для оценки качества окружающей среды [Chen et al., 2005; Сысо, 2007; Водяницкий, 2010; Wei, Yang, 2010; Dung et al., 2013; Alekseenko, Alekseenko, 2014; Karim et al., 2015; Касимов, Власов, 2015; Gong et al., 2008; Qingjie et al. 2008; Ololade 2014; Kowalska et al., 2016; Mazurek et al., 2017; и т.д.]. Знания валовых содержаний ХЭ в почве, а также корреляционных или регрессионных взаимосвязей между содержаниями и свойствами почвы не дают исчерпывающей информации о степени антропогенного влияния. Например, сравнение установленных валовых содержаний металлов и металлоидов с их предельными допустимыми концентрациями, приведенными в санитарно-гигиенических нормативах, позволяет лишь приблизительно определить вероятность

загрязнения и не представляет целостной информации о состоянии качества почвы. В связи с тем, что в почве определение валовых содержаний металло(идо)в не всегда является достаточным методом оценки загрязнения почвы [Barbieri, 2016; Kowalska et al., 2018], были разработаны разные статистические оценки – индексы загрязнения – инструменты для комплексной геохимической оценки состояния почвенной среды (табл.1.3.). Одни из первых индексов были предложены Мюллером [Müller, 1969] и Хокансоном [Håkanson, 1980].

Комплексный характер оценки качества почвы с помощью индексов также подтверждается возможностью, которую он предоставляет для оценки экологического риска, а также степени деградации почвы. Индексы помогают определить, было ли накопление химических элементов вызвано естественными процессами или было результатом антропогенной деятельности. Кроме того, индексы загрязнения имеют большое значение для мониторинга качества почвы и обеспечения будущей устойчивости, особенно в случае агроэкосистем. Понимание степени о наличии или отсутствии загрязнения почвы зависит от выбора соответствующего индекса, при этом следует учитывать категорию земель, цель расчёта индексов загрязнения. Однако большинство индексов не учитывают погрешности (неопределённости) получаемых первичных аналитических данных, на которых строятся расчёты по всем индексам. В связи с тем, что до сих пор продолжают развиваться новые индексы, перманентно разные исследователи делают попытки классификации и выявления степени применимости существующих индексов.

Так в работе [Awadh et al., 2013] показано, что индексы загрязнения почв (коэффициент обогащения, коэффициент загрязнения, индекс геонакопления и индекс нагрузки загрязнения) металлами и металлоидами (Cd, Pb, Co, Cr, Ni, V, Cu, Zn, Mo, As, Th и U) почти полностью зависят от глобальных эталонных средних значений (геохимический фон и/или пороговые значения) и не учитывают происхождение почвы. Оценка загрязнения, полученная с использованием *EF*, в большей степени соответствует геохимическому фону, но при сравнении геохимического фона с индексами *C_f*, *I_{geo}* и *PLI* наблюдается большая вариабельность. В работе [Birch, 2023] рассмотрено 11 вариантов индексов, которые должны давать общую оценку состояния окружающей прибрежной среды. Однако показано, что согласованные показатели, полученные с помощью этих индексов, наблюдаются редко. Значительные различия в результатах оценки частично обусловлены исторической эволюцией индексов и чрезвычайным разнообразием фоновых и эталонных значений и материалов, применяемых для учёта доантропогенных уровней металлов и смешивающихся из-за переменных характеристик отложений. При этом индексы (*I_{geo}*, *PI_{Nemerow}*, *PLI* и *C_f*) дают результаты, которые либо завышают, либо недооценивают накопление/обогащение металло(идо)в, а результаты, полученные с помощью индекса *EF*, коррелируют с результатами индексов *mCd* и *MEC*.

Наиболее полная классификация и сопоставление возможностей оценки загрязнения почвы с помощью 18 относительных индексов с указанием на их сильные и слабые стороны дана в работе [Kowalska et al., 2018]. В этом литературном обзоре индексы загрязнения разделены на две группы: индивидуальные и комплексные. Первая группа содержит индексы, которые рассчитываются для каждого отдельного металл(оид)а индивидуально. Комплексные индексы загрязнения описывают загрязнение почвы более целостным образом, учитывая содержание более одного металл(оид)а или сумму отдельных показателей.

Таблица 1.3 – Разнообразные индексы загрязнения, используемые для комплексной геохимической оценки состояния почвенной среды

Название	Индекс	Обозначения	Область применения	Преимущества	Ограничения
Индекс геоаккумуляции	$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C}{1.5C_{GB}} \right]$	C – содержание определённого ХЭ; C_{GB} – содержание определённого ХЭ для геохимического фона; 1.5 – константа, позволяющая анализировать изменчивость ХЭ в результате естественных процессов и уменьшающая возможные вариации литогенных эффектов	Разделение почвы на классы качества по уровню загрязнения определённым ХЭ	Позволяет сравнивать текущее и предыдущее загрязнение. Точный масштаб	Неправильный выбор GB приводит к ошибочным результатам Возможные естественные колебания в GB; Не учитывают доступность и естественную геохимическую изменчивость металл(оид)ов
Индекс единичного загрязнения	$PI = \frac{C}{C_{GB}}$	C – содержание определённого ХЭ; C_{GB} – содержание определённого ХЭ для геохимического фона	Оценка степени индивидуального загрязнения ХЭ в верхнем слое почвы	Легко наносится (рассчитывается на основе соотношения между концентрацией в верхнем слое почвы и значениями GB) Широко используемая точная шкала GB	Не требует изменения природных процессов, доступную способность ХЭ не учитывается Ключевым является выбор подходящего GB
Коэффициент обогащения	$EF = \frac{C_{sample} / C_{sample}^{ref}}{C_{GB} / C_{GB}^{ref}}$	C_{sample} – содержание определённого ХЭ в образце; C_{sample}^{ref} – содержание какого-то из металлов Fe/Al/Ca/Ti/Sc/Mn в образце; C_{GB} – содержание определённого ХЭ для геохимического фона; C_{GB}^{ref} – содержание какого-то из металлов Fe/Al/Ca/Ti/Sc/Mn в геохимическом фоне	Оценка происхождения поллютанта	Нормализация позволяет сопоставлять обогащение разнотипными ХЭ почвенного покрова Точная шкала	Измеренные по отношению к эталонным значениям Выбор и определение элемента, демонстрирующего низкие уровни изменчивости, должны быть связаны с типом и свойствами изучаемой почвы Ключевым моментом является выбор подходящего GB

Название	Индекс	Обозначения	Область применения	Преимущества	Ограничения
Фактор заражения	$C_f = \frac{\bar{C}_i}{C_p}$	\bar{C}_i – среднее содержание i -го ХЭ минимум в пяти образцах; C_p – доиндустриальное содержание этого ХЭ	Оценка качества почвы помогает описать токсичные вещества	Простой и прямой метод, индивидуальный для каждого металл(оид)а, включающий разницу между образцом и контрольными значениями, полученными путем деления с каждого металла Точная шкала	Не учитывает доступность металло(идо)в и их природная распространённость на территории, необходимо знание доиндустриального значения Использовалось только для ограниченного круга ХЭ (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb и Zn)
Биогеохимический индекс	$BGI = \frac{C_i^O}{C_i^A}$	C_i^O – содержание i -го ХЭ в горизонте О C_i^A – содержание i -го ХЭ в горизонте А	Оценка степени биосорбции поллютантов	Показывает вертикальную подвижность металло(идо)в, легко вычисляется в точном масштабе	Не требует изменения природных процессов
Индекс суммы загрязнений	$PI_{sum} = IPI = \sum_{i=1}^n PI_i$	PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ n – число определяемых в исследовании ХЭ	Оценивает общее загрязнение от группы химических элементов	Объединение всех проанализированных ХЭ позволяет сравнивать загрязнение в различных почвенных экосистемах на основе значений PI	Не требует изменения природных процессов, не учитывает доступность металло(идо)в Ключевым моментом является выбор подходящего GB Отсутствие точной шкалы

Название	Индекс	Обозначения	Область применения	Преимущества	Ограничения
Индекс загрязнения Немерова	$PI_{Nemerow} = \sqrt{\frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n PI_i}{n}\right)^2 + PI_{max}^2}{n}}$	PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ PI_{max} – n – число определяемых в исследовании ХЭ	Оценка общего качества почвы	Непосредственно отражает загрязнение почвенной среды; Выделяет элементы, наиболее заражающие. Возможно использование значений GB, пороговых, а также базовых Точная шкала Индекс учитывает воздействие отдельного элемента, который присутствует в "высоких" концентрациях, с использованием максимального коэффициента	Не включает весовой коэффициент, необходимый для ранжирования элементов
Индекс нагрузки загрязнения	$PLI = \sqrt{\prod_{i=1}^n PI_i}$	n – число определяемых в исследовании ХЭ; PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ	Оценка уровня загрязнения / степени загрязнения ХЭ	Объединяет любое количество анализируемых ХЭ, позволяет сравнивать загрязнение на разных участках почвы,	Не учитывает природных процессов
Усреднённый единичный индекс загрязнения	$PI_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n PI_i}{n}$	n – число определяемых в исследовании ХЭ; PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ	Оценка качества почвы через заражение	Легко применять Отсутствие порога для максимальных значений	Измерения относительно эталонных значений Не широко используется Используется усреднение Не точная шкала
Векторный модуль индекса загрязнения	$PI_{vector} = \frac{\sum_{i=1}^n PI_i}{\sqrt{n}}$	n – число определяемых в исследовании ХЭ; PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ	Общая оценка накопления изучаемых ХЭ	Легко рассчитать Объединяет любое количество информации о загрязнении ХЭ в один индекс	Мало используем Не учитывает природных процессов Не точная шкала

Название	Индекс	Обозначения	Область применения	Преимущества	Ограничения
Коэффициент фонового обогащения	$PIN = \sum_{i=1}^n \frac{PI(class)_i^2 \times C}{GB}$	$PI(class)_i$ – класс оценки загрязнения для единичного показателя i -го ХЭ; GB – значение геохимического фона для определённого ХЭ; C – заражение от ХЭ	Общая оценка содержания анализируемых ХЭ	Легко рассчитать, все загрязнения объединены в единую точную шкалу значений, основанную на значениях PI	Широко не используется Не учитывает естественные геохимические процессы Необходимо вычисление класса PI
Многоэлементное загрязнение	$MEC = \frac{\sum_{i=1}^n C_i/T_i}{n}$	C_i/T_i – отношение содержания ХЭ к допустимому уровню этого ХЭ [Kloke, 1979].	Позволяет проводить комплексную оценку	Простота применения даёт информацию о происхождении ХЭ	Нужны значения Клоке, широко не используются, не учитывают природные геохимические процессы, нет точной шкалы Учитывает ограниченный круг ХЭ
Индекс безопасности загрязнения	$CSI = \sum_{i=1}^n w_i \left(\sqrt{\frac{C_i}{ERL_i}} + \left(\frac{C_i}{ERM_i} \right)^2 \right)$	w_i – весовые коэффициенты для каждого ХЭ, вычисленные в согласно с [Pejman et al., 2015]; C_i – содержание определённого ХЭ в образце; ERL_i и ERM_i – соответственно нижний диапазон воздействия (effects range low) и медианное значение диапазона воздействия (effects range median) для каждого ХЭ, вычисленные согласно [Long et al., 1995].	Оценка интенсивности накопления ХЭ	Полезно для определения предела токсичности Все загрязнения объединены в единую величину, включая неблагоприятные биологические эффекты Точная шкала	Для не очень широкого использования требуются значения для ERM, а для ERL требуется вес каждого ХЭ

Название	Индекс	Обозначения	Область применения	Преимущества	Ограничения
Вероятность токсичности	$MERMQ = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ERM_i}}{n}$	C_i – содержание определённого ХЭ в образце; ERM_i – медианное значение диапазона воздействия (effects range median) для i -го ХЭ (Long et al., 1995); n – число определяемых в исследовании ХЭ	Инструмент для распознавания вредного воздействия ХЭ Оценка уровня риска загрязнения	Приложение для сведения большого количества загрязняющих веществ к одному индексу Может определять приоритетность регионов потенциальной опасности Помогает оценить биологические эффекты В точном масштабе	Требуется не так много используемых в литературе значений ERM, не требующих изменения естественных процессов
Степень загрязнения	$C_{deg} = \sum_{i=1}^n C_{fi}$	C_{fi} – фактор заражения i -ым ХЭ n – число определяемых в исследовании ХЭ	Оценивает степень загрязнения почвы	Количество анализируемых тяжелых металлов не ограничено Оценивает сумму факторов загрязнения Точная шкала	Широко не используется. Не учитывает естественные геохимические процессы. Не включает C_{GB} Необходимо доиндустриальное эталонное значение
Потенциальный экологический риск	$RI = \sum_{i=1}^n (T_T^i \times PI_i)$	T_T^i – коэффициент токсичности отдельного ХЭ (Håkanson, 1980); PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ; n – число определяемых в исследовании ХЭ	Оценка потенциального экологического риска от оценки загрязнения ХЭ	Комплексная оценка учитывает синергию, уровень токсичности и экологическую чувствительность ХЭ Точная шкала	Нет необходимости в значениях C_{GB} для значений токсичной реакции (однако приведены только значения Hg, Cd, As, Cu, Pb, Cr, Zn и Ni) Требуется система ранжирования
Модифицированная степень загрязнения	$mCd = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$	C_i – содержание определённого ХЭ в образце; n – число определяемых в исследовании ХЭ	Оценка общей степени загрязнения	Простота применения Учитываются все анализируемые ХЭ Широко используется	Не требует изменения природных процессов Не учитывает доступность ХЭ Не включает C_{GB}

Название	Индекс	Обозначения	Область применения	Преимущества	Ограничения
Комплексный (суммарный) показатель загрязнения	$Z_c = \sum_{i=1}^n PI_i - (n - 1)$	PI_i – индекс единичного загрязнения для i -го ХЭ n – число химических элементов с $PI_i > 1.0$ [Касимов и др., 2011]	Геохимическая оценка техногенной трансформации почв в каждой из точек опробования	Легко рассчитывать и применять Широко используемая точная шкала GB	Измерения относительно эталонных значений Не широко используется Используется усреднение Не точная шкала Отсутствие порога для максимальных значений
Фактор воздействия (риска)	$ExF = \sum_{i=1}^n \frac{C_i - C_i^{avg}}{C_i^{avg}}$	C_i – содержание i -го ХЭ в образце; C_i^{avg} – среднее содержание i -го ХЭ в почвенном покрове	Определение наиболее загрязненной точки участка Общая оценка почвы	Простота применения Объединяет все ХЭ в один индекс	Мало используется в литературе, не позволяет распознавать накопление естественного загрязнения, нет точной шкалы

Кроме того, чтобы упростить выбор подходящих индексов, авторы разделили эти индексы с точки зрения назначения и метода расчёта. По мнению авторов, среди индивидуальных индексов загрязнения I_{geo} и EF считаются наиболее полезными и универсальными, тогда как из комплексных индексов загрязнения RI и CSI были признаны наиболее важными. В связи с тем, что городские почвы подвержены антропогенному загрязнению, которое может быть результатом различной промышленной и коммерческой деятельности, а также историческими событиями необходим комплексный подход к оценке их качества, который требует применения некоторых индивидуальных индексов для оценки загрязнения отдельными ХЭ (I_{geo} , PI или C_f), выявления источника загрязнения (EF), потенциального экологического риска (mCd , ExF , $MERMQ$, MEC , C_{deg} , CSI или RI).

Оценка экологического состояния почв через растения может быть осуществлена при расчёте интегральных характеристики биохимических процессов в растениях, например, таких как фотосинтез, ферментогенез и уровень загрязнения токсичными элементами через отношения валовых содержаний Fe/Mn , Cu/Zn и Pb/Mn соответственно [Аржанова, 1996; Кошелева и др., 2013; Парибок и др., 1982]. Однако непосредственно перед оцениванием необходимо установить виды растений, произрастающие на этих почвах, наиболее "отзывчивые" на антропогенное влияние и выявить для этих растений "фоновый" элементный состав.

Цифровое почвенное картирование, геостатистика

Разнообразные способы оценки загрязнения почв не дают представления пространственного распределения химических элементов на изучаемой территории, т.к. использование последовательных статистических методов при работе с разного рода критериями загрязнения почв оказывается не достаточным. Причина может заключаться в том, что такие критерии являются композиционными³, в которых часть информации о природных системах полностью утрачена, и невозможно знать весомость этого эффекта априори. Данные о составе (почти все данные по геохимии) являются композиционными данными, то есть они обычно суммируются до константы [Filzmoser et al., 2009]. Если уровень исследования композиционных данных с помощью классических инструментов переходит от описательной фазы к применению статистических тестов, результатом может стать ошибочная оценка сформулированной гипотезы, что является решающим моментом, когда экологические вопросы становятся предметом дискуссий [Buccianti, 2013; Buccianti, Grunsky, 2014]. В работе [Zinkute et al., 2011] показано, что кроме потенциальных токсичных элементов необходимо вести наблюдение и за макроэлементным составом почв.

С другой стороны, изучение всего списка распределения химических элементов приводит к обработке большого объёма и сложной структуре данных, что затрудняет вычислительные процессы [Zuo, Xiong, 2018]. Однако исключает появление ситуаций характерных для традиционных способов обработки разведочных геохимических/экологических данных, когда выполняется, в основном, идентификация положительных геохимических аномалий, связанных с минерализацией, но игнорируются отрицательные геохимические аномалии. Таким образом,

³ В статистике композиционные данные – это количественные описания частей некоторого целого, передающие относительную информацию.

выявленные геохимические аномалии не полностью отражают искомую геохимическую сигнатуру минерализации, что приводит к неопределенности в геохимической разведке и выявлению экологических опасностей.

В связи с необходимостью нетривиальной обработки разноплановой первичной геохимической информации, применение многомерных методов статистического анализа (разведочный анализ данных, дисперсионный и дискриминантный анализ, вариации кластерного и факторного анализов) перспективно для выявления элементов, обладающих схожим геохимическим поведением, оценки миграции и аккумуляции биогенных и токсических элементов, а также форм их переноса. Создание научно обоснованных балансовых моделей, позволяющих описать динамику отдельных геохимических показателей в некотором объёме природной среды, напрямую связано с оценкой и прогнозированием загрязнения локальных экосистем химическими элементами.

Для построения карты загрязнения и выявления границы повышенного уровня загрязнения, т.е. распределение артефактов и процессов в географическом пространстве, используются статистические методы анализа и моделирование пространственных данных, объединённые в раздел геостатистика [Демьянов, Савельева, 2010]. Анализ, обработка и представление пространственно-распределённой информации с помощью статистических методов широко используется в разных направлениях науке о Земле: география и геофизика, окружающая среда и экология, геология и геологоразведка и т. п. Геостатистика полезна в случаях, когда масштабные исследования экономически не выгодны, но имеются эмпирические данные / артефакты, по которым с помощью неких интерполяционных моделей можно составить прогноз. При использовании геостатистики предполагается: непрерывность в пространстве, переменные как результат случайного процесса, нахождение процесса в неподвижном состоянии при движении от точки к точке и описание вариации этих процессов в терминах пространственной зависимости [Клебанович, Киндеев, 2018; Мешалкина и др., 2010].

Основные этапы анализа и моделирования пространственно-распределённых данных [Goovaerts, 2001; Демьянов, Савельева, 2010] состоят из:

- разведочного анализа данных, позволяющего выявить наличие выбросов (outliers) в данных, оценить базовые статистические закономерности, провести корреляционный анализ при наличии нескольких переменных и т.п.;
- установления статистического момента второго порядка – моделирование пространственной корреляции между данными по одной или нескольким переменным, где мера пространственной корреляции – это вариограмма;
- геостатистического оценивания. Для этого используют разнообразные модели из семейства кригинга (kriging). Оценка кригинга сопровождается оценкой ошибки интерполяции в каждой точке.

Математико-статистический аппарат в большинстве своём опирается на предположение о нормальном распределении данных, поэтому первым шагом в анализе данных всегда должно быть тщательное изучение распределения измеряемых переменных [Reimann, Filzmoser, 2000]. Наиболее широко используемым методом преобразования данных является метод Бокса-Кокса (Box-Cox transformation), согласно которому с помощью параметра, вычисленного с помощью

метода максимального правдоподобия (maximum likelihood method), приближает закон распределения исходной последовательности к нормальному [Вох, Сох, 1964].

Нормализация данных или использование непараметрической статистики позволяют избежать необъективных или даже ошибочных результатов. Непараметрические методы не основаны на допущениях модели, поэтому они предпочтительнее классических методов. В любом случае тщательный одномерный анализ и документирование наборов геохимических и экологических данных является абсолютной необходимостью перед использованием более совершенных статистических методов. Некоторые многомерные методы и статистические тесты требуют, чтобы каждая переменная имела не только нормальное распределение, но и многомерное нормальное распределение.

Региональные геохимические и экологические данные почти никогда не имеют нормального распределения. В большинстве случаев преобразование данных (например, через логарифмирование) не приведет к нормальному распределению [Chapman, 1976; Filzmoser et al., 2009]. Существует большое количество тестов на нормальное распределение. Например, гистограмма распределения или график квантиль-квантиль Q-Q. Эти графические инструменты дают первое впечатление о распределении данных. Причина сильного перекоса в наборах данных из геохимии и наук об окружающей среде часто заключается в том, что образцы представляют более одного природного процесса. Однако, чтобы продемонстрировать, что данные значительно отклоняются от нормального распределения, следует применить более формальный статистический тест. Существуют разные возможности для проверки одномерной нормальности. Наиболее популярными тестами являются тест Колмогорова-Смирнова [Смирнов, 1948], критерий согласия по хи-квадрат [Conover, 1980] и тест Шапиро-Уилка [Shapiro, Wilk, 1965]. Все эти тесты сравнивают независимую одинаково распределенную выборку из неизвестного одномерного распределения с эталонной выборкой с известным распределением (в нашем случае нормальное распределение). Результатом тестов является p -значение, которое может быть принято, как решение относительно того, можно ли отклонить нулевую гипотезу. Обычно, если $p < 0.05$, нулевая гипотеза нормального распределения отклоняется. В целом тест Шапиро-Уилка статистически предпочтительнее двух других тестов.

Среднее и стандартное отклонение, которые являются лучшими оценками местоположения и разброса для данных, которые следуют нормальному распределению, далеки от идеала при использовании для региональных геохимических или экологических данных. В большинстве случаев лучшим показателем местоположения таких данных является медиана. Из-за сильно различающейся информации, которую среднее и медиана представляют для искаженных данных, может быть оправдано представление обоих в таблицах данных.

Кроме этого, определение микроэлементов зависит от пределов обнаружения того или иного аналитического метода, т.е. для значительного числа проб оказывается не характерны истинные измеренные значения [Юфа, 1979; Eggen et al., 2019]. В добавок, точность измерений изменяется в зависимости от массовых долей элемента, значения становятся менее точными при очень низких и очень высоких содержаниях. Наличие выбросов в данных – в большинстве случаев наличие некоторых образцов с необычно высокими содержаниями приводит к

перекошенному распределению данных. Такие выбросы часто происходят из другой совокупности данных, чем основной массив данных. Выбросы данных не влияют на робастные (устойчивые) методы, которыми являются непараметрические.

В работе [Reimann, Filzmoser, 2000] представлен набор наиболее часто используемых статистических параметров, тестов и методов в геохимии и науках об окружающей среде вместе с оценкой их уязвимости к ненормально распределенным данным. Для установления источников загрязнения наиболее популярными статистическими методами являются анализ главных компонент (PCA – principal component analysis), факторный анализ (FA – factor analysis) и кластерный анализ (CA – cluster analysis).

Кластерный анализ – это группа методов многомерного анализа данных, которые исследуемые признаки/показатели/объекты разделяет по кластерам сходства группируемых объектов с помощью метрики (расстояния) [Ким и др., 1989; Калинина, Соловьев, 2003; Многомерные..., 2006]. По сути, заранее невозможно найти решения задачи кластеризации из-за существования множества критериев оценки качества разбиения и отсутствия знания о числе кластеров. Поэтому алгоритмы кластеризации нужно подбирать и настраивать почти для каждой задачи отдельно. Решение задач классификации объектов с использованием СА проводится в определенной последовательности: составляется таблица исходной информации с указанием объектов и их признаков; проводится нормализация исходной информации; по преобразованным исходным данным рассчитывается метрика (определение меры сходства объекта); выбирается метод кластеризации и определяется количество кластеров; строится дендрограмма и проводится содержательная интерпретация полученных результатов с оценкой достоверности кластеризации. Решающим в интерпретации является выбор масштаба метрики – меры близости, т.е. задание расстояния между объектами, которые объединяют или разъединяют объекты. Существует три типа мер:

- коэффициент подобия – для группировки объектов и признаков, если уровни показателей являются действительно целыми числами;
- коэффициенты связи – чаще применяются для группировки признаков с использованием коэффициента корреляции (корреляция Пирсона);
- показатели расстояния – характеризуют степень взаимной удаленности признаков и применяются в основном для кластеризации объектов. Наиболее употребимыми являются разновидности Евклидова расстояния, расстояние Хемминга, расстояние Чебышева, расстояние Минковского. Евклидова метрика наиболее употребительна.

Метод кластеризации – способ вычисления расстояний между кластерами устанавливается по следующим способам кластеризации: меж- или внутригрупповая связи; k-соседей; центроидной или медианной связью; методом Варда. Число кластеров определяется в ходе разбиения имеющегося объема совокупности. При большом числе вариантов в совокупности пользуются методом случайного отбора. Оптимальное число разбиений является функцией заданной доли оптимальных разбиений в множестве всех возможных. Широко используемым в геостатистике является метод Варда, т.к. он опирается на евклидово расстояние. Процесс объединения кластеров графически представляется с помощью дендрограммы – дерева

объединения кластеров. Вид дендрограммы зависит от выбора меры сходства или расстояния и метода кластеризации [Ким и др., 1989; Многомерные..., 2006].

Факторный анализ – это также многомерный статистический метод, используемый для классификации переменных и снижения размерности изучаемых данных. В этом виде анализа предполагается, что известные переменные зависят от меньшего количества неизвестных (латентных/скрытых) переменных и некой случайной ошибки, и в один фактор объединяются сильно коррелирующие между собой переменные, в следствие чего, происходит перераспределение дисперсии между компонентами [Андерсон, 1963; Ким и др., 1989; Калинина, Соловьев, 2003; Многомерные..., 2006]. После объединения коррелированность компонент внутри каждого фактора между собой оказывается выше, чем их коррелированность с компонентами из других факторов. Кроме того, что возможно исследование скрытой факторной структуры без предположения о числе факторов и их нагрузках, ФА может быть использован для проверки гипотез о числе факторов и их нагрузках. Процедура факторного анализа состоит из четырех основных стадий: вычисление корреляционной матрицы для всех переменных, участвующих в анализе; извлечение факторов; выбор факторов и вращение факторов для создания упрощенной структуры; интерпретация факторов. Основным смыслом факторного анализа заключается в выделении из всей совокупности переменных только небольшого числа латентных независимых друг от друга группировок, внутри которых переменные связаны сильнее, чем переменные, относящиеся к разным группировкам.

Для выявления наиболее значимых факторов оправданно применять анализ главных компонент, когда производится замена коррелированных компонентов некоррелированными факторами. Анализ главных компонент, можно назвать упрощенной моделью факторного анализа, поскольку при этом методе не используются индивидуальные факторы, описывающие только одну переменную. РСА позволяет объединить влияние высоко коррелированных переменных в один фактор, характеризующий зависимую переменную с одной единственной стороны. Первый главный фактор/компонента описывает наибольший процент дисперсии независимых переменных, далее – по убывающей [Ким и др., 1989; Калинина, Соловьев, 2003; Многомерные..., 2006]. Таким образом, каждая следующая главная компонента, выделенная последовательно, объясняет все меньшую долю изменчивости факторов. Задача исследователя состоит в установлении числа главных. Интерпретация результатов оказывается проще из-за возможности рассмотрения только наиболее информативных главных компонент и исключения остальных. Снижение размерности данных в РСА получается в результате максимизации различий в нагрузках компонентов и устранения недопустимых компонентов после применения varimax метода. Существенными (релевантными) компонентами при этом являются переменные, собственные значения которых выше 1, а главные компоненты должны составлять более 75 % от общей дисперсии. При всех преимуществах РСА – одного из видов многомерного анализа данных (снижение размерности, выявление основных факторов влияния), этот метод обладает высокой чувствительности к выбросам и не рекомендуется использовать без преобразования данных. Это заключение относится и к ФА [Reimann, Filzmoser, 2000].

Выводы

г. Улан-Батор является столицей Монголии и самостоятельной административной единицей, которая состоит из девяти районов и каждый из них содержит промышленные, транспортные, селитебные и рекреационные зоны. В принципе, география, геология окрестностей и самого города достаточно хорошо изучены и описаны в научных работах многих исследователей. Различные антропогенные (промышленные и транспортные выбросы; историческое прошлое и современное развитие города) и природные (почвообразующие процессы) источники оказывают влияние на состав почв и их способность самовосстановления.

Множество работ направлены на исследование механического, элементного и вещественного составов почв г. Улан-Батор. Причём в работах, посвящённых элементному составу почв города, указано на необходимость контролировать распределение широкого круга химических элементов и закономерности их миграции и аккумуляции в почвах, так как УБ – это крупный мегаполис с высоким ростом городского населения, числа промышленных предприятий, автомобилей, автозаправочных станций, объёмов промышленных и бытовых отходов. В связи с чем, возникает объективная необходимость в установлении подвижности разных элементов в сопряженных средах, а также знание о макросоставе почв при изучении геохимических барьеров, где механизмы закрепления микроэлементов минералами обусловлены процессами сорбции, окисления-восстановления и образованием новых минералов-носителей. Однако в большинстве публикаций рассматривается достаточно узкий список микроэлементов несмотря на то, что от макросостава и физических свойств глинистой, илистой или песчаной фракции зависит элементный состав почвы и направленность биогеохимических процессов. Всё это приводит к неоднозначной интерпертации получаемых результатов. Например, оценки экологического состояния почв одной и той же городской местности у разных авторов в один временной период кардинально отличаются от низкой до критически опасной степени заражения. Такое расхождение в оценках может быть свидетельством того, что в большинстве работ (1) рассматривают валовые содержания элементов; (2) не учитывает региональное распределение химических элементов; (3) изучают территорию города лишь с помощью малого числа проб, которые отобраны по ограниченной схеме отбора и/или характеризуют только некоторые части /зоны города.

В общем случае регламентировано, что при экологическом изучении почв отбор проб желательно проводить в конце или после наиболее влажного периода, по нерегулярной сети опробования из-за специфики климата и городских условий. Хотя разнообразие современных методов химического анализа расширяет возможности изучения природных образцов, но требует оптимизации схем их применения, в том числе и при определении биофильных и токсичных элементов и их форм нахождения в сопряжённых средах. Поэтому вопрос об аналитических методах (методиках) и их комбинации, которые могут быть использованы для достоверной характеристики элементного состава почв, до сих пор открыт. Необходимо отметить, что использование того или иного метода и их комбинация чаще связывается с экономическими возможностями исследователей, а не аналитическими возможностями методов. Таким образом, разработка рациональных схем анализа проб сопряжённых сред "почва – растение" для

получения полной и надёжной первичной геоэкологической информацией при минимальных финансовых и временных затратах остаётся актуальной. При этом методы, включённые в эту схему, должны быть многоэлементными, способными определять макро- и микроэлементы одновременно; обеспечивать нижние границы определяемых содержаний элементов ниже значений регионального фона. Список определяемых элементов в рациональной схеме обязательно должен включать ХЭ отражающие природные и техногенные процессы, происходящие на территории города, т.е. макроэлементы (Si, Al, Mg, Ca, Fe, K, Na, S, P, Mn, Ti) и микроэлементы (As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, F, Ge, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, V, Zn и т.д.). Отсутствие в этом списке некоторых элементов (Hg, Th, U, W) обусловлено их незначительным накоплением по данным предыдущих исследователей и возможным косвенным контролем через другие ХЭ.

В комплексном исследовании геохимических особенностей почвенно-растительного покрова городской экосистемы определённое место занимают этапы оценки состояния почвенной среды, выделения источников загрязнения, установления закономерностей миграции и аккумуляции биофильных и токсичных элементов. Чаще оценка состояния почвенной среды и растительного сообщества, базируется на разных статистических оценках, например, индексах загрязнения. В настоящее время разработано множество разных индексов, но условия применимости и степень полезности того или иного индекса при экологических исследованиях мало изучены. Следовательно, для городских почв и растений, произрастающих на них, необходимо установить какие рекомендованные индексы наиболее полно описывают экологическую ситуацию. Так как при оценке уровня загрязнения почвы искажённое понимание может возникнуть из-за отсутствия информации о региональных фоновых значениях или отсутствии знания о макросоставе почв, требуется определить эти показатели.

Разнообразные оценки загрязнения почв не дают представления пространственного распределения химических элементов на изучаемой территории. Для построения карты загрязнения и выявления границы повышенного уровня загрязнения, используются статистические методы анализа и моделирование пространственных данных. Современная методология установления источников загрязнения окружающей среды, выявления взаимосвязи и взаимозависимости между макро- и микроэлементами почвенного покрова широко применяет методы многомерного статистического анализа, такие как: анализ главных компонент, факторный и кластерный анализ. Хотя наиболее популярные статистические методы установления источников загрязнения достаточно хорошо разработаны с математической точки зрения, но для каждой задачи их применимость всегда должна быть оценена индивидуально. В связи с этим, необходимо с помощью методов многомерного статистического анализа изучить взаимоотношения между макроэлементами и потенциально токсичными микроэлементами в почвенном покрове г. Улан-Батор; а также проинтерпретировать выявленные геохимические связи с целью установления источников поступления микроэлементов в поверхностные городские почвы.

ГЛАВА 2. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ СОПРЯЖЁННЫХ СРЕД "ПОЧВА – РАСТЕНИЕ" НА ТЕРРИТОРИИ Г. УЛАН-БАТОР

Отбор материала почв и растений на территории г. Улан-Батор

Полевые исследования почв на территории г. Улан-Батор проведены в течение летних сезонов 2010, 2011, 2017 и 2019 гг. в следующих районах города: Баянгол (БГ), Баянзурх (БЗ), Чингэлтэй (Ч), Хан-Уул (ХУ), Сухэ-Батор (СБ) и Сонгинохайрхан (СХ). Каждый из районов имеет внутреннее разделение на зоны транспортную, селитебную, рекреационную, и промышленную. Разные районы отличаются размерами зон и процентом зональности (табл. 2.1). В таблице 2.1 показано группирование почвенных проб по территориально-административному делению и категории землепользования.

Таблица 2.1. – Районы УБ и количество проб, отобранных в разные годы

Показатели		Районы отбора проб						
Название	Полное	Баянгол	Баянзурх	Чингэлтэй	Хан-Уул	Сухэ-Батор	Сонгинохайрхан	
	Сокращённое	БГ	БЗ	Ч	ХУ	СБ	СХ	
Площадь, км ²		29.5	1244.1	89.3	484.7	208.4	1200.6	
Численность населения, чел. [Нийслэлийн..., 2022]	2010	181	266	147	112	137	252	
	2019	226	362	149	187	144	328	
Всего проб, шт.		124	161	103	71	94	35	
Количество отобранных почв разные года и по зонам отбора (зоны: I – промышленная, II – транспортная, III – селитебная, IV – рекреационная)	2010	Всего	9	18	15	7	9	-
		I	5	1	2	7	-	-
		II	4	9	1	-	4	-
		III	-	2	10	-	5	-
		IV	-	6	2	-	-	-
	2011	Всего	61	70	48	38	43	4
		I	3	25	-	14	-	-
		II	3	-	1	6	9	-
		III	48	45	45	16	34	4
		IV	-	-	2	2	-	-
	2017	Всего	36	53	28	16	23	23
		I	7	-	-	6	-	-
		II	12	12	2	-	10	-
		III	17	37	26	10	13	23
		IV	-	4	-	-	-	-
	2019	Всего	19	20	10	12	19	8
		I	1	-	4	-	-	-
		II	6	9	2	1	2	1
		III	12	9	4	11	17	7
		IV	-	2	-	-	-	-

Полный список отобранных проб представлен в Приложении А.1. Всего было отобрано 599 смешанных почвенных образцов на территории г. Улан-Батор с разной степенью антропогенной

нагрузки методом "конверта" со сторонами 1×1 м на глубине 0-10 см и по нерегулярной сети. Пробы растений были отмыты в проточной воде от остатков почвы и разделены на части: цветы, стебель, листья, корень или листья (хвоя) и ветки. Пробы почв и растений готовили в Институте Физики и технологии Академии наук Монголии (ИФиТ АНМ). Все образцы сушили до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре и вручную удаляли крупные включения, такие как камни, стекло, корни растений; гомогенизировали и просеивали через сито из нержавеющей стали с ячейей 0.74 мм (Fritsch GmbH), далее измельчали на лабораторной шаровой мельнице "Pulverisette 9", (Fritsch GmbH) до 2 мм. Растения измельчали на шаровой агатовой микромельнице КМ-1 (Fritsch, Германия) до размера частиц < 0.08 мм.

Для каждой точки отбора даны следующие характеристики (Приложение А.1):

- Год отбора;
- Номера проб (по году и полевой);
- Место отбора (географические координаты по системе GPS; район города; район землепользования; территория объекта; примечание)
- Геологическое строение территории (Magic Project, 1998);
- Тип почв;
- Растительный покров (состояние; покрытие; тип произрастающих растений).

Карта-схема произведённого пробоотбора почв по годам приведена на рисунке 2.1. Дополнительно на схеме показаны предприятия возможные источники загрязнения.

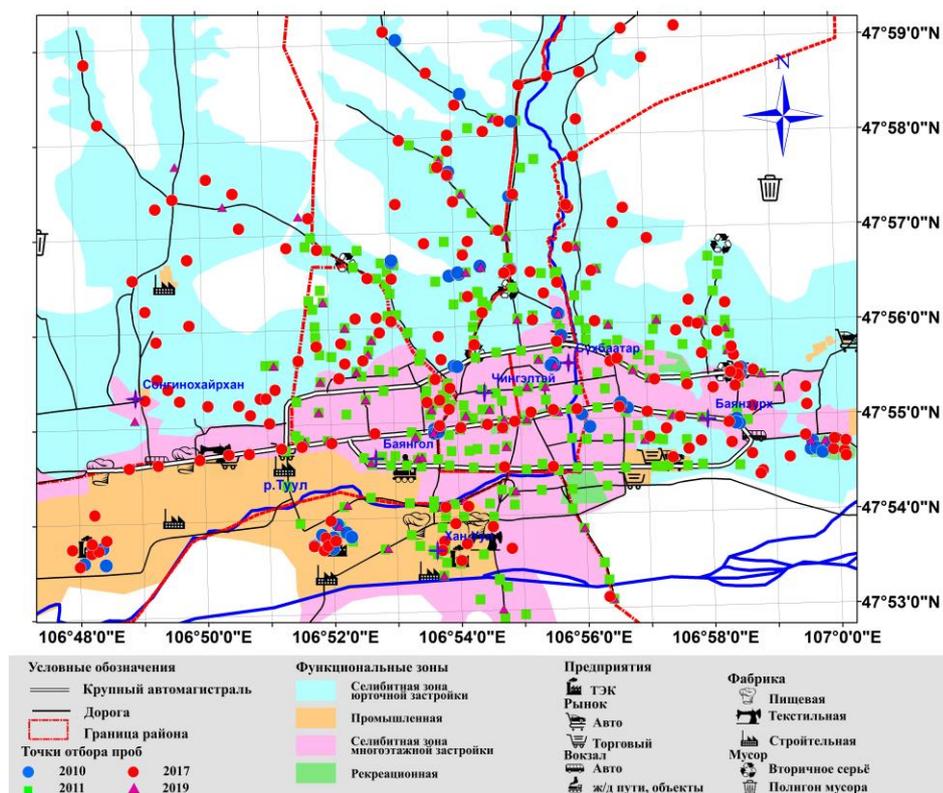


Рисунок 2.1. Схема отбора почвенных проб на территории г.Улан-Батора

Все данные по пробам упорядочены и составлены в картотеку. Примеры оформления каточек отобранных почв представлены на рисунке 2.2.

<p>А)</p> 	<p>Координаты: 47°56'00"8; 106°52'15"2 Местоположение и общее сведение местности: Район БГ, улица между дворами Категория землепользования: селитебная (частный сектор), мкр. Харанхуй Тип ландшафт и рельеф: трансаккумулятивная позиция рельефа, пологий склон Растительность: горно-степная, сорные трава, 15 % покрытие Почвообразующая порода: Природные коренные породы – элюво-делювия неогеновых пестроцветных глин (N) Тип почв: Каштановая, поверхностно-преобразованная</p>
<p>Б)</p> 	<p>Координат: 47°54'42"8; 106°59'47"8 Местоположение и общее сведение местности: Район БЗ, Ботанический сад Категория землепользования: Рекреационная Тип ландшафта и рельеф: трансаккумулятивно-супераквальная позиция рельеф Растительность: Пойменные травы, 80-90% покрытие Почвообразующая порода: Природные коренные породы – (Q_{III-IV}) Тип почв: Аллювиальная и поверхностно-преобразованная почва с техногенными включениями</p>
<p>В)</p> 	<p>Координат: 47°57'11"9; 106°51'33"4 Местоположение и общее сведение местности: Район ХУ (кожанное производство, ТЭС), Категория землепользования: Промышленная зона Тип ландшафт и рельеф: Ровная поверхность Растительность: Сорные травы, Почвообразующая порода: Природные коренные породы - Q_{III-IV} и C₁₋₂ Тип почв: Аллювиальный и глубоко-погребенный, грунт перемешанный с бытовыми отходами</p>
<p>Г)</p> 	<p>Координат: 47°55'21"1; 106°55'06"6 Местоположение и общее сведение местности: Район СБ, Городской сад, (Главный корпус Госуниверситета) Категория землепользования: Селитебная зона (многоэтажная застройка административного назначения) Тип ландшафт и рельеф: трансаккумулятивно-супераквальная позиция рельефа Растительность: Посадка (тополь, и газонная трава) Почвообразующая порода: Природные коренные породы – Q_{III-IV} Типа почв: Кульуразем перемешанный грунт и привнесенный органоминеральный материал</p>

Рисунок 2.2. Примеры оформления карточек отобранных проб

В 2010 г. проведён отбор 62 проб в пяти районах (Хан-Уул, Баянгол, Чингэлтэй, Сухэ-Батор, Баянзурх) и фоновой почвы в заповедной зоне горы Богд-Уул. Эти пробы характеризовали следующие зоны: промышленную (ХУ, БГ, Ч, БЗ), транспортную (БГ, Ч, СБ, БЗ), селитебную (БЗ, Ч, СБ) и рекреационную (Ч, БЗ). В этих районах наблюдаются аллювиальные (Q_{III-IV}), неогеновые (N) и карбоновые отложения (C₁₋₂). Также эти отложения обогащены привнесенными материалам и различными отходами (зола, шлак и другие бытовые отходы). В этих районах почвенный покров слагают аллювиальный (55 % отобранных проб) и каштановый (39 % отобранных проб) типы почв. Проведён отбор почв с фоновой территории (заповедник Богд-Уул в местах "Хууш", "Арцат", "Зайсан" и "Зурх-Уул"). Эта территория представлена горным чернозёмом (всего 6% от отобранных проб). Растительный покров в точках отбора был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. В 21 точках отбора зафиксирован естественный растительный покров, который составляет от 50 до 90 % и представлен горностепными растениями, пойменными травами и сорными растениями. Искусственный растительный покров наблюдается в 27 точках отбора, характеризует культурное озеленение городской территории посадками деревьев (тополь) и газонной травы. В 14 точках отбора растительный покров полностью уничтожен.

В 2011 г. проведён отбор 263 проб в шести районах (Хан-Уул, Баянгол, Чингэлтэй, Сүхэ-Батор, Баянзурх и Сонгинохайрхан) из них четыре пробы были отобраны с тех же мест, что и в 2010 г. (ХУ и БЗ). Эти пробы характеризовали следующие зоны: промышленную (ХУ, БГ), транспортную (ХУ, БГ, Ч, СБ, БЗ), селитебную (ХУ, БГ, БЗ, Ч, СБ и СХ) и рекреационную (ХУ и Ч). В этих районах наблюдаются аллювиальные (Q_{III-IV}), неогеновые пестро-цветные глины (N), карбоновые (C₁₋₂) отложения, которые обогащены бытовыми отходами и привнесенными материалами. Почвенный покров слагают аллювиальный (24 % отобранных проб в районах БГ, БЗ, СБ и ХУ), каштановый (68 % отобранных проб в районах ХУ, Ч и СБ) тип почв и горный чернозём (5 % отобранных проб в районах ХУ, Ч и СБ). Растительный покров в точках отбора был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. В 94 точках отбора естественный растительный покров составляет 20-90 % и представлен горностепными растениями, пойменными травами и сорными растениями. В 73 местах отбора был искусственный растительный покров, причём в разных точках он изменялся от 35 до 80 %. К искусственно высаженным растениям относились посадки деревьев (тополь) и газонной травы. Полностью уничтоженная растительность наблюдалась в 96 точках отбора. В этом же году проведён отбор проб растений на фоновой территории, в транспортной зоне (в городских садах, прилегающих вдоль автомагистралей) и в селитебной зоне (многоэтажные застройки). Растительные пробы в городе характеризовали следующие зоны: транспортную (БЗ, ХУ, СБ) и селитебную (БГ, Ч, СБ, БЗ). Отобранными пробами являются представители сорных растений: одуванчик (*Taraxacum*) и подорожник (*Plantago major* L.); искусственных посадок: тополь (*Populus laurifolia*) (листья и ветви), лиственница (*Larix sibirica*) (листья и ветви) и осина (*Populus tremula*) (листья и стебель). Также, как и в 2011 г., были отобраны пробы фоновой почвы ("Цонжинболдог", заповедник Богд-Уул) и растения с фоновой территории – чабрец (*Populus tremula*) и одуванчик (*Taraxacum*). Все образцы растений были разделены на части – корень, стебель, листья и цветы.

В 2017 г. проведён отбор 187 проб в пяти районах (Хан-Уул, Баянгол, Чингэлтэй, Сүхэ-Батор, Баянзурх и Сонгинохайрхан). Эти пробы характеризовали зоны: промышленную (ХУ, БГ), транспортную (БГ, Ч, СБ, БЗ), селитебную (БГ, БЗ, ХУ, Ч, СБ, СХ) и рекреационную (БЗ). Почвы в этих районах сформированы на аллювиальных (Q_{III-IV}), неогеновых (N) и карбоновых (C₁₋₂) отложениях, которые обогащены привнесенными материалами и бытовыми отходами. Почвенный покров образован следующими типами почв: аллювиальной (28 % отобранных проб в районах БГ, БЗ, Ч, СБ и ХУ), каштановой (66 % отобранных проб в районах БГ, БЗ, Ч, СБ и СХ) и горным чернозёмом (6 % отобранных проб в районах БЗ, Ч и ХУ). Растительный покров в точках отбора был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. В 84 точках отбора естественный растительный покров составляет 20-90 % и представлен горностепными растениями, пойменными травами и сорными растениями. В 53 местах отбора был искусственный растительный покров, причём в разных точках он изменялся от 35 до 80 %. К искусственно высаженным растениям относились посадки деревьев (тополь) и газонной травы. Полностью уничтоженная растительность наблюдалась в 50 точках отбора. Кроме этого, отобраны фоновые почвы с четырёх сторон города, не подверженных какой-либо антропогенной

нагрузке ("Цонжинболдог", "Овор-Зайсан", "Тургэн", "Эмээлт", "Аргунт"). В этих точках почвенный покров слагают каштановая и аллювиальная почва, а также горный чернозём. Растения в точках отбора фоновой почвы произрастали на 90 % площадей отбора и были представлены горностепной растительностью и пойменными травами.

В 2019 г. проведён отбор 88 проб в шести районах (Хан-Уул, Баянгол, Чингэлтэй, Сухэ-Батор, Баянзурх и Сонгинохайрхан) из них 14 пробы были отобраны с тех же мест, что и в 2010 г. (БГ, БЗ, ХУ и СБ) и 60 пробы были отобраны с тех же мест, что и в 2011 г. (БГ, БЗ, Ч, ХУ и СБ). Почвы характеризовали промышленную (ХУ, БГ), транспортную (ХУ, БГ, СБ, БЗ), селитебную (БГ, БЗ, ХУ, Ч, СБ, СХ) и рекреационную (БЗ) зоны. В исследованных районах геологическое строение территории образовано аллювиальными (Q_{III-IV}), неогеновыми (N) и карбоновыми (C₁₋₂) отложениями, которые обогащены привнесенными материалами и отходами в результате урбанизации. Почвенный покров слагают аллювиальная (31 % из всех точек отбора в районах БГ, БЗ, СБ и ХУ) и каштановая (69 % из всех точек отбора в районах БГ, БЗ, Ч и СБ) почвы. Растительный покров в точках отбора был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. В 31 точках отбора естественно произрастающие растения покрывали 5-65 % территории и были представлены горностепной растительностью и сорными растениями. В 40 местах отбора был искусственный растительный покров, причём в разных точках он изменялся от 25 до 80 %. К искусственно высаженным растениям относились посадки деревьев (тополь) и газонная трава. Полностью уничтоженная растительность наблюдалась в 17 точках отбора.

Район Баянгол

Район Баянгол (площадь – 29.5 км²) находится в центре города, и является, преимущественно, районом многоэтажной застройки (микрорайоны: III и IV, VI, X и железнодорожников), хотя имеется небольшой участок юрточной застройки (Гандан, Наран и Харанхуй). В районе находится большое количество торговых центров, железнодорожный центр и депо, ТЭЦ-IV, рынки Гурвалжин (стройматериалы) и Барс (Продуктовый).

Почвенный покров на территории района Баянгол слагают аллювиальные и каштановые почвы, которые сформировались на различных по литологическому составу отложениях (C₁₋₂, N, Q_{III-IV}), обогащённые бытовыми отходами и привнесенными материалами. Длительное антропогенное воздействие на почвенный покров района привело к тому, что, к моменту исследований, почвы были лишь на территории юрточной застройки (микрорайон Харанхуй), прилегающей к центру города. В старых районах многоэтажной застройки жилищного назначения (микрорайоны III и IV) и в юрточной застройке районов Гандан и Наран, почвенный покров представлял гравием, а растительность полностью уничтожена. В главной транспортной зоне и в многоэтажной застройке селитебной зоны (микрорайоны: III и IV, VI, X и железнодорожников) почвы глубоко-преобразованы и сформированы техногенные поверхностные образования.

Растительный покров на территории этого района был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. Естественный растительный покров с покрытием 5-60 % представлен горностепной растительностью, пойменными травами и сорными растениями, которые составляют 26 % из всех точек отбора. Искусственно высаженные растения покрывают 25-90 %

и в них входят посадки (тополь и газонная трава), таких точек отбора было 17 % из всех отобранных. Мест с полностью уничтоженной растительностью в этом районе 56 % из всех точек отбора.

Район Баянзурх

Район Баянзурх (площадь – 1244.1 км²) располагается в восточной и юго-восточной части УБ на севере-востоке горы Богд-Уул, в долине р. Туул и на берегу р. Улиастай и на южных склонах сопок. На территории района располагаются многие научно-культурные центры, медицинские учреждения, также рынки и торговые центры Нарантуул, Дүнжингарав и Тэнгэр Плаза, Да-хүрээ и Угуумур (автотехника). В состав селитебной зоны входят многоэтажные дома жилищного назначения – микрорайоны XIII, XV, XVI, Ихмонгол, Баянмонгол и юрточная застройка: Цайз, Улаанхуаран, Дарь-Эх, Шархад, Алтан-Улгий, Амгалан, Улиастай, Хужирбулан, Алтантэвш и Чулуун-Овоо.

Почвенный покров на территории района Баянгол слагают аллювиальные и каштановые почвы, а также горный чернозём. Почвы сформировались на различных по литологическому составу отложениях (С₁₋₂, Q_{III-IV}). Почвы района подвергались длительному антропогенному воздействию (значительно обогащены бытовыми отходами и привнесенными материалами), к моменту исследований почвенный покров остался лишь на территории некоторых юрточных застроек (Улиастай, Хужирбулан). Почвы на территории транспортной зоны и рынков глубоко преобразованы и сформированы техногенные поверхностные образования. В селитебной (микрорайоны XIII, XV и XVI, Цайз, Улаанхуаран и Чулуун-Овоо) и транспортной зонах растительный покров уничтожен. В некоторых местах юрточной застройки есть места несанкционированных свалок.

На территории этого района был как естественный и искусственный, так и полностью уничтоженный растительный покров. Естественно произрастающие растения, представленные горностепной растительностью, пойменными травами и сорными растениями, покрывали 20-90 %. В 45 % точках отбора зафиксирован естественный растительный покров. 28 % проб почв из всех точек отбора представляют искусственно высаженные растения (тополь и газонная трава) с покрытием 15-80 %. Проб почв с полностью уничтоженной растительностью оказалось 27 % из всех точек отбора.

Район Сонгинохайрхан

Район Сонгинохайрхан (площадь – 1200.6 км²) расположен на западной стороне города и состоит преимущественно из частной застройки с включением многоэтажных зданий и промышленных предприятий. В промышленную зону района Сонгинохайрхан входят II ТЭЦ Толгойта, мясокомбинат (компания Махимпекс), Молочная фабрика (компания Сүү), Мукомольная фабрика (компания Алтан тариа), хлебокондитерская (компания Талх чихэр), фабрика металлических изделий и строительных материалов, центральные очистительные сооружения сточных вод и другие производства. В частной застройке находится большое число маломощных котельных.

Почвенный покров района Сонгинохайрхан, как и почвенный покров других районов, подвергнулся воздействию урбанизации. Исходный тип почв района, каштановые и светло-

каштановые, которые сформировались на различных по литологическому составу отложениях (Q_{III-IV} и C_{1-2}) под разнотравным сообществом с растительным покрытием не более 60 %. В поясе многоэтажных зданий и иногда промышленных предприятий растительный покров полностью уничтожены. В юрточной застройке (Баянхошуу, Баруун салаа и Зуун салаа), прилегающей к центру города, почвенный покров поверхностно-изменённый. В зонах транспортной и в многоэтажной застройки селитебной зоны (микрорайоны: 5 шар и 21) почвы глубоко-преобразованы и формируются техногенные поверхностные образования на насыпных, намывных перемешанных грунтах.

Район Сухэ-Батор

Район Сухэ-Батор (площадь – 1200.6 км²) – центр города. Территория района Сухэ-Батор находится в долине р.Туул и устьевой части р. Сэлбэ. Это административно-селитебная зона, представленная современной многоэтажной застройкой. Простирается от центра к северной части города, где располагается селитебная зона с юрточной застройкой. Большинство правительственных, образовательных и культурных организаций расположены в этом районе.

Почвенный покров района Сухэ-Батор складывается из аллювиальных (45 % из всех проб) и каштановых (49 % из всех проб) почв, и горный чернозём (6 % из всех проб), которые сформировались на неогеновых (N) и аллювиальных (Q_{III-IV}) отложениях, обогащенных бытовыми отходами и привнесенными материалами. Почвенный покров района подвергся длительному антропогенному воздействию. В главной транспортной зоне и в многоэтажной застройке селитебной зоны (микрорайоны: 40 мянгат, Мэргэжилтэний 20 и микрорайон XI) почвы глубоко преобразованы и сформированы техногенные поверхностные образования на насыпных, намывных перемешанных грунтах. В микрорайонах доминирует искусственный растительный покров, в основном, посадки тополь (*Populus*). В юрточной застройке (100 айл, Буудал-3, Буудал-4, Буудал-6, Дамбадаржаа), прилегающей ближе к центру города, почвенный покров претерпел изменение и представлен гравийной поверхностью, а растительность уничтожена.

Растительный покров на территории этого района СБ был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. В местах с естественным растительным покровом (покрытием 20-70 %) произрастают пойменные травы, сорные растения и горностепная растительность. Всего точек, в которых зафиксирован естественный растительный покров, 21 % из всех точек отбора. Искусственный растительный покров (покрытием 30-80 %) представлен посадками тополя и газонной травы. Всего мест в районе СБ с искусственным растительным покровом 64 % из всех точек отбора, а с полностью уничтоженной растительностью – 15 %.

Район Хан-Уул

Район Хан-Уул (площадь – 484.7 км²) располагается в юго-западной части УБ на северо-западной экспозиции горы Богд-Уул, в долине р. Туул и на берегах р. Дунд гол (один из притоков р. Туул). На территории района Хан-Уул расположено производство кожаных изделий (около 10 фабрик, производящих первоначальную и окончательную обработку) и трикотажная фабрика (фабрика для мойки шерсти, пряжки вязки), а также объекты для производство строительных материалов – фабрика Говь, где производят кашемировые изделия, ТЭК (Ш ТЭС), аэропорт

(компания Буянт-Ухаа), каменный карьер, биокомбинат в Сонгине, компания Дэвшил, компания Буян, автохозяйства, склады, автотранспортные парки, также хозяйственные единицы железной дороги. В районе два типа селитебной зоны – многоэтажная (микрорайоны XIX, Промкомбинат, Зайсан, Нархан и Жаргалан, Нисэх) и юрточная застройка (Ярмаг и Нисэх).

Почвенный покров района Хан-Уул слагают алювиальные и каштановые почвы, а также горный чернозём, которые сформировались на карбоновых и аллювиальных отложениях. В районах многоэтажной застройки жилищного назначения (Промкомбинат, микрорайон-IX, Зайсан, Нархан и Жаргалан и Нисэх) и главной транспортной зоне почвы преобразованы и сформированы техногенные поверхностные образования. На территории микрорайона Ярмаг, где осуществлялась с 1966 г. частная застройка, уплотнённый почвенный покров, который представлен гравием с привнесением бытового и строительного мусора.

На территории этого района зафиксирован естественный, искусственный и полностью уничтоженный растительный покров. Естественный растительный покров (покрытие 35-90 %) представлен пойменными травами и сорными растениями. Всего мест в районе ХУ с естественным растительным покровом 10 % из всех точек отбора. Искусственный растительный покров с покрытием 10-80 % входят посадки (тополь и газонная трава) и составляет 46 % из всех точек отбора. Мест отбора с полностью уничтоженной растительностью было 39 % из всех точек отбора.

Район Чингэлтэй

Чингэлтэй район (площадь – 89.3 км²) простирается в долине р. Туул и на южных склонах Чингэлтэй уул, преимущественно частная застройка (Тасганы овоо, Телевиз, Дэнжийн 1000) с включением многоэтажных зданий (микрорайоны: Бага тойруу, 40 и 50 Мянгат, микрорайон-VI). В этом районе нет большой промышленной зоны, только в селитебной зоне с юрточной застройкой работает большое число маломощных котельных.

Почвенный покров на территории района Чингэлтэй слагают алювиальные и каштановые почвы, а также горный чернозём, которые сформировались на различных по литологическому составу отложениях (С₁₋₂, Q_{III-IV}). Вся территория района подвергалась длительному антропогенному воздействию (привнос бытовых и производственных отходов). К моменту исследований неизменённые почвы остались лишь в юрточных застройках Чингэлтэй, Хайлааст. В долгостоящих частных застройках (Телевиз, Дэнжийн 1000) почвенный покров представляется гравийной поверхностью, наблюдается переуплотнение и захламление верхних горизонтов почв, а также несанкционированные мусорные свалки. В старых районах многоэтажной застройки жилищного назначения (Бага тойруу, 40 и 50 Мянгат, микрорайон-VI) и в главной транспортной зоне почвы преобразованы и формируются техногенные поверхностные образования

Растительный покров в точках отбора на территории этого района был естественным, искусственным и полностью уничтоженным. Естественный растительный покров с покрытием 30-75 % представлен горностепной растительностью и сорными травами, составляют 45 % из всех точек отбора, в искусственный растительный покров с покрытием 30-60 % входят посадки

(тополь и газонная трава) и составляет 29 % из всех точек отбора, с полностью уничтоженной растительностью точек отбор составляет 26 % из всех точек отбора.

Составление рациональных схем химического анализа почвенно-растительного покрова г. Улан-Батор

Оценка применимости аналитических методов
для определения элементного состава почв и растений

Изучение элементного состава почвенных образцов проводили в аналитическом отделе Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и ИФиТ АНМ. В пробах почв определены валовые содержания и концентрации подвижных форм макро- и микроэлементов. Полный список аналитических результатов определения содержания химических элементов и их подвижных форм во всех образцах почв дан в Приложении А.2. Определение элементного состава образцов выполнено с помощью атомно-эмиссионной, рентгенофлуоресцентной и атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для анализа почв, донных отложений и биоты методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии использована соответствующая методика [Gunicheva, 2012].

Метод атомно-абсорбционной спектроскопии реализован в двух вариантах атомизации [Proidakova, Vasil'eva, 2010; Бямбасүрэн и др., 2017]: пламенной и электротермической.

Метод атомно-эмиссионной спектроскопии реализован в четырёх вариантах [Шабанова и др., 2012]:

- атомно-эмиссионная спектроскопия с дуговым разрядом по способу испарения порошковых проб из канала электрода (АЭС-ДР-исп(1));
- атомно-эмиссионная спектроскопия с дуговым разрядом по способу вдувания-просьпки (АЭС-ДР-вп (2)),
- атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП),
- пламенная атомно-эмиссионная спектроскопия (ПАЭС).

АЭС-ИСП использован только для определения содержания подвижных форм элементов, экстрагированных аммонийно-ацетатным буфером (рН 4.8) из проб почв. Дополнительно содержания элементов в экстрактах измеряли методами ПАЭС и ААС.

Использование рациональных схем комплексирования методик количественного химического анализа почв и растений способно обеспечить исследования по оценке состояния окружающей среды необходимым объёмом аналитических данных при минимальных финансовых затратах.

Перед тем как выбрать какую-либо схему, проведена оценка аналитических возможностей, так как каждый из использованных аналитических методов отличается массой аналитической навески, химической пробоподготовкой, списком одновременно определяемых аналитов и их пределами определения (табл. 2.2). Навески варьируют от 10 мг (АЭС-ДР исп), 75 и 150 мг (АЭС-ДР вп) [ФР. 31.01.2008.05150, 2007; ФР.1.31.2015.20474, 2014], 250 мг (ПАЭС) [НСАМ № 61-С., 2006], 500 мг (ААС) и 6 г (РФС).

Таблица 2.2 – Распространённость элементов в почве согласно разным источникам и нижние границы определяемых содержаний этих элементов в твёрдых природных образцах с помощью атомно-эмиссионной, рентгенофлуоресцентной и атомно-абсорбционной спектроскопии

Элемент	Распространённость элементов в почве			Минимальные определяемые валовые содержания				
	[Виноградов, 1962]	[Касимов и Власов, 2015]	[Alekseenko, Alekseenko 2014]	АЭС-ДР		ПАЭС	РФС	ААС
				испарение	вдувание-просыпка			
мас. %								
Si	33	-	28.9	0.01	-	-	5	-
Al	7.12	7.61	3.82	0.01	-	-	0.1	0.05
Ca	1.37	2.57	5.38	0.01	-	-	0.1	0.01
Mg	0.63	1.495	0.79	0.01	-	-	0.1	0.005
Fe	3.8	4.06	2.23	0.01	-	-	0.1	0.01
Ti	0.46	0.39	0.48	0.0001	-	-	0.2	0.05
Na	0.63	2.43	0.58	0.05	-	0.025	0.15	-
K	1.36	2.32	1.34	0.5	-	0.085	0.15	-
P	0.08	0.069	0.12	0.005	0.005	-	0.1	-
S	0.05	-	0.12	-	-	-	0.02	-
Mn	0.085	0.077	0.073	0.0001	0.005	-	0.1	0.001
мг/кг								
Ag	0.07	0.053	0.37	0.025	0.025	-	-	-
As	4	5.6	15.9	50	1	-	-	-
B	5	34	45	1	3	-	-	-
Ba	400	628	853	20	-	-	150	50
Be	6	2.3	3.3	2	-	-	-	-
Bi	-	0.23	1.12	1	0.5	-	-	-
Cd	0.05	0.09	0.9	10	0.5	-	-	0.03
Co	10	15	14.1	1	0.5	-	-	5
Cr	190	92	80	5	10	-	-	10
Cu	20	27	39	3	5	-	-	5
F	200	557	-	-	50	-	-	-
Ga	30	-	16.2	1	0.5	-	-	-
Ge	5	1.3	1.8	1	0.5	-	-	-
Li	30	-	49.5	10	3	2.5	-	-
Mo	30	1.1	2.4	1	0.5	-	-	-
Ni	40	50	33	0.7	4	-	-	7
Pb	10	17	54.5	2	2	-	-	2
Rb	50	-	58	-	-	5	-	-
Sb	15	0.81	1	10	0.5	-	-	-
Sn	10	2.5	6.8	1	1.5	-	-	-
Sr	300	270	458	50	-	-	-	50
Tl	1	0.75	1.1	5	0.3	-	-	-
V	100	106	105	5	5	-	-	50
W	1.3	2.3	2.9	10	0.5	-	-	-
Zn	50	75	158	20	30	-	-	5
Zr	300	-	256	-	-	-	-	-

Как известно, каждому аналитическому методу присущи свои ограничения, связанные с физико-химическими процессами. Например, атомно-эмиссионная спектроскопия с дуговым разрядом по способу вдувания-просыпки характеризуется неполным сгоранием вещества пробы в плазме дуги (около 70 %), поэтому применение рационально при определении только 17-25 элементов легкой и средней летучести. Атомно-эмиссионная спектроскопия с дуговым разрядом

по способу полного испарения из канала графитового электрода незаменима при определении породообразующих элементов, как в горных породах и почвах, так и пробах с содержанием органического вещества до 70-90 мас. % (донные отложения, сапропели, растения). Исследование элементного состава почв АЭС-ДР (1) позволяет определять одновременно до 50 ХЭ. Однако, в связи с тем, что дуга горит на воздухе, определение серы, селена и ртути методиками, основанными на АЭС-ДР, затруднительно в природных объектах. В АЭС-ДР используются небольшие навески, что, с одной стороны, является преимуществом при исследовании состава микрофаз. Однако при плохо подготовленных пробах (не гомогенизированных) это может приводить к систематическим погрешностям, обусловленным непредставительностью пробы при оценке валового состава [Шабанова и др., 2012]. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия использует большие навески, которые необходимо прессовать в таблетки на подложке из борной кислоты. Причём, чем выше органическая составляющая пробы, тем больше навеска [Gunicheva, 2012]. Следовательно, перед выполнением РФС необходимо проводить определение органического углерода (С орг), так как процедура установления потери массы после прокаливании даже при относительно невысокой температуре (около 500 °С) не даст однозначного ответа о количестве органической составляющей. Кроме этого, число одновременно определяемых элементов меньше, чем в АЭС-ДР, – это породообразующие ХЭ, сера, барий. Методы ПАЭС и ААС требуют химической пробоподготовки. В нашем случае её проводили в открытых системах и в автоклавах с реакционными смесями из HNO_3 , HF, HCl, HClO_4 [НСАМ № 61-С., 2006; ПНДФ 16.1:2.2:2.3.36-02]. Эти растворные методы заключаются в последовательном определении ХЭ, а не одновременном, как в случае с АЭС-ДР и РФС. Данных о валовом составе почв недостаточно, чтобы прогнозировать возможную миграцию элементов при изменении условий окружающей среды и вероятность их усвоения растениями или другими живыми организмами. Физико-химическая подвижность, биологическая доступность и токсичность элементов в природных объектах в значительной степени зависят от их форм нахождения и способности этих соединений к миграции или накоплению. С помощью последовательной экстракции и анализа получаемых жидких продуктов незаменимым прямым методом является АЭС-ИСП. Количество определяемых элементов значительно не меняется по сравнению с АЭС-ДР, хотя появляется возможность определения S и Se. При использовании ИСП, снижение пределов обнаружения для некоторых элементов достигается применением специальных систем ввода образцов и/или генерацией гидридов. АЭС-ИСП для анализа твёрдых веществ неэффективна в рутинном исполнении из-за продолжительной и недешёвой пробоподготовки и высоким требованиям к квалификации химика-аналитика [Шабанова и др., 2012].

При перечисленных особенностях, использованные методики анализа почв (табл. 2.2) имеют границы определяемых содержаний ниже уровня мировых кларков, регионального фона и предельно допустимых концентраций (ПДК) для валовых и подвижных форм элементов. В любом варианте анализа, изучаемые объекты – это измельчённые до 75 мкм пробы почв, грунтов, илов, донных отложений, пыли и техногенных образований, а также растений.

Таким образом, в пробах почв определяли валовые содержания 33 элементов – Si, Al, Mg, Ca, Fe, Ti, Mn, Ba, Sr, Na, K, Li, Rb, B, P, Ni, Co, V, Cr, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Bi, Cd, Sb, As, Ge, Tl, F, S) – с помощью следующих методов (методик): рентгенофлуоресцентная спектрометрия – 12 элементов; пламенная атомно-эмиссионная спектрометрия – 4 элемента; дуговая атомно-эмиссионная спектрометрия по способам испарения порошковых проб из канала электрода и вдувания-просыпки – АЭС-ДР (1) и АЭС-ДР (2) – соответственно 15 и 21 элемент; атомно-абсорбционная спектрометрия с пламенным и электротермическим способами атомизации – 16 элементов. Определение содержания подвижных форм 26 элементов выполнено по методикам АЭС-ИСП (26 элементов), ПАЭС (4 элементов) и ААС (14 элементов).

Содержания химических элементов в проанализированных пробах почв и аммонийно-ацетатных вытяжках варьировали в широких пределах при повторяемости, удовлетворяющей требованиям к точности результатов (Приложение А.2) [ОСТ 41-08-214-04]. Для сравнения результатов, полученных различными методами (методиками) с разными физико-химическими принципами, использовали корреляционный анализ, который подтвердил достоверность полученной аналитической информации (коэффициенты корреляции варьируют от 0.85 до 0.99). Контроль правильности результатов анализа каждой методики выполнен с использованием российских и международных стандартных образцов состава почв (рис. 2.3-2.5).

Сопоставление результатов определения макроэлементов (Si, Al, Mg, Ca, Fe, Ti, Na) в российских и международных сертифицированных эталонных материалах состава почв, донных отложений и золы уноса, полученные методами АЭС-ДР (1), ПАЭС, ААС и РФС, показало, что наиболее широкие диапазоны определяемых содержаний макроэлементов обеспечивает атомно-эмиссионная спектрометрия с дуговым разрядом. Для всех методов присуща хорошая точность, хотя определение натрия ниже 0.2 мас. % методом ПАЭС [НСАМ № 61-С., 2006] влечёт получение завышенных результатов. Определение элементного состава смешанных проб почв с золой уноса (типичные почвенные образцы, которые присутствуют на территории ТЭС) методом РФС требует построения дополнительных градуировок, включающих специально изготовленные смеси почв и зол. Сложности использования методов ААС и ПАЭС заключаются в их требовании специальной химической пробоподготовки и одновременном определении более узкого круга элементов, чем методом АЭС-ДР. В почвах надёжное определение P и Mn, которые для растений являются биофильными элементами, обеспечивается методами АЭС-ДР (1), АЭС-ДР (2) и РФС. Одновременное определение макро- и микроэлементов в широких диапазонах содержаний обеспечивает только метод АЭС-ДР.

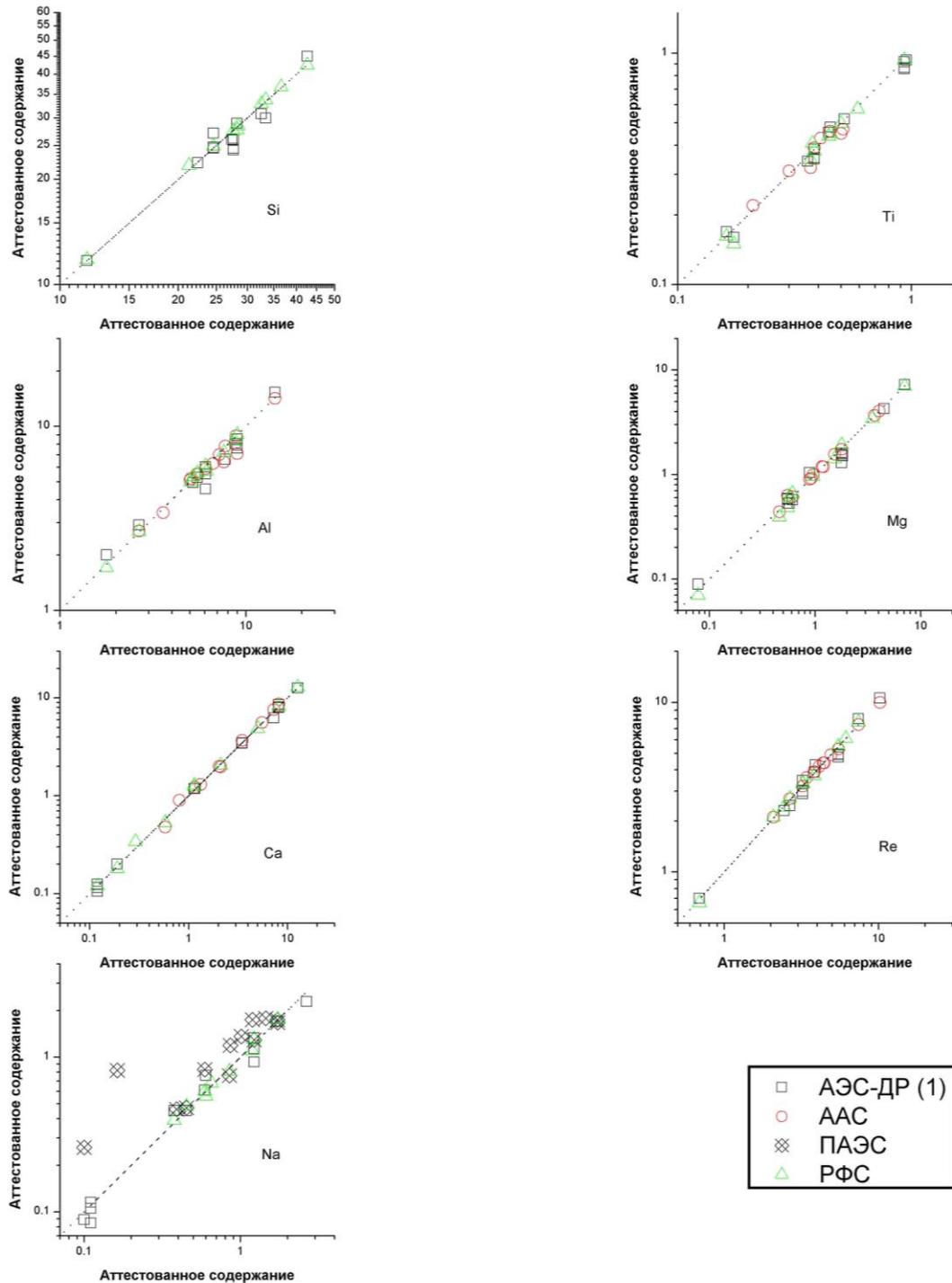


Рисунок 2.3. Результаты определения макроэлементов (Si, Al, Mg, Ca, Fe, Ti, Na) в российских и международных сертифицированных эталонных материалах состава почв, донных отложений, золы уноса полученные методами АЭС-ДР (1), ПАЭС, ААС и РФС

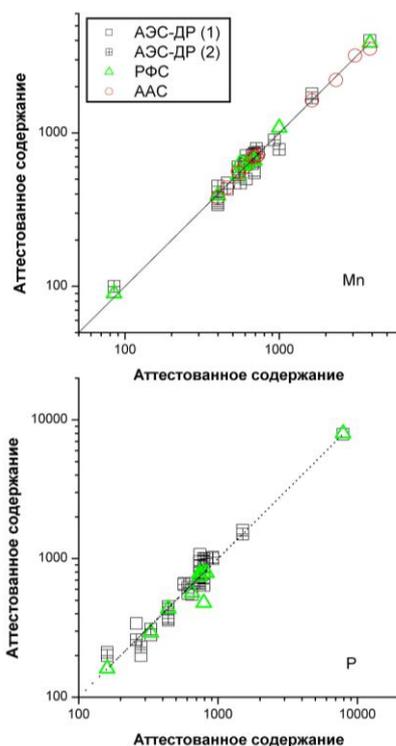


Рисунок 2.4. Результаты отпределения макроэлементов (Р и Мп) в российских и международных сертифицированных эталонных материалах почв, донных отложений, золы уноса полученные методами АЭС-ДР (1), АЭС-ДР (2), ААС и РФС.

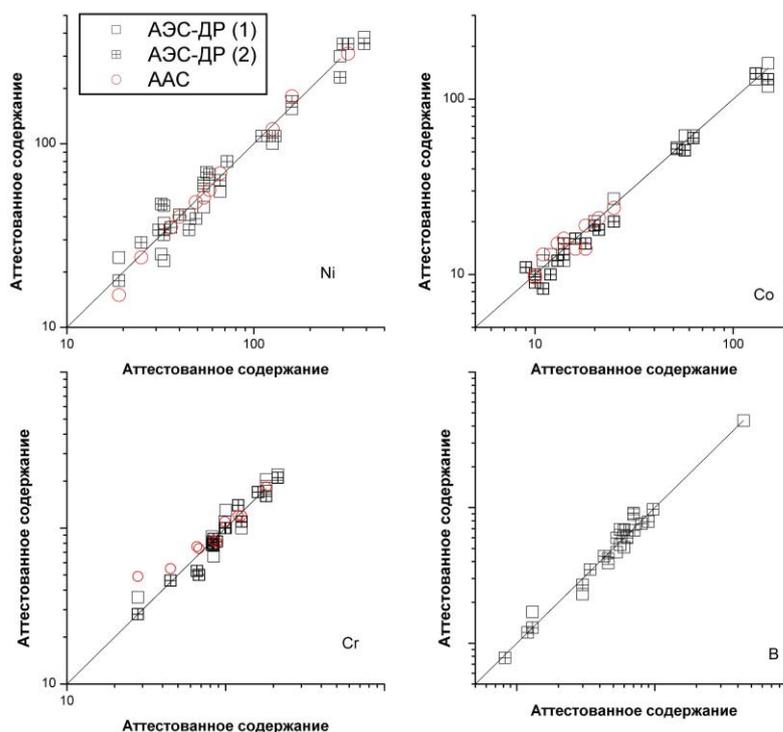


Рисунок 2.5. Результаты отпределения макроэлементов (Ni, Co, Cr и B) в российских и международных сертифицированных эталонных материалах почв, донных отложений, золы уноса полученные методами АЭС-ДР (1), АЭС-ДР (2) и ААС.

Для фоновых и загрязнённых почв разными методами получены близкие значения содержаний и сопоставимые аналитические погрешности. Корреляционные связи между

валовыми содержаниями элементов и их подвижными формами в разных классах почв индивидуальны. Например, валовые содержания марганца в разных типах городских почв не превышают региональный фон (Приложение А.2). Однако высокие содержания подвижной формы марганца в почвах промышленной и юрточной зон нередко оказываются выше регионального фона в 1.2-2.5 раза (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Результаты валового определения марганца (г/т) в почвах г. Улан-Батор и его подвижной формы при экстракции $\text{CH}_3\text{COONH}_3$ (рН 4.8)

Класс городских почв	Место отбора почв	Валовое содержание			Подвижная форма
		РФС	АЭС-ДР (2)	ААС	АЭС-ИСП
Селитебная зона	Частный сектор	680	660	665	100
	Многоэтажная застройка	430	470	450	78
Промышленная зона	ТЭЦ-3	150	140	120	35
	ТЭЦ-3	500	570	510	140
	ТЭЦ-4	620	620	515	41
	Рынок	560	640	650	95
Транспортная зона	Остановка	770	780	685	140
	АЗС	580	490	480	69
	Дорога	510	530	520	98
Зоны рекреационного	Ботанический сад	610	700	810	65
	Богд-Хан-Уул территория	450	460	375	31
ПДК* (рег.фон)		1500 (710)			140 (55)

Примечание. (*) ГН 2.1.7.2041-2006. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве

Элементный анализ растений определён методом АЭС-ДР (1) с помощью методики [Васильева, Шабанова, 2019; Vasil'eva et al., 2022], которая не уступает по точности и информативности аттестованной методике с АЭС-ИСП или МС-ИСП окончанием [НСАМ № 512-МС, 2011]. Методика АЭС-ДР (1) анализа растений имеет ряд преимуществ. Отсутствуют процедуры озоления или растворения проб, которые могут привести к потерям или заражению анализируемых проб. Буферирование графитовым порошком и полное испарение проб из канала графитового электрода в плазму дугового разряда с использованием токо-временной развёртки спектра снижает влияние матричных и спектральных помех. Компьютеризированные регистрация и специальная обработка эмиссионных спектров существенно ускоряют анализ. В список одновременно определяемых элементов входит кремний. Кремний находится в ксилеме, флоэме и стенках клеток растений в виде моно- и димеров кремниевой кислоты, биогенного кремнезёма и отвечает за синтез специального белка, который обеспечивает активный транспорт растворимых кремниевых соединений для обеспечения механической прочности клеточной стенки, снижает токсичное влияние Fe, Mn, As, Al, ^{90}Sr и фенолов, повышает устойчивость растений к грибковым заболеваниям и абиогенным стрессам. Тем не менее, информация о

содержании кремния в различных видах растений, произрастающих на фоновых или загрязненных территориях, отсутствует.

Правильность результатов анализа проконтролирована с использованием российских и международных стандартных образцов состава растений и межметодным сопоставлением результатов этих стандартных образцов (табл. 2.4 и 2.5). Содержания элементов, найденные по представленными методиками, хорошо согласуются для большинства элементов с аттестованными значениями в широких диапазонах содержаний.

В таблице 2.4 представлены результаты анализа зашифрованных ГСО Тр-1, ЛБ-1 и ЭК-1, полученные методикой АЭС-ДР (1) и широко используемой в России аттестованной методикой АЭС-ИСП [НСАМ № 512-МС, 2011]. Особенность методики [НСАМ № 512-МС, 2011] заключается в специфической химической пробоподготовке (растворы после кислотного разложения упаривают при добавлении фтористоводородной кислоты), при которой кремний и цирконий не определяют. Кроме этого, при такой химической пробоподготовке возможна потеря некоторых микроэлементов, а низкие содержания Ве и Ga могут быть определены только при МС-ИСП измерении, что предполагает наличие в лаборатории более сложного и дорогого в эксплуатации прибора. Тогда как по методике АЭС-ДР (1) [Васильева, Шабанова, 2019] определение Si, Zr, Ga и Ве выполняется одновременно с другими элементами. Отсутствие систематических погрешностей в результатах определения остальных 19 элементов по методикам АЭС-ДР и АЭС-ИСП подтверждена статистически, т.к. расчетные значения коэффициентов Стьюдента меньше табличного значения. Значения доверительных интервалов содержаний, найденных с использованием двух методик, сопоставимы, что указывает на получение результатов близких по точности.

Результаты анализа зашифрованных китайских стандартных образцов GSV-1 и GSV-4 и значения относительной систематической погрешности (ОСП) для каждого аналита, полученные по методикам АЭС-ДР и МС-ИСП [Смирнова, Зарубина, 2014], представлены в таблице 2.5. Для этой МС-ИСП методики нижняя граница определения натрия на порядок хуже, чем для используемой методики дуговой АЭС. Определение кремния не проводили по той же причине как в методике [НСАМ № 512-МС, 2011]. Вероятно, по этой же причине результаты определения циркония и титана существенно ниже, чем по методике АЭС-ДР. Доверительные интервалы результатов, приведенные для 95%-ной вероятности, близки и указывают на их сопоставимую точность. Однако результаты определения ванадия разными методами близки между собой, но существенно ниже содержания, рекомендованного разработчиками СО. Для большинства определений доверительные интервалы аттестованных и найденных содержаний перекрываются, что подтверждает правильность выбранных операционных условий и результатов анализа методом АЭС-ДР (1), не требующей перевода проб растений в раствор.

Таблицы 2.4 – Аттестованные ($A \pm \Delta A$) и найденные ($C \pm \Delta C$) содержания элементов в ГСО ЛБ-1, Тр-1 и ЭК-1 по методикам АЭС-ДР [Васильева, Шабанова, 2019] и АЭС-ИСП [НСАМ № 512-МС, 2011] ($n=3$; $t_{\text{табл}} = 4.30$)

Элемент	Ед. изм.	ЛБ-1					Тр-1					ЭК-1				
		$A \pm \Delta A$	АЭС-ДР		АЭС-ИСП		$A \pm \Delta A$	АЭС-ДР		АЭС-ИСП		$A \pm \Delta A$	АЭС-ДР		АЭС-ИСП	
			$C \pm \Delta C$	$t_{\text{расч}}$	$C \pm \Delta C$	$t_{\text{расч}}$		$C \pm \Delta C$	$t_{\text{расч}}$	$C \pm \Delta C$	$t_{\text{расч}}$		$C \pm \Delta C$	$t_{\text{расч}}$	$C \pm \Delta C$	$t_{\text{расч}}$
Al	% мас.	0.083 ± 0.01	0.06 ± 0.02	2.18	0.073 ± 0.011	1.55	0.037 ± 0.005	0.04 ± 0.01	0.62	0.034 ± 0.005	1.03	0.099 ± 0.012	0.11 ± 0.02	0.87	0.109 ± 0.016	1.28
Ca		1.60 ± 0.09	0.98 ± 0.20	3.49	1.5 ± 0.23	1.70	0.67 ± 0.03	0.76 ± 0.15	1.23	0.64 ± 0.10	1.53	2.80 ± 0.17	3.1 ± 0.6	0.86	2.55 ± 0.38	2.56
Fe		0.073 ± 0.007	0.05 ± 0.02	2.63	0.073 ± 0.011	0.05	0.097 ± 0.005	0.10 ± 0.02	0.28	0.102 ± 0.015	1.25	0.26 ± 0.01	0.24 ± 0.05	0.71	0.28 ± 0.04	2.12
Mg		0.44 ± 0.03	0.35 ± 0.07	1.81	0.43 ± 0.06	0.74	0.24 ± 0.02	0.29 ± 0.06	1.79	0.25 ± 0.04	0.83	0.32 ± 0.02	0.36 ± 0.07	1.12	0.34 ± 0.05	1.29
Na		0.018 ± 0.003	0.019 ± 0.004	0.39	0.016 ± 0.002	1.21	0.075 ± 0.006	0.073 ± 0.013	0.23	0.085 ± 0.013	2.71	0.68 ± 0.05	0.78 ± 0.16	1.24	0.77 ± 0.12	3.10
P		0.154 ± 0.006	0.17 ± 0.03	0.96	0.15 ± 0.023	1.15	0.22 ± 0.01	0.20 ± 0.04	0.83	0.22 ± 0.03	0.2	0.24 ± 0.03	0.21 ± 0.04	0.97	0.25 ± 0.04	0.76
Si		0.40 ± 0.07	0.28 ± 0.06	2.05	–	–	0.55 ± 0.04	0.58 ± 0.12	0.48	–	–	1.1^*	1.0 ± 0.2	0.37	–	–
B		50^*	46 ± 9	0.51	42 ± 8	1.34	11.2 ± 1.2	12 ± 2	0.51	9.9 ± 2	0.16	33^*	26 ± 5	0.22	30 ± 6	1.85
Ba		230 ± 20	190 ± 39	2.4	208 ± 42	1.89	16.1 ± 1.2	19 ± 4	1.40	13.7 ± 2.7	3.48	78 ± 7	83 ± 17	1.57	72 ± 14	1.42
Be	0.05^*	0.07 ± 0.02	2.55	–	–	0.014^*	0.020 ± 0.004	2.55	–	–	0.07^*	0.066 ± 0.013	2.46	–	–	
Co	10^{-4} % мас.	0.79 ± 0.06	0.77 ± 0.15	0.25	0.84 ± 0.17	1.25	0.22 ± 0.02	0.29 ± 0.06	0.25	0.24 ± 0.05	1.12	1.5 ± 0.1	1.2 ± 0.3	2.84	1.6 ± 0.3	2.66
Cr		4.3 ± 0.7	3.1 ± 0.6	1.97	4.5 ± 0.9	0.87	5.5 ± 0.4	5.0 ± 1.0	1.97	5.3 ± 1.1	0.71	5.1 ± 0.5	5.1 ± 1.0	0.80	4.6 ± 0.9	1.63
Cu		7.3 ± 0.6	9.2 ± 1.8	2.24	7.2 ± 1.4	0.22	6.3 ± 0.6	6.4 ± 1.3	2.24	5.5 ± 1.1	2.18	11.2 ± 0.4	9.5 ± 1.9	0.13	10.6 ± 2.1	1.95
Ga		0.48 ± 0.08	0.44 ± 0.09	0.58	–	–	0.16 ± 0.02	0.25 ± 0.05	0.58	–	–	0.4^*	0.38 ± 0.04	3.00	–	–
Li		0.73^*	0.94 ± 0.19	2.17	0.59 ± 0.12	2.52	0.55^*	0.58 ± 0.12	2.17	0.55 ± 0.11	0.03	1.44 ± 0.18	0.97 ± 0.19	0.37	1.33 ± 0.27	1.00
Mn		930 ± 70	1070 ± 210	1.28	986 ± 148	1.39	50.9 ± 2.1	70 ± 14	1.28	52.5 ± 7.9	1.14	520 ± 30	560 ± 110	3.72	549 ± 82	1.61
Ni		5.8 ± 0.8	6.0 ± 1.2	0.26	6.0 ± 1.2	0.43	3.2 ± 0.3	4.1 ± 0.9	0.26	3.0 ± 0.6	0.95	3.7 ± 0.4	5.0 ± 1.0	2.89	3.4 ± 0.7	1.22
Pb		3.7 ± 0.5	2.9 ± 0.5	2.04	4.2 ± 0.8	0.41	0.42 ± 0.06	0.42 ± 0.07	0.53	0.54 ± 0.11	2.07	1.1^*	0.93 ± 0.19	0.89	1.5 ± 0.3	2.22
Sr		72 ± 7	45 ± 9	3.10	75 ± 15	0.84	28.0 ± 0.9	29 ± 6	3.10	26.7 ± 5.3	2.24	174 ± 9	180 ± 36	0.33	153 ± 31	3.88
Ti		59 ± 12	52 ± 10	0.77	61 ± 12	0.29	33.3 ± 5.3	36 ± 7	0.77	33.8 ± 6.8	0.16	77 ± 14	82 ± 16	0.64	97 ± 19	1.85
V		2.1 ± 0.4	1.5 ± 0.3	2.03	1.6 ± 0.3	2.02	0.61 ± 0.09	0.9 ± 0.2	2.03	0.62 ± 0.12	0.16	3.8 ± 0.4	3.9 ± 1.1	0.12	3.5 ± 0.9	1.44
Zn		94 ± 6	79 ± 2	4.29	92 ± 18	0.44	23.6 ± 1.1	24.3 ± 1.5	0.66	22.9 ± 4.6	0.77	20.6 ± 1.4	26 ± 5	1.78	19.2 ± 3.8	3.77
Zr		5.5^*	4.0 ± 0.8	2.30	–	–	0.9^*	1.3 ± 0.4	2.30	–	–	2.6^*	2.7 ± 0.9	0.22	–	–

Примечание. Звездочкой (*) и курсивом обозначены рекомендованные содержания элементов, прочерк (–) обозначает, что элемент не определяли.

Таблица 2.5 – Результаты определения содержания 23 элементов (10^{-4} % мас.) в стандартных образцах GSV-1 и GSV-4, найденные АЭС-ДР [Васильева, Шабанова, 2019] и МС-ИСП [Смирнова, Зарубина, 2014]

Элемент	GSV-1			GSV-4				
	A ± ΔA	АЭС-ДР (n=4)		A ± ΔA	АЭС-ДР (n=4)		МС-ИСП	
		С ± Δс	ОСП, % отн.		С ± Δс	ОСП, % отн.	С ± Δс	ОСП, % отн.
Al	2140 ± 180	2000 ± 400	-6.5	3000*	2650 ± 250	-12	2238 ± 143	-25
B	34 ± 5	35 ± 10	2.9	14.8 ± 3.0	19.0 ± 0.6	28	16.1 ± 1.3	8.8
Ba	19 ± 2	16 ± 4	-16	58 ± 3	60 ± 20	3.4	58 ± 2	0.0
Be	0.056 ± 0.011	0.047 ± 0.008	-16	0.034 ± 0.004	0.037 ± 0.010	8.8	0.034 ± 0.006	0.0
Ca	22200 ± 700	21500 ± 320	-3.2	4300 ± 200	4750 ± 860	10	4250 ± 242	-1.2
Co	0.39 ± 0.03	0.41 ± 0.04	5.1	0.18 ± 0.02	< 0.2	–	0.19 ± 0.01	5.6
Cr	2.3 ± 0.2	2.7 ± 0.5	17	0.80 ± 0.02	0.9 ± 0.2	13	0.83 ± 0.07	3.8
Cu	5.2 ± 0.3	5.1 ± 0.6	-1.9	17.3 ± 1.0	15.7 ± 0.8	-9.2	18.3 ± 2.4	5.8
Fe	1020 ± 40	1100 ± 200	7.8	264 ± 10	260 ± 30	-1.5	242 ± 12	-8.3
Ga	–	0.48 ± 0.05	–	–	0.41 ± 0.07	–	0.31 ± 0.02	–
Li	2.4 ± 0.3	1.7 ± 0.5	-29	0.36*	0.33 ± 0.07	-8.3	0.42 ± 0.06	17
Mg	2870 ± 110	2800 ± 200	-2.4	1700 ± 100	1660 ± 180	-2.4	1595 ± 101	-6.2
Mn	58 ± 3	54 ± 12	-6.9	1240 ± 40	1320 ± 290	6.5	1155 ± 64	-6.9
Na	11000 ± 600	9200 ± 1200	-16	44 ± 4	< 50	–	< 515	–
Ni	1.7 ± 0.3	2.0 ± 0.3	18	4.6 ± 0.3	3.0 ± 0.3	-35	4.6 ± 0.2	0.0
P	830 ± 30	860 ± 30	3.6	2840 ± 60	2750 ± 120	-3.2	2671 ± 325	-6.0
Pb	7.1 ± 0.7	7.2 ± 1.3	1.4	4.4 ± 0.2	3.8 ± 0.3	-13	4.0 ± 0.3	-9.1
Si	5800 ± 300	5700 ± 800	-1.7	2100*	2700 ± 90	29	–	–
Sr	345 ± 7	370 ± 70	7.2	15.2 ± 0.5	16 ± 3	5.3	14.8 ± 0.3	-2.6
Ti	95 ± 13	93 ± 11	-2.1	24 ± 3	25 ± 3	4.2	< 4	–
V	2.4 ± 0.2	2.2 ± 0.7	-8.3	0.86*	0.5 ± 0.2	-42	0.41 ± 0.03	-52
Zn	20.6 ± 1.0	19 ± 5	-7.8	26.3 ± 0.9	33 ± 7	25	25.7 ± 2.2	-2.3
Zr	–	5 ± 1	–	–	7 ± 1	–	0.18 ± 0.03	–

Примечание. Обозначения аналогичны таблице 2; ОСП – относительная систематическая погрешность.

Рациональные схемы химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение"

Аналитические данные о валовых содержаниях элементов были сгруппированы в две схемы: РФС – ААС – ПАЭС и РФС – АЭС ДР. На основе объективной обобщенной характеристики методик анализа – показатель информативности – проведена оценка составленных рациональных схем использования аналитических методов (методик) для определения элементного состава поверхностных почв, обеспечивающих необходимым объемом данных процедуры геостатистического моделирования для визуализации распределения макро- и микроэлементов, и выявления источников их поступления [Shabanova et al., 2022]. Для каждой схемы были рассчитаны показатели информативности (P_{inf}).

Схема РФС – ААС имела P_{inf} равный 306 бит, а показатель для схемы РФС – АЭС ДР составил 462 бит. Схема, включающая методы РФС – ААС, уступает по информативности схеме РФС – АЭС ДР. Аналогично для определения подвижных форм составлено две схемы – АЭС-ИСП – ПАЭС и ААС – ПАЭС (P_{inf} равно 356 и 200 бит, соответственно). Таким образом, многоэлементные прямые методы анализа, включаемые в схему определения валовых содержаний элементов и их подвижных форм, оказываются более информативными. Схожая ситуация наблюдается по показателям информативности для схем определения элементного состава растений. Более информативным оказывается сочетание РФС или инструментального метода инфракрасной спектроскопии (ИКС) с АЭС-ДР (1), так как методы прямые и не требуют дополнительной химической пробоподготовки и использования дополнительных приспособлений для снижения пределов определения аналитов [Васильева, Шабанова, 2019].

Таблица 2.6 – Рациональные схемы комбинирования аналитических методов для определения биофильных и токсичных элементов в почвах и растениях, а также подвижных форм нахождения элементов в почвах

Объект	Аналитические методы		Аналит	
			Валовое содержание	Концентрация в подвижной форме
Почва	РФС или ИКС		S	
	ПАЭС		Na, K, Li, Rb	
	АЭС-ДР	(1: испарение)	Si, Al, Mg, Ca, Fe, Ti, Mn, Ba, Sr, Be, Zr	
		(2: вдувание-просыпка)	B, P, Ni, Co, V, Cr, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Bi, Cd, Sb, As, F, W, Li, Ge, Tl	
	Потенциометрия		рН	
Метод Тюрина		Сорг		
Растения	РФС или ИКС		S, Cl и Br	
	АЭС ДР (1: испарение)		Al, B, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, Ti, V, Zn и Zr	
Почва	АЭС-ИСП		–	
Растения			Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Fe, Ti, Mn, Ba, Rb, Sr, Se, Hg, S, B, P, Ni, Co, V, Cr, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Bi, Cd, Sb, As, Li	
			Si, Al, Mg, Ca, Fe, Ti, Mn, P, Na, K, Li, Rb, Ba, Sr, B, Ni, Co, V, Cr, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Bi, Cd, S, Se, Sb, As, Hg	

В связи с морфологическими особенностями почв рассмотренные наборы аналитических методов анализа почв необходимо дополнять методами определения водородного показателя (рН – потенциометрический метод [Пансю, Готеру, 2014]) и органического углерода ($C_{орг}$ – Метод Тюрина [ГОСТ 26213-2021]). Таким образом, для изучения распределения элементов в сопряженных средах "почва – растение" в дальнейшей работе использованы следующие наборы методов/методик (табл. 2.6) определения подвижных форм токсичных и биогенных элементов в почвах и растениях.

Выводы

Особенности климата и городских условий наложили свой отпечаток на отбор проб поверхностных почв г. Улан-Батор и растений, произрастающих на этих почвах – пробы отбирали в течение 2010, 2011, 2017 и 2019 гг. после наиболее влажного времени года (июль) и в период вегетации растений по методу "конверта" со сторонами 1×1 м на глубине 0-10 см и по нерегулярной сети. Пробы почв и растений охватывали основные районы города: Баянгол (БГ), Баянзурх (БЗ), Чингэлтэй (Ч), Хан-Уул (ХУ), Сухэ-Батор (СБ) и Сонгинохайрхан (СХ). Каждый из районов имеет внутреннее разделение на зоны транспортную, селитебную, рекреационную, и промышленную. Разные районы отличаются размерами зон и процентом зональности (табл. 2.1).

На территории города отобрано и приготовлено проб 599 почв (Приложение А.1) и 42 органов растений. Все пробы почв с территории УБ, которая сформирована на различных по литологическому составу отложениях (C_{1-2} , Q_{III-IV} и N), представляют либо горный чернозём, либо алювиальные или каштановые почвы, обогащённые бытовыми отходами и разными привнесёнными материалами. Растительный покров изменялся от природного (естественного) до полностью уничтоженного. Изучение элементного состава почвенных и растительных образцов проводили в ИФиТ АНМ (отбор и механическая пробоподготовка) и аналитическом отделе Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (анализ).

Для того чтобы содержание и качество аналитической информации соответствовало жёстким требованиям экологического мониторинга при минимальных финансовых затратах были рассмотрены разные варианты комбинирования методов/методик анализа почв и растений, а также оценены показатели информативности получаемых схем. На основе P_{inf} составлены рациональные схемы химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение" (табл. 2.6), на результатах которых была получена наиболее полная и надёжная первичная геоэкологическая информация. С помощью этих методов содержания макро- и микроэлементы определяется одновременно; нижние границы определяемых содержаний элементов ниже значений регионального фона. Контроль правильности результатов анализа каждой методики выполнен с использованием российских и международных стандартных образцов состава почв и растений. В пробах почв определены валовые содержания и концентрации подвижных форм макро- и микроэлементов. Определение элементного состава образцов выполнено с помощью атомно-эмиссионной, рентгенофлуоресцентной и атомно-абсорбционной спектроскопии. В пробах растений с помощью АЭС-ДР установлены валовые содержания биофильных, токсичных и потенциально токсичных элементов. Список результатов определения содержания ХЭ и их подвижных форм в образцах почв (отбор 2010 г.) дан в Приложении А.2.

ГЛАВА 3. ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Почвы содержат химические элементы в соответствии с геохимическим распределением в литосфере и происхождением почвы. К макроэлементам в почвах относят углерод, водород, кислород, азот, кремний, алюминий, кальций, магний, железо, натрий, калий, фосфор, марганец и титан (соответственно С, Н, О, N, Si, Al, Ca, Mg, Fe, Na, K, P, Mn и Ti), содержание которых зачастую связаны с подстилающими материнскими породами. Список микроэлементов значительно шире и зависит не только от типа подстилающих пород, но и от привнесённых примесей. Причём из-за антропогенного влияния ряд микроэлементов может сместиться в класс макроэлементов, т.е. содержания которых более 0.1 % мас. Следовательно, изучение элементного состава не ограничивается элементным анализом валовых и подвижных форм элементов, а требует статистических подходов к изучению предполагаемых источников загрязнения [Norra et al., 2006; Zinkute et al., 2011; Бямбасурэн и др., 2012; Бямбасурэн и др., 2018a]. Схема изучения аналитических данных состояла из последовательного применения:

- процедур разведочного анализа данных (μ , S_{\min} и S_{\max} , M – расчёт среднего, минимального и максимального, медианы значения содержания, V , S и K – коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса при уровне надёжности 95 %);
- проверки гипотезы о нормальности распределении содержания каждого химического элемента в выборке ($S-W$ – показатель критерия Шапиро-Вилкса с $p < 0.05$). В связи с тем, что тип распределения содержания каждого из элементов, определяемых в почвенном покрове, может быть отличен от нормального, то данные дополнительно были преобразованы методом Бокса-Кокса;
- классификации почвенных фракций по макросоставу (кластерный и факторный анализы);
- выявления источника загрязнения почвы (факторный анализ).

Пространственное распределение групп элементов устанавливали методом ординарного кригинга, где для каждого фактора рассчитывали индекс, выражающий степень сходства конкретного фактора с ассоциацией элементов в образце. При интерпретации результатов статистического анализа и для более достоверного выделения источников поступления элементов в почвы г. Улан-Батор были учтены особенности распределения элементов в поверхностной почве, землепользования территории и геологического строения территории города.

Обработка и обобщение результатов аналитических исследований выполнялись в программах Microsoft Office Excel 2013 и STATISTICA 13.

Статистический разведочный анализ почвенных показателей

Эколого-геохимическая характеристика почв на фоновой и территориях г. Улан-Батор выполнена по данным аналитических исследований почв, полученных по рациональной схеме. Статистические оценки разведочного анализа результатов определения почвенных показателей валового содержания и концентрации подвижной формы всех изученных элементов приведены в Приложениях Б.1 и Б.2, где даны название исследуемого района; периоды исследования и соответствующее количество отобранных проб; символ каждого изученного показателя и его

единица измерения; статистические оценки для выборок найденных содержаний; коэффициенты, описывающие исходные и преобразованные данные.

рН почвы

Показатель концентрации ионов H^+ (моль/л) характеризует физико-химическое окружение почвы и является результатом мгновенных равновесий, контролируемых разными компонентами среды [Пансю, Готеру, 2014]. Этот показатель при снижении насыщения указывает на возможное присутствие отдельных токсичных солей.

Показатель рН почв во всех районах за всё время наблюдения (рис. 3.1) варьирует от кислой (5.2 моль/л) до сильнощелочной (10.5 моль/л) среды, и в среднем является щелочной (~ 8 моль/л) (Приложение Б.1). Коэффициенты вариации этого показателя по годам и районам изменяются от 4.11 до 19.65 %. Только для почв из района Хан-Уул наблюдаются значительное увеличение щелочности почв в 2019 г. В целом, за всё время наблюдений по городу изменчивость рН почв умеренная [Tsagaan et al., 2021], что свидетельствует о незначительном изменении экологической обстановки [Wilding, 1985] и подтверждает данные о щелочной среде почв города других исследователей [Batjargal, 2010; Касимов и др., 2011a; Oyunbat et al., 2021]. Единичные выбросы в данных наблюдаются в образцах почв из всех районов города (рис. 3.1), т.е. косвенно подтверждена мелкоконтурность и разнотекстурность изучаемых объектов. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок данных во всех районах и за всё время наблюдения (Приложение Б.1).

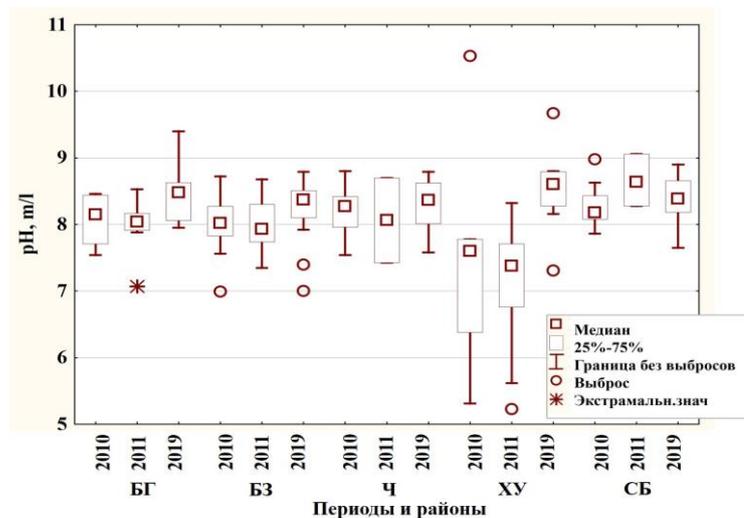


Рисунок 3.1. Диаграмма частотного распределения рН в почвах исследуемых районов

Показатель рН для фоновой почвы в среднем составляет 7.0 моль/л, что ниже среднего значения этого показателя во всех районах за всё время наблюдения и указывает на возможные изменения состава почв при изменении влажности даже в сухом (аридном) климате города. Смещение рН в верхних слоях городских почв в щелочную область может происходить за счёт карбонатных техногенных включений (бетон, цемент и др., которые разрушаются и выветриваются в условиях города) и аэропереноса пыли и золы, частицы которых могут растворяться.

Органический углерод

В почве органический углерод ($C_{орг}$) содержится, главным образом, в составе гумуса и органических отходов. Содержание углерода в почве колеблется от долей процента в бедных органическим веществом песчаных почвах до 3-5 % мас., и даже 10 % мас. в богатых гумусом черноземах [Почвенный покров..., 1988]. В городских почвах, особенно индустриальных, за счёт органических поллютантов увеличивается содержание углерода [Водяницкий, 2015].

Содержание органического углерода в почвах всех районов варьирует от 0.29 до 19.6 % мас. и составляет в среднем 2.2 % мас. (Приложение Б.1). Аналогичные результаты приведены в работе [Batjargal et al., 2010], где содержание $C_{орг}$ варьировало от 2.07 до 12.40 % мас. В пробах почвы из района ХУ (отбор 2010 и 2011 гг.) содержание $C_{орг}$ значительно выше (7.1 и 9.9 % мас.), однако в пробах (отбор 2019 г.) снижается до 3.5 % мас. Для почв этого района характерны значительные вариации этого показателя (рис. 3.2). В образцах фоновых почв содержание $C_{орг}$ около 3.1 % мас., что выше среднего этого показателя во всех районах за всё время наблюдения. Из-за повышенного содержания органических отходов в промышленных зонах города содержание $C_{орг}$ повышенное, а в транспортной зоне – пониженное до 2 % мас. [Tsagaan et al., 2021], что отражает изменчивость $C_{орг}$, обусловленную влиянием структуры землепользования, длительностью и степенью антропогенного воздействия [Водяницкий, 2015]. Вариации в содержании $C_{орг}$ присущи почвам из всех районов города в течение всего периода наблюдений, также как изменение растительного покрова в точках отбора от полностью отсутствующего до искусственных насаждений (90% места отбора) (Приложение А.1). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок данных во всех районах и за всё время наблюдения, за исключением данных в выборке по району ХУ (отбор 2010 и 2019 гг.) (Приложение Б.1).

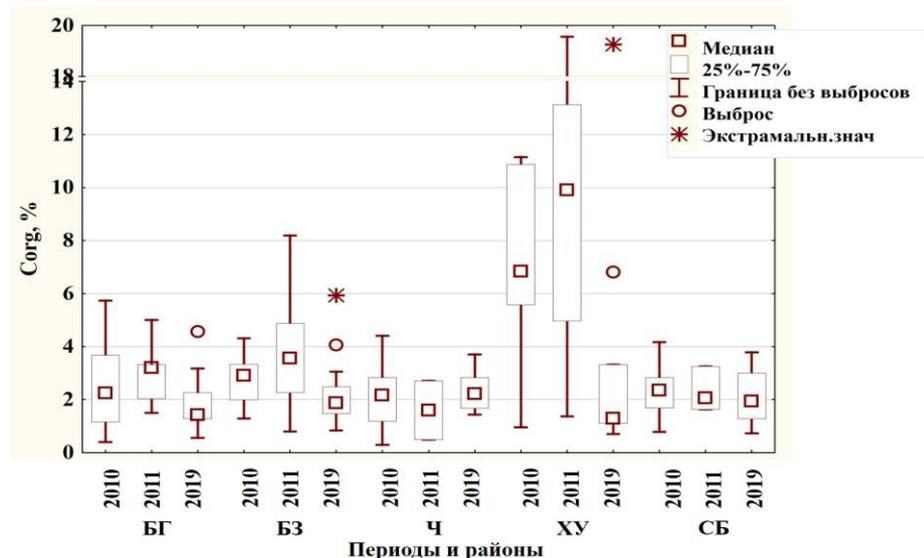


Рисунок 3.2. Диаграмма частотного распределения $C_{орг}$ в почвах исследуемых районов

Кремний

Почва содержит кремний (Si), включённый в состав минералов группы кварца (SiO_2) и аморфного кремнезёма, а также алюмосиликатов [Теория и практика..., 2006; Почвенный покров..., 1988]. Кварц, кристаллическая разновидность кремнезёма, обладая высокой

устойчивостью к выветриванию, вместе с другими крупнокристаллическими силикатами, а также вторичными или глинистыми кремнийсодержащими минералами формируют скелет почвы [Орлов, 1985]. Валовое содержание Si в почве колеблется от 18-33 % мас. (глинистые) до 42-46 % мас. (песчаные) [Почвенный покров..., 1988].

В почвах исследуемых районов содержание Si варьирует от 12.4 до 40.6 % мас., разброс данных от 5.2 до 25.7 % (рис. 3.3). Низкое содержание кремния указывает на преобладание глинистой составляющей в аллювиальном типе почв (Приложение Б.1). Со временем почвы опесчаниваются (рис. 3.3). Наибольшие вариации в данных присущи району ХУ (20.6 ÷ 25.7 %). В пробах из разных районов города содержание Si близкое (~ 31 % мас.) (рис. 3.3), т.е. незначительно выше его содержания на фоновых территориях 29 % мас. (Приложение Б.1). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализует данные всех выборок во всех районах и за всё время наблюдения, за исключением данных в выборке по району ХУ (отбор 2017 и 2019 гг.) (Приложение Б.1).

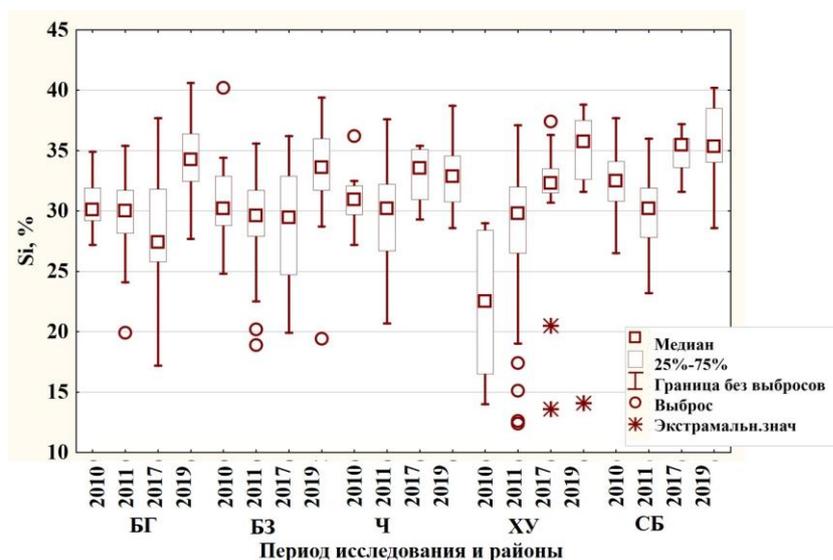


Рисунок 3.3. Диаграмма частотного распределения Si в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы кремния в аммонийно-ацетатной вытяжке находятся в пределах 0.008 до 0.045 % мас. (Приложение Б.2), с разбросом данных (24 до 42 %), что выше разброса данных в валовых содержаниях Si. В среднем доля выделения подвижной формы кремния аммонийно-ацетатной вытяжкой составляет 0.083 % . Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок данных во всех районах (Приложение Б.2).

Алюминий

Общее содержание алюминия (Al) в почвах обусловлено присутствием полевых шпатов и глинистых минералов, входящих в состав материнских пород, а также наличием разнообразных гидроксидов алюминия в аморфной или кристаллической форме, представляющих свободный глинозём. Валовое содержание Al в почвах обычно колеблется от 1-2 до 15-20 % мас., а в ферраллитных почвах тропиков и бокситах около 40 % мас. [Почвенный покров..., 1988].

Валовое содержание Al в почвах всех районов города варьирует от <1.2 до 10.5 % мас., и среднее содержание ~ 6.7 % мас. с разбросом данных от 10.1 до 25.5 % (Приложение Б.1). Среднее содержание Al увеличивается в 2019 г. в почвах всех районов (рис. 3.4.), однако это

незначительно выше фоновых содержаний (6.2 % мас.). Нормализация данных методом Бокса-Кокса не повлияла на их распределение в почвах районов БЗ (отбор 2019 г.), ХУ (отборы 2010 и 2019 гг.) и СБ (отбор 2019 г.), что характеризует значительное изменение структуры и элементного состава почв в этих районах.

Концентрации подвижной формы алюминия в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.0001 до 0.115 % мас., и в среднем составляет 0.0020 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (16 ÷ 230 %) отражает высокую изменчивость по сравнению с валовым содержанием и косвенно указывает на разные источники этого элемента в почвах. В среднем доля выделения подвижной формы Al аммонийно-ацетатной вытяжкой невысокая 0.072 %. Однако присутствуют образцы, в которых доля извлечённого алюминия более 1 %, что свидетельствует о наличии гидроксидов алюминия в аморфной форме.

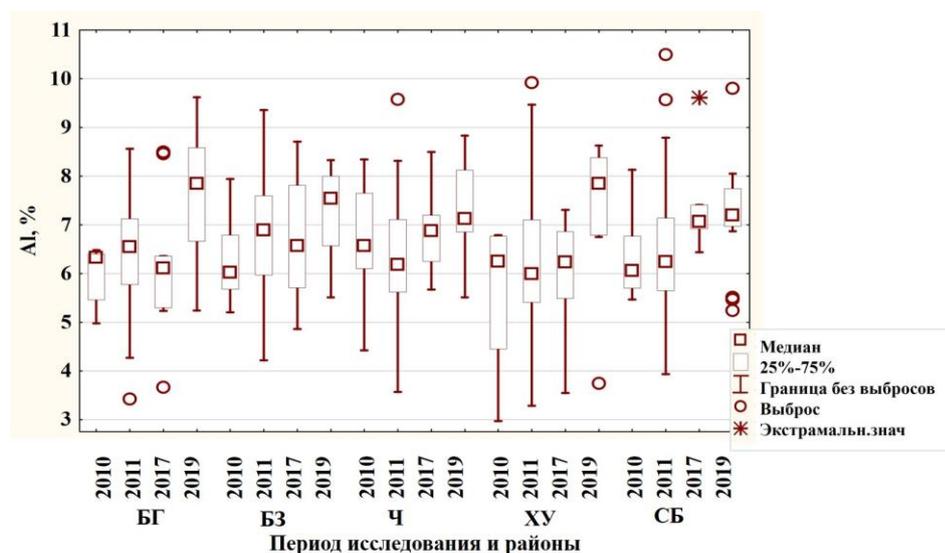


Рисунок 3.4. Диаграмма частотного распределения Al в почвах различных районов

Магний

Валовое содержание магния (Mg) в почве обычно близко к содержанию Ca и обусловлено наличием в ней глинистых минералов. В крупной фракции почв магний содержится в обломках доломитов, оливине, роговых обманках, пироксенах; в почвах аридной зоны много магния аккумулируется в виде хлоридов и сульфатов при засолении почв [Самофалова, 2009; Почвенный покров..., 1988].

Валовое содержание Mg варьирует от 0.16 до 1.18 % мас. с разбросом данных от 18 до 47.8 % (Приложение Б.1). Наибольшие вариации в содержании Mg присущи почвам района БГ, однако распределение магния по всему городу близкое и в среднем составляет ~ 0.5 % мас. (рис. 3.5) при среднем содержании в фоновых почвах ~ 0.6 % мас. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок данных во всех районах и за всё время наблюдения, за исключением данных в выборке по району БЗ (отбор 2019 г.) (Приложение Б.1).

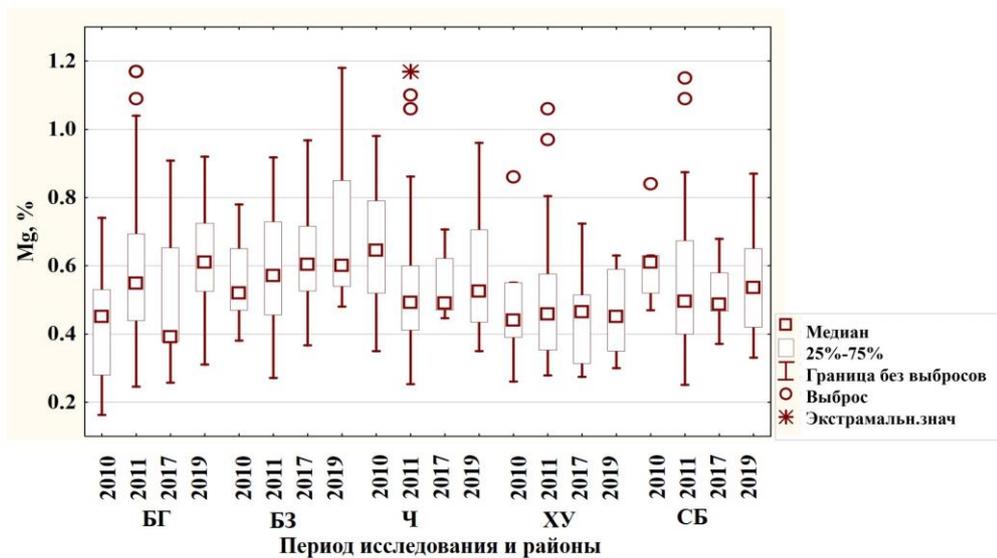


Рисунок 3.5. Диаграмма частотного распределения Mg почв различных районов

Концентрации подвижной формы магния в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв города варьирует от 0.021 до 0.189 % мас., в среднем составляет 0.049 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс данных (от 17 до 88 %) по сравнению с валовым содержанием (Приложение Б.1) косвенно указывает на разные источники этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Mg аммонийно-ацетатной вытяжкой изменяется от 3.5 до 90 %, что указывает на карбонатное происхождение магния в почвах и/или растительное происхождение.

Кальций

В почвах сухостепной и аридной зон повышенное валовое содержание кальция (Ca) может быть обусловлено образованием и накоплением вторичного кальцита или гипса [Почвенный покров..., 1988]. Кальций присутствует в силикатных, карбонатных и сульфатных минералах и определяет экологические свойства почвы, создавая условия для трансформации органического вещества, образования глинистых минералов, структуру почвы, реакцию почвенного раствора и связанной с ними интенсивности биологических процессов и подвижности питательных веществ [Самофалова, 2009; Шеуджен, 2015].

Валовое содержание Ca в почвах всех районов города варьирует от 0.73 до 8.6 % мас. с разбросом данных от 15.78 до 86.51 % (Приложение Б.1). Почвам, отобраным вблизи строек, характерно повышенное содержание кальция. В остальных случаях, содержание кальция, как и магния, по всему городу близкое и в среднем составляет ~1.97 % мас. (рис. 3.6), что незначительно выше фоновых содержаний ~1.2 % мас. (Приложение Б.1). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах и за всё время наблюдения (Приложение Б.1).

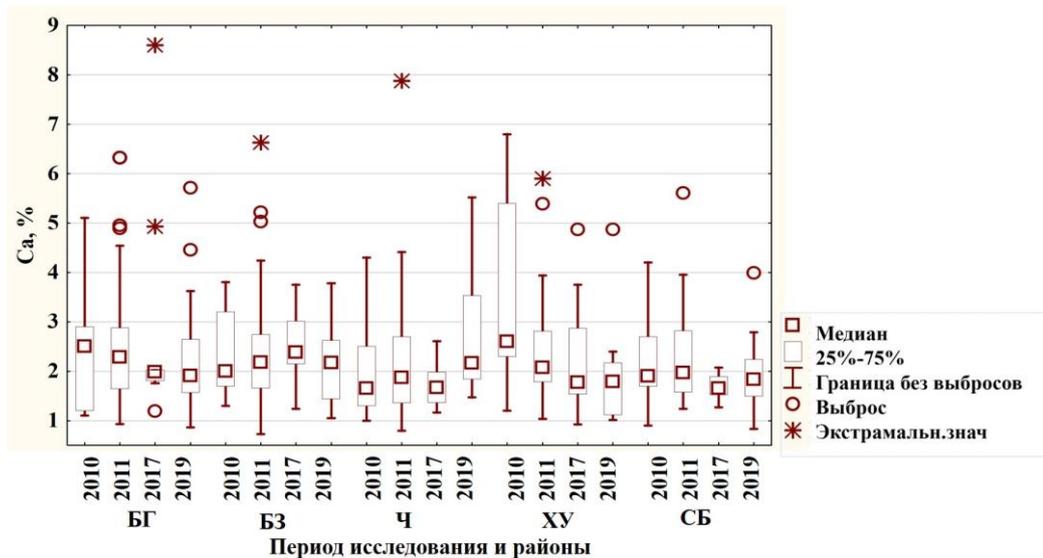


Рисунок 3.6. Диаграмма частотного распределения Са в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы кальция в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв города варьирует от 0.23 до 2.2 % мас., в среднем составляет 0.74 % мас. (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Са аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 11 до 69 %, что свидетельствует о наличии значительных долей глины и ила.

Железо

Железо (Fe) в почвах присутствует в составе первичных и вторичных минералов, в качестве компонента разных минералов (магнетит, гематит, титаномагнетит, глауконит, роговая обманка, пироксен, биотит, хлорит и т.д.) [Почвенный покров...,1988]. В загрязненных почвах соединения железа способствуют закреплению металлов и металлоидов [Водяницкий, 2010а].

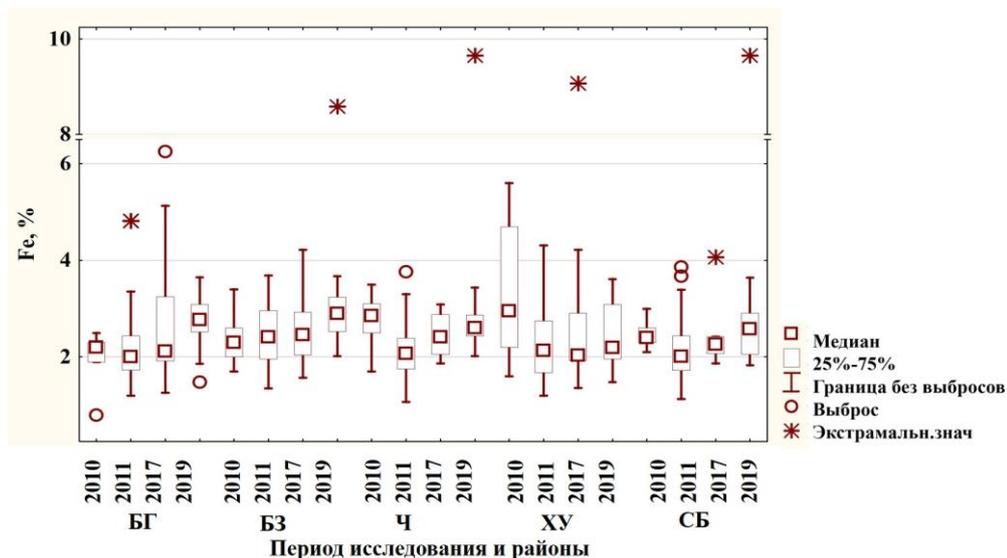


Рисунок 3.7. Диаграмма частотного распределения Fe почв различных районов

Валовое содержания железа в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.80 до 9.7 % мас. (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Fe близкое и в среднем ~2.6 % мас. (рис. 3.7). Как и в случае данных по Al, нормализация данных методом Бокса-Кокса не повлияла на их распределение в почвах районов БГ (отбор 2010 г.), БЗ

(отборы 2011 и 2019 гг.), Ч (отбор 2019 г.) и СБ (отбор 2019 г.), что характеризует значительное изменение структуры и элементного состава почв в этих районах (Приложение Б.1).

Концентрации подвижной формы железа в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.0001 до 0.039 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (38 ÷ 184 %) отражает высокую изменчивость по сравнению с валовым содержанием и косвенно указывает на разные источники этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Fe аммонийно-ацетатной вытяжкой в разных образцах изменяется от 0 до 1.2 %, что указывает на разнообразие минералов железа. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах районов БГ, БЗ и Ч (Приложение Б.2).

Титан

Валовое содержание титана (Ti) не превышает 0.1 % мас., так как этот химический элемент типичен для горных пород, в которых его содержание колеблется в пределах 0.03-1.4 % мас. [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Почвенный покров...,1988]. Иногда наблюдается заметное накопление титана (до 1%) в составе илистой фракции [Почвенный покров...,1988].

Валовое содержания титана в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.12 до 0.54 % мас. (Приложение Б.1). Среднее содержание Ti составляет ~ 0.32 % мас. с незначительным разбросом данных от 13.8 до 35.3 % в каждом районе города (рис. 3.8). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализует данные всех выборок во всех районах и за всё время наблюдения (Приложение Б.1).

В связи с тем, что выветривание и аридный климат мало влияют на накопление титана в почве, так как он зачастую входит в состав первичных устойчивых к выветриванию титансодержащих минералов (ильменит, рутил, сфен) [Почвенный покров...,1988], его извлекаемость аммонийно-ацетатной вытяжкой (рН 4.8) из почв города не изучалась.

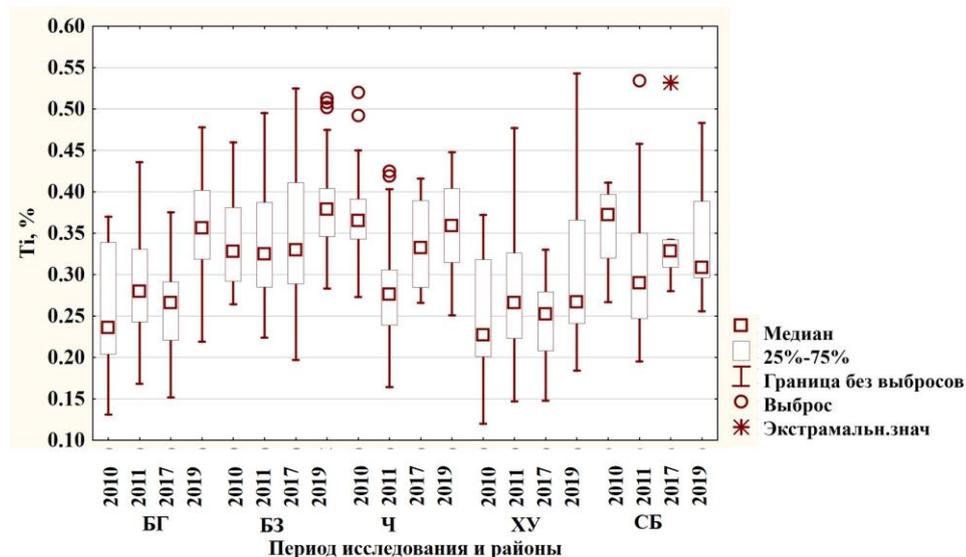


Рисунок 3.8. Диаграмма частотного распределения Ti почв различных районов

Натрий

Валовое содержание натрия (Na) в почве обычно составляет 1-3 % мас., поступление этого элемента в почву обусловлено преимущественно из натрийсодержащих полевых шпатов

[Почвенный покров..., 1988]. Этот химический элемент находится в почве в обменном состоянии и в составе водорастворимых солей почвенного раствора [Самофалова, 2009].

Валовое содержания натрия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.44 до 3.6 % мас. и усреднённое значение по городу ~ 1.80 % мас. с разбросом данных от 12.99 до 46.25 % (Приложение Б.1). Значительные вариации в содержании Na наблюдаются только в данных из района ХУ (рис. 3.9). Данные этого же района (отбор 2017 г.) остаются не нормально распределёнными даже после преобразования методом Бокса-Кокса. Хотя для остальных районов методом Бокса-Кокса достигается нормализация данных.

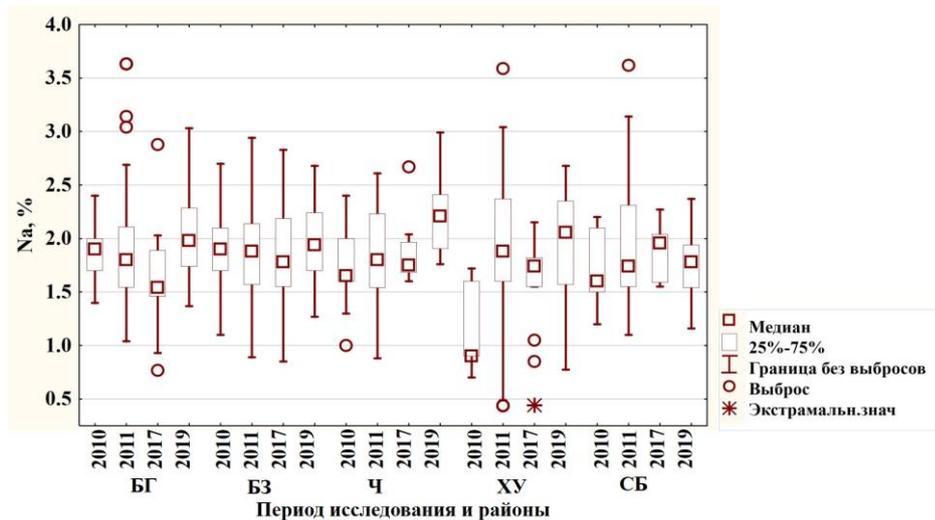


Рисунок 3.9. Диаграмма частотного распределения Na в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы натрия в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.0003 до 0.23 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (48 ÷ 137 %) отражает высокую изменчивость по сравнению с валовым содержанием и косвенно указывает на разные источники происхождения этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Na аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0.01 до 9.2 %, что указывает на присутствие разных минеральных форм натрия. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах районов БГ, БЗ и Ч (Приложение Б.2).

Калий

Основными поставщиками калия (К) в почвы являются полевые шпаты, слюды и слюдopodobные минералы. Причём тонкодисперсные фракции почв обогащаются калием за счёт слюд и слюдopodobных минералов [Середина, 2012; Самофалова, 2009]. Валовое содержание К в почвах составляет 2-3 % мас. [Почвенный покров..., 1988].

Валовое содержания калия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 1.2 до 2.8 % мас. и усреднённое значение по городу ~ 2.1 % мас. с разбросом данных от 6.1 до 23.1 % (Приложение Б.1). Значительные вариации в содержании К наблюдаются только в данных из района ХУ (рис. 3.10). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1).

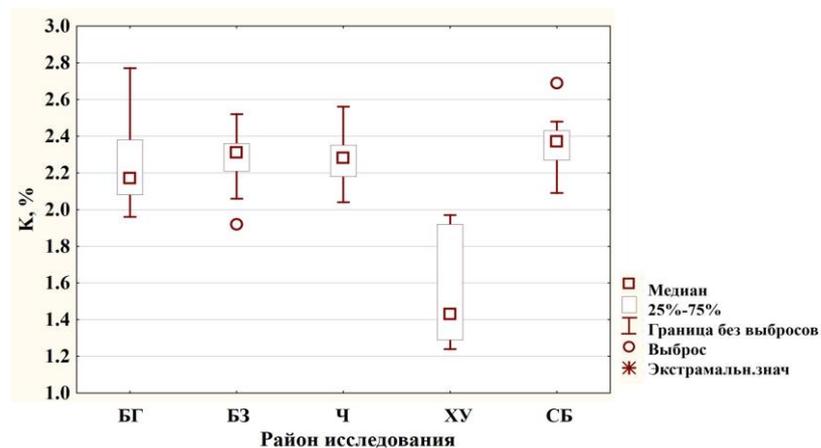


Рисунок 3.10. Диаграмма частотного распределения К в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы калия в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.007 до 0.167 % мас. с разбросом данных (21 ÷ 95 %) (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы К аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0.37 до 4.0 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах районов БГ и Ч (Приложение Б.2).

Фосфор

Среднее содержание фосфора (Р) в почвах и литосфере одинакова (0.08 % мас.), но в верхних горизонтах почв оно примерно в 1.5-2 раза выше из-за его биогенной аккумуляции. Значительная часть фосфора почвы (от 10-20 до 60-70 % мас.) приходится на органические соединения. Из минеральных соединений фосфора в почве чаще других встречаются апатиты [Теория и практика..., 2006].

Валовое содержания фосфора в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.03 до 0.29 % мас. и усреднённое значение по городу ~ 0.9 % мас. с разбросом данных от 16.4 до 52.8 % (Приложение Б.1 и рис. 3.11). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах, за исключением выборок в районах БЗ (отбор 2019 г.) и СБ (отбор 2011 г.) (Приложение Б.1).

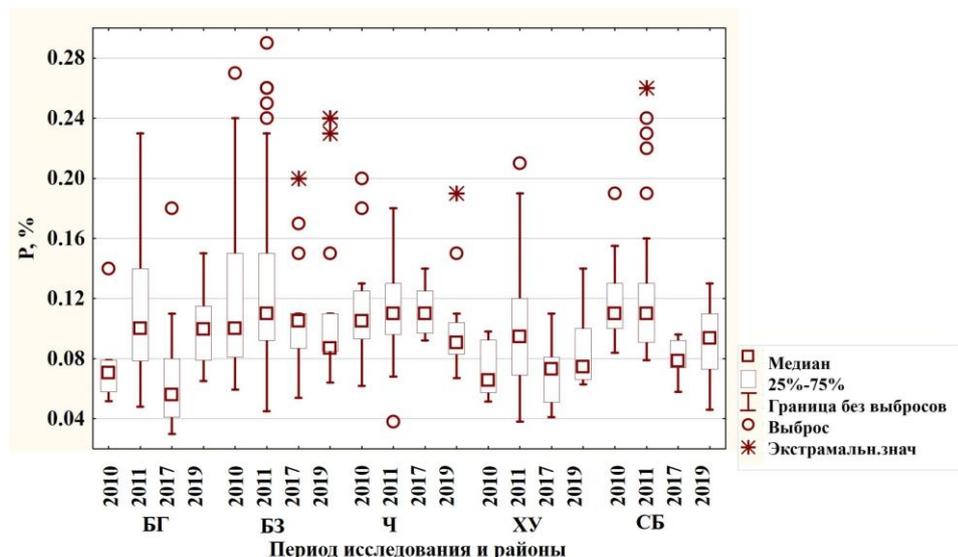


Рисунок 3.11. Диаграмма частотного распределения Р в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы фосфора в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.0006 до 0.34 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (28 ÷ 233 %) косвенно указывает на разные источники происхождения этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Р аммонийно-ацетатной вытяжкой изменяется от 0 до 65 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах районов БГ, БЗ и Ч (Приложение Б.2).

Сера

Сера (S) в почвах представлена органическим и неорганическим соединениями, соотношения которых зависит от типа почв и глубины залегания горизонтов [Соколова, Алексеева, 2008]. Валовое содержание S в почвах, не содержащих свободные сульфаты, составляет обычно менее 0.01 % мас. в засоленных почвах может достигать n % мас. [Теория и практика..., 2006].

Валовое содержания серы в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.023 до 2.5 % мас. и усреднённое значение по городу ~ 0.10 % мас. с разбросом данных 41.2 ÷ 124 % (Приложение Б.1 и рис. 3.12). Однако в районе ХУ среднее содержание серы выше ~ 0.64 % мас. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1).

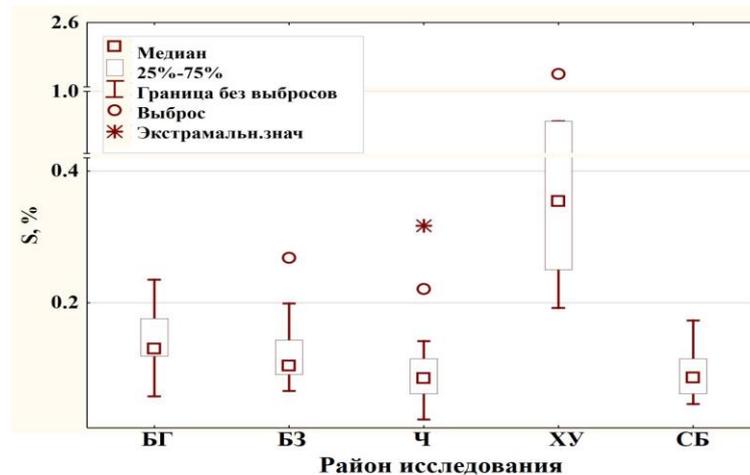


Рисунок 3.12. Диаграмма частотного распределения S в почвах разных районов

Концентрации подвижной формы серы в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.001 до 0.85 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (20 ÷ 244 %) косвенно указывает на разные источники происхождения этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы S аммонийно-ацетатной вытяжкой составляет от 1.2 до 61 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах районов БГ, БЗ и Ч (Приложение Б.2).

Фтор

Фтор (F) является элементом 1 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (≤ 1.5) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Уровень содержания фтора в почвенном растворе зависит от присутствия глинистых минералов, величины рН, концентраций кальция и фосфора в почвах. В целом наибольшая адсорбция фтора минеральными компонентами почв отмечается в

кислых интервалах рН от 6 до 7 [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Источниками поступления фтора в окружающую среду являются заводы по выплавке алюминия и производству фосфатных удобрений, стали-литейные, кирпичные и стекольные заводы, а также бытовое и промышленное сжигание угля [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания фтора в почвах всех районов, кроме ХУ, в течение всего периода исследования варьирует от 190 до 880 мг/кг. В среднем составляет 435 мг/кг с разбросом данных от 11.4 до 37.76 %. В почвах района ХУ, содержание фтора изменяется в более широком диапазоне 180 до 2100 мг/кг. В среднем валовое содержание F составляет 460 мг/кг с разбросом данных от 35.4 до 89.2 % и асимметричными и покатыми формами распределения (Приложение Б.1 и рис. 3.13). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах, за исключением БЗ (отбор 2019 г.) (Приложение Б.1).

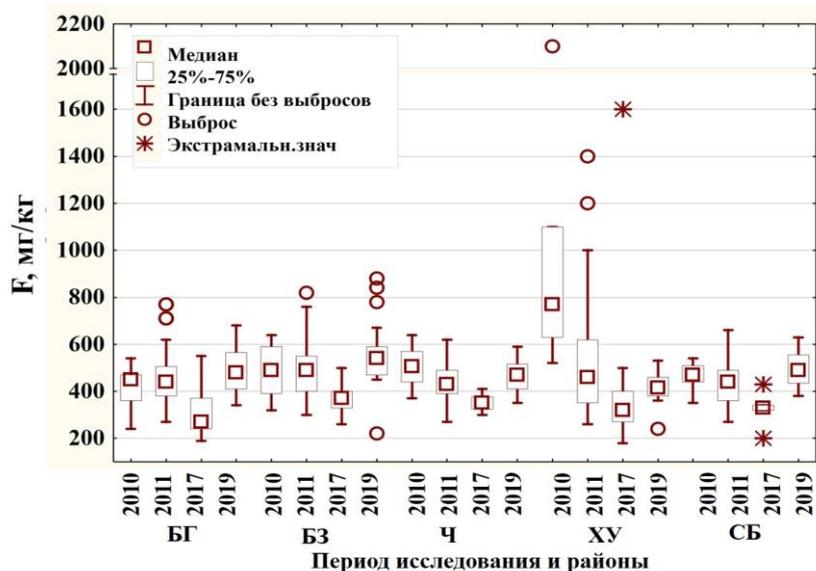


Рисунок 3.13. Диаграмма частотного распределения F в почвах разных районов

Барий

Барий (Ba) относится к элементам 3 класса опасности с малым геохимическим диапазоном [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Барий, высвобождающийся при выветривании, малоподвижен, сильно адсорбируется глинами и концентрируется в минералах и конкрециях, содержащих Mn и P. Содержания Ba в верхнем слое почв и материнских породах схожи [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания Ba в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 60 до 2280 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города валовые содержания Ba близки (рис. 3.14), а среднее городу (~ 710 мг/кг) близко к содержанию Ba на фоновых территориях 700 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (12 ÷ 33 %) по всем районам города, за исключением СБ (15 ÷ 60 %), является незначительным также, как и в данных по калию, с которым барий ассоциируется в геохимических процессах [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Нормализация данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.1) не повлияла на их распределение в почвах районов БЗ (отборы 2010 и 2011 гг.), Ч (отбор 2017 г.) и СБ (отбор 2011 г.), что, в принципе, типично для городских почв [Бямбасурэн и др., 2018а].

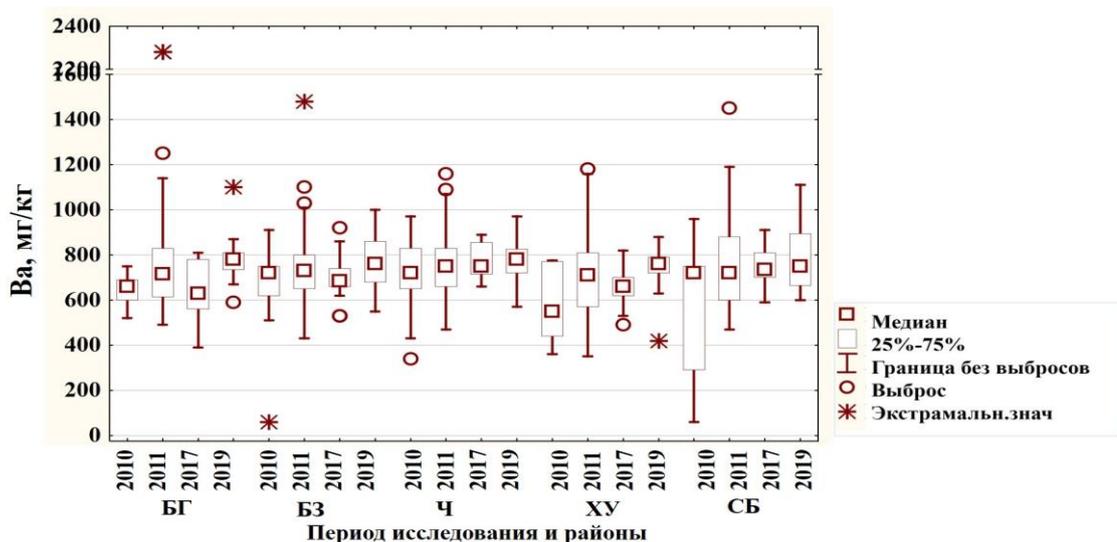


Рисунок 3.14. Диаграмма частотного распределения Ва в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы бария в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.0003 до 0.005 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (7 ÷ 85 %) отражает высокую изменчивость по сравнению с валовым содержанием и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Ва аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0.24 до 7.9 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах, отобранных в 2011 г. в районе БГ (Приложение Б.2).

Стронций

Стронций (Sr), аналогично как ХЭ барий, относится к элементам 3 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (1.5) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Геохимические и биохимические свойства Sr близки к свойствам кальция и магния, поэтому в природных условиях суши Sr часто ассоциируется с Ca и в меньшей степени с Mg. Стронций легко мобилизуется при выветривании, особенно в кислой окислительной среде. Он может затем встраиваться в решётку глинистых минералов и связывать органические вещества. Основные источники поступления Sr в почвы связаны со сжиганием угля, отходами промышленности, в частности при промышленной добыче серы, длительным применением в сельскохозяйственном производстве фосфорных удобрений и стронций-содержащих мелиорантов [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержание Sr в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 160 до 1470 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города валовые содержания стронция близки (рис. 3.15), а среднее городу (~ 350 мг/кг) выше содержанию Sr на фоновых территориях 290 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (15 ÷ 39 %) по всем районам города, является незначительным. Нормализация данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.1) не повлияла на их распределение в почвах районов БГ (отбор 2010 г.) и БЗ (отбор 2011 г.).

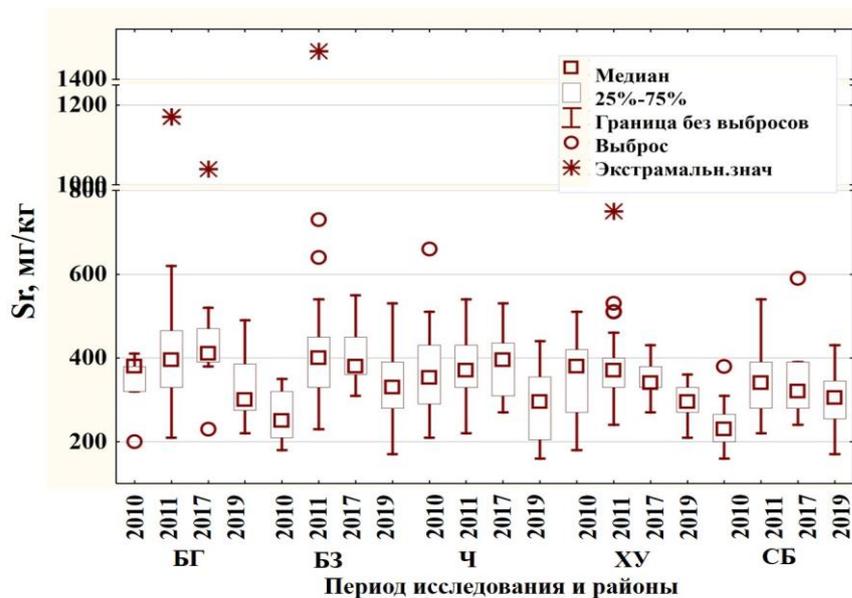


Рисунок 3.15. Диаграмма частотного распределения Sr в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы стронция в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 0.001 до 0.047 % мас. (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (9 ÷ 125 %) отражает высокую изменчивость по сравнению с валовым содержанием и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Sr аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 3.4 до 81 %, причём наиболее высокий процент выделения характерен для почв на территории ТЭС. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не повлияло на нормальность их распределения в почвах, отобранных в 2011 г. в районах БГ и БЗ (Приложение Б.2).

Литий

Литий (Li) – это щелочной металл и редкий элемент. Он широко распространен в земной коре и сосредоточен в магматических породах кислого состава и осадочных алюмосиликатах. Мобилизовавшись во время выветривания, Li прочно закрепляется на глинистых минералах. Валовое содержание лития в различных почвах зависит от их генезиса, особенностей почвообразовательного процесса, характера материнской породы. Содержания Li в почвах мира изменяются от 1.0 до 175 мг/кг. Причём низкие содержания (1.2 мг/кг) находятся в органических почвах, а более высокие (98 мг/кг) присущи аллювиальным почвам [Kabata-Pendias, 2000].

Валовое содержание Li в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 10 до 49 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города валовые содержания лития близки (рис. 3.16), а среднее по городу (~ 27 мг/кг) близко к содержанию Li на фоновых территориях 34 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (11 ÷ 27 %) по всем районам города, является незначительным. Нормализация данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.1) не повлияла на их распределение в почвах районов Ч (отбор 2011 г.), XU (отборы 2010, 2011 и 2019 гг.) и СБ (отбор 2010 г.).

Концентрации подвижной формы лития в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 1.6 мг/кг (Приложение Б.2). Значительный разброс в данных (9 ÷ 125 %) отражает высокую изменчивость по сравнению с валовым содержанием и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной

формы Li аммонийно-ацетатной вытяжкой изменяется от 0.74 до 14 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса привело к нормальности распределения данных (Приложение Б.2).

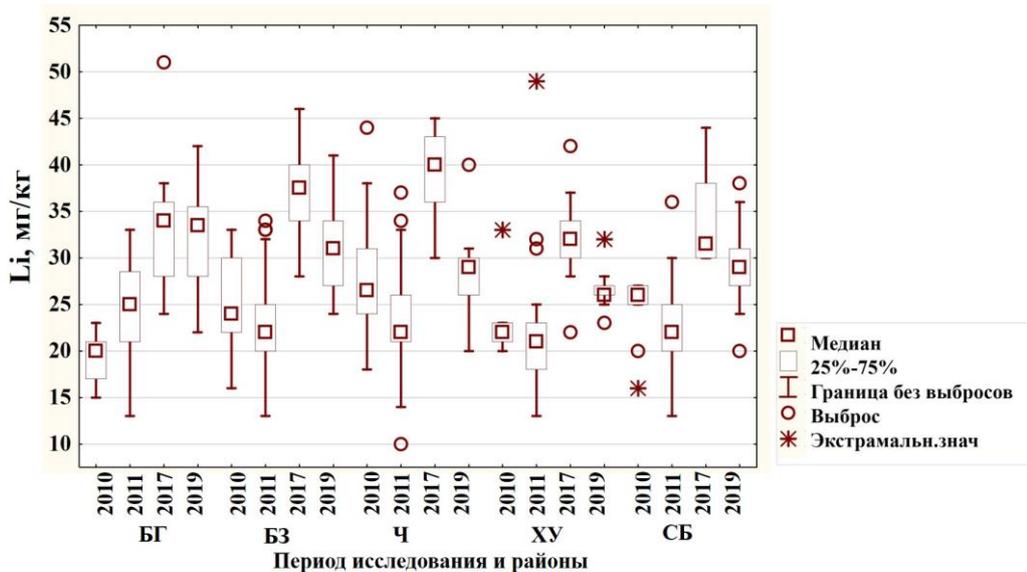


Рисунок 3.16. Диаграмма частотного распределения Li в почвах различных районов

Бор

Бор (В) относится к элементам 2 класса опасности с большим геохимическим диапазоном (5.1) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. В земной коре он распределен неоднородно и его содержание зависит от кислотности пород. В осадочных породах этот элемент ассоциируется с глинистой фракцией, и геохимия бора характеризуется аномально широкими вариациями его концентраций в породах. Основными источниками поступления В в почву являются сточные воды и его аэроперенос от продуктов горения топлива [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

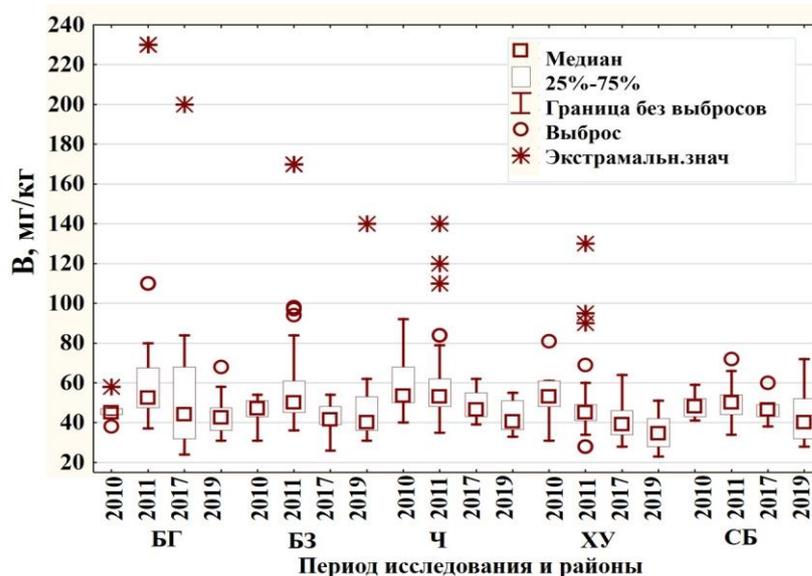


Рисунок 3.17. Диаграмма частотного распределения В в почвах различных районов

Валовое содержания В в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 23 до 230 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города средние валовых содержания бора близки (рис. 3.17), а среднее по городу (~ 49 мг/кг) выше содержания В на фоновых территориях 37 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (13 ÷ 48 %) по всем

районам города, за исключением района БГ (7.5 ÷ 91 %), является незначительным. Экстримальные содержания бора установлены в 2011 г. по всем районам города, кроме района СБ (рис. 3.17). Нормализация данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.1) не повлияла на их распределение в почвах районов БГ (отбор 2010 г.), БЗ (отборы 2010 и 2017 гг.) и ХУ (отбор 2011 г.).

Концентрации подвижной формы бора в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 76 мг/кг (Приложение Б.2). Разброс в данных (67 ÷ 137 %) значительный и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы В аммонийно-ацетатной вытяжкой изменяется от 0.42 до 33 %, и также, как и для стронция, наиболее высокий процент выделения характерен для почв на территории ТЭС. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов, кроме районов БЗ и Ч (отбор 2010 г.).

Марганец

Марганец (Mn) относится к элементам 3 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (1.9) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно геологической классификаций Mn – это сидерофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной – минералообразующий элемент [Водяницкий, 2014а]. Распределение марганца в почвенной толще весьма неоднородно с отсутствием явной зависимости от типа почв. Наиболее высокие содержания Mn присущи почвам, развитым на основных породах, богатых Fe и/или органическим веществом, а также для почв аридных и семиаридных районов [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

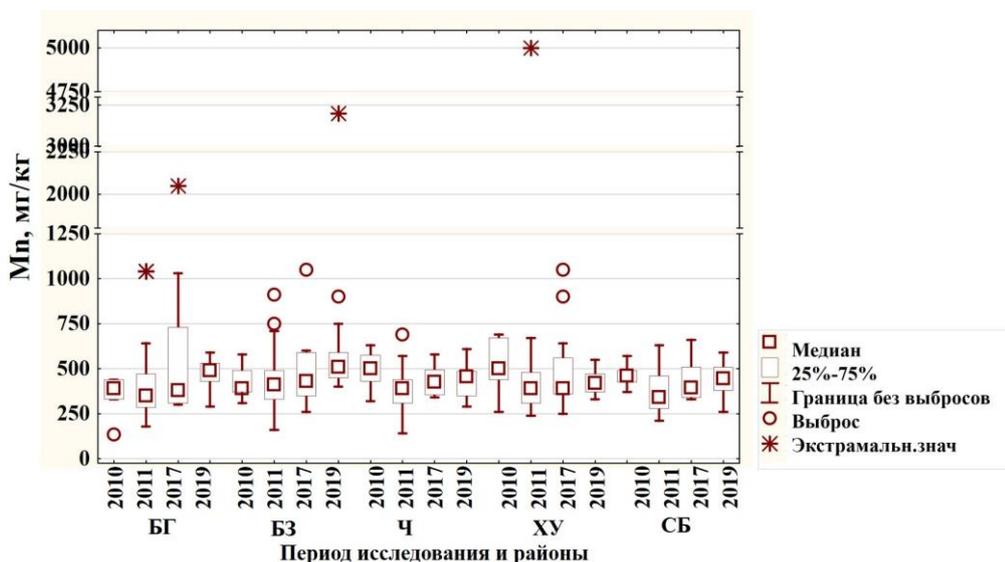


Рисунок 3.18. Диаграмма частотного распределения Mn в почвах различных районов

Валовое содержания марганца в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.014 до 0.51 % мас. (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Mn близкое и в среднем ~ 0.049 % мас. (рис. 3.18), т.е. значительно ниже, чем в его содержания на фоновых территориях 710 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (14 ÷ 49 %) по всем районам города является незначительным. Однако в районах БГ (отбор 2017 г.), БЗ (отбор 2019 г.) и ХУ (отбор 2011 г.) присутствуют отдельные экстримальные значения (рис. 3.18), из-за

которых размах увеличивается до 85, 89 и 140 % соответственно. Нормализация данных методом Бокса-Кокса не повлияла на их распределение в почвах районов БГ (отбор 2010 г.), БЗ (отборы 2011 и 2019 гг.), ХУ (отбор 2010 г.) и СБ (отбор 2011 г.), что характеризует значительное изменение структуры и элементного состава почв в этих районах (Приложение Б.1).

Концентрации подвижной формы марганца в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах 8 до 330 мг/кг (Приложение Б.2). Разброс в данных (17 ÷ 101 %) значительный и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Мп аммонийно-ацетатной вытяжкой изменяется от 1.8 до 61 % в зависимости от состава почв. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов, кроме районов БГ и БЗ (отбор 2011 г.).

Никель

Никель (Ni) относится к элементам 2 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (3.1) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно геологической классификаций никель – это сидерофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной классификаций – глино-, марганцо- и сидерофильный [Водяницкий, 2014а]. Содержание никеля в почвах зависит от насыщенности этим элементом почвообразующих пород, а также уровень никеля в почвах связан с масштабами техногенного загрязнения [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания никеля в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 4 до 78 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Ni близкое и в среднем ~ 31 мг/кг (рис. 3.19), т.е. близко к содержанию никеля на фоновых территориях 30 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (15 ÷ 48 %) по всем районам города является незначительным. Нормализация данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.1) не повлияла на их распределение в почвах районов БЗ (2019 г.) и ХУ (отбор 2011 г.).

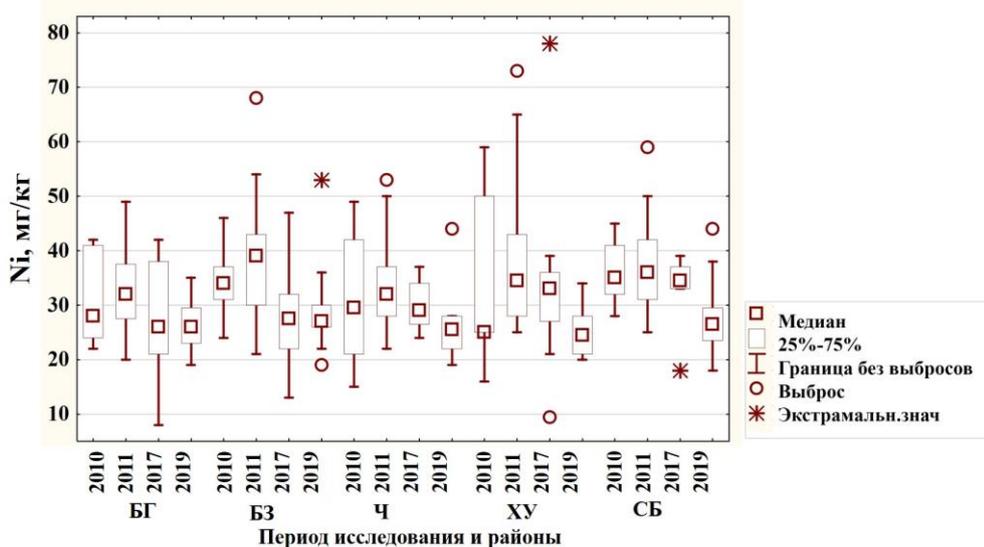


Рисунок 3.19. Диаграмма частотного распределения Ni в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы никеля в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.5 до 5 мг/кг (Приложение Б.2). Разброс в данных (17 ÷ 107 %)

значительный и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Ni аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0 до 4.9 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов.

Кобальт

Кобальт (Co) относится к элементам 2 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (2.5) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно геологической классификаций кобальт – сидерофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной – мангано- и органофильный [Водяницкий, 2014а]. Важными факторами распределения и поведения Co в почвах являются органическое вещество и содержание глинистых частиц. Основным источником поступления кобальта в окружающую среду является выплавка цветных металлов и аэроперенос продуктов горения топлива, в том числе и горюче-смазочных материалов, поэтому придорожные почвы и уличная пыль имеют повышенные содержания Co [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания кобальта в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 4 до 34 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Co близкое и в среднем ~ 12 мг/кг (рис. 3.20), т.е. ниже содержания кобальта на фоновых территориях 18 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных (9 ÷ 49 %) по всем районам города является незначительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1).

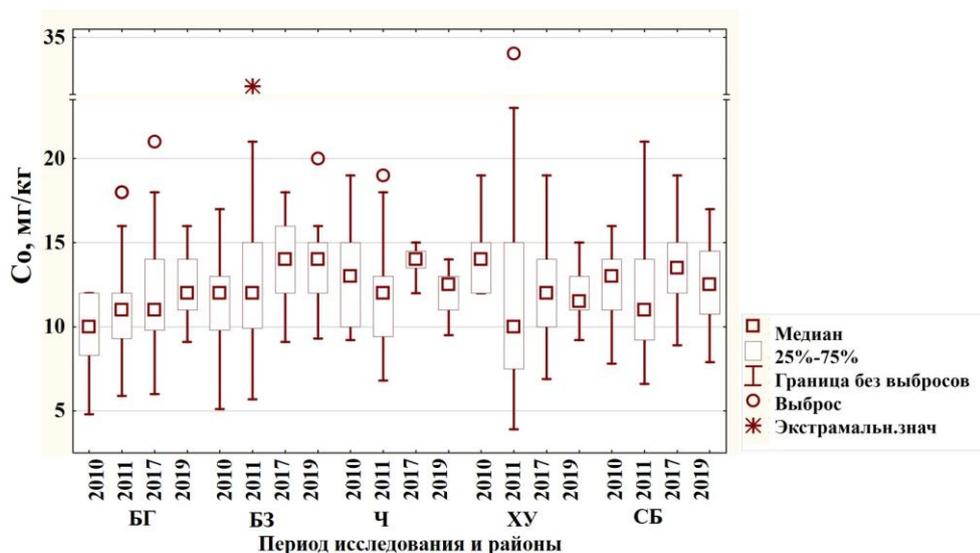


Рисунок 3.20. Диаграмма частотного распределения Co в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы кобальта в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 6 мг/кг (Приложение Б.2). Разброс в данных (5 ÷ 70 %) указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. В среднем доля выделения подвижной формы Co аммонийно-ацетатной вытяжкой составляет 4.2 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов.

Ванадий

Ванадий (V) относится к элементам 3 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (2.3) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Его геохимические характеристики

зависят от его степени окисления и от кислотности сред, в которых он находится. Согласно геологической классификации, ванадии – сидерофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной классификации – глино-, органико- и сидерофильный [Водяницкий, 2014а]. Этот элемент имеет высокую прямую связь с содержанием Fe и существует прямая связь с содержанием K и Mn в почве [Кабата-Пендиас, 1989]. Промышленная переработка некоторых типов минеральных руд (металлургические заводы, цементные и фосфоритные заводы) и аэроперенос продуктов горения топлива увеличивает осаждение ванадия в почвах [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания ванадия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 33 до 180 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание V близкое и в среднем ~ 65 мг/кг (рис. 3.21), т.е. ниже его содержания на фоновых территориях 83 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных ($11 \div 43$ %) по всем районам города является незначительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1).

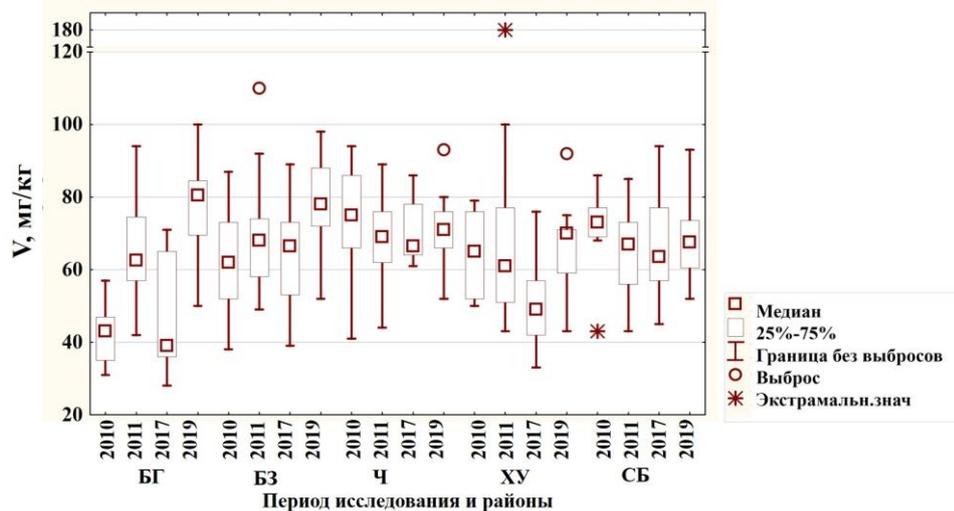


Рисунок 3.21. Диаграмма частотного распределения V в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы ванадия в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 0.2 мг/кг (Приложение Б.2). Причём 0.2 мг/кг определено только в двух пробах. В среднем доля выделения подвижной формы V аммонийно-ацетатной вытяжкой менее 0.45 %, подтверждая природное поведение ванадия.

Хром

Хром (Cr) относится к элементам 2 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (2.7) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Содержание хрома в почве наследуется от материнских пород, более высокое содержание обычно обнаруживается в почвах, полученных из основных пород и глинистых отложений. Поведение Cr зависит от pH и окислительно-восстановительного потенциала почв. Согласно геологической классификации, хром – халькофильный [Гольдшмит, 1930], а почвенной – глино-, халько- и сидерофильный [Водяницкий, 2014а]. Основным источником поступления хрома в поверхностные почвы являются промышленные отходы (гальванические осадки, отходы кожевенных заводов и

производств, где хром используется в составе пигментов и красителей) и сточные воды [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания хрома в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 2 до 960 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Cr близкое и в среднем ~ 57 мг/кг (рис. 3.22) и разброс в данных незначительный ($13 \div 59$ %), т.е. и выше его содержания на фоновых территориях 45 мг/кг (Приложение Б.1). Однако в районе ХУ среднее содержание хрома (90 мг/кг) из года в год выше, чем по городу и, тем более, фоновых значений. Разброс в данных в этом районе ($31 \div 151$ %) является значительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ (отбор 2011 г.).

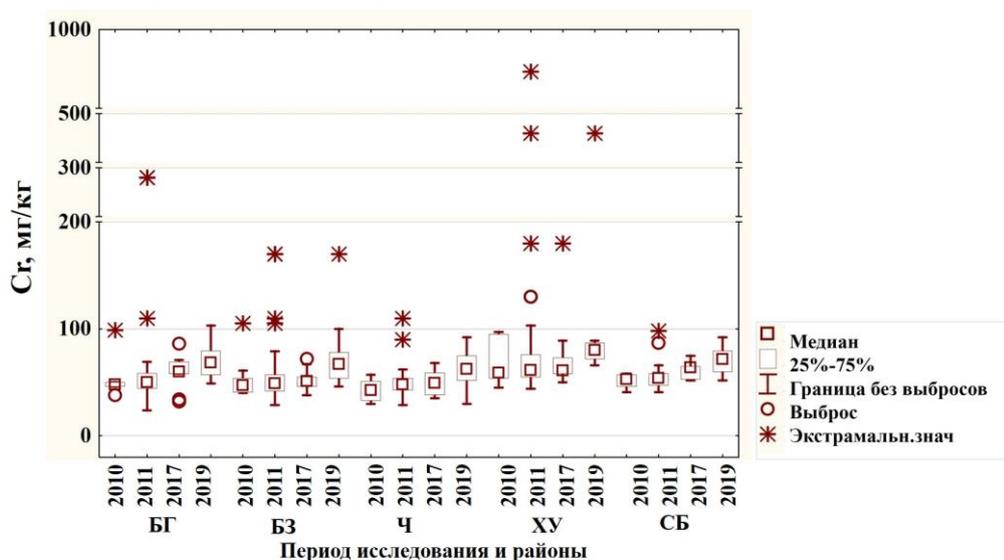


Рисунок 3.22. Диаграмма частотного распределения Cr в почвах различных районов

Концентрации подвижной формы хрома в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 15 мг/кг (Приложение Б.2). Разброс в данных ($16 \div 211$ %) значительный и косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Доля выделения подвижной формы Cr аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0.33 до 9.2 %. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) не нормализовало распределения данных во всех районах, в частности данные районов БЗ и Ч.

Вольфрам

Вольфрам (W) относится к элементам 3 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (2.2) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Содержание W в почвах зависит от состава материнских пород, а их техногенное загрязнение вольфрамом связано с добычей и переработкой металлов [Kabata-Pendias, 2000].

Валовое содержания вольфрама в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от <0.5 до 28 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание W близкое и в среднем ~ 3.4 мг/кг (рис. 3.23), т.е. выше его содержания на фоновых территориях 1.9 мг/кг (Приложение Б.1). Однако в районе ХУ среднее содержание вольфрама (4.7 мг/кг) значительно выше, чем по городу и, тем более, фоновых значений. Разброс в данных во всём городе ($18 \div 126$ %) является значительным. Преобразование данных методом Бокса-

Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ (отбор 2011 г.), БЗ (отборы 2011 и 2019 г.) и ХУ (отбор 2011 г.).

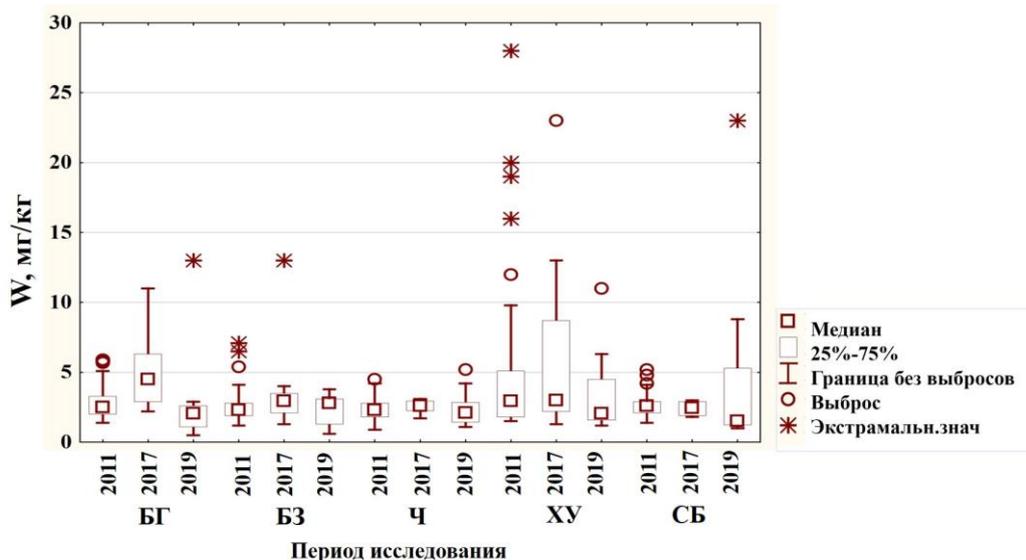


Рисунок 3.23. Диаграмма частотного распределения W в почвах различных районов

В связи с тем, что аридный климат оказывает малое влияние на накопление W в почве, так как он зачастую входит в состав первичных устойчивых к выветриванию минералов (вольфрамит, гюбнерит, шеелит) [Почвенный покров...,1988], его извлекаемость аммоноацетатной вытяжкой (рН 4.8) из почв города не изучалась.

Молибден

Молибден (Mo) относится к элементам 2 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (2.6) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Содержание молибдена в почвах зависит от состава материнских пород. Техногенное загрязнение почв молибденом связано с продуктами добычи и обработки металлов и нефти, а также аэропереносом продуктов горения с угольных электростанций [Kabata-Pendias, 2000].

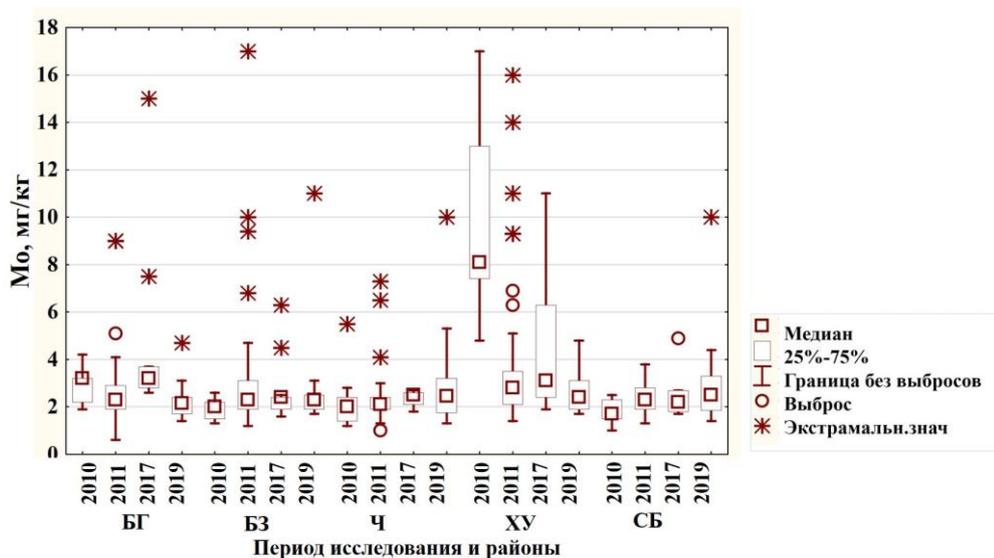


Рисунок 3.24. Диаграмма частотного распределения Mo в почвах исследуемых районов

Валовое содержания молибдена в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.6 до 17 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Мо близкое и в среднем ~ 2.5 мг/кг (рис. 3.24), т.е. незначительно выше его содержания на фоновых территориях 1.9 мг/кг (Приложение Б.1). Однако в районе ХУ среднее содержание Мо (5.0 мг/кг), также, как вольфрам и хром, выше, чем по городу и, тем более, фоновых значений. Разброс в данных во всём городе ($13 \div 88$ %) является значительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ и Ч (отбор 2011 г.).

Концентрации подвижной формы молибдена в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 6 мг/кг (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Мо аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 2.6 до 23 %.

Олово

Олова (Sn) – это элемент со средним геохимическим диапазоном (3.2) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Повышенные содержания олова характерны для глинистых отложений (6 - 10 мг/кг), а пониженные – ультраосновным и известковистым породам (0.35 - 0.50 мг/кг) [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Основное поступление Sn в почвы связано с материнским породами [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

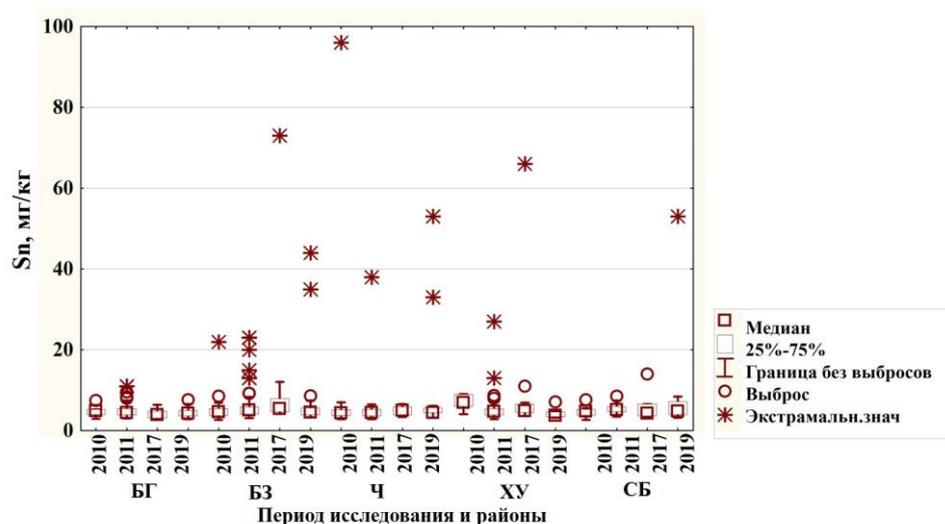


Рисунок 3.25. Диаграмма частотного распределения Sn в почвах исследуемых районов

Валовое содержания олова в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 2.7 до 96 мг/кг (Приложение Б.1). Только в районе БГ установлено в течение всего времени наблюдения самое низкое содержание Sn ~ 4.4 мг/кг (рис. 3.25), что примерно в 1.5 раза выше его содержания на фоновых территориях 2.8 мг/кг (Приложение Б.1). Однако для остальных районов среднее содержание Sn ($6.5 \div 7.8$ мг/кг). Разброс в данных во всём городе ($19 \div 229$ %), за исключением района БГ ($20 \div 33$ %), является значительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ и ХУ (отбор 2010 г.). Во всех выборках из всех районов зафиксированы выбросы в данных (рис. 3.25).

Концентрации подвижной формы олова в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 14 мг/кг (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Sn аммонийно-

ацетатной вытяжкой варьирует от 15 до 93 %. Наибольший процент выделения характерен для почв, представляющих промышленную зону.

Бериллий

Бериллий (Be) – рассеянный щелочноземельный элемент с малой распространённостью в земной коре, склонен накапливаться в магматических породах и мусковите и имеет с средний геохимический диапазон (2.9) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. При выветривании пород Be обычно сохраняется в остаточных продуктах и по своим геохимическим свойствам похож на Al. Его содержания повышены в глинистых осадках и сланцах (2 - 6 мг/кг). Накопление бериллия в почвах связано с его применением в некоторых технологических процессах и аэропереносом продуктов горения углей [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания олова в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 1.6 до 6.8 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Be близкое и в среднем ~ 2.7 мг/кг (рис. 3.26), т.е. близко к его содержаниям на фоновых территориях 2.6 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных во всём городе (7 ÷ 36 %) незначительный, хотя в выборках из районов БГ и БЗ зафиксированы выбросы в данных (рис. 3.26). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ (отбор 2011 г.), БЗ (отборы 2011 и 2017 г.), Ч (отбор 2011 г.) и СБ (отбор 201 г.).

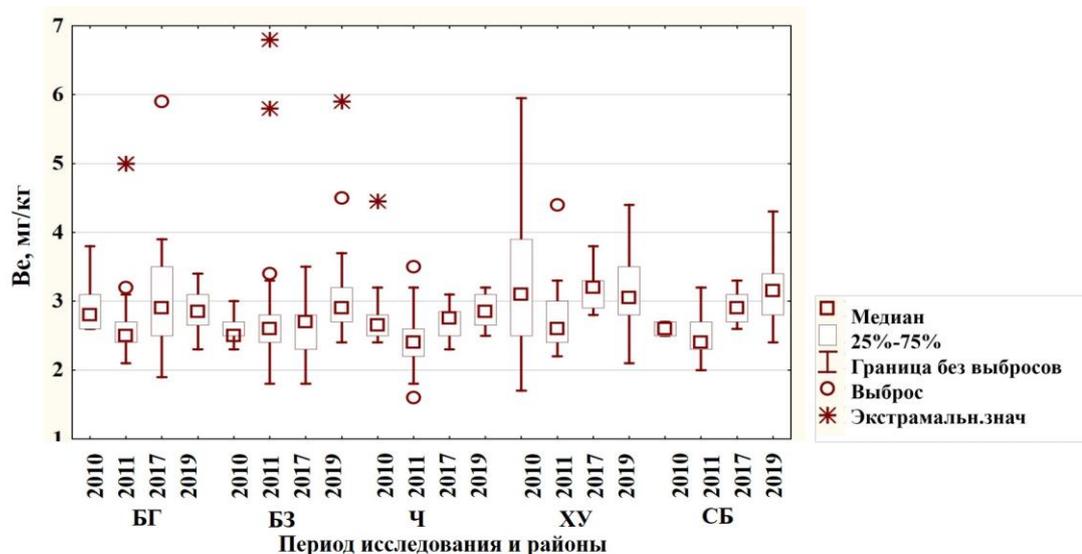


Рисунок 3.26. Диаграмма частотного распределения Be в почвах исследуемых районов

В связи с невысокими содержаниями бериллия в исследуемых образцах и, как следствие, его низкой концентрацией в аммонийно-ацетатных вытяжках из этих почв, анализ методом АЭС-ИСП не обнаружен, точнее <2 мг/кг.

Галлий

Галлий (Ga) является рассеянным элементом в земной коре. Распределение Ga в почвах связано с Al, Fe и Mn, и галлий накапливается в органическом веществе почвы. Источниками Ga, как компонента антропогенных загрязнений, служат предприятия по получению алюминия и сжигание угля [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

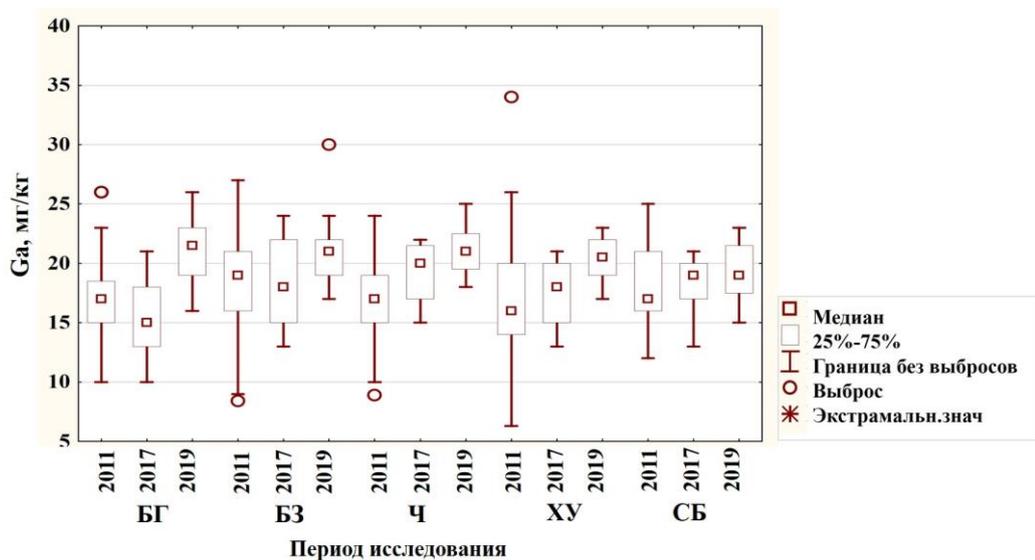


Рисунок 3.27. Диаграмма частотного распределения Ga в почвах исследуемых районов

Валовое содержания галлия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 6.3 до 34 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города содержание Ga близкое и в среднем ~ 19 мг/кг (рис. 3.27), что незначительно выше его содержания на фоновых территориях 17 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных во всём городе (10 ÷ 30 %) является незначительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БЗ (отбор 2019 г.) и ХУ (отбор 2011 г.).

Свинец

Свинец (Pb) относится к элементам 1 класса опасности с очень малым геохимическим диапазоном (≤ 1.5) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно геологической классификаций, свинец – халькофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной – глино-, мангано-, органо-, халько-, и сидерофильный [Водяницкий, 2014а]. Естественные содержания Pb в почвах наследуются от материнских пород. Однако разнообразные виды деятельности человека привели к обогащению свинцом верхних горизонтов почв. Основными источниками свинца являются выбросы предприятий электроэнергетики, металлургии, машиностроения, химии и нефтехимии, деревообрабатывающей, пищевой промышленности, производство стройматериалов, автотранспорта [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания свинца в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 7.1 до 1370 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Pb близкое ($\sim 40 \div 50$ мг/кг) (рис. 3.28), т.е. выше его содержания на фоновых территориях 20 мг/кг (Приложение Б.1). Для всех районов города, кроме района ХУ, присуще неоднородное распределение свинца в почвах и наличие выбросов в данных (разброс 15 ÷ 256 %, в ХУ – 46 ÷ 57 %). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ (отбор 2017 г.), БЗ (отборы 2010 и 2017 гг.) и Ч (отбор 2017 г.).

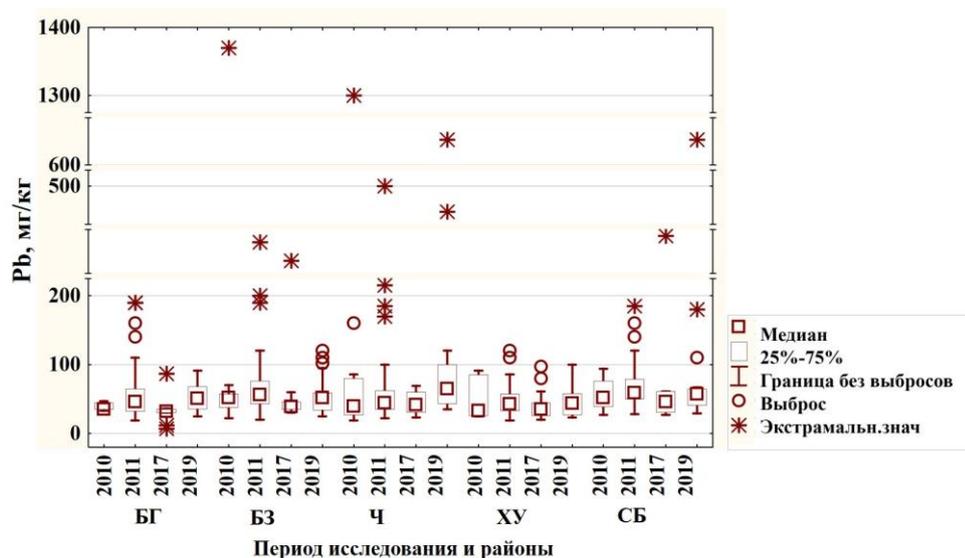


Рисунок 3.28. Диаграмма частотного распределения Pb в почвах исследуемых районов

Концентрации подвижной формы свинца в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 6180 мг/кг (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Pb аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0 до 55 %. Наибольшая подвижность свинца найдена в почвах района Ч. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов.

Медь

Медь (Cu) относится к элементам 2 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (3.4) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно геологической классификаций, медь – халькофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной классификаций – глино-, марганцо-, органо- и сидерофильный [Водяницкий, 2014а]. Основным источником поступления меди в окружающую среду является вторичная переработка цветных металлов, полиграфическая промышленность [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

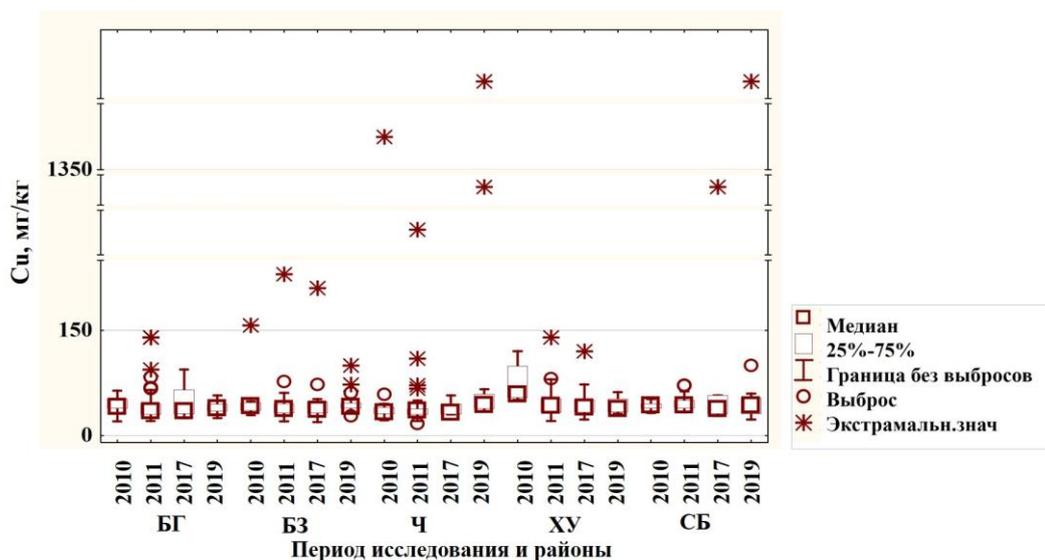


Рисунок 3.29. Диаграмма частотного распределения Cu в почвах исследуемых районов

Валовое содержания меди в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 17 до 2300 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное

содержание Cu близкое (~ 40 мг/кг) (рис. 3.29), т.е. выше его содержания на фоновых территориях 25 мг/кг (Приложение Б.1). Для всех районов города, кроме районов БГ и ХУ, присуще неоднородное распределение меди в почвах и наличие выбросов в данных за все года (разброс $14 \div 291$ %, в Ч и ХУ, соответственно $19 \div 57$ и $28 \div 52$ %). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ (отбор 2010 г.), БЗ (отбор 2010 г.) и Ч (отборы 2011 и 2017 гг.).

Концентрации подвижной формы меди в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 150 мг/кг (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Cu аммонийно-ацетатной вытяжкой составляет 0 до 12 %. Наибольшая подвижность меди, как и свинца, найдена в почвах района Ч. Значительный разброс в данных ($46 \div 277$ %) косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов, за исключением БЗ (отбор 2011 г.) и Ч (отбор 2010 г.).

Цинк

Цинк (Zn) входит в класс биофильных элементов, но только при повышенных содержаниях становится токсичным элементом, поэтому он относится к элементам 1 класса опасности с малым геохимическим диапазоном (1.6) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно, геологической классификации цинк – халькофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а по почвенной классификации – глино-, мангано-, органо- и сидерофильный [Водяницкий, 2010в; Водяницкий, 2014а]. Естественное поступление Zn в почву связано с разрушением горных пород с последующим его выщелачиванием и осаждением в виде карбонатов, силикатов и фосфатов [Водяницкий, 2010в]. Антропогенный источник цинка – промышленные предприятия металлургии, химическая заводы, аэроперенос продуктов горения углей и горюче-смазочных материалов, агротехническая деятельность [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Алексеев, 1987].

Валовое содержания цинка в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 42 до 1600 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Zn близкое (~ 120 мг/кг) (рис. 3.30), т.е. выше его содержания на фоновых территориях 60 мг/кг (Приложение Б.1). Для всех районов города, кроме районов ХУ и СБ, присуще неоднородное распределение цинка в почвах и наличие выбросов в данных за все года (разброс $17 \div 123$ %, в ХУ и СБ, соответственно $34 \div 46$ и $26 \div 44$ %). Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по районам БГ (отбор 2011 г.), Ч (отбор 2011 г.) и ХУ (отбор 2010 г.).

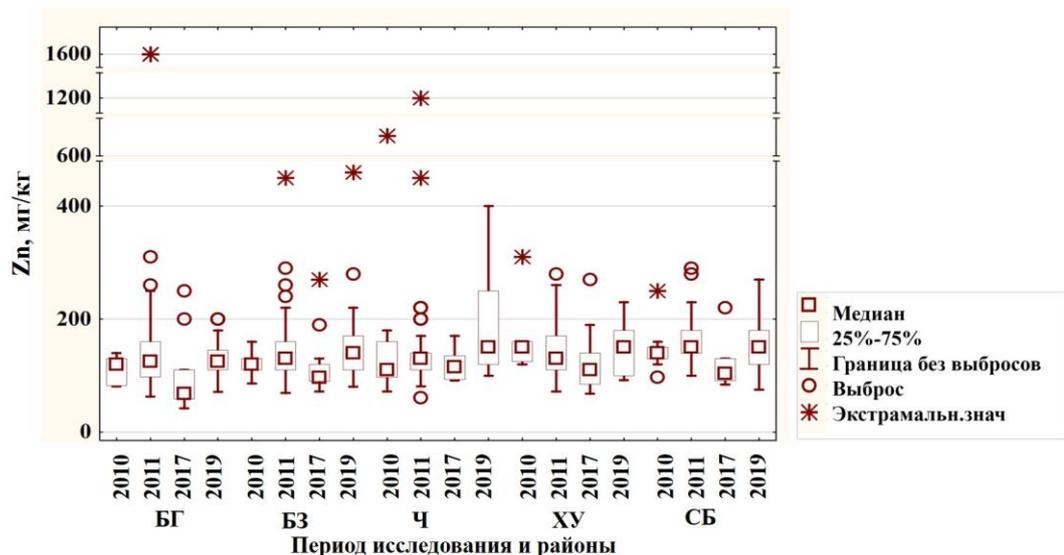


Рисунок 3.30. Диаграмма частотного распределения Zn в почвах исследуемых районов

Концентрации подвижной формы цинка в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.2 до 290 мг/кг (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Zn аммонийно-ацетатной вытяжкой изменяется от 0 до 64 %. Наибольшая подвижность цинка, как меди и свинца, найдена в почвах района Ч. Значительный разброс в данных (61 ÷ 230 %) косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов, за исключением БГ (отбор 2011 г.), БЗ и Ч (отбор 2010 г.).

Серебро

Серебро (Ag) – один из благородных металлов, причём элемент с малым геохимическим диапазоном (2.3) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Геохимические свойства Ag похожи на свойства Cu: оно легко высвобождается при выветривании и осаждается в щелочной среде или в средах, богатых соединениями серы. В окружающей среде обычный уровень содержания Ag в почвах составляет 0.03-0.09 мг/кг. Почвы рудных районов обогащены Ag содержат не более 1 мг/кг. Основным источником поступления серебра в почву является вторичная переработка цветных металлов, полиграфическая промышленность, аэроперенос продуктов горения углей и горюче-смазочных материалов [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания серебра в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.005 до 10 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Ag близкое (~ 0.17 мг/кг) (рис. 3.31), т.е. выше его содержания на фоновых территориях 0.08 мг/кг (Приложение Б.1). Для всех районов города присуще неоднородное распределение серебра (разброс 19 ÷ 269 %) в почвах и наличие выбросов в данных за все года. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1), кроме данных по району БГ (отбор 2010 г.).

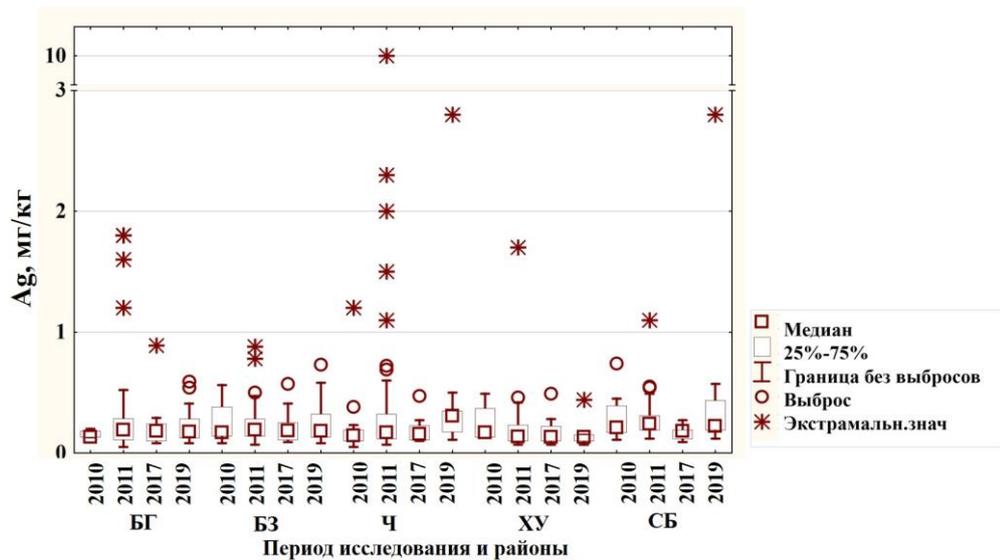


Рисунок 3.31. Диаграмма частотного распределения Ag в почвах исследуемых районов

Концентрации подвижной формы серебра в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв во всех пробах < 2 мг/кг (Приложение Б.2).

Сурьма

Сурьма (Sb) относится к элементам 2 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (4.0) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. В геологической классификации, сурьма – это халькофильный элемент [Гольдшмит, 1930]. В литосфере Sb обычно в составе сульфидов и оксидов связана с мышьяком. В почвах изучают две её формы (III и V), закрепляемые гидроксидами Fe и оксидами Mn или органическим веществом и редко глинистыми минералами [Водяницкий, 2010б]. Выветривание горных пород и вулканическая активность обеспечивают привнос сурьмы в окружающую среду. Однако наибольшая опасность исходит от промышленных выбросов и аэроперенса продуктов горения углей и горюче-смазочных материалов [Водяницкий, 2010б].

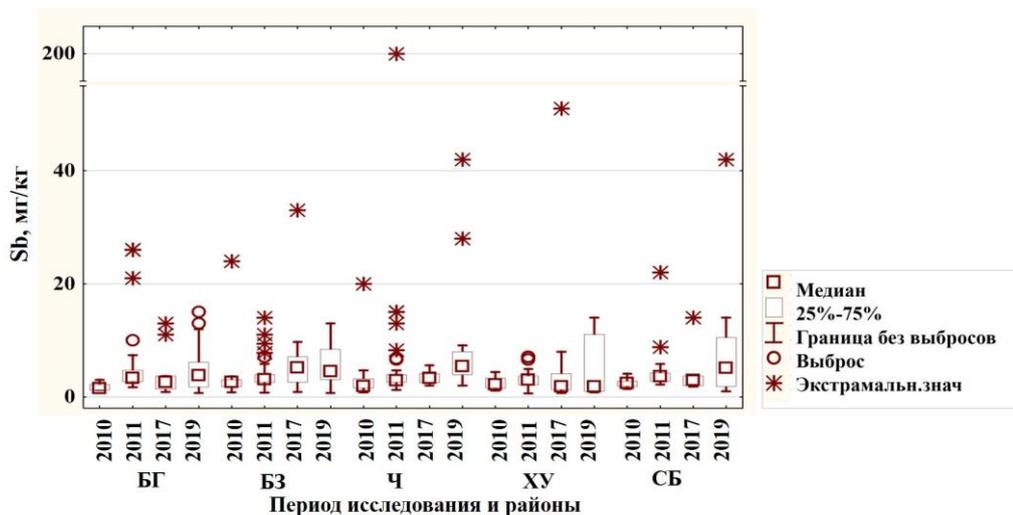


Рисунок 3.32. Диаграмма частотного распределения Sb в почвах исследуемых районов

Валовое содержания сурьмы в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.6 до > 200 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное

содержание Sb близкое (~ 3 мг/кг) (рис. 3.32), т.е. выше его содержания на фоновых территориях 1.2 мг/кг (Приложение Б.1). Для всех районов города присуще крайне неоднородное распределение сурьмы (разброс $38 \div 355$ %) в почвах и наличие выбросов в данных за все года, отражающие образования локальных аномалии этого элемента в почвах некоторых мест. Преобразование данных методом Бокса-Кокса значительно не улучшают структуру и распределение данных (Приложение Б.1).

Мышьяк

Мышьяк (As) относится к элементам 1 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (3.8) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Согласно геологической классификации, мышьяк – халкофильный элемент [Гольдшмит, 1930], а почвенной классификаций – сидерофильный и халкофильный [Водяницкий, 2014а]. Его химические свойства в почве схожи со свойствами Sb, Se и Te. Поведение As в почве сильно зависит от редокс условий, от содержания (гидр)оксидов Fe – активной фазы-носителя As [Водяницкий, 2010б]. Основными источниками мышьяка являются выбросы химических и нефтехимических предприятий, заводов по переработке металлов, агрокомплекса и аэроперенса продуктов горения углей [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Водяницкий, 2009].

Валовое содержания мышьяка в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 2.6 до 64 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание As близкое (~ 11 мг/кг) (рис. 3.33), т.е. близко к его содержанию на фоновых территориях 12 мг/кг (Приложение Б.1). Для почв всех районов города отмечено неоднородное распределение мышьяка (разброс $12 \div 95$ %) и наличие выбросов в данных за все года, отражающие образования локальных аномалии этого элемента в почвах некоторых мест. Преобразование данных методом Бокса-Кокса значительно не улучшают структуру и распределение данных (Приложение Б.1).

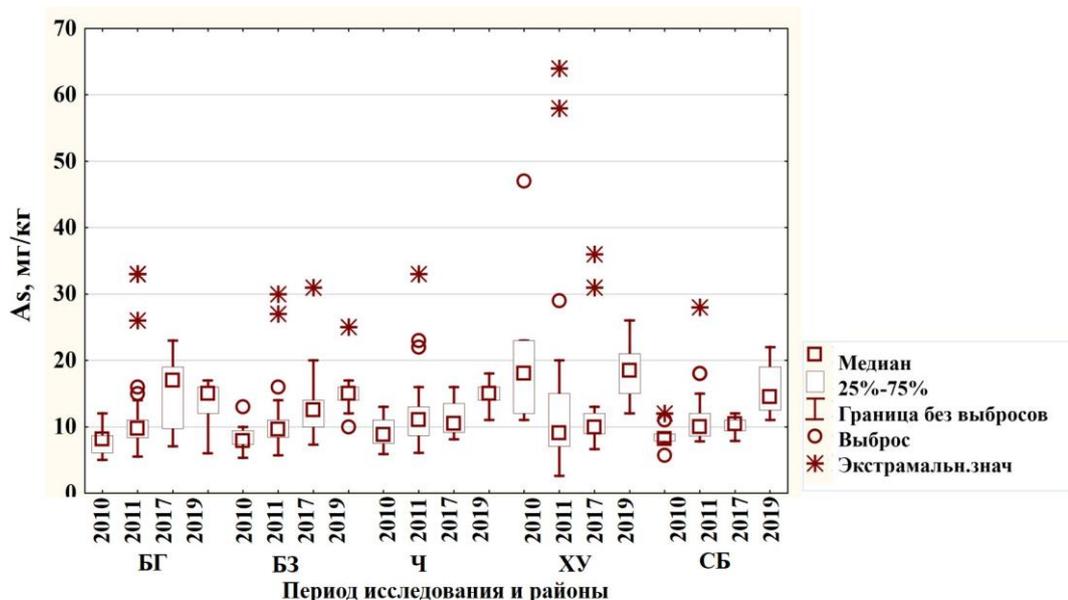


Рисунок 3.33. Диаграмма частотного распределения As в почвах исследуемых районов

Концентрации подвижной формы мышьяка в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв во всех пробах < 2.0 мг/кг (Приложение Б.2).

Таллий

Таллий (Tl) относится к элементам 1 класса опасности со средним геохимическим диапазоном (3.4) [СанПиН..., 2007; Касимов и Власов, 2015]. Обогащение окружающей среды таллием происходит от выбросов предприятий стройиндустрии, металлургии, ТЭС, агроиндустрии и аэропереноса продуктов горения угля и горюче-смазочных материалов [Ильин, Коярбаева, 2000; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания таллия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от <0.3 до 2.4 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Tl близкое (~ 1 мг/кг) (рис. 3.34), т.е. близко к его содержанию на фоновых территориях 1.3 мг/кг (Приложение Б.1). Для почв всех районов города отмечено неоднородное распределение таллия (разброс $13 \div 47\%$), экстремальные выбросы в данных за все года присущи только району ХУ. Преобразование данных методом Бокса-Кокса значительно не улучшают структуру и распределение данных (Приложение Б.1).

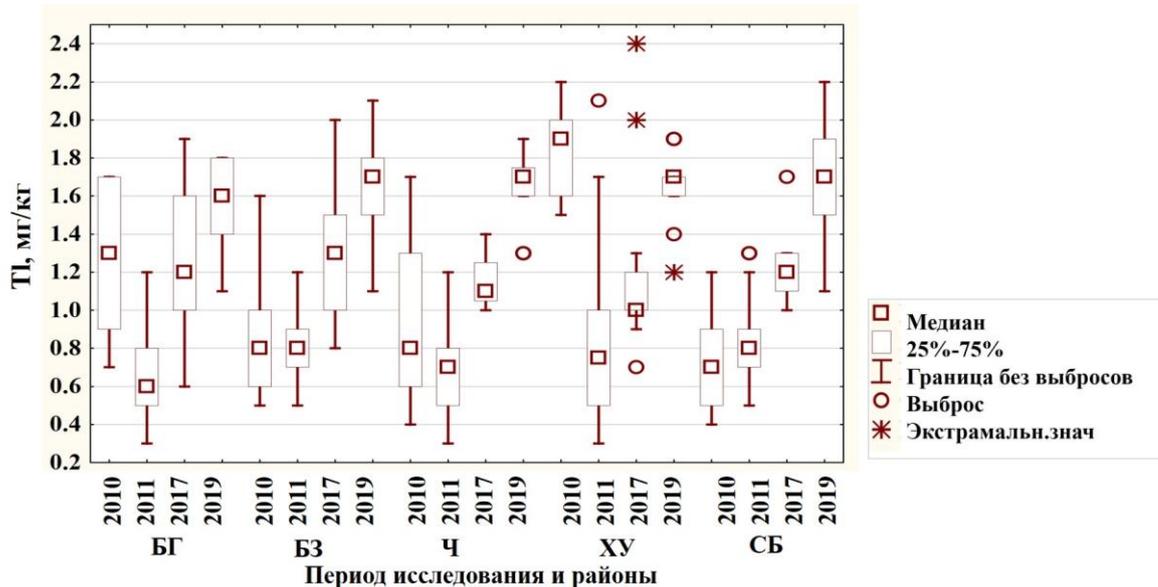


Рисунок 3.34. Диаграмма частотного распределения Tl в почвах исследуемых районов

Германий

Германий (Ge) является редким элементом с очень малым геохимическим диапазоном (≤ 1.5) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Распределение германия сходно с распределением кремния. При выветривании Ge частично переходит в подвижное состояние, однако он легко фиксируется на глинистых минералах, оксидах Fe и органическом веществе. Высокие содержания Ge часто отмечаются в углях [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Валовое содержания германия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 0.5 до 6.8 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Ge близкое (~ 1.6 мг/кг) (рис. 3.35), т.е. близко к его содержанию на фоновых территориях 1.1 мг/кг (Приложение Б.1). Для почв всех районов города отмечено неоднородное распределение этого элемента (разброс $6 \div 64\%$), экстремальные выбросы в данных за все года зафиксированы во всех районах. Преобразование данных методом Бокса-Кокса значительно не улучшают структуру и распределение данных (Приложение Б.1).

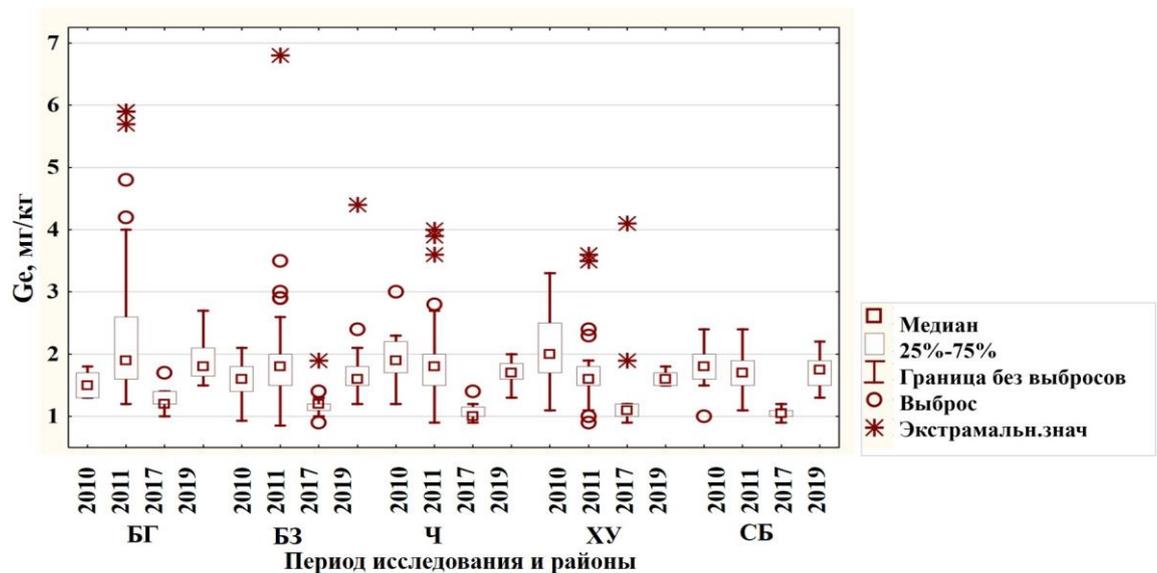


Рисунок 3.35. Диаграмма частотного распределения Ge в почвах исследуемых районов

Висмут

Висмут (Bi) – это редкий металл с большим геохимическим диапазоном (>5.0) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. Его содержания в поверхностном слое почв отражают содержания в материнских породах.

Валовое содержания висмута в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от <0.3 до 3.6 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Bi близкое (~ 0.6 мг/кг) (рис. 3.36), т.е. близко к его содержанию на фоновых территориях 0.5 мг/кг (Приложение Б.1). Для почв всех районов города отмечено неоднородное распределение этого элемента (разброс $11 \div 53$ %), экстремальные выбросы в данных зафиксированы во всех районах в разные года. Преобразование данных методом Бокса-Кокса значительно не улучшают структуру и распределение данных (Приложение Б.1).

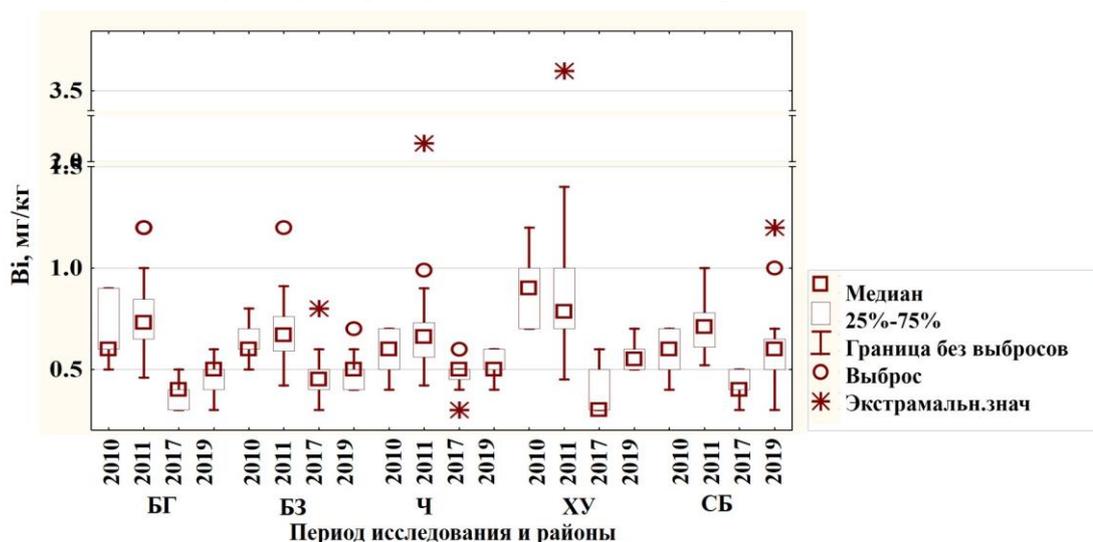


Рисунок 3.36. Диаграмма частотного распределения Bi в почвах исследуемых районов

Концентрации подвижной формы висмута в аммонийно-ацетатной вытяжке из почв находятся в пределах <0.05 до 2.2 мг/кг (Приложение Б.2). Доля выделения подвижной формы Bi аммонийно-ацетатной вытяжкой варьирует от 0 до 100 %. Наибольшая подвижность висмута, как

меди и свинца, присуща почвам района Ч. Значительный разброс в данных ($2 \div 272 \%$) косвенно указывает на разные формы присутствия этого элемента в почвах. Преобразование данных методом Бокса-Кокса (Приложение Б.2) привело к нормальности распределения данных всех районов, за исключением БГ (отбор 2010 г.) и БЗ (отбор 2011 г.).

Кадмий

Кадмий (Cd) относится к элементам 1 класса опасности с большим геохимическим диапазоном (8.5) [СанПиН..., 2007; Касимов, Власов, 2015]. В геологической классификации, кадмий – халькофильный элемент [Гольдшмит, 1930]. Содержание Cd в почвах зависит от состава материнских пород. Техногенное загрязнение почв кадмием связано с продуктами добычи и обработки металлов и нефти, а также аэропереносом продуктов горения угля и горючесмазочных материалов [Kabata-Pendias, 2000].

Валовое содержания кадмия в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от <0.3 до 8.6 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное содержание Cd близкое (~ 0.7 мг/кг) (рис. 3.37), т.е. близко к его содержанию на фоновых территориях 1 мг/кг (Приложение Б.1). Для почв всех районов города отмечено неоднородное распределение этого элемента (разброс $20 \div 152 \%$), экстремальные выбросы в данных зафиксированы в разные года в районах Ч, ХУ и СБ. Преобразование данных методом Бокса-Кокса не улучшают структуру и распределение данных только в отдельных выборках для районов БГ, БЗ и ХУ (отбор 2019 г.) и Ч (отбор 2017 г.) (Приложение Б.1).

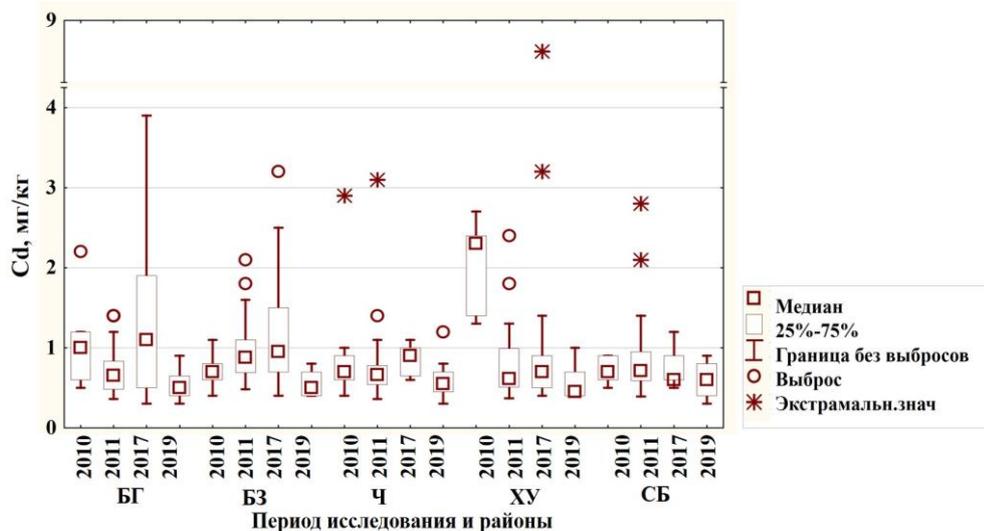


Рисунок 3.37. Диаграмма частотного распределения Cd в почвах исследуемых районов

Концентрации подвижной формы кадмия в аммонийно-ацетатной вытяжках из почв во всех пробах <0.2 мг/кг (Приложение Б.2).

Цирконий

Цирконий (Zr) один из рассеянных литофильных элементов, его содержание в почвах наследуется от материнских пород. Этот элемент встречается в нескольких сложных силикатах и связан с Ti и Hf [Kabata-Pendias, 2000].

Валовое содержания циркония в почвах всех районов в течение всего периода исследования варьирует от 67 до 490 мг/кг (Приложение Б.1). В пробах из разных районов города медиальное

содержание Zr близкое (~ 250 мг/кг) (рис. 3.38), т.е. близко к его содержанию на фоновых территориях 275 мг/кг (Приложение Б.1). Разброс в данных во всём городе ($14 \div 46$ %) является незначительным. Преобразование данных методом Бокса-Кокса нормализуют данные всех выборок во всех районах (Приложение Б.1).

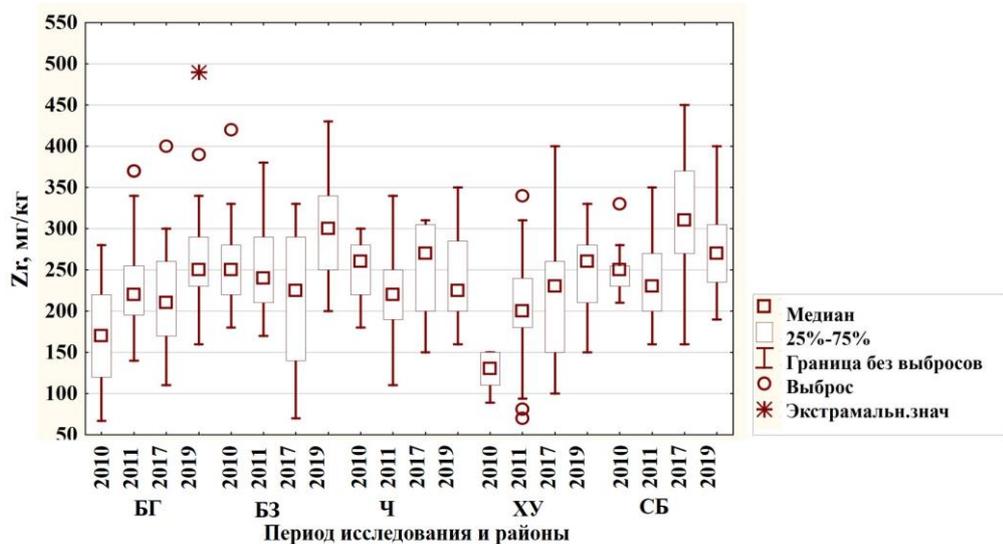


Рисунок 3.38. Диаграмма частотного распределения Zr в почвах исследуемых районов

Поведение и источники поступления макро- и микроэлементов в почву г. Улан-Батор

При изучении городских почв, которые имеют мелкоконтурность, широкое пространственное варьирование свойств, низкую буферную способность и утрату плодородия, важно знать не только содержание химических элементов в них, но и геохимическую структуру для отслеживания связи с подстилающими породами и выявления потенциальных загрязнителей [Norra et al., 2006; Бямбасурэн и др., 2018a]. Кроме этого, информация о макросоставе почв полезна при изучении геохимических барьеров, где механизмы закрепления микроэлементов минералами обусловлены процессами сорбции, окисления-восстановления и образованием новых минералов-носителей [Водяницкий, 2008].

Главные минералогические барьеры в почвах можно разделить на четыре группы, которые характеризуются образованием алюмосиликатных, железистых, карбонатных и марганцевых минералов. Поэтому без учёта влияния макроэлементного состава почв однозначное выявление источников загрязнения почвы и оценка класса опасности с помощью факторного анализа затруднительно [Бямбасурэн и др., 2018a; 2018б]. Кроме этого, физико-химическая классификация геохимических барьеров для металлов и металлоидов не согласуется с реальностью из-за отсутствия учёта роли разных фаз, способствующих закреплению микроэлементов в почве [Водяницкий, 2008; Kabata-Pendias, 2011]. Например, молибден и мышьяк могут закрепляться на любых из барьеров: кислотном и щелочном, окислительном и восстановительном.

Взаимосвязь химических элементов и основных почвенных показателей (pH и $C_{орг}$) установлены с помощью кластерного и факторного анализов. Кластерный анализ выполнен по методу Варда, где критерий формирования кластера основывается на Евклидовых расстояниях.

При этом для интерпретации геохимических ассоциаций использован коэффициент корреляции Пирсона, который характеризовал значения подобия. С помощью анализа главных компонент выделены факторы, которые характеризуют сходство или различие поведения микроэлементов. Количество значимых главных компонент (ГК) было выбрано на основе критерия Кайзера, т.е. изучались только факторы с собственными значениями больше 1. Повышение интерпретируемости результатов достигнуто применением стратегии варимакс, где коэффициент вращения нормализован.

Связь макроэлементного состава почв с рН и $C_{орг}$

Взаимосвязь макроэлементов (Si, Al, Mg, Ca, Fe, Ti, Na, K, P, S) и основных почвенных показателей (рН и $C_{орг}$) в почвах г. Улан-Батор охарактеризована с помощью кластерного и факторного анализов. В рассмотрении участвовали почвы, отобранные в 2010 г. и только характеризующие старую часть города вдоль долины р. Туул, т.е. районы: СБ (юг); Ч (юг); БГ (весь район); ХУ (север); БЗ (центр). Во всех точках районов ХУ, СБ и Ч растительный покров занимал более 50 % территорий, а в районах БЗ и БГ присутствуют точки с полностью уничтоженной растительностью (Приложение А.1).

С помощью кластерного анализа выделены группы макроэлементов, которые отражают различные фракции почв и основные черты почвенного покрова [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018б], в отдельных районах (рис. 3.39). Эти методы выделили одни и те же группы элементов, при этом факторный анализ дополнительно раскрыл связи между подгруппами (Приложение Б.3). Например, положительные и значимые коэффициенты корреляции Пирсона указывают на схожесть условий появления изучаемых показателей в (под)группах, а отрицательные коэффициенты могут характеризовать как разные источники поступления, так и возможность замещения элементов в системе.

В каждом из районов достаточно уверенно выделяется песчаная фракция, которая представлена кремнием, калием, натрием и рН. Кремний в этой ассоциации соответствует, в основном, кварцу и характеризует песчаный грунт. Пески, образовавшиеся механическим выветриванием в сухом климате Монголии, часто состоят из кварца, полевых шпатов, глины и обломков гипса. Материнские породы на этой территории в основном из кислых щелочных горных пород, в которых накапливаются натрий и калий [Shabanova et al., 2019]. Появление фосфора в группах, представляющих песчанную фракцию в районах ХУ и Ч, объясняется повышенной адсорбцией фосфатов почвами обогащённых натрием и имеющих рН выше 6.5 [Mouge, 2009]. Причём в районах, где наблюдается растительный покров, к элементам песчанной фракции подключается органический углерод, и чем ближе районы к реке, тем выше вероятность вхождения в группы фосфора и серы. Последнее указывает на увеличение глинистых и илистых фракций почв. Указанные факты подтверждают заключения [Баярсайхан, 2009а] о изменении почв в сторону лёгкой глины в центральной части города, а также то, что большую часть общего механического состава занимает фракция песков [Amgalan et al., 2016; Amarsaikhan et al., 2014]. В связи с высоким рН почв при изменении их влажности возможное изменение состава почв наглядно представлено по дендраграммам распределения макроэлементов и почвенных показателей рН и $C_{орг}$ в районах СБ и ХУ. Схожесть элементного

состава глинистой и илистой фракций затрудняет однозначное разделение на однозначность остальных групп макроэлементов. Выдвинуто предположение, что на территории города глинистая фракция почвы, характеризующаяся элементами Mg, Ti, Fe и Al, трудно отделима от илистой фракции, которая чаще содержит Ca и S. В разных районах содержания этих элементов параллельно коррелируют с $C_{орг}$, P, что косвенно указывает на их антропогенное происхождение [Shabanova et al., 2019]. Во всех районах увеличение $C_{орг}$ обеспечивает снижение показателя pH. Следовательно, для озеленения города необходимо проводить мероприятия по нейтрализации pH почв (~ 6.5-7 М/л). Во всех районах наблюдаются образования алюмосиликатных, железистых и карбонатных минералов.

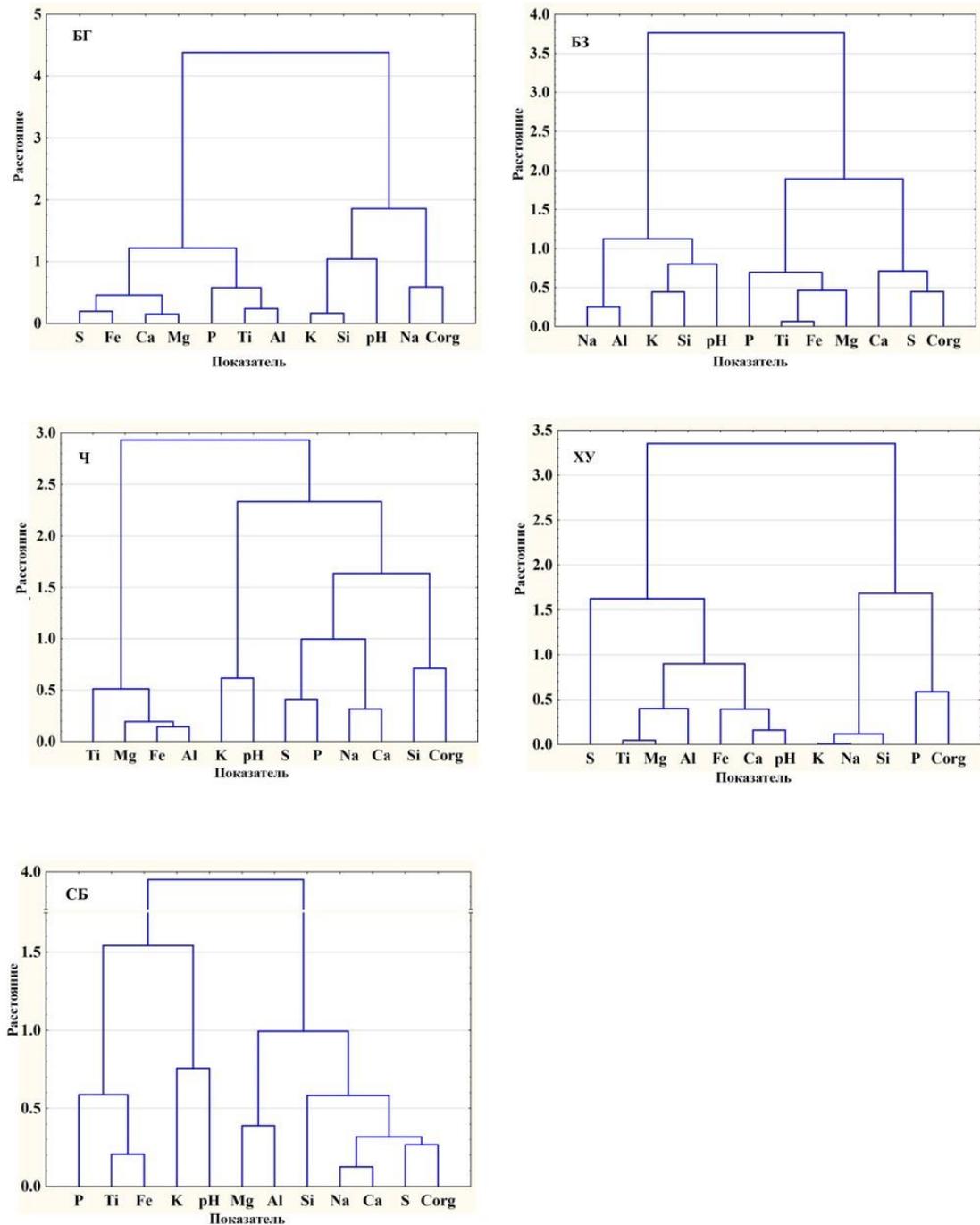


Рисунок 3.39. Дендрограммы связи макроэлементов в почвах исследуемых районов (кластерный анализ).

Связь макро- и микроэлементного состава почв

Только рассмотрение геохимического поведения микроэлементов Ba, Sr, Li, B, As, Mn, Ni, Co, V, Cr, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Sb, Ge, Tl, Bi и Cd без учёта знания поведения макроэлементов не позволяет провести однозначное выявление и характеризацию источников природного и/или антропогенного загрязнения поверхностных почв г. Улан-Батор, для этого используются корреляционный и факторный анализ [Бямбасурен и др., 2018б]. Однако до сих пор вопрос о структуре изучаемых данных, используемых в этих статистических методах, открыт. Включение полного набора аналитических данных может приводить к значительно детализированным результатам, которые при незначительном изменении структуры могут привести к ошибочным выводам. И наоборот, отсутствие каких-либо данных может также исказить выводы. Поэтому изучение структуры данных для установления связи между макро- и микроэлементами на территории города выполнено по данным 2010 г., (табл. 3.1-3.3). а её изменения во времени отслеживались в течение всего времени наблюдений (табл. 3.4 и 3.5). В рассмотрении участвовали пробы с полным набором данных, причём для данных 2010 г. рассмотрены варианты с S и K и без $C_{орг}$ и рН, и наоборот.

Таблица 3.1 – Коэффициенты двумерной корреляции между макро- и микроэлементами (2010 г.) вариант без $C_{орг}$ и рН

Элемент	Si	Na	K	P	Al	Mg	Fe	Ti	Ca	S
Mn	-0.08	-0.26*	-0.02	0.31*	0.40*	0.75*	0.72*	0.48*	0.03	-0.19
Li	0.28*	0.09	0.35*	0.33*	0.62*	0.73*	0.51*	0.43*	-0.33*	-0.37*
Ba	-0.12	0.06	0.09	0.31*	0.03	0.05	0.03	0.00	-0.08	0.12
Sr	-0.11	0.10	-0.17	0.17	0.10	-0.15	-0.14	0.05	0.37*	0.11
B	0.07	0.16	0.25*	0.04	0.33*	0.22	0.36*	0.11	-0.05	-0.38*
Ge	0.03	-0.05	0.00	0.19	0.30*	0.24	0.33*	-0.06	0.14	-0.15
F	-0.76*	-0.33*	-0.36*	0.14	-0.20	-0.18	0.30*	-0.31*	0.10	0.24
Ni	-0.39*	-0.05	-0.17	0.26*	0.03	0.01	0.08	0.06	0.22	0.16
Co	-0.67*	-0.29*	-0.29*	0.41*	-0.07	0.12	0.25*	-0.05	0.14	0.07
V	-0.40*	-0.12	-0.12	0.44*	0.25*	0.42*	0.45*	0.27*	-0.10	-0.38*
As	-0.63*	-0.44*	-0.41*	-0.06	-0.20	-0.14	0.30	-0.23	0.09	0.24
Pb	0.25*	-0.17	-0.09	0.15	0.06	0.06	-0.08	0.12	0.05	0.23
Cu	-0.42*	-0.41*	-0.47*	-0.11	-0.29*	-0.26*	0.06	-0.29*	0.34*	0.49*
Zn	-0.20	-0.29*	-0.34*	0.01	-0.09	0.02	0.18	-0.13	0.25*	0.20
Sn	-0.08	-0.27*	-0.24	0.02	-0.12	-0.15	0.04	-0.25*	0.20	0.18
Ag	-0.09	-0.22	-0.05	0.61*	0.08	0.09	0.08	0.05	0.07	0.19
Sb	0.00	-0.23	-0.25*	-0.22	-0.18	-0.11	0.05	0.00	-0.01	0.28*
Mo	-0.34*	-0.46*	-0.60*	-0.34*	-0.48*	-0.32*	0.12	-0.57*	0.34*	0.73*
Cr	-0.02	-0.41*	-0.39*	-0.19	-0.44*	-0.39*	0.02	-0.30*	-0.06	0.50*
Tl	-0.37*	-0.31*	-0.40*	0.01	-0.37*	-0.22	0.01	-0.45*	0.32*	0.45*
Bi	-0.32*	-0.38*	-0.32*	-0.11	-0.29*	-0.26*	0.21	-0.24	0.09	0.46*
Cd	-0.65*	-0.39*	-0.51*	0.12	-0.36*	-0.19	0.17	-0.41*	0.35*	0.58*

Использование максимального элементного набора данных при корреляционном анализе (табл. 3.1), показывает для членов группы (Mn-Li-Ba-Sr-B-Ge) положительную корреляцию с такими элементами как Si, Na, K, P, Al, Fe, Mg, Ti и отрицательную с Ca и S, что, несомненно, подтверждает их природное происхождение [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018]. Наиболее значимая корреляция с элементами глинистой фракции почвы наблюдается для Mn и Li, источником которых являются углистые метаморфические сланцы и неоценовые пестрые глины подстилающих пород. Следующие элементы (Mg-Ti-Fe-Al) и (K-Na-Si) имеют, в основном, отрицательные взаимосвязи с типичными поллютантами (Pb-Sb-Ag-Cu-Zn-Sn) и (Ni-

Co-V-As-F)-(Mo-Bi-Cd-Cr-Tl). Каждый из перечисленных загрязнителей имеет положительные корреляции только с S и P. Содержания этих поллютантов в 50-90 % проб выше геохимического фона и связаны с серой, что предполагает поступление этих загрязнителей из продуктов горения бурого угля и бензина [Chou, 2012; Chai et al., 2015; Касимов и др., 2011; Бямбасурэн и др., 2012; Vasilyeva et al., 2013]. Положительная корреляция с P и Ca оставшихся 6 элементов (Ni, Co, V, As, F и Ag) характеризует их как педогенные, которые вовлечены в природное формирование поверхностных почв г. Улан-Батор в процессе седиментации органических веществ. Корреляционная матрица для измененной структуры изучаемых данных указывает на литогенную природу Li, Ba, Sr и Zr, а также на образование железистых минералов, обогащённых типичными для городской среды поллютантами. Включение $C_{орг}$ и pH в число рассматриваемых показателей расширяет и подтверждает полученные выводы о природе происхождения микроэлементов в изучаемых почвах (табл. 3.2.).

Таблица 3.2 – Коэффициенты двумерной корреляции между макро- и микроэлементами (2010 г.) вариант с $C_{орг}$ и pH

Элемент	$C_{орг}$	pH	Si	Na	K	Al	Mg	Ca	Fe	Ti	P	S
Mn	-0.13	0.68*	-0.19	0.56*	-0.21	0.94*	0.11	0.04	0.40*	0.19	-0.67*	0.36*
Li	-0.14	-0.25	0.82*	-0.15	-0.21	-0.17	-0.23	0.07	-0.32	0.53*	-0.05	0.05
Ba	-0.17	0.22	-0.38*	0.09	0.83*	-0.29	0.04	0.00	-0.28	-0.83*	0.23	-0.63*
Sr	-0.08	0.67*	-0.16	0.61*	-0.19	0.91*	0.08	0.12	0.28	0.17	-0.75*	0.36*
B	-0.11	0.76*	-0.18	0.66*	-0.21	0.94*	0.00	-0.02	0.24	0.18	-0.72*	0.38*
Ge	-0.10	-0.42*	0.49*	-0.33	-0.09	-0.35*	-0.06	0.20	-0.24	0.26	0.27	-0.01
F	-0.15	-0.26	0.82*	-0.17	-0.21	-0.17	-0.26	-0.02	-0.33	0.54*	-0.06	0.02
Ni	-0.43*	-0.58*	0.19	-0.20	-0.37*	-0.39*	0.39*	-0.28	0.46*	0.25	0.32	0.04
Co	-0.23	0.49*	0.39*	0.35*	-0.14	0.64*	-0.10	0.07	-0.02	0.42*	-0.59*	0.19
V	-0.16	-0.26	0.82*	-0.18	-0.21	-0.17	-0.30	-0.05	-0.33	0.54*	-0.05	0.02
As	-0.31	-0.65*	0.15	-0.32	-0.41*	-0.41*	0.38*	-0.30	0.47*	0.26	0.38*	0.06
Pb	-0.19	-0.33	0.95*	-0.17	-0.21	-0.24	-0.21	0.10	-0.34	0.55*	-0.03	0.04
Cu	-0.16	0.76*	-0.09	0.47*	-0.21	0.82*	-0.01	-0.02	0.29	0.22	-0.83*	0.36*
Zn	-0.08	0.70*	-0.17	0.65*	-0.20	0.87*	0.03	0.07	0.23	0.17	-0.79*	0.37*
Sn	-0.05	0.72*	-0.15	0.51*	-0.23	0.79*	-0.05	0.06	0.25	0.21	-0.86*	0.41*
Ag	0.13	-0.79*	0.17	-0.56*	0.20	-0.80*	0.02	0.01	-0.23	-0.16	0.93*	-0.36*
Sb	0.13	-0.16	0.22	-0.09	0.25	-0.30	-0.25	0.08	-0.38*	-0.20	0.20	-0.17
Mo	0.22	0.58*	-0.10	0.41*	-0.18	0.70*	-0.24	0.20	0.02	0.17	-0.68*	0.50*
Cr	-0.16	-0.27	0.91*	-0.13	-0.22	-0.18	-0.27	0.09	-0.35*	0.56*	-0.08	0.07
Tl	0.51*	-0.03	-0.13	-0.15	-0.33	0.26	-0.20	0.22	0.02	0.25	-0.09	0.53*
Bi	0.26	-0.67*	0.22	-0.40*	-0.05	-0.41*	-0.03	0.32	-0.21	0.07	0.73*	-0.02
Cd	0.65*	-0.16	-0.01	-0.27	-0.27	0.13	-0.23	0.27	-0.09	0.26	0.10	0.44*
Be	0.54*	-0.17	-0.01	-0.36*	-0.01	-0.05	-0.22	0.50*	-0.28	0.06	0.22	0.17
Zr	-0.25	-0.40*	-0.34	-0.12	-0.30	-0.23	0.48*	-0.35*	0.59*	-0.02	0.32	0.09

Например, накопление Mn глинистой фракцией зависит от pH и форм железистых минералов. Связь калия с подстилающими породами и присущими им микроэлементами (барий). Натрий оказывается более информативным макроэлементом, так как он влияет на состав групп и подгрупп песчанной и илистой фракций почв. Поэтому из структуры данных возможно исключение K. Показатель pH показывает, что установленные накопления Cu, Zn, Sn и Mo (см. 3.1), напрямую связаны с влажностью почв, в то время как повышенные содержания Pb могут отражать особенности региона. Положительные корреляции S с разными микроэлементами указывают на её поступление в почвы через продукты горения твёрдого топлива (уголь, древесина) и горюче-смазочных материалов (дизельное топливо, бензин). Исключение из набора

данных калия и серы (табл. 3.3) не искажает сделанные выводы о связи макро- и микроэлементов. Результаты корреляционного анализа последующих лет исследования (табл. 3.4 и 3.5) не опровергают сделанные выводы о связях макро- и микроэлементов в почвах.

Таблица 3.3 – Коэффициенты двумерной корреляции между макро- и микроэлементами (2010 г.) вариант без К и S

Элемент	C _{орг}	pH	Si	Na	Al	Mg	Ca	Fe	Ti	P
Mn	-0.09	0.07	-0.51*	-0.41*	-0.02	0.21	-0.11	0.58*	0.31	0.13
Li	-0.17	0.23	-0.22	-0.26	0.38*	0.58*	-0.10	0.56*	0.62*	0.20
Ba	-0.17	0.14	0.24	0.36*	0.54*	0.30	0.12	0.07	0.07	-0.01
Sr	-0.04	0.16	-0.11	0.16	0.41*	0.28*	0.32*	0.30*	-0.02	-0.22
B	-0.12	0.33*	-0.03	-0.12	0.26	0.30*	0.09	0.46*	0.18	0.05
Ge	0.01	0.26*	-0.01	-0.15	0.06	0.09	0.21	0.37*	0.05	0.12
F	0.13	0.03	-0.71*	-0.57*	-0.07	0.21	0.24	0.72*	0.17	0.00
Ni	-0.02	-0.07	-0.24	-0.08	-0.06	0.26	0.19	0.32	0.32	0.42*
Co	0.02	-0.06	-0.54*	-0.50*	-0.09	0.31	-0.09	0.52*	0.51*	0.44*
V	-0.11	0.02	-0.24	-0.36*	0.23	0.56*	-0.32	0.49*	0.61*	0.40*
As	0.22	-0.06	-0.62*	-0.60*	-0.13	0.13	0.15	0.55*	0.03	-0.06
Pb	0.03	-0.03	0.26	0.22	-0.20	-0.28	0.13	-0.36	-0.17	0.30
Cu	0.18	-0.03	-0.35*	-0.16	-0.27	-0.14	0.39*	0.26	-0.22	-0.04
Zn	0.26	-0.03	-0.12	-0.16	-0.17	-0.11	0.26	0.16	-0.21	0.16
Sn	0.14	0.05	-0.11	-0.09	-0.13	-0.23	0.21	0.18	-0.18	-0.06
Ag	-0.05	0.20	-0.06	-0.09	-0.26	-0.14	0.24	0.02	0.01	0.50*
Sb	0.12	-0.14	0.02	0.19	-0.12	-0.19	0.05	-0.24	-0.16	0.09
Mo	0.38*	-0.20	-0.34*	-0.18	-0.35*	-0.39*	0.32	0.07	-0.61*	-0.28
Cr	0.22	-0.22	-0.09	-0.12	-0.43	-0.48*	-0.05	-0.26	-0.41	-0.18
Tl	0.21	-0.12	-0.49*	-0.35*	-0.32	-0.30	0.16	0.19	-0.28	-0.12
Bi	0.35*	-0.10	-0.36*	-0.22	-0.30	-0.29	0.44*	0.13	-0.47*	-0.17
Cd	0.29	-0.23	-0.64*	-0.41*	-0.35*	-0.13	0.21	0.31	-0.13	0.14
Be	-0.16	0.43*	0.02	0.00	0.24	0.06	0.25	0.36*	0.05	-0.08
Zr	-0.29	0.11	0.47*	0.29	0.31	0.33	-0.13	-0.01	0.58*	0.47*

Таблица 3.4 – Коэффициенты двумерной корреляции между макро- и микроэлементами (2011 г.)

Элемент	C _{орг}	pH	Si	Na	Al	Mg	Ca	Fe	Ti	P
Mn	0.37*	-0.19	-0.42*	-0.28	-0.14	0.57*	0.45*	0.74*	0.33	0.49*
Li	0.31	-0.47*	-0.33	-0.46*	-0.03	0.18	-0.02	0.10	0.25	-0.23
Ba	-0.46*	0.36*	0.24	0.52*	0.66*	0.57*	0.57*	0.37*	0.57*	0.48*
Sr	0.04	-0.04	-0.23	-0.01	0.27	0.74*	0.74*	0.54*	0.47*	0.56*
B	-0.23	0.19	-0.10	0.23	0.37*	0.61*	0.61*	0.51*	0.63*	0.67*
Ge	-0.19	0.14	-0.03	-0.01	0.40*	0.50*	0.38*	0.39*	0.61*	0.49*
F	0.73*	-0.67*	-0.77*	-0.61*	-0.42*	0.36*	0.42*	0.69*	0.22	0.16
Ni	0.37*	-0.33	-0.59*	-0.32	-0.01	0.57*	0.50*	0.74*	0.67*	0.48*
Co	0.58*	-0.55*	-0.68*	-0.58*	-0.15	0.47*	0.37*	0.64*	0.54*	0.24
V	0.60*	-0.65*	-0.65*	-0.70*	-0.17	0.31	0.25	0.59*	0.39	-0.01
As	0.67*	-0.65*	-0.76*	-0.71*	-0.34	0.34	0.43*	0.59*	0.26	0.01
Pb	-0.35*	0.40*	0.07	0.40*	0.29	0.47*	0.54*	0.27	0.34	0.72*
Cu	0.37*	-0.25	-0.61*	-0.22	-0.14	0.53*	0.69*	0.77*	0.47*	0.52*
Zn	0.06	0.05	-0.35*	0.07	0.08	0.58*	0.81*	0.67*	0.48*	0.74*
Sn	-0.24	0.25	-0.07	0.19	0.16	0.42*	0.56*	0.47*	0.42*	0.63*
Ag	-0.03	0.02	-0.16	0.07	0.15	0.61*	0.53*	0.51*	0.44*	0.67*
Sb	-0.53*	0.46*	0.20	0.52*	0.37*	0.42*	0.40*	0.23	0.35*	0.50*
Mo	0.66*	-0.51*	-0.66*	-0.45*	-0.27	0.18	0.54*	0.58*	0.25	0.13
Cr	0.01	0.05	0.11	-0.18	-0.03	-0.22	-0.11	0.02	-0.13	-0.28
Tl	0.78*	-0.59*	-0.66*	-0.53*	-0.43*	0.12	0.22	0.50*	0.16	0.14
Bi	0.69*	-0.62*	-0.81*	-0.40*	-0.38*	0.32	0.57*	0.55*	0.19	0.28
Cd	0.61*	-0.46*	-0.69*	-0.31	-0.31	0.30	0.59*	0.49*	0.22	0.39*
Be	0.02	0.04	0.05	-0.37*	0.25	0.22	0.18	0.37*	0.36*	0.04
Zr	-0.52*	0.58*	0.58*	0.65*	0.55*	0.03	0.05	-0.03	0.27	0.24

Таблица 3.5 – Коэффициенты двумерной корреляции между макро- и микроэлементами (2019 г.)

Элемент	C _{орг}	pH	Si	Na	Al	Mg	Ca	Fe	Ti	P
Mn	0.11	-0.20	-0.42*	0.19	0.19	0.72*	0.49*	0.77*	0.49*	0.34
Li	-0.10	0.00	-0.14	0.07	0.03	0.34	0.29	0.13	0.14	0.17
Ba	-0.11	0.14	0.16	0.38*	0.46*	0.35*	0.28	0.26	0.13	0.12
Sr	0.04	-0.04	-0.13	0.24	0.29	0.51*	0.61*	0.34	0.09	0.15
B	0.37*	-0.45*	-0.53*	0.00	-0.16	0.33	0.36*	0.47*	0.35*	0.60*
Ge	-0.17	-0.05	-0.16	0.07	0.01	0.13	0.23	0.24	0.05	0.25
F	-0.12	-0.02	-0.10	0.09	0.16	0.52*	0.22	0.34	0.40	0.07
Ni	0.21	-0.37*	-0.26	-0.04	0.11	0.30	0.10	0.47*	0.44*	0.31
Co	0.33	-0.43*	-0.35*	-0.06	-0.02	0.27	0.12	0.42*	0.42*	0.46*
V	0.12	-0.33	-0.37*	0.04	0.09	0.43*	0.21	0.49*	0.59*	0.25
As	0.28	-0.09	-0.12	-0.11	-0.04	-0.10	0.14	0.05	-0.07	0.19
Pb	0.20	-0.09	-0.15	0.06	-0.13	0.03	0.15	0.08	-0.07	0.59*
Cu	0.24	-0.14	-0.24	0.06	-0.05	0.14	0.27	0.22	0.05	0.50*
Zn	0.14	-0.06	-0.16	0.08	-0.13	0.00	0.17	0.08	-0.05	0.45*
Sn	0.21	-0.12	-0.26	0.03	-0.14	0.14	0.22	0.17	0.05	0.58*
Ag	0.25	-0.16	-0.06	-0.11	-0.12	-0.02	0.05	0.05	-0.02	0.53*
Sb	0.37*	-0.25	-0.42*	0.03	-0.16	0.24	0.42*	0.23	0.10	0.52*
Mo	0.30*	-0.21	-0.31*	0.03	-0.15	0.03	0.28	0.14	-0.05	0.32*
Cr	-0.10	0.10	0.30	-0.06	0.08	-0.30	-0.24	-0.20	-0.25	-0.04
Tl	-0.02	0.05	0.23	-0.16	0.00	-0.17	-0.16	-0.10	-0.21	0.05
Bi	-0.05	0.14	0.18	-0.04	-0.04	-0.22	-0.22	-0.17	-0.23	-0.28*
Cd	0.38*	-0.37*	-0.48*	0.06	-0.11	0.27	0.42*	0.31	0.22	0.43*
Be	-0.26	0.31*	0.58*	-0.04	0.27	-0.23	-0.31*	-0.11	-0.18	-0.18
Zr	-0.10	-0.02	0.20	0.03	0.15	0.19	-0.12	0.19	0.40*	-0.12

Выполненный факторный анализ по разным наборам данных (табл. 3.6-3.8) подтверждает, что в выборке данных обязательно должны быть показатели pH и C_{орг} [Shabanova et al., 2019; Tsagaan et al., 2019]. В противном случае для ряда микроэлементов, которые являются потенциальными поллютантами, показатель общности будет ниже 85 % и нельзя будет сделать однозначный вывод о источниках их поступления в почву (табл. 3.6).

Общности данных представляют собой оценки дисперсии в каждой переменной, учитываемой главными компонентами. Высокие значения общности указывают на то, что извлечённые главные компоненты хорошо представляют переменные. При этом низкий уровень общности указывает на необходимость включения в статистическую модель большего числа компонентов (химических элементов и соединений, например, содержания органического вещества и форм элементов в этих почвах) [Бямбасурен и др., 2018, Shabanova et al., 2019].

Факторный анализ по полному набору данных (табл. 3.7) оставляет неполностью раскрытыми только связь сурьмы, которая на всей территории города имеет крайне неоднородное распределение, а в некоторых точках охарактеризована нечисловой информацией (>200 мг/кг), и, как следствие, выделяется отдельная ГК-8. Факторный анализ по данным, в структуру которых информация о pH и C_{орг} отсутствует, не раскрывает связи для семи элементов (табл. 3.6), тогда как, исключение из полного набора данных о S и K и включение информации о pH и C_{орг}, не раскрывает связи только четырёх, которые вовлечены в природное формирование поверхностных почв (табл. 3.8).

Таблица 3.6 – Результаты ФА распределения макро- и микроэлементов в исследуемых почвах (данные 2010 г. не содержат информации о рН и Сорг)

Статистика	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4	ГК-5	ГК-6	ГК-7	ГК-8	ГК-9	Общность	
Собственные значения	7.79	5.08	3.25	2.37	2.13	1.90	1.57	1.30	1.01		
Объясняемая дисперсия, %	24.33	15.89	10.16	7.4	6.65	5.94	4.91	4.05	3.16		
Элемент	Факторные нагрузки										
Si	-0.829	0.021	-0.033	0.035	0.123	-0.328	-0.201	-0.074	-0.013	0.94	
Na	-0.349	-0.275	-0.258	0.194	0.295	<i>-0.428</i>	0.202	-0.331	-0.168	0.93	
K	<i>-0.408</i>	-0.082	-0.232	0.304	0.340	<i>-0.462</i>	-0.316	-0.167	-0.190	0.89	
P	0.185	0.227	-0.023	0.822	0.031	-0.137	0.076	-0.133	-0.035	0.84	
F	0.846	-0.087	0.146	0.070	0.254	0.216	-0.029	0.130	-0.060	0.95	
As	0.778	-0.054	0.110	-0.186	0.190	0.137	-0.056	0.164	0.263	0.94	
Co	0.819	0.138	0.021	0.348	-0.061	0.095	0.079	-0.091	-0.143	0.92	
Cd	<i>0.487</i>	-0.056	0.178	0.192	-0.081	0.680	0.211	0.147	-0.089	0.96	
Ni	<i>0.465</i>	-0.015	0.118	0.323	-0.130	-0.302	0.349	<i>0.490</i>	-0.131	0.80	
V	0.712	0.384	-0.117	0.140	0.012	-0.275	-0.161	-0.260	0.011	0.95	
Al	-0.180	0.487	-0.039	0.197	0.309	<i>-0.403</i>	0.093	-0.184	-0.099	0.77	
Fe	0.307	0.784	0.048	-0.167	0.199	0.112	-0.160	0.209	0.017	0.86	
Ti	-0.143	0.547	-0.105	0.143	-0.182	-0.527	0.118	-0.092	0.114	0.88	
Mg	-0.009	0.869	-0.013	0.046	-0.013	-0.187	0.103	-0.282	0.028	0.95	
Mn	0.175	0.873	0.048	0.149	0.136	-0.019	0.032	0.038	-0.028	0.95	
Li	-0.226	0.782	-0.150	0.257	0.128	-0.104	-0.244	-0.082	-0.125	0.92	
Ca	0.142	0.020	0.279	-0.179	-0.116	0.183	0.805	-0.148	-0.038	0.86	
S	0.110	-0.200	0.046	0.027	-0.247	0.655	0.193	0.373	0.290	0.96	
Ag	0.022	0.184	<i>0.469</i>	0.715	-0.152	0.105	-0.001	0.205	-0.055	0.89	
B	0.169	0.229	-0.033	-0.201	0.820	-0.259	0.025	0.011	-0.057	0.90	
Ba	0.230	-0.058	0.031	<i>0.443</i>	<i>0.406</i>	0.033	-0.059	-0.119	0.605	0.81	
Bi	0.158	-0.042	0.266	-0.057	0.155	0.204	0.056	0.786	0.101	0.78	
Cr	-0.109	-0.148	0.014	-0.014	-0.215	0.307	-0.086	0.761	0.119	0.87	
Cu	0.281	-0.167	0.751	0.023	-0.120	0.232	0.170	0.268	0.085	0.92	
Sn	-0.027	-0.074	0.847	0.102	0.197	0.317	-0.012	0.029	-0.063	0.93	
Zn	0.209	0.023	0.699	-0.049	0.145	-0.008	0.037	0.108	<i>0.466</i>	0.81	
Pb	-0.384	0.100	0.576	0.370	-0.123	0.124	0.056	0.095	<i>0.460</i>	0.94	
Ge	-0.004	0.302	<i>0.445</i>	0.141	0.709	0.135	0.089	-0.104	0.068	0.91	
Tl	0.122	-0.094	0.272	0.140	-0.090	0.783	0.128	0.006	<i>-0.411</i>	0.97	
Mo	0.078	-0.148	0.290	-0.259	0.095	0.773	0.133	0.264	0.197	0.97	
Sr	-0.053	-0.076	-0.101	0.225	0.192	0.101	0.772	0.124	0.024	0.77	
Sb	-0.074	-0.052	0.187	-0.179	-0.151	-0.023	0.008	0.199	0.800	0.87	

Таблица 3.7 – Результаты ФА распределения макро- и микроэлементов в исследуемых почвах (данные 2010 г. содержат информации о pH и $C_{орг}$)

Статистика	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4	ГК-5	ГК-6	Общность
Собственные значения	11.624	6.994	4.750	4.280	1.518	1.122	
Объясняемая дисперсия, %	32.29	19.43	13.19	11.89	4.22	3.12	
Элемент	Факторные нагрузки						
pH	-0.799	0.236	-0.254	-0.406	-0.111	-0.066	0.99
$C_{орг}$	0.169	0.152	0.745	-0.292	-0.063	0.165	0.90
Si	0.103	-0.947	0.092	-0.056	0.105	0.093	1.00
K	0.202	0.305	-0.546	-0.664	-0.026	0.063	0.96
Na	-0.696	0.153	-0.311	-0.020	0.090	0.207	0.97
P	0.874	0.146	0.008	0.120	0.192	0.096	0.99
F	0.068	-0.931	-0.075	-0.004	-0.074	0.028	0.98
Al	-0.917	0.109	0.150	0.033	0.138	-0.021	1.00
Mg	-0.014	0.303	-0.365	0.575	0.479	-0.192	0.96
Ca	-0.051	-0.079	0.193	-0.197	0.863	0.031	0.95
Fe	-0.244	0.341	-0.036	0.790	0.025	-0.191	0.98
Ti	-0.205	-0.666	0.451	0.386	0.083	-0.147	0.95
S	-0.378	-0.126	0.669	0.370	0.079	0.063	0.96
Ba	0.228	0.410	-0.578	-0.506	0.033	0.135	0.90
Sr	-0.937	0.076	0.058	0.041	0.102	0.011	1.00
Li	0.068	-0.909	-0.063	-0.012	-0.029	-0.052	0.96
B	-0.925	0.078	0.038	0.013	-0.003	-0.012	1.00
Mn	-0.926	0.092	0.056	0.106	0.081	-0.005	1.00
Ni	0.337	-0.250	-0.249	0.805	-0.125	0.054	0.95
Co	-0.724	-0.535	-0.098	-0.082	0.041	0.004	0.99
V	0.079	-0.938	-0.060	-0.021	-0.097	-0.081	0.98
Cr	0.053	-0.904	-0.080	0.014	0.013	0.235	0.96
Mo	-0.751	0.096	0.445	-0.233	0.079	0.018	0.99
Sn	-0.897	0.069	0.199	-0.056	-0.053	-0.148	1.00
Pb	0.126	-0.933	-0.100	0.030	0.060	0.103	0.99
Cu	-0.934	-0.016	0.055	0.001	-0.098	-0.138	1.00
Zn	-0.937	0.077	0.061	0.012	0.034	0.002	1.00
Ag	0.909	-0.059	-0.034	0.033	0.147	0.187	1.00
Sb	0.236	-0.126	-0.053	-0.206	0.011	0.848	0.72
As	0.397	-0.214	-0.162	0.802	-0.110	0.036	0.97
Tl	-0.118	0.157	0.814	-0.099	0.072	-0.314	0.94
Ge	0.376	-0.461	0.061	0.019	0.327	-0.103	0.85
Bi	0.639	-0.084	0.294	0.017	0.477	0.247	0.96
Cd	0.012	0.089	0.844	-0.127	0.133	0.092	0.95
Be	0.242	0.154	0.624	-0.425	0.407	-0.262	0.98
Zr	0.264	0.320	-0.085	0.773	-0.190	-0.103	0.91

Таблица 3.8 – Результаты ФА распределения макро- и микроэлементов в исследуемых почвах (данные 2010 г. содержат информацию о pH и Corg без серы и калия)

Статистика	Главные компоненты								Общность
	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4	ГК-5	ГК-6	ГК-7	ГК-8	
Собственное значение	7.192	6.357	4.161	3.144	2.043	1.710	1.466	1.264	
Объясняемая дисперсия, %	21.15	18.70	12.24	9.25	6.01	5.03	4.31	3.72	
Элемент	Нагрузка								
pH	-0.003	0.072	0.125	0.022	0.865	0.012	-0.093	0.095	0.81
Corg	0.127	-0.221	-0.057	0.061	-0.771	0.260	0.083	0.165	0.87
Si	-0.782	0.195	0.112	-0.013	0.188	-0.029	-0.297	0.129	0.91
Na	-0.737	0.132	0.332	0.002	-0.024	0.327	-0.149	-0.230	0.90
P	-0.023	0.804	-0.219	0.295	-0.038	-0.011	0.047	0.088	0.91
F	0.867	0.019	0.074	0.129	0.016	0.183	0.193	0.086	0.91
Al	-0.139	0.391	0.652	-0.258	0.178	0.328	-0.168	-0.075	0.92
Mg	0.236	0.632	0.441	-0.237	0.011	0.362	-0.145	-0.059	0.94
Ca	0.009	-0.075	0.228	0.180	-0.086	0.816	0.119	0.027	0.88
Fe	0.725	0.258	0.298	-0.042	0.243	0.340	0.098	0.040	0.95
Ti	0.169	0.844	0.162	-0.166	0.246	0.069	-0.074	-0.127	0.96
Ba	-0.168	0.031	0.754	0.140	0.049	0.041	-0.145	0.064	0.85
Sr	0.111	-0.186	0.824	0.071	0.069	0.131	0.087	0.089	0.86
Li	0.546	0.535	0.140	-0.367	0.122	-0.046	-0.203	0.131	0.95
B	0.368	0.004	0.398	0.115	0.369	0.113	-0.326	0.379	0.85
Mn	0.703	0.165	-0.088	0.072	0.236	-0.046	0.071	-0.473	0.93
Ni	0.297	0.363	-0.397	0.211	0.043	0.451	-0.073	-0.390	0.80
Co	0.666	0.508	-0.258	-0.030	0.003	0.012	0.259	-0.123	0.90
V	0.554	0.618	-0.016	-0.276	-0.047	-0.207	-0.197	0.063	0.95
Cr	-0.035	-0.446	-0.572	0.072	-0.103	0.189	-0.084	-0.085	0.89
Mo	0.135	-0.563	0.140	0.424	-0.226	0.132	0.472	0.218	0.95
Sn	0.117	-0.202	0.207	0.727	0.151	0.036	0.370	0.072	0.96
Pb	-0.409	0.073	-0.084	0.813	-0.050	-0.013	0.122	0.055	0.94
Cu	0.297	-0.195	0.006	0.755	0.026	0.229	0.262	-0.233	0.94
Zn	0.210	-0.048	0.078	0.815	-0.102	0.091	-0.107	0.220	0.86
Ag	-0.025	0.250	-0.321	0.672	0.167	0.154	0.303	0.230	0.88
Sb	-0.062	-0.116	0.079	0.671	-0.242	-0.088	-0.402	-0.358	0.87
As	0.813	-0.093	0.076	0.146	-0.178	0.075	-0.024	0.182	0.89
Tl	0.225	-0.269	-0.058	0.144	-0.007	0.037	0.889	0.040	0.96
Ge	0.197	0.050	0.295	0.451	0.234	0.075	0.098	0.643	0.88
Bi	0.264	-0.471	-0.215	0.390	-0.113	0.487	0.017	0.298	0.90
Cd	0.457	-0.066	-0.103	0.307	-0.202	0.129	0.702	-0.052	0.94
Be	0.078	-0.117	0.074	-0.037	0.616	0.466	0.198	0.297	0.81
Zr	-0.272	0.664	0.082	0.033	0.026	-0.110	-0.258	0.015	0.80

Изучение связи между макроэлементами и потенциально токсичными микроэлементами в поверхностных почвах с использованием факторного анализа выявило девять главных компонент (ГК) из 32 переменных (табл. 3.6). Значимые положительные нагрузки наблюдаются в каждом факторе для следующих элементов: F>Co>As>V>>Cd>Ni – ГК-1; Mn>Mg>Fe>Li>Ti>>Al – ГК-2; Sn>Cu>Zn>Pb>>Ag>Ge – ГК-3; P>Ag>>Ba – ГК-4; B>Ge>>Ba – ГК-5; Tl>Mo>Cd>S – ГК-6; Ca>Sr – ГК-7; Bi>Cr>Ni – ГК-8; Sb>Ba>>Zn>Pb – ГК-9. Отрицательные нагрузки присущи только трём факторам: Si> K в ГК-1; Ti>> K> Na> Al – ГК-6; Sb> Ba> Zn≈Pb – ГК-9.

Для некоторых химических элементов характерно одновременное присутствие в нескольких факторах: K (отрицательный коэффициент нагрузки ГК-1 и ГК-6); Cd (положительный коэффициент нагрузки ГК-1 и ГК-6); Ni (положительный коэффициент

нагрузки ГК-1 и ГК-8); Al и Ti (положительный коэффициент нагрузки ГК-2 и отрицательный ГК-6); Ag (положительный коэффициент нагрузки ГК-3 и ГК-4); Ge (положительный коэффициент нагрузки ГК-3 и ГК-5); Pb и Zn (положительный коэффициент нагрузки ГК-3 и ГК-9); Ba (положительный коэффициент нагрузки ГК-4, ГК-5 и ГК-9); Tl (положительный коэффициент нагрузки ГК-6 и отрицательный ГК-9). Это косвенно подтверждает присутствие перечисленных ХЭ в нескольких минеральных фазах в пробах почв г. Улан-Батор. Петрогенные элементы входят в ГК-1 (Si, K), ГК-2 (Al, Mg, Fe, Mn, Ti), ГК-4 (P), ГК-6 (Na, K, Ti, S) и ГК-7 (Ca). Литогенные элементы, характеризующие основной химический состав глинистой фракции изучаемых почв, входят в факторы ГК-1 и ГК-2. Эти главные компоненты включают восемь и шесть элементов (Si-K-F-Co-As-V-Cd-Ni и Mn-Mg-Fe-Li-Ti-Al, соответственно) и дают наибольший вклад в общую объясняемую дисперсию. Первый фактор выделил элементы, проявляющие сидерофильные свойства, а второй – макроэлементы из глинистой фракции почвы. Микроэлементы из ГК-1 имеют склонность к химической связи с марганцем из ГК-2 как показано в работе [Водяницкий, 2008]. Поэтому для установления таких взаимосвязей требуется изучение минеральных фаз в почвенных образцах с помощью дифрактометрического анализа, ИК-спектроскопии или экстракционных методов. Кроме этого, низкий уровень общности Al, Fe и Ni предполагает наличие неких неучтённых органо-биологических процессов, оказывающих влияние на химический состав глинистой фракции. ГК-1 и ГК-2 могут характеризовать состав почвы при положительных корреляциях между F, As, V, Co, Ni; а Mn, Li, B, Ge могут отражать их геохимическое сходство, указывая как на педогенное, так и литогенное происхождение. Городские почвы с высоким содержанием натрия и рН 7.0 имеют повышенную поверхностную адсорбцию частиц почвы, в основном песчаной фракции, что приводит к накоплению фосфора [Maugice, 2009]. Два макроэлемента S и Ca, представителя илистых фракций почвы, свидетельствуют о растущем потенциале техногенных загрязнений. Содержания десяти микроэлементов (Pb, Cu, Zn, Sn, Sb, Mo, Cr, Tl, Cd и Bi) коррелирует с содержанием серы, что отражает атмосферные загрязнения продуктами горения бурого угля и бензина. Четыре микроэлемента, (Ni, Co, V и Ag) положительно коррелируют с макроэлементами (P и Ca), участвующих в естественном формировании поверхности почвы через органические вещества. Корреляция содержания двух микроэлементов (As и F) с макроэлементами (S, P и Ca) отражает их присутствие в органическом веществе бурых углей [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018a; Vasilyeva et al., 2013]. Результаты кластерного анализа и анализа главных компонент вполне согласуются с данными [Касимов и др., 2011; Vasilyeva et al., 2013; Amgalan et al., 2016; Бямбасурэн и др., 2018a] и подтверждают, что причинами обогащения потенциально токсичными элементами являются сжигание угля на тепловых электростанциях (B, Bi, Ca, Mo, S и Sr) и выбросы от транспорта (Cu, Pb, Sn и Zn) [Шабанова и др., 2021; Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018a; Бямбасурэн и др., 2018б].

Аналогичное рассмотрение результатов ФА, выполненного на структуре данных, которые включают содержания химических элементов и органического вещества, а также рН почв (табл. 3.7), позволяет получить меньшее число главных компонент при более надёжном описании рассматриваемых показателей. Показатель рН оказывает влияние на поведение P, Ag,

Bi, Sr, B, Mn, Co, Mo, Sn, Cu и Zn, подтверждая, что влажность почв создаёт особые условия накопления и переноса токсичных и потенциально токсичных химических элементов.

Исключение из полного набора серы и калия при факторном анализе увеличивает число ГК (табл. 3.8). Химические элементы Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag и Sb имеют схожие источники поступления, т.е. результаты подтверждают выводы по таблицам 3.6 и 3.7.

Выводы

Наборы исходных данных всех ХЭ характеризуются сопоставимостью медианы, арифметического и геометрического средних значений распределения валовых содержаний; значительным разбросом данных; асимметричными и покатыми формами распределений. Критерий Шапиро-Вилкса подтверждает отсутствие нормального распределения содержаний микроэлементов на всей территории города. Такое поведение данных типично для поверхностных городских почв с мощностью слоя около 50 см, полученного перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения. После преобразования данных коэффициент асимметрии значительно снизился у всех элементов, хотя для большинства элементов покатыми их распределений осталась.

Найденные валовые содержания Mn, V, Zn, Ni и Sn сопоставимыми с ранее опубликованными данными [Кошелева и др., 2010], содержания Cr, Cu, Pb – выше, а содержания Co – ниже. Показано, что за весь период исследования, среднее медиальное значение валовых содержаний большинства элементов (Si, Fe, Ti, Na, K, P, S, F, Ba, Sr, Rb, Ni, Be, Ga, Bi, As, Zr) по городу сопоставимо с результатами, полученным с фоновых территорий. Валовые содержания Ca, Mg, Mn, Co, V, Tl и Cd – ниже, а медиальные значения валовых содержаний Al, Sr, B, Cr, W, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Ge, Sb – выше, косвенно указывая на накопление.

Содержания токсичных и потенциально токсичных химических элементов в аммонийно-ацетатных вытяжках из исследуемых почв имеют широкие диапазоны. Доли выделения подвижной формы этих элементов значительно варьируют. Таким образом, разведочный статистический анализ показал, что на территории города может располагаться один или более источник поступления потенциальных поллютантов, а значительные изменения в содержаниях подвижных форм подтверждают наличие точечных загрязнений.

С помощью кластерного анализа выделены группы макроэлементов, которые отражают различные фракции почв и основные черты почвенного покрова [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018; Распределение микроэлементов..., 2018], в отдельных районах (рис. 3.39). Полученные результаты кластерного анализа подтверждают геохимическую структуру, ранее установленную с помощью дорогостоящих аналитических исследований другими исследователями [Баярсайхан, 2009; Amarsaikhan et al., 2014; Amgalan et al., 2016]. Однако однозначно предсказать роль почвенного покрова, в качестве геохимического барьера, на территории города затруднительно, из-за мелкоконтурности городских почв при широком варьировании их физико-химических свойств.

Изучено влияние структуры данных на результаты кластерного и факторного анализа. Выборка данных должна включать набор макро- и микроэлементов, а также показатели pH и $C_{орг}$

для однозначного выявления и характеристики источников природного и/или антропогенного загрязнения поверхностных почв.

Проведённый статистический анализ распределения микроэлементов указывает на несколько типов геохимических барьеров, присутствующих на территории города (состав ГК-1 и ГК-3 из таблицы 3.8). При этом Pb, Cu, Zn, Sn, Sb, Mo, Cr и Vi могут быть идентифицированы как антропогенное загрязнение.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ Г. УЛАН-БАТОР

Степень заражения поверхностной почвы г.Улан-Батора токсичными и потенциально токсичными элементами оценили с помощью индивидуальных и комплексных индексов (табл. 1.3): PI – индекс единичного загрязнения, I_{geo} – индекс геоаккумуляции, Z_c – комплексный (суммарный) показатель загрязнения и IPI – индекс суммы загрязнений. В расчётах использовано региональное фоновое содержание химических элементов, установленное в работе [Vasilyeva et al., 2013] и при выполнении этой работы. Оценки проведены в течение всего времени наблюдений (2010, 2011, 2017 и 2019 гг.) для почв на всей территории города. Вычисление индексов выполнено в программах Microsoft Office Excel 2013 и STATISTICA 13.

Для комплексных индексов были построены карты пространственного распределения загрязнения городских почв. С помощью геостатистического моделирования (факторный анализ) выполнено пространственное распределение ХЭ и их связей (выделены источники) на изучаемой территории. Цифровое картирование выполнено в программе ArcGIS 13.

Индексная оценка состояния почв г. Улан-Батор

Индивидуальные индексы загрязнения почвенной среды

С помощью индивидуальных индексов загрязнения (табл. 4.1), используемых для геохимической оценки состояния почвенной среды, установлено число проб, которые характеризуют разные уровни заражения потенциальными поллютантами, в нашем случае химическими элементами. Показатели индексов PI и I_{geo} варьируют от отсутствия загрязнения до очень высокого загрязнения, косвенно указывая на минеральное и химическое разнообразие почвенного покрова города [Водяницкий, 2008; Федорец, Медведева, 2009; Семендяева, 2011; Kosheleva et al., 2015].

Индексы PI и I_{geo} имеют разные диапазоны классов загрязнения, но согласно этим показателям для большинства образцов наблюдается умеренное или низкое заражение от разных элементов. Первые два интервала загрязнения по индексу PI (от 0 до 3 отн. ед.) соответствуют, в основном, первому интервалу индекса I_{geo} , т.е. "чистых" почв. "Значительный" уровень загрязнения по индексу PI (от 3 до 6 отн. ед.) соответствует третьему интервалу индекса I_{geo} – "умеренно" загрязнённые почвы. Такое расхождение в классах может быть связано с отсутствием учётом погрешности (неопределённости) получаемых первичных аналитических данных в индексе PI , на которых строятся расчёты. Введение постоянного множителя при вычислении индекса I_{geo} , и увеличение числа классов загрязнения, частично минимизирует погрешности первичных данных. Число проб со "значительным" уровнем загрязнения, найденное согласно индексу PI , совпадает с числом "умеренно" загрязнённых почв, установленных индекса I_{geo} , и оба индекса выделяют одни и те же элементы F, Ba, Sr, Cr, W, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Sb. Последний диапазон уровня загрязнения по индексу PI (более 6 отн. ед.) соответствует двум последним интервалам индекса I_{geo} , отвечающим "значительному" и "очень высокому" уровню загрязнения. Оба индекса указывают на один набор микроэлементов с одинаковым количеством проб. Согласно статистическому разведочному анализу (глава 3) микроэлементами, накапливающимися в почвах города, признаны те же, что отнесены с помощью индивидуальных

Таблица 4.1 – Число проб для каждого уровня загрязнения почв потенциально токсичными и токсичными элементами согласно индивидуальным индексам загрязнения

Элемент	Год	Число проб для разных уровней заражения потенциальными поллютантами, установленное с помощью индивидуальных индексов								
		Индекс единичного загрязнения				Индекс геоаккумуляции				
		$PI \leq 1$	$1 < PI \leq 3$	$3 < PI \leq 6$	$6 < PI$	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$
		низкий	умеренный	значительный	очень высокий	чистые	низкий	умеренный	значительный	очень высокий
F	2010	20	37	1		53	4	1		
	2011	131	134	1		253	13			
	2017	48	5	1		53		1		
	2019	28	62			86	4			
Ba	2010	30	28			58				
	2011	114	151	1		250	15	1		
	2017	26	28			53	1			
	2019	23	67			88	2			
Sr	2010	25	33			53	5			
	2011	39	225	2		198	66	2		
	2017	6	47	1		40	13	1		
	2019	30	60			85	5			
Li	2010	51	7			58				
	2011	151	15			256	1			
	2017	15	39			53	1			
	2019	30	60			90				
B	2010	2	56			38	20			
	2011	5	252	8	1	154	103	8	1	
	2017	8	45	1		43	10	1		
	2019	17	72	1		72	17	1		
Mn	2010	58				58				
	2011	251	4		1	255			1	
	2017	49	5			53	1			
	2019	85	4	1		89	1			
Ni	2010	30	28			56	2			
	2011	113	153			250	16			
	2017	31	23			53	1			
	2019	81	9			89	1			
Co	2010	54	4			58				
	2011	248	18			264	2			
	2017	49	5			54				
	2019	89	1			90				
V	2010	51	7			58				
	2011	244	22			265	1			
	2017	50	4			54				
	2019	69	21			90				

Элемент	Год	Число проб для разных уровней заражения потенциальными поллютантами, установленное с помощью индивидуальных индексов								
		Индекс единичного загрязнения				Индекс геоаккумуляции				
		$PI \leq 1$	$1 < PI \leq 3$	$3 < PI \leq 6$	$6 < PI$	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$
		низкий	умеренный	значительный	очень высокий	чистые	низкий	умеренный	значительный	очень высокий
Cr	2010	20	38			53	5			
	2011	58	202	3	3	232	28	3	2	1
	2017	12	41	1		44	9	1		
	2019	4	84	1	1	44	44	1	1	
W	2011	266				266				
	2017	8	39	2		30	17	5	1	1
	2019	41	41	5	2	65	18	1	1	
Mo	2010	22	30	4	2	46	6	4	2	
	2011	52	199	12	3	192	59	12	3	
	2017	7	40	6	1	36	11	6	1	
	2019	23	65	2		67	21	2		
Sn	2010	2	51	3	2	20	33	3	1	1
	2011		249	12	5	192	155	12	4	1
	2017		48	4	2	14	34	4		2
	2019		81	4	5	34	47	4	2	3
Ga	2011	154	112			258	8			
	2017	17	37			54				
	2019	4	86			83	7			
Be	2010	19	39			55	3			
	2011	145	121			262	4			
	2017	12	42			52	2			
	2019	15	75			84	6			
Pb	2010	2	40	13	3	12	30	13	1	1
	2011	2	175	71	18	32	145	71	15	3
	2017	2	42	8	2	9	38	8		2
	2019		57	26	7	12	45	26	4	3
Cu	2010	2	52	2	2	21	33	2	2	1
	2011	14	241	9	2	125	130	9	1	1
	2017	2	47	3	2	30	19	3	1	1
	2019	1	83	3	3	32	52	3		3
Zn	2010		54	3	1	5	49	3	1	
	2011		218	44	4	26	192	44	2	2
	2017	3	44	7		14	33	7		
	2019		65	22	2	6	59	22	2	
Ag	2010	1	42	11	4	10	33	11	3	1
	2011	7	159	76	24	48	118	76	13	11
	2017	2	37	12	3	18	21	12	4	

Элемент	Год	Число проб для разных уровней заражения потенциальными поллютантами, установленное с помощью индивидуальных индексов								
		Индекс единичного загрязнения				Индекс геоаккумуляции				
		$PI \leq 1$	$1 < PI \leq 3$	$3 < PI \leq 6$	$6 < PI$	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$
		низкий	умеренный	значительный	очень высокий	чистые	низкий	умеренный	значительный	очень высокий
	2019	1	59	20	10	12	48	20	9	1
Sb	2010	4	45	7	2	20	29	7		2
	2011	5	154	92	15	20	139	92	9	6
	2017	6	20	20	8	11	15	20	5	3
	2019	26	41	20	3	39	28	20	2	1
As	2010	46	11	1		53	4	1		
	2011	196	68	2		249	15	2		
	2017	34	20			46	6	1		
	2019	5	85			76	14			
Tl	2010	19	39			55	3			
	2011	259	7			255	1			
	2017	37	17			52	2			
	2019	8	82			84	6			
Bi	2010	4	54			50	8			
	2011	13	250	2	1	171	92	2	1	
	2017	33	21			53	1			
	2019	24	66			88	2			
Ge	2010	3	54	1		17	40	1		
	2011	5	246	14	1	74	177	14	1	
	2017	16	37	1		51	2	1		
	2019	1	88	1		17	72	1		
Cd	2010	43	15			51	7			
	2011	201	54	1		255	9	1		
	2017	37	14	2	1	46	5	2	1	
	2019	3	87			90				
Zr	2010	52	6			58				
	2011	227	39			256				
	2017	36	18			53	1			
	2019	59	31			88	2			

индексов к опасным – В, Cr, W, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Ge, Sb [Shabanova et al., 2019].

Пробы, признанные заражёнными, представляли разные районы города и разные функциональные зоны (промышленная, транспортная, селитебная, рекреационная). Например, Sr признан опасным в почвах района БЗ; В – в почвах районов БГ, БЗ и Ч; Mn – в почвах районов БЗ и ХУ; F и V – в почвах района ХУ; Cr – в почвах районов БГ, БЗ и ХУ; W – в почвах районов БГ, БЗ, ХУ и СБ; и т.д. (табл. 4.1). Это указывает на геохимическую неоднородность территории города, которая определена размещением источников загрязнения и варьированием сорбционных свойств почв [Кошелева и др., 2013]. Основным недостатком индивидуальных индексов является невозможность установления связи поллютантов с другими химическими элементами, как это выполняется в случае факторного анализа.

Таким образом, индекс I_{geo} можно признать наиболее полезным, чем индекс PI , аналогично выводам, сделанным в исследовании [Birch, 2023]. Этот индекс даёт более детализированные и устойчивые к аналитическим погрешностям оценки в случае опасного накопления тех или иных микроэлементов с возможностью привязки к местности. Для исключения большого числа расчётов индекс следует вычислять только для данных, выделенных статистическим разведочным анализом, как накапливающиеся.

Комплексные индексы загрязнения почвенной среды

В основе расчётов комплексных индексов Zc и IPi лежит индекс единичного загрязнения (PI). Однако число интервалов, в которых указан уровень загрязнения, для каждого из комплексных индексов разное (табл. 4.2). Как и в случае с индивидуальными индексами, число классов уровня загрязнения почв для индекса IPi только четыре, для Zc – пять. Поэтому индекс Zc более детализирует уровни опасности экологических проблем: "высокий", "очень высокий" и "чрезвычайно высокий". Кроме этого, в построении индекса Zc делается поправка на число накапливаемых в почвах химических элементов, т.е. для которых показатель $PI_i > 1.0$ [Касимов и др., 2011] (табл. 1.3). Уровень загрязнения почвенного покрова города, согласно исследуемым комплексным индексам также, как и по данным индивидуальных индексов, имеет вариации от "неопасного" до "чрезвычайно высокого", а большинство проб характеризуют "умеренный" уровень заражения. Такие изменчивые оценки заражения почв подтверждают предыдущие противоречивые выводы, сделанные по данным 6-30 проб для отдельных районов города [Batjargal et al., 2010; Nishikawa et al., 2011; Tserenpil et al., 2016; Мягмаржав и др., 2018]. Однако значительная часть почв города находится в относительно благоприятной экологической ситуации [Бямбасурэн и др., 2022; Vyambasuren et al., 2019; Vyambasuren et al., 2017b], что соответствует выводам, полученным ранее другими исследователями [Касимов и др., 2011; Кошелева и др., 2010].

Показатели комплексных индексов выделяют наиболее заражённые почвы районов Ч, ХУ и СБ. Аналогичные выводы были получены по данным начала этого века в работе [Сарантуяа, 2005]. Причём в течение всего периода наблюдений эколого-геохимическая обстановка не улучшилась для почв районов Чингэлтэй, Сухэ-Батор и Баянгол, т.е. для территорий, где присутствуют юрточная застройка, высокая заселённость, плотная речная сеть, а также преобладают грунтовые (не асфальтированные) дороги.

Таблица 4.2 – Статистический результат значений показателей Z_c и IPI

Район	Год	Количество проб в каждом уровне загрязнения в соответствии с комплексными критериями								
		Суммарный показатель загрязнения					Индекс суммы загрязнений			
		$0 < Z_c < 16$	$16 < Z_c < 32$	$32 < Z_c < 64$	$64 < Z_c < 128$	$128 < Z_c$	$IPI < 1$	$1 < IPI < 2$	$2 < IPI < 5$	$5 < IPI$
		неопасный	умеренный	высокий	очень высокий	Чрезвычайно высокий	низкий	умеренный	высокий	чрезвычайно высокий
УБ	2010	9	46	1	1	1	6	49	2	1
	2011	5	232	25	2	2	17	223	13	2
	2017	6	41	5	2		6	43	5	
	2019	7	71	9	2	1	3	78	8	1
Районы										
БГ	2010		8					8		
	2011	3	51	8	1		5	53	4	1
	2017	1	6	1				7	1	
	2019		19	2			2	18	1	
БЗ	2010	1	15			1		16		1
	2011	3	52	1	1		3	60	4	
	2017		11	2	1		1	11	2	
	2019		15	5				17	3	
Ц	2010	1	15	1		1	1	16		1
	2011	1	38	7	1	2	5	39	3	2
	2017		8	1				9		
	2019		10	2	1	1		12	1	1
ХУ	2010		5	3				6	2	
	2011	1	33	8			3	35	4	
	2017		10	2	1		1	9	2	1
	2019	1	9	1				11		
СБ	2010		8	1				9		
	2011		36	7				43		
	2017		6		1		1	5	1	
	2019	1	12	4	2	1		15	4	1

Цифровое почвенное картирование

Пространственное распределение уровней загрязнения почв по комплексным индексам

Пространственная оценка миграции и аккумуляции возможных поллютантов выполнена на основе комплексных индексов загрязнения почв г. Улан-Батор (рис. 4.1 и 4.2). Согласно полученным данным индекс Z_c обеспечивает исследователей более чётким выделением очагов накопления потенциально токсичных элементов и даёт более категоричные характеристики, чем индекс IPI . Оба индекса представляют связь географического распределения уровней загрязнения почв с городским ландшафтом и типом землепользования [Christensen et al. 2018; Steinnes and Lierhagen 2018; Шабанова и др., 2021; Бямбасурэн и др., 2022; Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018a].

Очаги заражения почв, в соответствии с индексами Z_c и IPI , характерны для районов города, где расположены теплоэлектростанции (2010, 2011 и 2017 г.), плотная юрточная застройка и вдоль транспортных магистралей (весь период наблюдений). Это свидетельствует о том, что основной причиной обогащения городских почв г. Улан-Батора металлами и металлоидами являются пыле-аэрозоли от продуктов горения угля и горюче-смазочных материалов [Сорокина и др., 2013; Кошелева и др., 2013; Vasilyeva et al., 2013; Tserenpil et al., 2016; Бямбасурэн и др., 2018a; Бямбасурэн и др., 2018б; Shabanova et al., 2019].

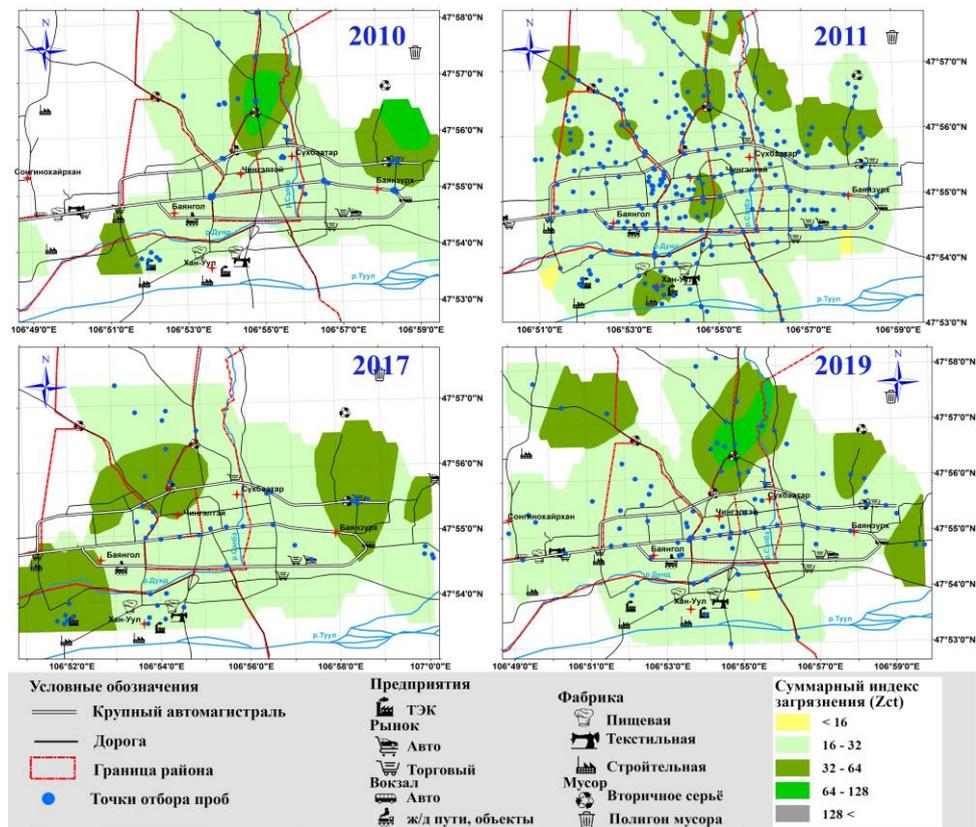


Рисунок 4.1. Пространственное распределение потенциально токсичных и токсичных элементов в поверхностной почве г. Улан-Батор в соответствии с индексом Z_c

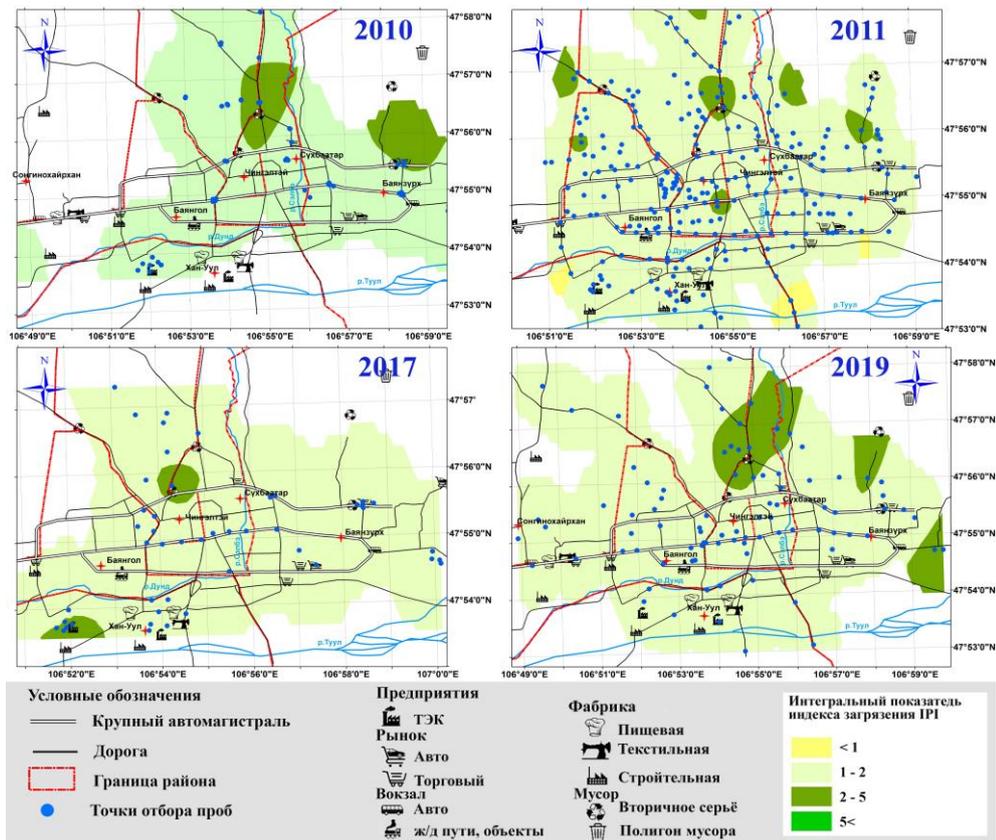


Рисунок 4.2. Пространственное распределение потенциально токсичных и токсичных элементов в поверхностной почве г.Улан-Батор в соответствии с индексом *IPI*

Центральная часть города из-за преобладающих направлений ветра (западное, северо-западное, юго-западное и северное) также оказывается под угрозой заражения продуктами горения угля со стороны районов юрточной застройки (северная часть города) и ТЭС-3 (западная часть города) [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2022].

Источники поступления микроэлементов в почвах города

Выявление и характеристика источников природного и антропогенного загрязнения поверхностных почв г. Улан-Батор, а также изучение механизмов закрепления микроэлементов минералами, обусловленными процессами сорбции, окисления-восстановления и образованием новых минералов-носителей, характеризующихся образованием алюмосиликатных, железистых, карбонатных и марганцевых минералов использовали структуру данных, включающих валовые содержания макро- и микроэлементов [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018а; Бямбасурэн и др., 2018б]. Факторным анализом (глава 3, табл. 3.6) было выделено девять главных компонент [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2018а; Бямбасурэн и др., 2018б], их географическое распределение показано на рисунке 4.3.

Согласно литературным данным [Christensen et al., 2018; Steinnes, Lierhagen, 2018] выделяемые ГК-1 и ГК-2, могут быть тесно связаны с ландшафтом территории города. Положительные нагрузки для F, As, V, Co, Ni; Mn и Li в ГК-1 и ГК-2 отражают их геохимическое сходство и указывают как на педогенное, так и литогенное их происхождение.

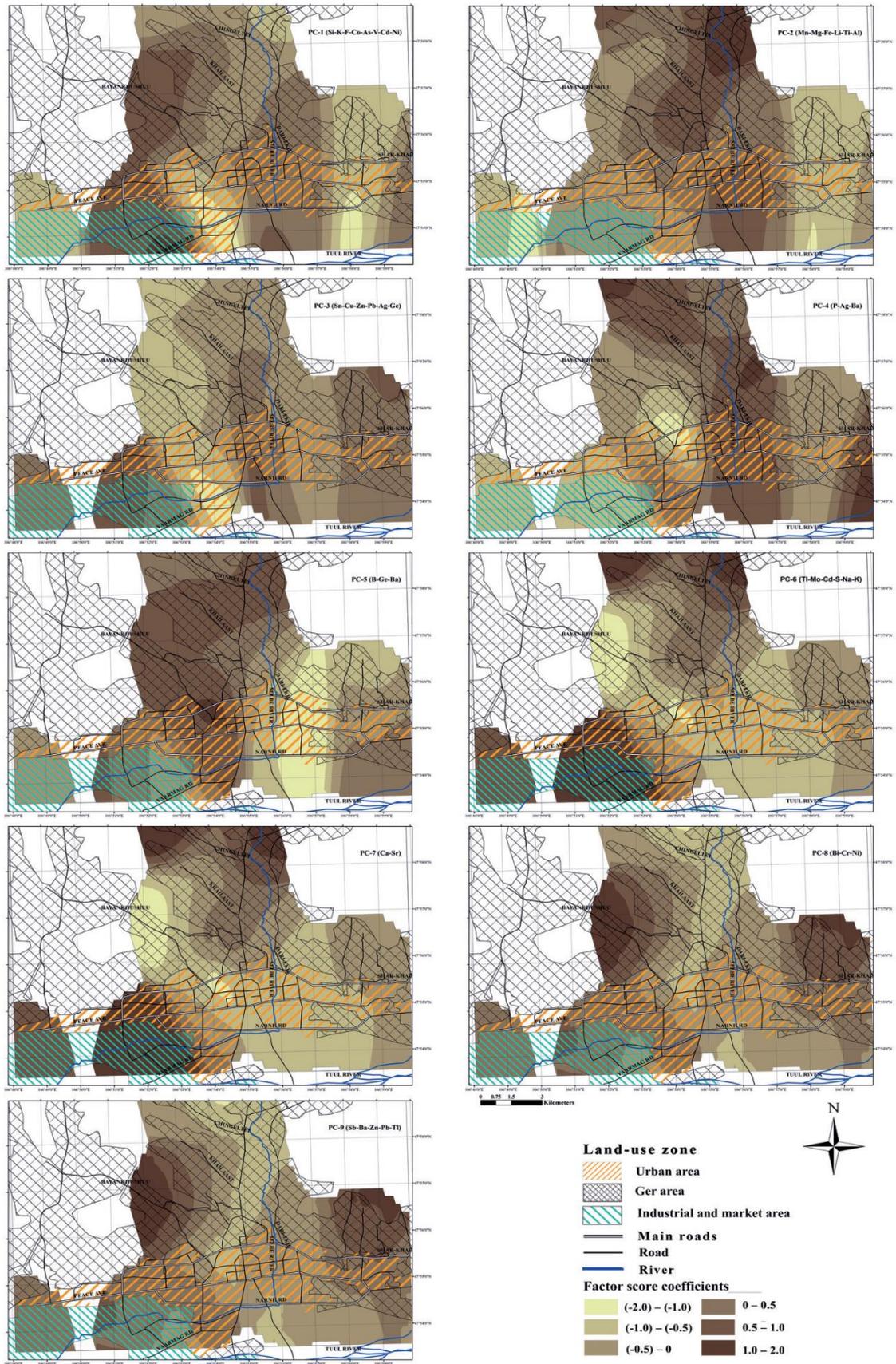


Рисунок 4.3. Географическое распределение макро- и микроэлементов в почвах г. Улан-Батор, согласно факторному анализу

ГК-3 (Sn-Cu-Zn-Pb-Ag-Ge) указывает на их пространственное распределение вдоль центральных транспортных магистралей и в окрестности автовокзала. Однако нельзя утверждать, что поступление этих элементов в почвенный покров обусловлено только выбросами автотранспорта, по той причине, что свинец и цинк также выделены девятым фактором (ГК-9), а серебро и германий – четвёртым и пятым (ГК-4 и ГК-5), соответственно. Элементы (P-Ag-Ba) из ГК-4 выделяют три зоны города: вдоль реки Сэлбэ и в районы юрточной застройки Хайлааст и Чингэлтэй. Следует заметить, что максимальное проявление ГК-4 расположено там же, где и несанкционированные свалки. Невысокие коэффициенты общности (табл. 3.6) для фосфора и бария указывают на их связь с органическим веществом почв [Maurice 2009]. Следующие два фактора (ГК-5 и ГК-6), соответственно группы элементов В-Ge-Ba и Tl-Mo-Cd-S-Na-K, имеют идентичное пространственное распределение по территории юрточных районов, что указывает на присутствие в почве минералов, образовавшихся при сжигании углей для отопления. Во время дождей с возвышенных мест юрточной застройки мусор и зола углей мигрируют в пониженные участки, где затем перечисленные элементы накапливаются. Следует отметить, что сера, включенная в структуру ГК-6, способна образовывать соединения с токсичными элементами, которые имеют высокий коэффициент биологического поглощения (более 70 %) и высокотоксичны для организмов в любой форме окисленности в почвах с низким содержанием органического вещества [Chou, 2012]. Ослабление этих свойств может наблюдаться при увеличении содержания калия, натрия, алюминия и титана.

ГК-7 и ГК-8 характеризуют отношения между элементами (Ca-Sr) и (Bi-Cr-Ni) с низкими коэффициентами общности, что, возможно, связано с образованием их соединений с органическим веществом почв. Из пяти элементов ГК-7 и ГК-8 только никель встречается также в другом факторе – ГК-1. Тенденции к накоплению в почвенном покрове имеют кальций, стронций и висмут (табл. 3.1).

Распределение фактора ГК-7 в пространстве выделяет два больших района несанкционированной юрточной застройки – Баянхошуу (северо-западная часть) и Шархад (северо-восточная часть). Максимальное заражение почв приходится на места мелких точек продажи дров и угля разных месторождений (Налайх, Бага-нуур, Шивээ-Овоо и др.). Элементы из ГК-8 распространены в промышленной зоне, где расположены ТЭС № 2, 3, 4 и старая неработающая, в настоящее время. Вблизи действующих ТЭС расположены мелкие фабрики по переработке шерсти и кожи, использующие реагенты с соединениями висмута, хрома и никеля.

Последний фактор (ГК-9) соответственно (Sb-Ba-Zn-Pb-Tl) трудно однозначно связать с какими-либо природными или техногенными явлениями. Однако, основываясь на пространственном распределении элементов – вблизи оптовых рынков, можно предположить, накопление специфичных отходов, содержащих эти элементы.

Выводы

Оценки эколого-геохимического состояния поверхностной почвы г. Улан-Батора токсичными и потенциально токсичными элементами, полученные с помощью индивидуальных и комплексных индексов (PI , I_{geo} , Zc и IPI), характеризуют территорию города, в основном, как "умеренно" загрязнённую. Таким образом, выявленная относительно благоприятная

экологическая ситуация [Бямбасурэн и др., 2022; Byambasuren et al., 2019; Byambasuren et al., 2017b] подтверждает выводы, полученные ранее [Касимов и др., 2011; Кошелева и др., 2010]. Показатели индексов выделяют наиболее заражённые почвы районов Чингэлтэй, Хан-Уул и Сухэ-Батор. В течение всего периода наблюдений эколого-геохимическая обстановка оставалась неизменной для почв районов Чингэлтэй, Сухэ-Батор и Баянгол, т.е. для территорий, где присутствуют юрточная застройка, высокая заселённость, плотная речная сеть, а также преобладают грунтовые (не асфальтированные) дороги. Центральная часть города из-за преобладающих направлений ветра (западное, северо-западное, юго-западное и северное) оказывается под угрозой заражения продуктами горения угля со стороны районов юрточной застройки (северная часть города) и ТЭС-3 (западная часть города) [Shabanova et al., 2019; Бямбасурэн и др., 2022].

Индекс I_{geo} признан более полезным, чем индекс PI , как и в работе [Birch, 2023]. Этот индекс даёт более детализированные и устойчивые к аналитическим погрешностям оценки в случае опасного накопления тех или иных микроэлементов с возможностью привязки к местности. Для исключения большого числа расчётов индекс следует вычислять только для данных, выделенных статистическим разведочным анализом, как накапливающиеся.

Использование комплексных индексов позволяет пространственно оценить миграцию и аккумуляцию возможных поллютантов. При этом индекс Zc обеспечивает исследователей более чётким выделением очагов накопления потенциально токсичных элементов и даёт более категоричные характеристики, чем индекс IPI . Однако даже в случае применения комплексных индексов оказывается затруднительным выявление и характеристика источников природного и антропогенного загрязнения почв, и изучения основных геохимических барьеров, связанных с образованием алюмосиликатных, железистых, карбонатных и марганцевых минералов. Геостатистическое оценивание на основе факторного анализа упрощает поиск источников загрязнения, помогает выделить очаги заражения, но не классифицирует почвы по степени загрязнения.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛАНДШАФТОВ Г. УЛАН-БАТОР ПО ДАННЫМ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ

Растения являются индикаторами, которые указывают на степень загрязнения ареала их произрастания. Геохимические данные о 24 биофильных макро- и микроэлементах в почвах и растениях города были использованы для интегральной оценки состояния городских ландшафтов, включая направление изменений почвенного покрова и растений в зависимости от климатических условий.

Элементный состав сопряженных сред "почва – растение" был изучен в 18 точках отбора проб из Сухэ-Батор, Баянзурх, Хан-Уул и Чингэлтэй районов и фоновой территории (Налайх). Отбор проб выполнен летом 2011-2012 гг. (табл. 5.1).

Травяной покров представлен многолетними растениями: одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*, *Taraxacum vulgare*) и подорожник (*Plantaginaceae*). Одуванчик является многолетним травянистым растением, высота которого колеблется от 15 до 30 см. Корневая система стержневая, листья собраны в розетку. Цветочная стрелка длинная, полая, наверху несет одну корзинку с золотисто-желтыми язычковыми цветками с хохолком. Двойная зеленая обертка из листьев окружает цветочную корзинку. В работе [Реутова, Джамбетова, 2006] одуванчик рассматривают как модельный объект при проведении биоиндикации и генетического мониторинга. Подорожник – многолетнее травянистое растение из семейства *Plantaginaceae* с мочковатой корневой системой. Побеговая часть состоит из розетки листьев и выходящих из их пазух безлистных цветоносных стрелок высотой 10–50 см, с густыми цилиндрическими колосовидными соцветиями.

В качестве регионального фона использовали почву и два растения одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*, *Taraxacum vulgare*) и чабрец (*Thymus serpyllum*), пробы которых были отобраны в монгольской степи (местность Цонжин-Болдог, р-н Налайх 54 км от города – Nalaikh, Tsonjin Boldog). В Монголии и Восточной Сибири широко распространены виды *Thymus serpyllum* L. (чабрец ползучий) [Чудновская, 2013] и *Thymus baicalensis* Serg. L. [Rabzhaeva et al., 2015]. Почвопокровные растения вида *Thymus* L. интенсивно разрастаются в степных зонах и на каменистых осыпях, создают плотные ковры, которые в период цветения сплошь покрываются многочисленными лилово-розовыми соцветиями. Цветение длится 2-2.5 месяца. Специфический приятный запах травы связан с наличием в ней эфирного масла, компонентный состав которого меняется для разных видов рода *Thymus* L., а его количество также зависит от морфологических признаков, климатических условий, стадии развития растений, срока сбора урожая и послеуборочной обработки [Nikolic et al., 2014].

Для древесной растительности отбирали листья и ветки осины обыкновенной или тополя трепещущего (*Pópulus tremula*) и лиственницы (*Lárix sibirica*), которые относятся к искусственным зелёным насаждениям в городе. Древесные растения в городе хорошо задерживают газопылевые вещества и являются хорошим индикаторами состояния окружающей среды [Кошелева и др., 2013; Шихова, 2019; Tsagaan et al., 2020].

Пробы почв были взяты вокруг мест произрастания деревьев, вблизи и под корнем травяного многолетника как описано в гл. 2 и работе [Vasil'eva et al., 2022]. В качестве регионального фона использовали почву района Налайх.

Подготовка проб почв и растений к анализу описана в гл. 2.

Таблица 5.1 – Точки отбора проб сопряженных сред "почва – растение"

Район	Почва		Растение						
	Номер пробы	Номер пробы	Название	Вегетативный орган					
				Цветы	Стебель	Листья	Корень	Ветки	
Хан-Уул	145	145b	Одуванчик обыкновенный (<i>Taraxacum officinale</i> , <i>Taraxacum vulgare</i>)	*	*		*		
Хан-Уул	148	148b		*		*	*		
Хан-Уул	169	169b		*			*		
Сухэ-Батор	65	065b		*			*		
Сухэ-Батор	142	142b		*			*		
Сухэ-Батор	263	263b				*	*		
Баянзурх	2	002b					*		
Баянзурх	188	188b		*	*		*		
Баянзурх	190	190b		*			*		
Баянзурх	184	184b					*		
Налайх	44p	37p÷39p		*		*	*		
Налайх	44p	40p÷43p		Чабрец (<i>Thymus serpyllum</i>)	*	*	*	*	
Хан-Уул	147	147b		Подорожник (<i>Plantaginaceae</i>)	*			*	
Чингэлтэй	126	126b	*			*	*		
Сухэ-Батор	143	143b	*				*		
Чингэлтэй	122	122b	Тополь трепещущий (<i>Populus tremula</i>)			*		*	
Баянзурх	13	013b				*		*	
Баянзурх	189	189b				*		*	
Сухэ-Батор	23	023b	Лиственница (<i>Larix sibirica</i>)			*		*	

Примечание. Пустые клетки означают отсутствие указанного в столбце органа растения

Элементный анализ проб почв и растений был выполнен с использованием методики дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии – АЭС-ДР (1) [Vasil'eva et al., 2022; Васильева, Шабанова, 2019]. Контроль правильности результатов одновременного определения 24 макро- и микроэлементов проведён с использованием международных сертифицированных стандартных образцов состава почв России (дерново-подзолистые почвы ПДП, ПДПВ; лессовая ПЛТ), Монголии (каштановые почвы TsH-1, H-1) и Китая (бурая подзолистая GSS-1, лесс GSS-8) а также растительных материалов из России (травосмесь луговая Тр-1, лист берёзы ЛБ-1, элодея канадская ЭК-1, злаковая травосмесь СБМТ-01, зерно пшеницы СБМП-01) и Китая (GSV-1, GSV-2– листья и ветви кустарников, GSV-3– листья тополя, GSV-4 – листья чая).

Экологическое состояние растений оценивали по интегральным характеристикам – отношениям Fe/Mn, Cu/Zn и Pb/Mn, которые характеризуют соответственно процессы фотосинтеза, ферментогенеза и соотношение токсичных и биофильных элементов [Кошелева и др., 2013; Аржанова, 1996; Парибок и др., 1982].

Изучение городских сопряжённых сред "почва – растение"

Средние содержания элементов в почвах четырёх районов представлены в таблице 5.2.1. Коэффициенты вариации некоторых (Ca, Mg, Al, Fe, Na) из списка породообразующих элементов

весьма велики и составляют 25-30 %, что свидетельствуют о мелкоконтурности типичных городских почв.

Таблица 5.2.1 – Статистики изменения содержаний 24 макро- и микроэлементов в точечных пробах почв из разных районов города

Элемент	Ед. изм.	Район										
		Хан-Уул (n=4)					Чингэлтэй (n=2)					
		среднее	медиана	мин	макс	Сv, %	среднее	медиана	мин	макс	Сv, %	
Si	%	29.95	30.50	26.80	32.00	7	28.85	28.85	26.70	31.00	11	
Al		7.13	7.12	5.97	8.32	13	6.09	6.09	4.82	7.36	29	
Mg		0.76	0.77	0.43	1.06	34	0.51	0.51	0.42	0.61	27	
Ca		2.05	2.07	1.31	2.76	29	2.71	2.71	1.63	3.78	56	
Fe		2.82	2.82	1.95	3.70	26	2.48	2.48	2.19	2.76	16	
Na		2.14	2.01	1.88	2.66	17	1.87	1.87	1.46	2.27	31	
K		2.25	2.25	1.50	3.00	29	2.00	1.50	1.50	2.00	0.0	
P		668	680	510	800	21	705	705	670	740	7	
Mn	мг/кг	523	560	300	670	30	460	460	450	470	3	
Ti		3700	3540	2950	4770	21	2830	2830	2400	3260	21	
B		30.5	30	25	37	18	31	31	27	35	18	
Ba		845	820	600	1140	27	715	715	600	830	23	
Sr		365	385	290	400	14	345	345	300	390	18	
Be		2.9	2.8	2.7	3.3	9	3	3	2.5	2.8	8	
Co		15	15	11	17	17	13	13	12	13	6	
Ni		44	45	38	50	12	41	41	40	41	2	
V		75	78	63	80	10	70	70	65	75	10	
Cr		58	58	52	65	9	58	58	54	62	10	
Ga		20	20	15	26	25	17	17	16	17	4	
Li		23	24	21	25	7	22	22	22	22	0	
Pb		49	53	23	68	44	76	76	59	92	31	
Zn		139	145	96	170	22	145	145	120	170	24	
Cu		32	35	20	38	26	33	33	31	34	7	
Zr		268	255	220	340	20	210	210	180	240	20	
Элемент		Ед. изм.	Район									
			Сухэ-Батор (n=5)					Баянзурх (n=6)				
			среднее	медиана	мин	макс	Сv, %	среднее	медиана	мин	макс	Сv, %
Si		%	30.86	30.00	29.10	33.50	6	29.53	29.25	27.3	32.9	7
Al	6.90		7.39	5.65	7.86	15	7.24	6.63	6.15	8.86	17	
Mg	0.63		0.55	0.36	1.09	49	0.64	0.668	0.441	0.754	20	
Ca	2.17		2.10	1.58	2.88	22	2.12	2.165	1.55	3.78	19	
Fe	2.51		2.20	1.77	3.67	30	2.48	2.465	1.94	3	18	
Na	1.96		1.72	1.29	2.68	32	2.07	2.145	1.56	2.44	16	
K	2.00		2.00	1.50	2.50	18	2.42	2.5	2	3	16	
P	600		570	500	780	19	692	650	530	1060	27	
Mn	мг/кг	408	400	250	620	35	403	405	310	470	15	
Ti		3412	3300	2510	4570	23	3627	3430	3130	4350	15	
B		31	31	25	38	16	35	35	32	35	7	
Ba		700	600	490	930	28	725	715	600	890	14	
Sr		318	310	220	390	21	357	380	290	400	15	
Be		3	2.7	2.2	3.1	12	2.72	2.65	2.30	3.30	12	
Co		14	13	8.4	21	37	13	14	10	16	15	
Ni		44	39	36	59	23	40	40	33	48	13	
V		68	72	45	84	24	71	74	57	75	11	
Cr		57	59	48	62	10	56	55	46	69	14	
Ga		21	22	16	25	21	21	20	16	27	19	
Li		23	22	14	36	35	27	26	22	34	16	
Pb		54	54	28	79	35	60	54	46	92	23	
Zn		132	120	100	170	21	122	115	100	170	16	
Cu		31	29	28	37	12	33	32	29	36	12	
Zr		260	250	220	320	16	225	225	190	240	11	

Изменения содержаний большинства из 17 определяемых микроэлементов в выборках по каждому району не превышают значений аналитических погрешностей 4-27 % в зависимости от содержания аналита, что характерно для количественного химического анализа. Значение коэффициента вариации, превышающее 27 %, указывает, что в выборке проб присутствуют почвы с загрязненных точек. Так, коэффициенты вариации в диапазоне 27-49 % установлены для Pb и Mn в районе Хан-Уул; Pb в районе Чингэлтэй; Pb, Mn, Co и Li в районе Сухэ-Батор (выделены ярким цветом в таблице 5.2.1), но не наблюдаются в районе Баянзурх. Если Cv составил для некоторых элементов 22-27 %, то разброс содержаний этих элементов рассматривали как значимые вариации геохимического фона (выделены бледным цветом в таблице 5.2.1). Перенос этих элементов из почвы в вегетативные органы растений (корни и ветки, листья и цветы) необходимо было оценить.

В обобщенной выборке 17 проб почв из всех районов (табл. 5.2.2) наблюдается снижение значений Cv до 23-27 % для элементов Ca, Fe, Mn, Ba и Co. Для содержаний свинца и магния Cv остаётся высоким, 32 и 34 % соответственно. Для выяснения распределений биофильных и токсичных элементов, отмеченных высокими значениями Cv, проведено сравнение содержаний элементов в пробе почвы, сопряженной с растением, и в органах растений. Оценка изменений содержаний элементов выполнена как для каждой точки отбора почва-растение для **лиственницы и тополя** (табл. 5.3), так и для выборок проб вегетативных органов растений одного вида (табл. 5.4).

Таблица 5.2.2 – Статистики изменения содержаний 24 макро- и микроэлементов в обобщенной выборке точечных проб почв и фоновой почвы, сопряженных с растениями

Элемент	Ед. изм.	Фон	Четыре района (n=17)				
			среднее	медиана	мин	макс	Cv, %
Si	%	31.9	29.9	30	26.70	33.50	6.7
Al		7.81	7.0	7.1	4.82	8.86	16
Mg		0.15	0.6	0.621	0.36	1.09	34
Ca		0.89	2.2	2.1	1.31	3.78	27
Fe		1.44	2.6	2.52	1.77	3.70	23
Na		2.94	2.0	2.1	1.29	2.68	21
K		3.84	2.2	2	1.50	3.00	20
P	мг/кг	291	661	640	500	1060	21
Mn		268	439	450	250	670	26
Ti		1640	3487	3300	2400	4770	19
B		26	32	33	25	38	14
Ba		420	745	750	490	1140	22
Sr		103	346	370	220	400	16
Be		3.1	2.7	2.7	2.2	3.3	11
Co		6.0	14	14	8.4	21	23
Ni		19	42	40	33	59	16
V		34	71	74	45	84	15
Cr		42	57	57	46	69	10
Ga		13	20	20	15	27	20
Li		9.2	24	24	14	36	21
Pb		20	57	56	23	92	32
Zn		70	132	120	96	170	19
Cu		20	32	32	20	40	15
Zr		466	244	240	180	340	17

В таблице 5.3 жирным шрифтом отмечены оцененные содержания элементов близкие к опубликованным или отличающиеся не более чем в два раза. Значительный разброс определений

ванадия, хрома и свинца в листьях/хвое при хорошей повторяемости результатов определения этих элементов в почве может быть связан с тем, что частицы пыли с листьев были отмыты водой недостаточно хорошо.

Таблица 5.3 – Содержания 24 макро- и микроэлементов в почве, ветках и хвое лиственницы в сравнении с литературными данными

Элемент	Ед. изм.	Полученные данные				[Кошелева и др., 2013]					
		Почва		Ветви	Хвоя	Почва			Хвоя		
		Фон (n=1)	Точка отбора СБ-23 (n=1)		Фон (n=6)	Среднее (n=90)	Сv, %	Фон (n=4)	Среднее (n=21)	Сv, %	
Si	%	31.9	29.5	1.36	0.75						
Al		7.81	7.61	0.329	0.092						
Mg		0.15	1.09	0.176	0.216						
Ca		0.89	2.88	0.725	0.498						
Fe		1.44	3.67	0.248	0.099						
Na		2.94	1.52	0.35	0.52						
K		3.84	2.0	0.82	1.05						
P	мг/кг	291	460	184	149						
Mn		268	4570	204	72						
Ti		1640	630	791	2130						
B		26	38.0	10.7	42.2						
Ba		420	600	95	31						
Sr		103	300	168	89	203	300	28.7	83.5	119	26.5
Be		3.11	3.1	0.145	0.058						
Co		6.0	21	0.62	0.88	5.2	8.0	29.1	0.22	0.52	77.8
Ni		19	59	7.2	12.6	10.7	17.0	33.8	1.9	1.7	60.8
V		34	82	5.3	1.3	43.2	54.3	25.2	0.33	1.6	54.3
Cr		42.0	48.0	30.6	25.9	16.2	32.7	81.4	2.5	2.8	40.6
Ga		13	25	1.98	0.42						
Li		9.2	36	0.61	0.84						
Pb		20	28	4.5	2.16	14.7	45.9	124	0.52	2.3	47.7
Zn		70	100	122	61.4	46.7	120	77.8	15.0	29.1	59.5
Cu		20	37.0	20.9	11.7	11.7	22.4	34.8	5.6	8.0	65.5
Zr		466	280	5.19	3.53						

Примечание. Пустые клетки – нет данных

Максимальное накопление из почвы наблюдается для однозначно биофильных элементов Р и В. Частично (от 60 до 20 %) извлекаются Zn, Cr > Na, Mn, Cu, Sr > Ca, Mg, Ni как биофильные, условно биофильные и потенциально токсичные элементы. Вероятно, что климатические условия Монголии обеспечивают в почве образование количества их растворимых форм достаточного для интенсивного поглощения растением. Несмотря на то, что почва содержит большое количество Si, Al, Fe, Ti, Ba и Zr (0.02 ÷ 30 %), их количество в хвое варьирует от 1.2 до 5 % мас. В зависимости от содержания в почве (3 ÷ 100 мг/кг) токсичных или условно токсичных элементов (Co, Ni, Pb, Li, V) их количество в сухом веществе хвои снижается в 3-30 раз, а для Fe, Be, Ga, Ti и Al в 35, 50, 60 и 80 раз соответственно. Токсичность этих элементов считается доказанной, но они всегда присутствуют в растениях. Однако их роль в жизненном цикле растений однозначно не определена. Существенное снижение содержаний элементов в ветках лиственницы подчеркивает роль корневого барьера для сохранения жизнедеятельности растения.

Процентное количество элемента в хвое от валового содержания в почве можно представить последовательностью:

P (340) > B(110) > Zn (61) > Cr~K(53) > Na~Mn (33) > Cu~Sr (30) > Ni~Mg (20) > Ca (17) > Pb (7.7) > Ba (5.2) > Co (4.2) > Fe (2.7) > Li (2.3) > Be (1.9) > Ga (1.7) > V=Ti (1.6) > Zr (1.3) > Al (1.2).

Сравнение почвенных и опубликованных данных, полученных для токсичных элементов в почвах и растениях Улан-Батора [Кошелева и др., 2013], указывает, что содержания Co, V, Cr, Pb и Cu в сопряженных средах «почва – хвоя лиственницы» согласуются удовлетворительно.

Содержания 24 макро- и микроэлементов в **почве и частях тополя (ветки и листья)** в сравнении с литературными данными [Кошелева и др., 2013] представлены в таблице 5.4. Почвы произрастания древесных растений СБ-23 (лиственница) и Ч-122, БЗ-13, БЗ-189 (тополь) практически идентичны, т.к. вариации состава только для Ca и Pb оценены в 43 и 34 % соответственно. Для остальных элементов Cv меняется от 5 до 27 %. Однако содержания большинства элементов в ветках и листьях меняются значительно. Так, для веток значения Cv составили: ванадий 101 %, хром – 150 %, свинец 55%. Для тополиных листьев значения Cv составили соответственно: ванадий 74 %, хром – 89 %, свинец 92 %. Это свидетельствует, что в точках отбора проб запылённость воздуха сильно варьирует, несмотря на то, что почвы нельзя отнести к загрязнённым.

Средний процент количества элемента в **листьях тополя** от валового содержания в **почве** можно представить последовательностью:

P (340) > B (230) > K (88), Mg~Ca (60) > Zn (54) > Cu (40) > Mn~Sr~Cr (30) > Ni (20) > Co (6.8) > Na (5.9) > Pb~Ba(3.7) > Fe~Si (~3) > Be~Ti (2.2) > Ga (2.0) > Al (1.8) > V (1.4) > Zr (1.2) > Li (1.1).

Для разных элементов значение корневого барьера проявлено по-разному, хотя безбарьерный перенос характерен только для фосфора, бора и в значительной степени калия и цинка. Полученные данные для содержаний Sr, Co, Pb и Zn в листьях тополя и почвах произрастания деревьев хорошо согласуются с опубликованными в работе [Кошелева и др., 2013]. Аналогичные статистические расчеты по аналитическим данным выполнены для **травянистых растений – подорожника, одуванчика** и почв их произрастания (табл. 5.4 и 5.5).

Пробы подорожника и его частей были отобраны в районах ХУ, СБ и Ч. Фоновая проба почвы из района Налайх достаточно близка по содержаниям макро-и микроэлементов к средним значениям в пробах почв из этих районов. Содержания отличаются не более чем в 2-2.5 раза при Cv = 6÷22 %. Однако вариабельность содержаний элементов в корнях и листьях подорожника резко возросла. Наибольшие вариации содержаний в корнях подорожника установлены для Ca (Cv 62 %), Mg (72%), Cr (94 %), Li (126 %), Pb (39 %) и Cu (94 %). В листьях подорожника – Al, Ca, Fe, Na (Cv 42÷50 %), Ba и Sr (53 и 60 %), Cr (59 %), Li (92 %), хотя для Pb, Zn, Cu этот показатель оказался значительно ниже, чем в корнях. Средние содержания близки и сопоставимы со значениями для фоновой почвы.

Средний процент количества элемента в **листьях подорожника** от валового содержания в почве можно представить последовательностью:

P (280) > Cr (140) > B (80) > Ca (60) > K~Sr~Mg~ Ni ~ Zn (40) > Cu (20) > Mn~ Na~Ba (12) > Fe ~Ti ~ Li (9-7) > Cu ~ V ~ Ga ~ Pb ~ Si ~ Be ~ Co ~ Al ~ Zr (6-3).

Пробы одуванчика были отобраны в районах ХУ, СБ и БЗ. Фоновые пробы почвы и вегетативных органов одуванчика – в районе Налайх. Результаты статистической обработки

Таблица 5.4 – Содержания 24 макро- и микроэлементов в почве и частях тополя (ветки и листья) в сравнении с литературными данными

Элемент	Ед. изм.	Полученные данные						[Кошелева и др., 2013]						
		Почва			Ветви		Листья		Почва			Листья		
		Фон (n=1)	Среднее (n=3)	Cv, %	Среднее (n=3)	Cv, %	Среднее (n=3)	Cv, %	Фон (n=6)	Среднее (n=90)	Cv, %	Фон (n=2)	Среднее (n=21)	Cv, %
Si	%	31.9	29.0	6.4	0.26	49	0.80	74						
Al		7.81	6.65	9.5	0.056	59	0.12	78						
Mg		0.15	0.59	24	0.21	27	0.36	35						
Ca		0.89	2.59	43	0.94	29	1.57	64						
Fe		1.44	2.4	18	0.035	54	0.079	36						
Na		2.94	1.88	19	0.049	38	0.11	29						
K		3.84	2.17	13	1.35	45	1.92	66						
Mn	мг/кг	268	417	22	36	64	126	56						
Ti		1640	3327	7.1	43	51	74	55						
P		291	693	6.0	2417	32	2377	32						
B		26	37	4.7	23.3	35	86.6	28						
Ba		420	700	17	15.1	46	26	37						
Sr		103	387	4.0	96	18	118	38	203	300	28.7	125	172	26.5
Be		3.11	2.6	10	0.034	27	0.058	53						
Co		6.0	12.7	9.1	0.63	0.79	0.86	32	5.2	8.0	29.1	1.7	0.69	60.9
Ni		19	39.3	5.3	9.1	21	7.9	47	10.7	17.0	33.8	1.3	1.14	46.5
V		34	71.3	12	1.1	101	1.03 (0.34; 0.98; 1.84)	74	43.2	54.3	25.2	0.05	0.17	231
Cr		42	51.3	9.0	9.2	150	14.9 (1.0; 27.9; 16.5)	89	16.2	32.7	81.4	2.2	1.2	97.5
Ga		13	20.0	15	0.454	7.0	0.41	64						
Li		9.2	24.3	8.6	1.37	34	0.26	72						
Pb		20	66.3	34	0.99	55	2.55 (0.68; 5.2; 1.8)	92	14.7	45.9	124	0.37	0.78	62.9
Zn		70	130	27	50.0	19	69.6	56	46.7	120	77.8	22.5	70.7	57.5
Cu		20	35.0	13	18.2	22	14.5	19	11.7	22.4	34.8	5.1	6.6	27.8
Zr		466	240	8.3	2.1	21	2.8	74						

Примечание. Пустые клетки – нет данных

Таблица 5.5 – Содержания 24 макро- и микроэлементов в сопряженных средах "почва–растение" для подорожника

Элемент	Ед. изм.	Почва			Корень		Листья	Цветы	
		Фон (n=1)	Среднее (n=3)	Сv, %	Среднее (n=3)	Сv, %	Среднее (n=1)	Среднее (n=3)	Сv, %
Si	%	31.9	30.23	11	5.38	36	1.43	1.41	24
Al		7.81	6.44	22	1.01	35	0.28	0.36	46
Mg		0.15	0.58	32	0.33	62	0.16	0.30	23
Ca		0.89	2.03	18	1.9	72	1.2	3.33	50
Fe		1.44	2.42	21	0.48	22	0.21	0.17	42
Na		2.94	2.05	28	0.56	35	0.23	0.36	50
K		3.84	2.33	12	1.94	28	0.68	3.43	14
Mn	мг/кг	268	467	16	128	26	60	80	26
Ti		1640	2893	16	534	39	246	187	23
P		291	680	17	2040	3.4	1890	2363	17
B		26	28.3	15	30.6	35	23.2	33.3	7.1
Ba		420	873	30	147	37	92.7	167	53
Sr		103	350	13	134	36	111	202	60
Be		3.11	2.83	15	0.36	30	0.13	0.12	28
Co		6.0	12.7	20	2.06	9.3	0.56	1.12	31
Ni		19	41.0	14	16.4	23	9.65	13.5	21
V		34	70.7	15	14.4	15	4.05	4.24	35
Cr		42	63.0	2.7	94	94	87.1	68.9	59
Ga		13	15.7	3.7	2.52	28	0.88	1.05	36
Li		9.2	23.0	7.5	1.43	126	1.6	1.11	92
Pb		20	62.3	5.6	4.85	39	3.38	6.66	19
Zn		70	147	17	99	22	31	71.0	8.2
Cu		20	32.3	16	32.7	94	2	42.0	30
Zr		466	210	13	55.7	51	7.4	10.3	6.4

Таблица 5.6 – Содержания 24 макро- и микроэлементов в сопряженных средах "почва–растение" для одуванчика

Элемент	Ед. изм.	Почва			Корень			Стебли		Листья			Цветы		
		Фон	Среднее (n=10)	Cv, %	Фон	Среднее (n=8)	Cv, %	Среднее (n=2)	Cv, %	Фон	Среднее (n=2)	Cv, %	Фон	Среднее (n=8)	Cv, %
Si	%	31.9	30.2	6.1	2.82	5.0	31	0.54	18	1.94	2.73	63	2.3	2.3	38
Al		7.81	7.18	17	0.23	0.97	43	0.13	35	0.38	0.56	64	0.32	0.52	44
Mg		0.15	0.60	30	0.034	0.50	67	0.22	22	0.61	0.263	39	0.24	0.44	52
Ca		0.89	2.04	22	0.34	1.28	47	1.29	31	2.27	3.06	15	0.82	2.24	57
Fe		1.44	2.55	23	0.089	0.52	42	0.11	54	0.13	0.22	72	0.11	0.26	30
Na		2.94	2.12	21	0.52	0.59	24	0.24	44	0.17	0.66	48	0.20	0.52	60
K		3.84	2.20	24	1.77	2.85	46	2.42	48	2.51	4.19	33	1.30	3.46	27
Mn		268	410	30	105	146	43	26	22	143	82	58	81	94	37
Ti	мг/кг	1640	3605	19	131	525	46	97	19	184	271	43	230	284	38
P		291	648	27	588	2088	19	897	26	1490	1875	12	2610	2100	26
B		26.3	30.9	11	14.8	27.3	22	31.2	31	39.4	31	9.1	50	38	28
Ba		420	734	20	34.2	113	37	28	36	37.8	108	27	38.1	78.7	56
Sr		103	337	19	67.9	98	28	106	36	110	149	1.4	57.6	102	26
Be		3.11	2.70	10	0.20	0.39	24	0.063	3.3	0.13	0.19	68	0.19	0.17	35
Co		6.02	13.5	22	0.35	2.06	25	0.40	7.2	0.51	1.10	31	0.55	1.18	13
Ni		18.9	41.9	14	6.2	24.9	65	9.4	68	10.8	7.84	61	16.8	14.2	35
V		34.2	70.0	17	1.2	9.52	35	3.02	16	1.0	5.44	70	0.72	5.23	43
Cr		42.1	57.5	8.5	1.46	49.9	90	69.5	97	1.93	37.4	58	2.9	53.5	61
Ga		12.8	20.8	20	1.87	2.8	34	0.47	31	0.66	2.08	52	0.59	1.30	28
Li		9.2	23.5	22	3.3	2.23	76	2.3	5.9	2.15	1.44	4.4	1.93	2.50	81
Pb		19.7	56.2	33	2.25	6.29	47	1.53	37	0.86	4.36	78	0.76	3.82	67
Zn		69.8	126	16	57.9	108	118	41.3	29	30.2	51.8	39	52.4	61.3	32
Cu		19.9	30.7	16	14.4	50.7	93	19.3	21	11.9	30.2	88	19.9	23.3	56
Zr		466	251	19	7.0	35	50	3.9	16	26	13	22	21.6	11.9	63

Примечание. Значения Cv выше 30 % указывают на значительные вариации содержания элемента в выборке проб из разных районов.

аналитических данных представлены в таблице 5.5. Средние содержания элементов в **пробах почв и фоновой почве** для большинства элементов отличаются менее чем в 2 раза, значения C_v меняются от 6 до 33 %. Сравнение содержаний элементов в корнях и листьях по сравнению с фоновыми значениями варьирует больше чем в цветах. Однако для большинства макро- и микроэлементов в вегетативных органах (корни, стебель, листья, цветы) значения C_v превысили 40-50%. В последовательности «корни – стебли – листья цветы» содержание хрома C_{Cr} (C_v , %) меняется 50(90) – 70(97) – 37(58) – 54(61); содержание свинца 6.3(47) – 1.5(37) – 4.4(78) – 3.8(67); цинка 108(118) – 41(29) – 52(39) – 61(32). Значимого превышения геохимического фона не наблюдается.

Средний процент количества элемента в **листьях одуванчика** от валового содержания в почве можно представить последовательностью:

P (290) > K (190), Ca (150) > B ~ Cu (100) > Cr (65) > Sr ~ Mg ~ Zn (40) > Na (30) > Mn ~ Ni (20) > Ba (15) > Ga ~ Si ~ Fe (10-9) > Co ~ Pb ~ V ~ Al ~ Ti ~ Be (8-7) > Li ~ Zr (5).

Это количество химических элементов после осенне-зимнего периода вернётся в почву, вероятно, уже в других формах, более доступных для растений, т.к. именно листья составляют основную массу органического вещества растений.

Выполненное оценивание степени загрязнения почв с использованием древесных и травянистых растений в качестве индикаторов выявило только точечные потенциально опасные участки. Кроме этого, малый объем выборок проб не позволил выполнить картирование территории и выбрать растения наиболее чувствительные к загрязнению почв и воздуха.

Распределение и перенос биофильных и токсичных элементов в растениях, произрастающих в городских и естественных условиях

Особенности переноса биофильных и токсичных элементов травяных растений одуванчик обыкновенный (*Taraxacum vulgare*) и чабрец ползучий (*Thymus serpyllium* L.) в фоновой почве

Содержания элементов в органах растений обычно отражают их биологическую необходимость для жизненного цикла и зависят от состава почвах, на которых растут. Избирательность поступления в корневую систему отдельных элементов связана с физиологическими особенностями растения и ландшафтно-климатическими условиями. Одуванчик широко распространен на городских озеленённых территориях. Было изучено накопление элементов двумя видами, произрастающими на одном и том же участке фоновой почвы в монгольской степи (местность Цонжин-Болдог, р-н Налайх 54 км от города). Были отобраны два вида растений: одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*, *Taraxacum vulgare*) и чабрец ползучий (*Thymus serpyllium* L.). Геохимические профили – содержания 24 элементов в фоновой почве и вегетативных органах этих растений представлены на рисунке 5-1.

Показано, что перенос из почвы и поглощение органами исследованных растений разных видов отличаются как для эссенциальных, так и для токсичных элементов. Поэтому для экологического мониторинга состояния экосистемы желательно отбирать пробы растений одного вида.

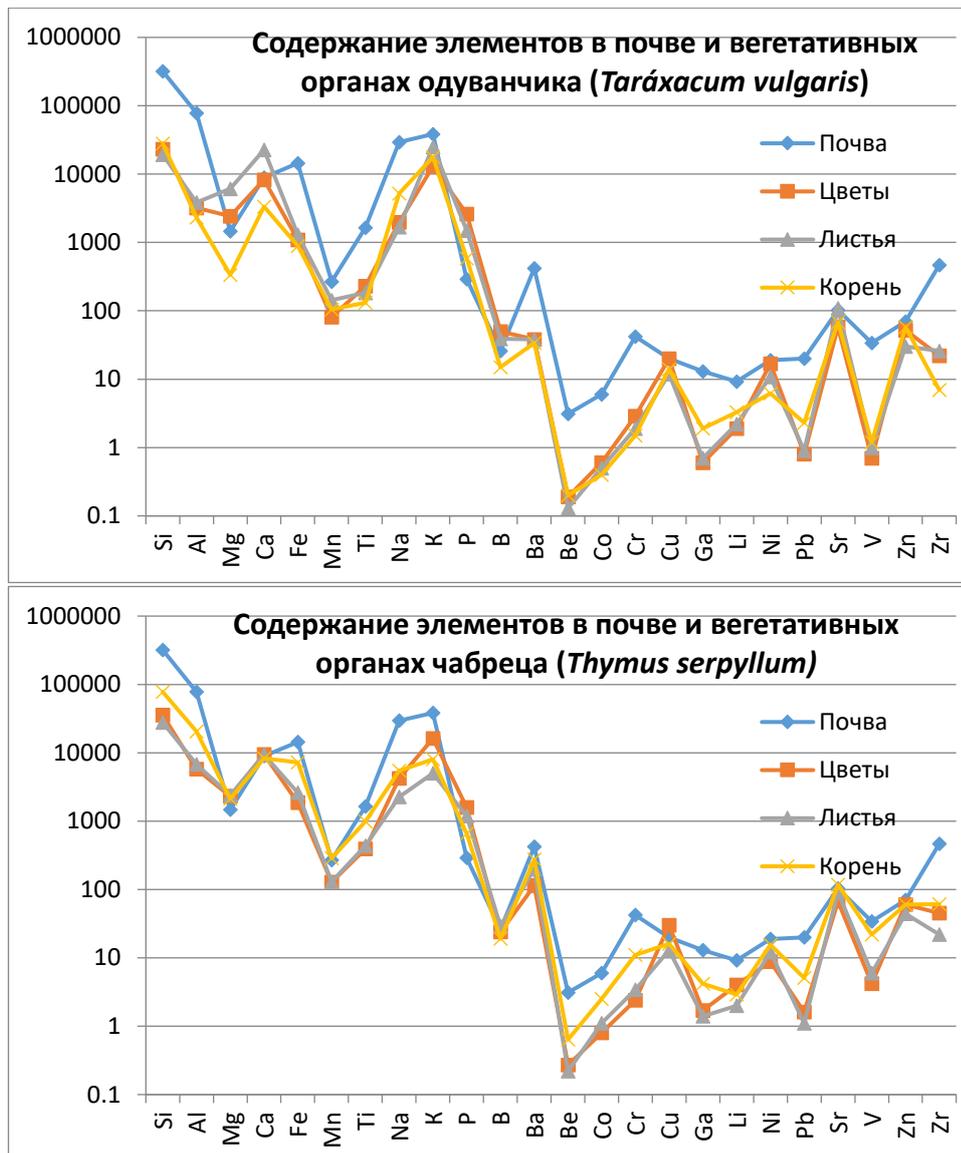


Рисунок 5.1 Распределение элементов (мг/кг) в вегетативных органах растений, произрастающих на фоновой почве района Налайх: а – одуванчик (*Taraxacum vulgare*); б – чабрец (*Thymus serpyllum*)

Особенности элементных профилей дикорастущего чабреца (*Thymus L.*) и зависимость от ландшафтно-климатических условий

Для изучения влияния почвенно-ландшафтных и климатических условий были изучены два растения вида *Thymus L.*, отобранные с площади примерно 1 м² во время интенсивного цветения (июль): 1 – тимьян ползучий *Thymus serpyllum L.*, монгольская степь (местность Цонжин-Болдог, р-н Налайх 54 км от г. Улан-Батор) и 2 – тимьян байкальский *Thymus baikalensis Serg. L.*, побережье оз. Байкал (вблизи пос. Сахюрта, примерно 250 км от г. Иркутск, Иркутская обл., Россия). Также в местах сбора растений были взяты пробы почв по способу "конверт": пять точек по краям и в середине площадки на глубину 10-15 см. Почва и растение, отобранные на побережье оз. Байкал, были приготовлены и проанализированы также, как и пробы из Монголии.

Содержания 24 элементов в почвах и вида *Thymus L.*, дикорастущего в условиях аридной монгольской степи и влажного климате на побережье оз. Байкал, объединены в таблице 5.7. Элементные профили представлены на рис. 5.2.

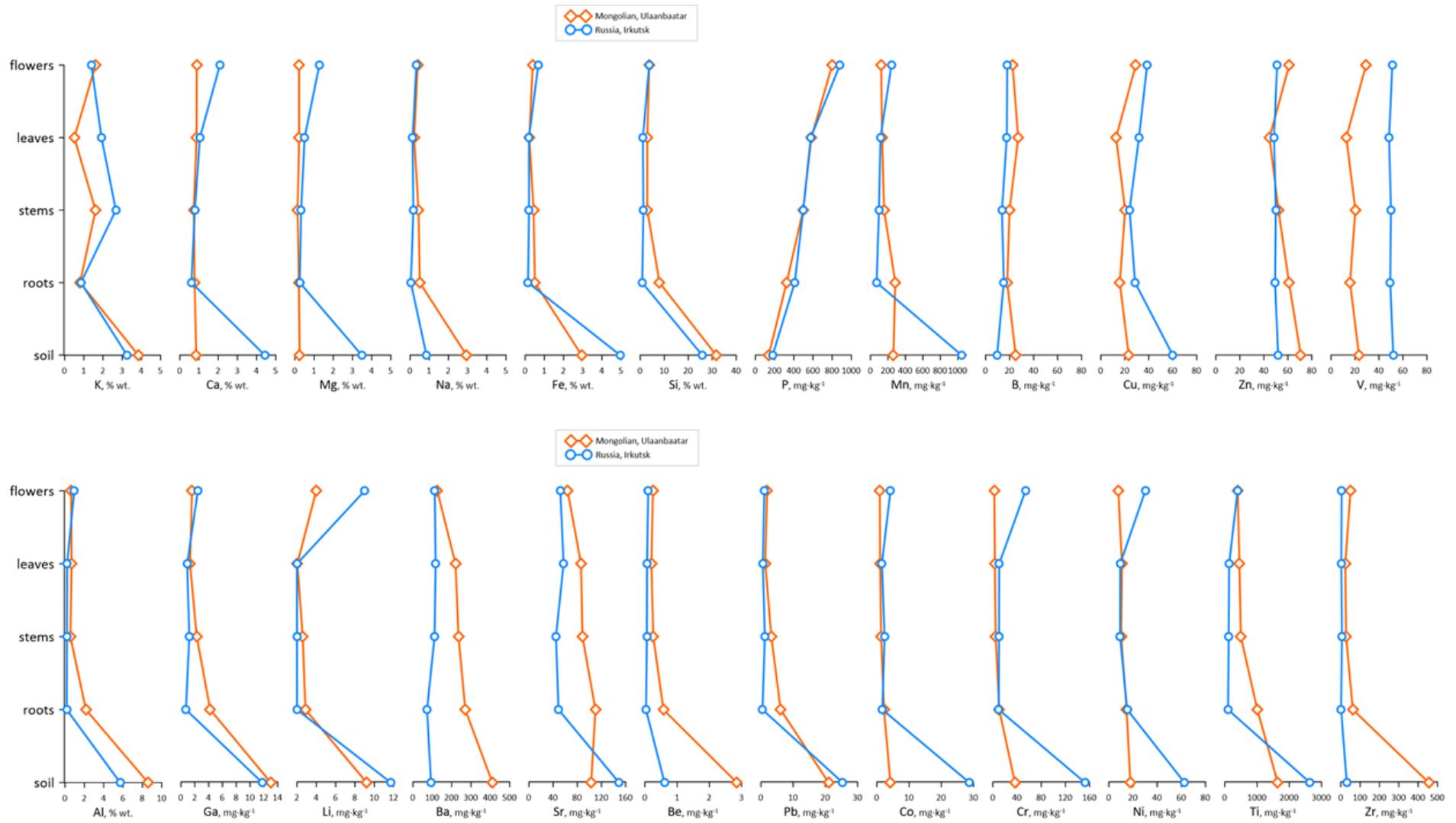


Рисунок 5.2. Элементные профили: а – эссенциальных; б – токсичных и условно токсичных элементов

Результаты определения 24 микроэлементов методом АЭС-ДР в высушенных вегетативных органах (корни, стебли, листья и цветы) растений *Thymus serpyllum* L. и *Thymus baikalensis* Serg. L., а также почв Монголии (1) и России (2) представлены в таблице 4.7. В ней приведены литературные данные о типичных концентрационных диапазонах этих элементов в сухом веществе растений разных видов [Kabata-Pendias, 2011; Maurice, 2009]. Найденные содержания Al, Ba, Ti and Zr превышают литературные данные (отмечены в клетках таблицы серым цветом). В столбце «Flowers» жирным шрифтом отмечены содержания элементов (Si, K, P, Ti, Zn, Cu, V и B), которые одинаковые или отличаются менее, чем на 30% для разных видов *Thymus* L. Важным преимуществом использованной методики является одновременное определение как эссенциальных P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B, Mn, Co, Na, V и Fe, так и токсичных Al, Be, Ba, Cr, Ga, Li, Ni, Pb и Sr элементов, а также кремния, который отмечен в ряде публикаций как элемент, необходимый растениям этого вида для реализации жизненного цикла [Epstein, 1994; Hodson et al., 2005; Kashin, 2011]. Почвы на участках сбора растений двух видов *Thymus* отличаются по содержанию макроэлементов Fe, Ca, Mg, Na, Mn и Ti в 3.5, 4.9, 18, 2.5, 4.2 и 1.7 раза соответственно. Содержания микроэлементов P, Co, Ga, Li, Pb, Sr и Zn в почвах варьируют менее чем в 2 раза и могут быть признаны близкими. Содержания микроэлементов в степной почве по сравнению с байкальской выше для Ba в 4 раза, бериллия – 4.7, циркония – 16 раз. Байкальская почва по сравнению с почвой МНР богаче бором в 2.6, кобальтом – 5, Cr – 3, Cu – 2.3, V – 5.8, Ni – 3.4 раза. Однако эти особенности элементного состава почв практически не повлияли на усвоение данным видом растений элементов P, B, Zn, Cu, Ca и Mg, которые традиционно относят к эссенциальным (рис. 5-2).

На избирательность поступления в корневую систему отдельных элементов указывает отношение содержаний в корнях и почве. Эта величина связана не только с видовыми физиологическими особенностями растения, но также зависит от валового содержания химического элемента в почве. Для двух растений вида *Thymus*, произрастающих в разных природно-климатических условиях, наблюдается безбарьерный перенос только P, B, Cu и Zn. Такой же тип переноса элементов в более сухом климате Монголии установлен как для эссенциальных элементов Ca, Co, Mg, Mn и V, так и для условно токсичных – Ni и Sr, содержания которых в почве весьма низкие. Содержания Mg, Mn, Ni, V и Sr в почве вблизи оз. Байкал выше, и корневая система ограничивает перенос этих элементов в растение. Только Ba и Zn накапливаются безбарьерно. В почве Монголии содержание Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Cr, Ni, и Ti меньше, чем в байкальской почве. Несмотря на это, профиль распределения этих элементов в органах растения изменяется незначительно. Содержания Si, Al, Be, Ga, Li, Na, Pb и Zr оказались высокими в почве Монголии, но их перенос ограничен фильтром корневого барьера (рис. 5.2), и они практически не накапливаются растением. Несмотря на то, что валовые содержания Si, Na и Be в байкальской почве меньше, профили распределения этих элементов в почвах и органах двух растений аналогичны друг другу: содержание элемента в корнях резко уменьшается, оставаясь приблизительно таким же в стеблях, листьях и цветах или незначительно увеличиваясь в листьях и цветах (рис. 5.2).

Таблица 5.7 – Содержания элементов (мг/кг) в почвах и высушенных органах растений (n=3)

Элемент	Почва	Корни	Стебли	Листья	Цветы	Место отбора*	Диапазон содержаний элементов в высушенных растениях [Kabata-Pendias, 2011; Maurice, 2009]
Al	85850	21550	5540	6700	6280	1	<100–10000
	56950	1710	1900	2140	9500	2	
B	25.1	18.0	20.0	27.1	22.5	1	2–800
	9.5	15.1	13.6	17.6	18.0	2	
Ba	411	271	236	220	126	1	1–160
	93	73	112	117	113	2	
Be	2.85	0.57	0.26	0.20	0.25	1	< 0.001–7
	0.61	0.03	0.06	0.07	0.10	2	
Ca	8495	7720	7245	8715	8820	1	3000–100000
	44250	6035	7795	10450	20850	2	
Co	4.2	2.2	1.3	1.0	0.9	1	0.05–10
	28.7	1.7	2.4	1.6	4.2	2	
Cr	36.4	10.5	4.6	3.3	2.3	1	1–1100
	153	9.6	10	10	54	2	
Cu	23	16	20	13	29	1	1–500
	60	29	24	32	39	2	
Fe	12950	7095	2565	2520	1945	1	300–100000
	49500	1475	2000	1975	6795	2	
Ga	13.0	4.2	2.3	1.3	1.6	1	0.02–16
	11.8	0.7	1.2	0.9	2.4	2	
K	38400	8050	16100	5040	16100	1	5000-80000
	32500	8480	26700	19200	13900	2	
Li	9.2	2.9	2.6	2.0	4.0	1	0.02–1000
	11.7	2.0	2.0	2.0	9.0	2	
Mg	2450	2010	1380	2150	2100	1	200–60000
	34800	2500	3200	5025	12700	2	
Mn	262	284	155	132	122	1	15–330
	1043	70	96	114	240	2	
Na	29400	5050	4365	2140	3930	1	200–100000
	8545	386	1730	1315	3290	2	
Ni	17.8	14.7	10.1	10.8	7.8	1	0.05–50
	62.6	15.2	9.3	9.4	30.2	2	
P	278	651	995	1165	1600	1	100–70000
	360	820	995	1155	1760	2	
Pb	21.0	6.1	3.2	1.3	1.9	1	0.01–2500
	25.4	0.5	1.2	0.6	1.1	2	
Si	316500	80000	29100	29100	37000	1	1000–100000
	258000	7865	12950	10900	37000	2	
Sr	103	110	89	86	64	1	1.5–600
	149	49	45	57	52	2	
Ti	1640	1007	498	451	400	1	0.15–80
	2640	98	120	133	396	2	
V	23	16	20	13	29	1	0.2–1000
	60	29	24	32	39	2	
Zn	71	61	52	45	61	1	5–250
	52	49	50	48	51	2	
Zr	455	62	27	23	50	1	0.005–2.6
	30.4	1.0	5.5	2.5	4	2	

Примечание. *Места отбора: 1 – Монголия, район Налайх; 2 – Россия, побережье оз. Байкал

Содержания элементов в растениях обычно отражают их биологическую необходимость для жизни растения и зависимость от состава почв, в которых растут. В работах [Lopez et al., 2000; Walton, 2019] отмечено, что повышенный Al в органах растения *Thymus serpyllum* L. может

быть обусловлен высокой концентрацией элемента в почве. Этот эффект также наблюдали для растений, произрастающих на почвах с повышенным содержанием хрома [Garcia et al., 2000]. Хром и никель обычно считаются токсичными, но растения могут использовать эти металлы при биосинтезе органических соединений для переноса заряда электронов, также как используют Cu, Fe, Mn, Co, Mo и V [Kabata-Pendias, 2011; Maurice, 2009; Semhi et al., 2012].

Поведение Ba и Sr в органах растений зависит от содержания в почве. Если элемента в почве достаточно много, то к цветам его концентрация уменьшается. Если содержание элемента небольшое – то происходит его накопление в цветах до некоторого постоянного значения. Так, концентрация Ba в почве (400 и 93 мг/кг) отличается в 4 раза, а в цветах только в 2 раза (126 и 113 мг/кг). В почве концентрация Sr 100 и 150 мг/кг, а в цветах Sr – 64-52 мг/кг. Отношение Ca/Sr в органах растений составляет 70-138 для *Thymus serpyllum* L. и 123-402 для *Thymus baikalensis* Serg. L. соответственно. Увеличение значений отношения этих элементов указывает на увеличение вклада ферментов в перенос элементов из почвы для байкальского растения в более влажном климате [Semhi et al., 2012]. Вероятно, с этим же эффектом связано повышенное содержание Cr, Ni и V в цветах *Thymus baikalensis* Serg. L. Однако мы затрудняемся однозначно приписать Ni, Co и Cr биофильное поведение. Элементы Be, Ga и Pb оценены нами как токсичные, так как даже при небольших содержаниях в почвах их количество резко снижается на корневом барьере, хотя незначительное накопление наблюдается в цветах. Мы наблюдали интенсивное накопление фосфора от корней к листьям и цветам даже при низких содержаниях фосфора в почве. Поступление биофильных K, Ca, Mg, Fe, Mn и Na из почвы в растения частично ограничено, но достигает максимальных содержаний в цветках. Примерно постоянные концентрации в последовательности "корни – стебли – листья – цветы" наблюдаются для биофильных B, Cu, V и Zn в разных видах растения *Thymus* (рис. 5-2). Похожие (близкие) элементные профили последовательностей "корни – стебли – листья – цветы" для биофильных B, Cu, V и Zn в разных видах растения *Thymus* были получены (рис. 5-2). Они указывают на необходимость кремния в жизни этих растений. Для голоосеменных и водных растений содержание кремния весьма нередко превышает 1 мас. %, и его определение необходимо. Тем не менее, определение кремния элементами методами АЭС-ИСП и МС-ИСП затруднительно [Васильева, Шабанова, 2019].

Для растений вида *Thymus*, выросших в изученных природно-климатических условиях, концентрации Si и Ti в последовательности "корни – стебли – листья – цветы" существенно отличаются, хотя в цветах их концентрации оказываются практически одинаковыми: Si – 3.70 мас. % и Ti – 400 мг/кг. Вероятно, это максимальные концентрации Si и Ti, которые растения этого вида могут накопить и использовать как необходимые для жизненного цикла. Опубликованное в работе [Hodson, 2005] содержание кремния составило 2.21 мас. % и согласуется с полученными данными для исследованных растений, усредненными для стеблей и листьев, 2.91 и 1.19 мас. %, что неплохо согласуется с нашими данными. Литературные данные о содержании Ti в растениях вида *Thymus* найти не удалось.

Элементный профиль (24 элемента) *Thymus baikalensis* Serg. L., дикорастущего на берегу оз. Байкал, указывает, что цветы накапливают больше микроэлементов, чем вегетативные органы

(корни, стебли и листья) (табл. 5.7). Эта закономерность не прослеживается для *Thymus serpyllum* L., дикорастущего в степи вблизи г. Улан-Батор. Вероятно, сухой степной климат и видовые особенности растения ограничивают перенос большого числа микроэлементов из почвы в цветы. Как видно из таблицы 5.7, усвоение доминантных и микроэлементов в цветках двух видов *Thymus* L. отличается следующим образом:

Thymus serpyllum L.

Si > K > Al > Ca > Na > Mg = Fe > **P** > **Ti** > **Mn** = **Ba** > **Sr** = **Zn** > Zr > **Cu** = **V** > **B** > **Ni** > **Li** > **Cr** > **Pb** > **Ga** > **Co** > **Be**;

Thymus baikalensis Serg. L.

Si > Ca > K > Mg > Al > Fe > Na > **P** > **Ti** > **Mn** > **Ba** > **Sr** = **Zn** = **Cr** > **Cu** = **V** > **Ni** > **B** > **Li** > Zr = **Co** > **Ga** > **Pb** > **Be**.

Содержание минеральных веществ в растениях весьма изменчиво, но их состав сильно контролируется генетически. Об этом свидетельствуют практически одинаковые содержания в цветах не только биофильных K, Na, P, B, Cu и Zn, но также Si и Ti как условно биофильных элементов, которые редко определяют в растениях (табл. 5.7, рис. 5.2). Некоторые из найденных элементов являются окислительно-активными, что делает их незаменимыми в качестве каталитически активных кофакторов в ферментах, другие обладают активирующими ферменты функциями, а третьи выполняют структурную роль в стабилизации белков. Участие каждого элемента в биосинтезе многочисленных летучих органических соединений растений этого вида ещё требует объяснения. В цветах растений *Thymus serpyllum* L., и *Thymus baikalensis* Serg. L., произрастающих в разных природно-климатических условиях, содержания V, Mn, Ba, Sr и Al варьируют не более чем в два раза. Для монгольского вида накопление Si, Al, Fe, Na, Ba, Be, Co, Cr, Ga, Ni, Pb, Sr и V в цветах меньше, чем в корнях (рис. 5.3а). Содержание большинства элементов в цветах байкальского чабреца оказалось меньше, чем в почве, но больше чем в корнях (рис. 5.3б). Высокая влажность вблизи оз. Байкал по сравнению с сухим степным климатом Монголии способствует переносу элементов из почвы в растения.

Оценка роли каждого микроэлемента в растениях вида *Thymus* L. требует изучения их связей с качественным и количественным составом органических соединений, синтезируемых растениями. По этой причине однозначное толкование отношений микроэлементов и состава органических соединений сделать трудно. Ещё предстоит установить, какие соединения кремния и других элементов, накапливаемых в растениях вида *Thymus* L., необходимы для ферментогенеза и биосинтеза многочисленных летучих лекарственных органических соединений и как их состав и количество повлияют на экологический отклик растения.

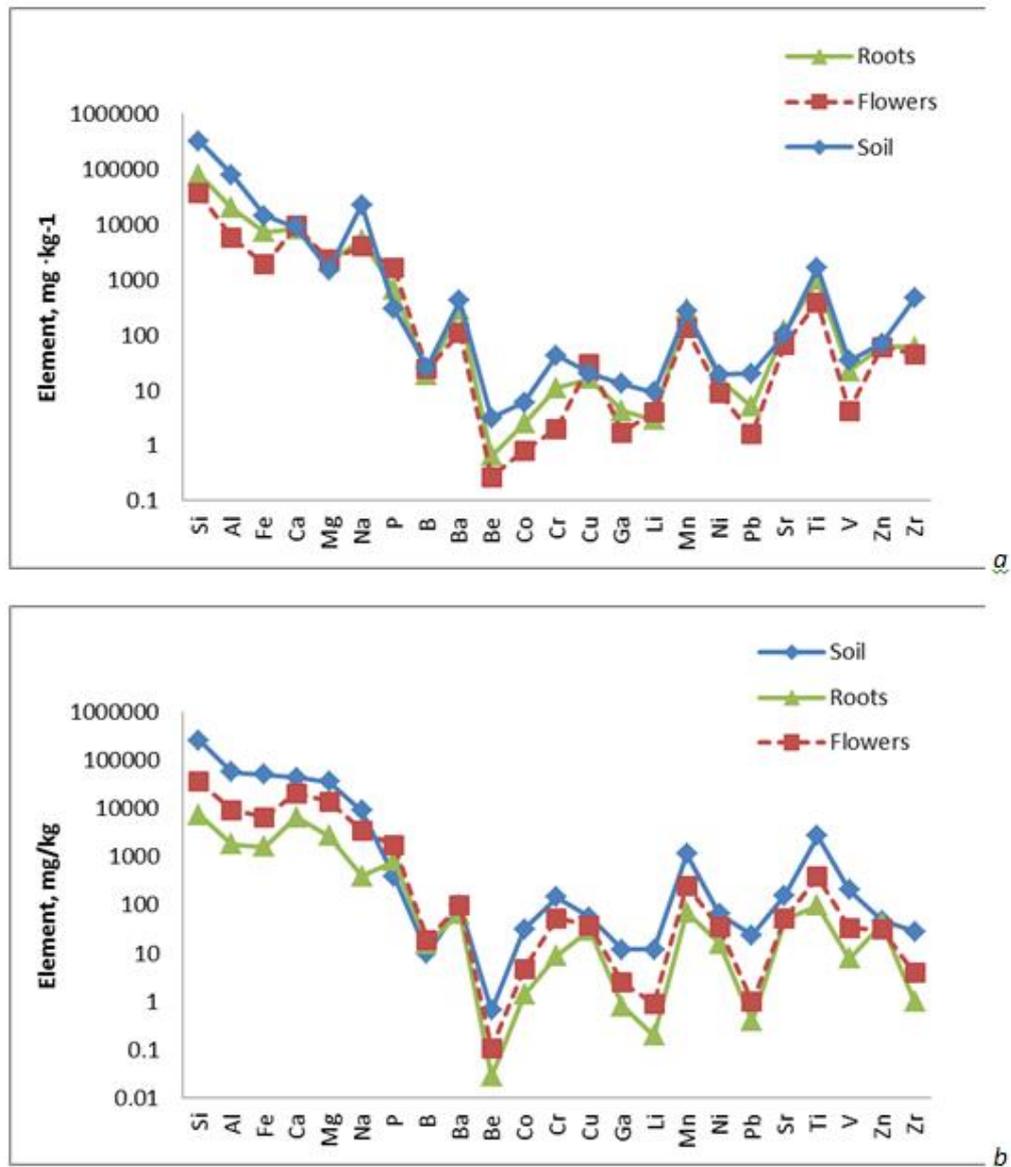


Рисунок 5.3. Элементные профили в почве, корнях и цветах растений:
 а – *Thymus serpyllum* L. (район Налайх, Улан-Батор, Монголия);
 б – *Thymus baikalensis* Serg., L. (оз. Байкал, Иркутская обл., Россия)

Применение интегральных биохимических характеристик растений для оценки загрязненности территорий их произрастания

При изучении элементного состава растений методикой АЭС-ДР одновременно были определены содержания элементов 24 элементов. Некоторые из них используют для расчета интегральных характеристик при описании таких биохимических процессов в растениях как фотосинтез, ферментогенез и уровень загрязнения токсичными элементами. В таблице 5.8 представлены расчетные отношения на основании измеренных содержаний биофильных и токсичных элементов в пробах древесных и травянистых растений.

Таблица 5.8 – Данные по усредненным выборкам, характеризующие биохимические процессы в растениях

Биохимический процесс и его качественная характеристика	Растение	Корень	Стебель	Листья	Цветы
Фотосинтез – Fe/Mn	Подорожник	Не происходит	*	26.3**	21.5**
	Одуванчик			27.1**	27.6**
	Одуванчик (фон)			9.1	13.5
	Чабрец (фон)		16.5	19.1	15.9
	Чабрец (Байкал)		20.8	17.3	28.3
	Лиственница			6.6	
	Тополь			6.3	
Ферментогенез – Cu/Zn	Подорожник	0.33		0.73	0.59
	Одуванчик	0.47	0.47	0.58	0.38
	Одуванчик (фон)	0.25		0.39	0.38
	Чабрец (фон)	0.26	0.39	0.29	0.48
	Чабрец (Байкал)	0.59	0.48	0.67	0.77
	Лиственница		0.17	0.19	
	Тополь		0.36	0.20	
Токсичность – Pb/Mn	Подорожник	0.038		0.056	0.083
	Одуванчик	0.043	0.059	0.054	0.041
	Одуванчик (фон)	0.021		0.006	0.009
	Чабрец (фон)	0.021	0.021	0.010	0.016
	Чабрец (Байкал)	0.007	0.013	0.005	0.005
	Лиственница		0.024	0.014	
	Тополь		0.028	0.020 (0.0054; 0.041; 0.014)	

Примечание. * – пустые клетки таблицы – не данных; ** – данные, возможно, завышены из-за недостаточной очистки листьев и цветов от мелких частиц городской почвы (пыли).

Следует отметить, что фотосинтез растений осуществляется в хлоропластах – полуавтономных двухмембранных органеллах, относящихся к классу пластид. Хлоропласты содержатся в клетках стеблей, плодов, чашелистиков, однако основным органом фотосинтеза является лист. Он анатомически приспособлен к поглощению энергии света и ассимиляции углекислоты. Для успешного протекания фотосинтеза растениям необходимы углекислый газ; солнечный свет; тепло (температура) и вода. Эти условия близки для стеблей, листьев и цветов чабреца, который бы отобран на фоновых почвах в монгольской степи и на побережье оз. Байкал. Средние значения отношения Fe/Mn составили 17.2 ± 1.9 и 19.7 ± 3.7 . Повышение показателя для растения у озера, возможно, связано с более высокой влажностью почвы и воздуха. Для одуванчика на фоновой почве монгольской степи средняя характеристика несколько ниже 11.3 ± 4.3 , что объясняется не только аридностью климата, но и видовыми особенностями этого вида растения. Для подорожников и одуванчиков с городских газонов отношение Fe/Mn составило 23.9 ± 4.7 и 27.4 ± 0.5 , превысив почти в два раза показатель для фонового одуванчика. Это несоответствие, вероятнее всего, можно объяснить тем, что мелкие частицы почвы (пыль) не

удалось полностью отмыть водой с листьев и цветов растений, при этом содержание Fe в городской почве было на 80 % больше, чем в фоновой.

Характеристики фотосинтеза для листьев тополя и хвои лиственницы практически одинаковы и существенно ниже, чем у травянистых растений. Как известно, воздух городов содержит мелкодисперсную пыль, а её количество в воздухе зависит от высоты кроны дерева. Истинное содержание элементов в мелкой хвое лиственницы и липких листьях тополя, которые трудно полностью отмыть водой от частиц почвы, закрывающей дыхательные устья [Кошелева и др., 2013].

Ферментогенез, выраженный через отношение Cu/Zn – условно-эссенциальных элементов, в разных вегетативных органах растений разных видов варьирует незначительно. Необходимо отметить, что он частично повторяет предыдущий показатель, т.к. не только катионы меди и цинка, а также и многих металлов катионы металлов (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} и др.), а также анионы Γ^- , Br^- , Cl^- активируют реакции образования ферментов и белков. Вероятно, что учет в показателе только валовых содержаний меди и цинка приводит к его низкой контрастности, мало отражает условия произрастания и видовые особенности древесных и травянистых растений.

Токсичные элементы подавляют (ингибируют) действие ферментов, отвечающих за обеспечение жизненных функций клеток растений. Их синтез связан с наличием необходимого количества форм присутствия биофильных элементов. Поэтому отличие показателя токсичности (отношение содержаний токсичного свинца и биофильного марганца) меняется для изученных фоновых и городских растений до 10 раз и даже более. Для травянистых растений получены более контрастные значения по сравнению с древесными.

Таким образом, использованные показатели биохимических процессов в растениях служат только для качественной характеристики направления их протекания в природно-техногенных экосистемах.

Выводы

Предложенная рациональная схема анализа образцов сопряженных сред "почва – растение" при выявлении геохимических особенностей почвенного покрова г. Улан-Батор и установлении элементных профилей разновидовых растений, произрастающих в разных почвенно-климатических условиях, показала свою полноту и состоятельность.

Исследован элементный состав сопряженных сред "почва – растение" г. Улан-Батор: 18 проб почв и 42 проб растений, отобранных в районах Баянзурх, Сухэ-Батор, Хан-Уул, Чингэлтэй и Налайх. Оценивание степени загрязнения почв с использованием древесных и травянистых растений в качестве индикаторов выявило только точечные потенциально опасные участки. Кроме этого, малый объем выборки проб не позволил выполнить картирование территории и выбрать растения наиболее чувствительные к загрязнению почв и воздуха.

Были изучены геохимические распределения 24 биофильных и токсичных элементов в почвах и вегетативных органах древесных насаждений: тополь (*Pópusulus trémula*) и лиственница (*Lárix sibirica*), а также многолетних травянистых растений: одуванчик обыкновенный

(*Taraxacum officinale*, *Taraxacum vulgare*), подорожник (*Plantaginaceae*) и чабрец (*Thymus serpyllum*).

Установлены ряды распределения элементов в последовательностях "почва – ветки – листья (хвоя)" для древесных растений и "почва – корни – стебли – листья – цветы" для травянистых растений.

Таблица 5.9 – Процентный элементный состав листьев в зависимости от состава почвы

Накопление элементов, % от содержания в почве	Растение			
	Лиственница (<i>Lárix sibirica</i>)	Топольтрещущий (<i>Pópulus trémula</i>)	Подорожник (<i>Plantaginaceae</i>)	Одуванчик (<i>Taraxacum officinale</i> , <i>Taraxacum vulgare</i>)
Эссенциальные, (почти безбарьерный перенос), 80 – >100 %	P (340) B (110)	P (340) B (230) K (88)	P (280) Cr (140) B (80)	P (290) K (190) Ca (150) B ~ Cu (100)
Эссенциальные, условно-эссенциальные и условно-токсичные элементы, 70 – 10 %	Zn (61) Cr~K(53) Na~Mn (33) Cu~Sr (30) Ni~Mg (20) Ca (17)	Mg~Ca (60) Zn (54) Cu (40) Mn~Sr~Cr (30) Ni (20)	Ca (60) K~Sr~Mg~ Ni ~ Zn (40) Cu (20) Mn~ Na~Ba (12)	Cr (65) Sr ~ Mg ~ Zn (40) Na (30) Mn ~ Ni (20) Ba (15)
Токсичные элементы, <10%	Pb (7.7) Ba (5.2) Co (4.2) Fe (2.7) Li (2.3) Be (1.9) Ga (1.7) V~Ti (1.6) Zr (1.3) Al (1.2)	Co (6.8) Na (5.9) Pb ~ Ba (3.7) Fe ~ Si (~3) Be ~ Ti (2.2) Ga (2.0) Al (1.8) V (1.4) Zr (1.2) Li (1.1)	Fe ~Ti ~ Li (9-7) Cu ~ V ~ Ga ~ Pb ~ Si ~ Be ~ Co ~ Al ~ Zr (6-3).	Ga ~ Si ~ Fe (10-9) Co ~ Pb ~ V ~ Al ~ Ti ~ Be (8-7) Li ~ Zr (5)

Рассчитанные процентные количества элементов в листьях растений, характеризующих перенос биофильных элементов из почвы в растения безбарьерно, а также условно-биофильных, условно-токсичных или токсичных элементов, поступающих через корневой барьер, зависят от видовых особенностей и состава почвы (табл. 5.9).

Показано, что для изученных **травянистых растений в последовательности "почва – корни – стебли – листья – цветы"** список химических элементов и их накапливаемое количество зависят от содержания элементов в почве, видовых особенности растений и природных ландшафтно-климатических условий.

Установлено, что растения вида *Thymus L.* максимально накапливают Si в надземных органах, что свидетельствует о необходимости этого элемента в жизненном цикле, выработанном в ходе эволюционного развития.

Сходство элементных профилей цветов указывает на преобладание генетической устойчивости растений вида *Thymus L.* и менее значимое влияние почвенно-климатических условий произрастания. Высокая влажность почв и воздуха вблизи оз. Байкал по сравнению с сухим степным климатом Монголии способствует переносу элементов из почвы в растения.

При разных абсолютных содержаниях элементов в цветах средние звенья элементных профилей сохраняются постоянными. Ряд элементов отвечает за окислительно-восстановительные процессы, связанные с переносом электрона, что делает их незаменимыми в качестве каталитически активных кофакторов в ферментах, другие обладают активирующими ферменты функциями, а третьи выполняют структурную роль в стабилизации белков. Элементы Pb, Co, Ga и Be токсичны для растений вида *Thymus* L. Участие каждого элемента в биосинтезе многочисленных летучих органических соединений растений рода *Thymus* L. ещё требует объяснения.

Для оценки уровня загрязнения токсичными элементами растений использованы интегральные характеристики описания биохимических процессов, выраженные через отношения валовых содержаний Fe/Mn, Cu/Zn и Pb/Mn. Показано, что их численные значения зависят от особенностей поверхности вегетативных органов растений и качества их пробоподготовки к анализу. Если учитывать эти факторы, то расчет этого показателя фотосинтеза (Fe/Mn) отражает особенности окислительно-восстановительных реакций и синтез хлорофилла в хлоропластах, характерные для листьев и цветов растений одного вида, и информативен для экологической оценки. Однако неясно, как этот показатель применять, если сравнивать древесные и травяные растения, отобранные на территориях с разным уровнем загрязнения почвы и воздуха.

Показатель интенсивности ферментогенеза Cu/Zn является мало контрастным, вследствие того, что направление синтеза и деструкции белков зависит от присутствия в растениях большого числа химических элементов. В этом показателе их влияние не учтено. Использовать такую характеристику ферментогенеза не целесообразно.

Показатель токсичности – отношение содержаний токсичного и биофильного элементов Pb/Mn – имеет высокую контрастность и полезен для оценки экологического состояния по листьям (цветам) как травянистых, так и древесных растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование почвенно-растительного покрова г. Улан-Батор в период 2010-2019 гг. позволило изучить взаимоотношения между макро- и микроэлементами, установить источники поступления микроэлементов в поверхностные почвы и растения. Кроме этого, были выявлены закономерности миграции и аккумуляции химических элементов в почвенно-растительном покрове города.

Особенность почв города заключается в их формировании на различных по литологическому составу отложениях (C₁₋₂, Q_{III-IV} и N) под воздействием различных элементов географической среды, и, как следствие, они варьируют по типам: горный чернозём, аллювиальные и каштановые почвы. Город состоит из девяти районов с промышленными, транспортными, селитебными и рекреационного назначения зонами, которые не всегда имеют чёткое разделение. На всей территории города почвы обогащены бытовыми и промышленно-строительными отходами, что влияет на состояние растительного покрова. Для Улан-Батора характерно два типа селитебных зон (многоэтажная и юрточная застройка) и растительный покров на этих территориях изменяется от природного и искусственно восстановленного до полностью уничтоженного: восстановленный покров – на территории многоэтажной застройки; скудный природный покров переходит в полностью уничтоженный в юрточных районах. При этом зоны рекреационного назначения (парки, скверы) занимают менее 5 % территории города и соседствуют только с многоэтажной застройкой.

Для изучения валового состава городских почв и произрастающих на них растений, концентраций подвижных форм элементов, экстрагируемых аммонийно-ацетатным буфером из почв, были рассмотрены разные варианты сочетания методов/методик рентгенофлуоресцентного, атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного спектрометрии, а также оценены показатели информативности этих схем. На основе показателя информативности составлены рациональные схемы химического анализа образцов сопряжённых сред "почва – растение" (табл. 2.6), с помощью которых одновременно определяется широкий круг элементов с пределами определения ниже значений их регионального фона. В работе определены валовые содержания 37 ХЭ и форм нахождения 26 биофильных и токсичных элементов. При выявлении геохимических особенностей почвенного покрова г. Улан-Батор и установлении элементных профилей разновидовых растений, произрастающих в разных почвенно-климатических условиях, предложенные рациональные схемы показали свою полноту и состоятельность. Полученная первичная геохимическая информация позволила: выполнить картирование распределения валовых содержаний и подвижных форм элементов; оценить степень загрязнения почв; установить источники загрязнений с помощью многомерных методов статистического анализа данных.

Взаимоотношения между макро- и микроэлементами, источники поступления микроэлементов в поверхностные почвы и растения исследованы с помощью последовательного применения процедур статистического анализа данных по полученной

аналитико-геохимической информации для более 600 проб почв и растений, отобранных в 2010, 2011, 2017 и 2019 гг.

Результаты разведочного анализа данных охарактеризовали поведение химических элементов, как типичное для городских почв, и указали на наличие одного или более источников поступления потенциальных поллютантов. За весь период исследования, среднее медиальное значение валовых содержаний большинства элементов (Si, Fe, Ti, Na, K, P, S, F, Ba, Sr, Rb, Ni, Be, Ga, Bi, As, Zr) по городу сопоставимо с результатами, полученным с фоновых территорий. Валовые содержания Ca, Mg, Mn, Co, V, Tl и Cd – ниже, а медиальные значения валовых содержаний Al, Sr, B, Cr, W, Mo, Sn, Pb, Cu, Zn, Ag, Ge, Sb – выше, косвенно указывая на накопление. При этом, найденные валовые содержания Mn, V, Zn, Ni и Sn сопоставимыми с ранее опубликованными данными [Кошелева и др., 2010]. Показано антропогенное влияние на накопление в почвах содержаний Cr, Cu, Pb, Mo, Sn Sb, Zn. Кроме этого, значительные изменения в содержаниях токсичных и потенциально токсичных химических элементов в аммонийно-ацетатных вытяжках из исследуемых почв подтверждают наличие точечных загрязнений.

Надёжность выявления потенциальных загрязнителей городских почв тесно связана с определением их геохимической структуры, отражающей основные характеристики подстилающих пород. Информация о макросоставе почв необходима при изучении механизмов закрепления микроэлементов (процессы сорбции, окисления-восстановления) на геохимических барьерах, т.е. образования новых алюмосиликатных, железистых, карбонатных и марганцевых минералов. Изучение миграции микроэлементов с учётом поведения макроэлементов позволяет однозначно выявить источники загрязнения почвы, охарактеризовать их природное и/или антропогенное происхождение и оценить класс опасности заражения поверхностных почв г. Улан-Батор с помощью геостатистического анализа данных (корреляционный, кластерный и факторный анализ). Результаты этих статистических методов значительно зависят от структуры изучаемых данных. Незначительное изменение структуры или отсутствие в ней каких-либо данных могут привести к искажённым или ошибочным экологическим выводам. В ходе обработки аналитических данных было изучено влияние структуры данных на результаты кластерного и факторного анализа показано, что для надёжного выявления источников загрязнения почв, в выборку данных необходимо обязательно включать показатели рН и $C_{орг}$. С помощью кластерного анализа выделены группы макроэлементов, отражающие различные фракции почв и основные черты почвенного покрова в каждом районе города, подтверждая ранее установленную геохимическую структуру почв с помощью дорогостоящих аналитических исследований другими исследователями [Баярсайхан, 2009; Amarsaikhan et al., 2014; Amgalan et al., 2016]. Также выявлено несколько типов геохимических барьеров для микроэлементов на территории города.

Выводы об экологическом состоянии почвенной среды г. Улан-Батор сделаны с помощью индексов загрязнения (PI , I_{geo} – индивидуальные и Zc и IPI – комплексные) и интегральных характеристик биохимических процессов в растениях (фотосинтез,

ферментогенез и уровень загрязнения токсичными элементами, через отношения валовых содержаний Fe/Mn, Cu/Zn и Pb/Mn, соответственно), а дополнительное свидетельство правильности выделения очагов заражения – геостатистическим оцениванием на основе факторного анализа.

Оба индивидуальных индекса выделяют одни и те же наборы элементов-загрязнителей, которые подтверждены статистическим разведочным анализом, их оценки степени опасности отличаются. Расхождение в классах может быть связано с отсутствием учёта погрешности аналитических данных в индексе PI . Введение постоянного множителя при вычислении индекса I_{geo} и увеличение числа классов загрязнения, частично минимизирует погрешности данных. Пробы, признанные заражёнными, представляли разные функциональные зоны (промышленная, транспортная, селитебная, рекреационная) во всех районах города.

В основе расчётов комплексных индексов Zc и IPI лежит индекс единичного загрязнения (PI). Однако в индексе Zc есть поправка на число накапливаемых в почвах химических элементов, т.е. для которых показатель $PI_i > 1.0$, что обеспечивает разное число классов уровня загрязнения почв: для индекса IPI только четыре, для Zc – пять. Более детальные оценки предпочтительнее при мониторинге состояния почв. Уровень загрязнения почвенного покрова города, согласно комплексным индексам варьирует от "неопасного" до "чрезвычайного высокого". Однако значительная часть почв города находится в относительно благоприятной экологической ситуации (рис. 4.1 и 4.2).

При оценивании степени загрязнения городских почв применение показателя фотосинтеза (Fe/Mn) затруднено из-за его зависимости от особенностей поверхности вегетативных органов растений и отсутствия критерия сравнения между собой древесных и травяных растений, отобранные на территориях с разным уровнем антропогенного влияния. Использование показателя интенсивности ферментогенеза (Cu/Zn) не целесообразно из-за малой контрастности этой оценки, так как синтез и деструкции белков зависят от большого числа ХЭ, а не только меди и цинка. Показатель токсичности (Pb/Mn) является наиболее контрастным (вариации до 10 раз и более) и применим к листьям (цветам) как травянистых, так и древесных растений. Оценивание степени загрязнения почв с использованием древесных и травянистых растений в качестве индикаторов выявило только точечные потенциально опасные участки. Тем не менее показатели биохимических процессов характеризуют состояния почв только качественно из-за особенностей почвенно-растительного покрова г. Улан-Батор.

Наиболее информативными оценками признаны: для почв – комплексный индекс Zc ; для растений – показатель токсичности.

При определении 24 биофильных и токсичных элементов в почвах и вегетативных органах растений были установлены ряды распределения элементов в последовательностях "почва – ветки – листья (хвоя)" для древесных растений (тополь *Pópulus trémula* и лиственница *Lárix sibirica*) и "почва – корни – стебли – листья – цветы" для травянистых растений (одуванчик *Taráxacum officinále*, *Taráxacum vulgaris*, подорожник *Plantaginaceae*

и чабрец *Thymus serpyllum*), а также впервые рассчитаны процентные количества элементов в корнях и листьях выбранных травянистых растений, характеризующих влияние корневого барьера на перенос из почвы в растения биофильных, условно-биофильных и потенциально токсичных элементов. Кроме этого, сопоставлены элементные профили чабреца, произрастающего в монгольской степи (Цонжин-Болдог, р-н Налайх) и на побережье оз. Байкал (пос. Сахюрта, Иркутская обл., Россия). Высокая влажность вблизи озера по сравнению с сухим степным климатом Монголии способствует переносу элементов из почвы в растения. Сходство элементных профилей цветов указывает на преобладание генетической устойчивости растений вида *Thymus* L. и менее значимое влияние почвенно-климатических условий произрастания. Однако малый объём выборки проб растений не позволил выполнить картирование территории и выбрать растения наиболее чувствительные к загрязнению почв.

В качестве наиболее заражённых территорий города с помощью индексов выделяются районы Чингэлтэй, Хан-Уул и Сухэ-Батор. В течение всего периода наблюдений эколого-геохимическая обстановка оставалась неизменной для почв районов Чингэлтэй, Сухэ-Батор и Баянгол, т.е. для территорий, где присутствуют юрточная застройка, высокая заселённость, плотная речная сеть, а также преобладают грунтовые дороги и происходит опесчанивание почв. Центральная часть города из-за преобладающих направлений ветра (западное, северо-западное, юго-западное и северное) оказывается под угрозой заражения продуктами горения угля со стороны районов юрточной застройки (северная часть города) и ТЭС-3 (западная часть города).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
- Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ: Пер. с англ / Ю.Ф. Кичатова, Е.С. Кочеткова, Н.С. Райбмана. Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Гос. Изд.во Физ-мат литературы, 1963. – 500 с.
- Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В., Убонова Л.В. Моделирование распределения антропогенных примесей в атмосфере крупных городов Монголии (Улан-Батор, Дархан) // Известия Иркутского государственного университет. Сер. Науки о Земле. – 2009. – Т. 1. - № 1. – С. 12-24
- Аргучинцева А.В. Аргучинцев В.К., Убонова Л.В. Моделирование распределения антропогенных примесей в пограничном слое атмосферы города Улан-Батора // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 55-59.
- Аргучинцева А.В., Аргучинцев В.К., Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа. О распространении пыли в атмосфере г. Улан-Батор // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. – 2011. – Т. 4. – № 2. – С. 17–27.
- Аржанова В.С. Геохимические методы при экологической оценке состояния природной среды // География и природные ресурсы. – 1996. – № 2. – С. 133–140.
- Батхишиг О. Почвенно-геохимические особенности долины р. Туул: автореф. дис. ... канд.геогр. наук: 01.07.04 (география почв и геохимия ландшафтов) / Батхишиг Очирбатын. Улаанбаатар, 1999. – 23 с.
- Батхишиг О., Голованов Д.Л., Гунин П.Д., Ариунболд Е., Бажа С.Н., Данжалова Е.В. Субаэральное ощелачивание почв – один из механизмов опустынивания ландшафтов на южной границе сухих степей центральной Монголии // Геохимия ландшафтов и география почв: Док. Всерос. науч. конф. – 2012. – 368 с (с. 52-53).
- Баярсайхан Г. Исследования загрязнения почвы на территории г. Улан-Батора // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009б. – С.100-105.
- Баярсайхан Г. Методы и методология экологического исследования урбанизированной территории г. Улан-Батора // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009а. – С. 239-241.
- Береснева И.А. Климаты аридной зоны Азии. – М.: Наука, 2006. – 285 с.
- Болдын Бат. Оценка и прогнозирование устойчивости геологической среды к природным и техногенным воздействиям территории города Улан-Батора: дис. ... канд. геолого-мин. наук: 25.00.08 / Болдын БАТ. – Иркутск, 2004. – 146 с.
- Бямбасурэн Ц., Очирбат Г., Шабанова Е.В., Васильева И.Е. Характеризация геохимических особенностей почвенного покрова г.Улан-Батор методами многомерного статистического анализа // Современные направления развития геохимии: сб. всерос. конф. / Иркутск (21-25 ноября 2022 г.) – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2022. – В 2-х томах. – Т. 1. – с. 82-86.
- Бямбасурэн Ц., Шабанова Е.В., Васильева И.Е., Корольков А.Т., Очирбат Г., Хуухэнхуу Б. Экологическое описание почв г. Улан-Батора с помощью методов многомерного статистического анализа // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: Тр. VII Всерос. симп. с междунар. участием и XIV Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. / Отв. ред. Г.А. Юргенсон – 2018а. – С. 122-128.

- Бямбасурэн Ц., Шабанова Е.В., Корольков А.Т., Васильева И.Е., Очирбат Г., Хуунхэнхуу Б. Распределение микроэлементов в почвах г. Улан-Батора // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. – 2018б. – Т. 26. – С. 31-45.
- Бямбасурэн Ц., Шабанова Е.В., Пройдакова О.А., Васильева И.Е., Хуунхэнхуу Б., Отгонтуул Ц., Гуничева Т.Н. Изучение степени загрязнения почвенного покрова города Улан-Батор. Современные проблемы геохимии // Современные проблемы геохимии: Материалы Всерос. совещ. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2012. – В 3-х томах. – Т. 1. – С. 128-131.
- Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Определение микроэлементов в растениях методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23. – № 3. – С. 298-313.
- Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Стандартные образцы растительных материалов – инструмент обеспечения единства химических измерений // Журнал аналитической химии. – 2021. – Т. 76. – № 2. – С. 99-123.
- Виноградов, А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-571.
- Водяницкий Ю.Н. Органическое вещество в городских почвах (Обзор литературы) // Почвоведение. – 2015. – № 8. – С. 921-931.
- Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах. Почвоведение. – 2014а. – № 4. – С. 420-432.
- Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010а. – 156 с.
- Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 164 с.
- Водяницкий Ю.Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах (обзор литературы) // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 551-559.
- Водяницкий, Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 368-375.
- Водяницкий, Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 88-96.
- Водяницкий, Ю.Н. Состояние и поведение природных и техногенных форм As, Sb, Se, Te в рудных отвалах и загрязненных почвах (Обзор литературы) // Почвоведение. – 2010б. – № 1. – С. 1-10.
- Водяницкий, Ю.Н. Учет геохимических особенностей территории и погодных условий при нормировании тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. – 2014б. – № 2. – С.66-72.
- Водяницкий, Ю.Н. Формы цинка в загрязненных почвах (Обзор литературы) // Почвоведение. – 2010в. – № 3. – С. 293-302.
- Гантомор С. Геоэкологическая оценка урбанизированной территории на основе ландшафтно геохимического подхода (на примере г. Улан-Батора): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Самбуу Гантомор. Хабаровск, 2013. – 19 с.
- Геология Монгольской народной республики. Т. 1. Стратиграфия / гл. ред. Н.А. Маринов. – М.: Наука, 1973. – 584 с.
- Геоморфология Монгольской Народной Республики // Тр. Совмест. сов.-монг. н.-и. геол. экспедиция. Вып. 28 / под ред. Н.А. Флоренцова, С.С. Коржуева. – М.: Наука, 1982. – 259 с.

- Герасимов И.П., Ногина Н.А., Доржготов Д. Почвенный покров и почвы Монголии. – М.: Наука, – 1984. – 194 с.
- Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / под ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.
- Гольдшмит В.М. Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах // Геохимия редких элементов. – М.-Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1930. – С. 215-242.
- Гордиенко И.В., Минина О.Р., Ветлужских Л.И., Медведев А.Я., Одгэрэл Д. Хэнтей-Даурская складчатая система Монголо-Охотского пояса (магматизм, седиментогенез, геодинамика) // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9. – № 3. – С. 1063-1097.
- Гордиенко И.В., Минина О.Р., Ветлужских Л.И., Елбаев А.Л., Томуртогоо О., Одгэрэл Д., Ариунчимэг Я. Хэнтей-Даурская активная континентальная окраина Монголо-Охотского океанического бассейна (осадконакопление, магматизм, геодинамическая эволюция) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2017. – № 15. – С. 59-61.
- Грубов В.И. Флора и ботанико-географическое районирование МНР / Вопр. Географии. – М.: Географгиз, 1954. – Т. 35. – С. 172-201.
- Гунин П.Д., Евдокимова А.К., Бажа С.Н., Сандарь М. Социальные и экологические проблемы монгольского этноса в условиях урбанизированных территорий Улан-Батор. – М.: РАСХН, 2003. – С. 61-95.
- Даваабаатар, Ж., Баярсайхан, Г., Цугленок, Н.В. Экологическое плодородие каштановых почв Монголии // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 4. – С. 51-53.
- Даваасурэн Д., Чонохуу С., Бямба О., Доржсурэн Б., Ганхурэл Б., Ганхуяг Х., Гэрэлмаа Т. Воздействие на окружающую среду зольного хранилища тепловой электростанции на примере Монголии. – М.: Молодой учёный, 2015. – Ч. 1. – Т.22. – № 102. – 122 с. (С. 63-71).
- Давыденко Т.Н., Давыденко О.Н., Пискунов В.В., Болдыров В.А. Многомерные методы статистического анализа данных в экологии: учебное пособие. – Саратов: Изд-во Саратов ун-та, 2006. – 56 с.
- Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: Теория и Практика / под ред. Р. В. Арутюняна. – М.: Наука, 2010. – 327 с.
- Добровольский, Г.В. О некоторых методологических проблемах классификации и географии почв: к истории дискуссии 1960-хх гг. в почвоведении // Пространство и Время. – 2013. – Т. 1. – № 11– С. 149-154.
- Доржготов Д. Классификация почв Монголии. – Улан-Батор, 1976. – 170 с.
- Доржготов Д. Основные черты географии почв Северной Монголии и характеристика степных почв: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 01.07.04 (география почв и геохимия ландшафтов) / Доржготов Дэчингунгаагийн. Улан-Батор, 1973. – 24 с.
- Доржготов Д., Батхишиг О. Почвенно-геохимические исследования Монголии // Геохимия ландшафтов и география почв: докл. Всерос. науч. конф. – 2012. – 368 с. (с. 107–108).
- Еремченко Н.В., Митракова И.Е., Шестаков И.Е. Природно-техногенная организация почвенного покрова территории воздействия солейотвалов и шламохранилищ в соликамскоберезниковском экономическом районе // Вестник пермского университета. – 2017. – № 3. – С. 412-420.

- Еремченко О.З. Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Монография: – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. – 252 с.
- Ильин В.Б., Коярбаева Г.А. Таллий в почвах юга западной Сибири // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 701–705.
- Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. под редакцией д-ра геол.-мин. наук Ю.Е. Саета – М.: Мир, 1989. – 439 с.
- Калинина В.Н., Соловьев В. И. Введение в многомерный статистический анализ: Учебное пособие. – М., ГУУ, 2003. – 92 с.
- Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Евдокимова А.К., Голованов Д.Л., Пиковский Ю.И. Улан-Батор (теплоэнергетика). Межгорная котловина / Города лесостепной и степной зон // Экогеохимия городских ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 231-248.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. университета, Сер. География. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 7-17.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Энх-Амгалан С. Эколого-геохимическая оценка состояния древесной растительности в г. Улан-Батор (Монголия) // Аридные экосистемы. – 2011а. – Т. 17. – № 4 (49). – С. 14-31.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Энх-Амгалан С. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // Почвоведение. – 2011б. – № 7. – С. 771-784.
- Касимов Н.С., Перельман А.И. Геохимическая систематика городских ландшафтов // Вестник Моск. университета, Сер. География. – 1994. – № 4. – С. 36-42.
- Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олфендерфер М.С., Блэшвилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / пер. с англ., под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
- Клебанович Н.В., Киндеев А.Л. Геостатистическая оценка вариабельности свойств почв // Вестник удмуртского университета. – 2018. – Т. 28. – № 1. – С. 91–102.
- Ковалевский А.Л. Биогеохимия растений. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 294 с.
- Кошелева Н. Е., Касимов Н. С., Бажа С. Н., Гунин П. Д., Голованов Д. Л., Ямнова И. А., Энхамгалан С. Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии // Вестник Моск. Университета. Сер. 5. География. – 2010. – № 3. – С. 20-27.
- Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажа С.Н. Геохимия ландшафтов Улан-Батор // Известия РАН. Сер. географ. – 2013. – Т. 674. – № 5. – С.109-124.
- Маринов Н.А. Геологические исследования Монгольской Народной Республики. - М.: Недра, 1967. – 842 с.
- Мешалкина Ю.Л., Васенев И.И., Кузякова И.Ф., Романенков В.А. Геостатистика в почвоведении и экологии – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2010. – 95 с.
- Монгол Улсын статистикийн эмхэтгэл - 2021. Монголын статистикийн үндэсний хороо, Улаанбаатар, – 2022. – 792 с. (Статистический ежегодник Монголии - 2021. Национальное статистическое управление Монголии)
- Монгол улсын шинэ үндсэн хууль: Арван зургадугаар зүйл-18, Улаанбаатар хот, 1992. – 22 с. (Новая конституция Монголии: - ст. 16-18).
- Мурзаев, Э.М. Монгольская Народная Республика: Физико-географическое описание. – М.: Географгиз, 1952. – 472 с.

- Мунхуу Алтанцэцэг. Геоэкологическая оценка территории г. Улан-Батора в границах пойменно-террасового комплекса р.Туул: автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 25.00.36 (геоэкология) / Мунхуу Алтанцэцэг. Барнаул, 2019. – 24 с.
- Мягмаржав Х., Энхжаргал Б., Одмаа Н. Содержание тяжелых металлов в почвах г. Улан-Батор (Монголия) // Природа Внутренней Азии (Nature of Inner Asia). – 2018. – Т. 2. – № 7. – С. 87-91.
- Национальный атлас Монгольской Народной Республики. Улан-Батор, – М.: ГУГК ГСК МНР – ГУГК СССР, 1990. – 144 с.
- Нийслэл Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах мастер төлөвлөгөөний суурь судалгаа. Боть I (Фундаментальное исследование генерального плана по снижению загрязнения воздуха в столице Улан-Батор, Т. I). – Улаанбаатар, 2018. – 100 с.
- Ногина Н. А. Своеобразие почв и процессов почвообразования в Центрально-азиатской фации // Почвоведение. – 1989. – № 9. – С. 5-14.
- Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1985. – 376 с.
- Остроумов Г.В., Кашина Т.А., Белова Т.Я., Любимова Л.Н., Соколовский Ю.А., Судаков А.Р. Оценка экономической эффективности аналитических методов // Заводская лаборатория. – 1988. – Т. 54. – № 4. – С. 1- 6
- Пансю М., Готеру Ж. Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа / пер.2-го англ. изд. Под ред. Д.А. Панкратова. – СПб: ЦОП "Профессия", 2014. – 800 с.
- Парибок Т.А., Созыкина Н.А., Тэмп Г.А. Содержание металлов в листьях деревьев в городе // Ботанический журнал. – 1982. – Т. 67. – № 11. – С. 1533–1539.
- Почва, город, экология / под общ. ред. Г.В. Добровольского. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.
- Почвенный покров и почвы Монголии. Биологические ресурсы и природные условия Монголии: труды совместной Советско-Монгольской комплексной биологической экспедиции. Т. 21 / Ред. И.П. Герасимов, Н.А. Ногина, Д. Доржготов. – М.: Наука, 1984. – 194 с.
- Почвоведение. В 2-х. Ч. 1. Почва и почвообразование / ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанов. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.
- Реутова Н.В., Джамбетова П.М. Одуванчик лекарственный (*Taraxacum Officinale* Wigg. S.L.) как удобный объект для генетического мониторинга загрязнения окружающей среды // Экологическая генетика. – 2006. – Т. IV. – № 3. – С. 1-4.
- Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды – М.: Недра, 1990. – 335 с.
- Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. – 132 с.
- Сарантуя Г. Оценка геоэкологической обстановки города Улан-Батора: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 01.07.04 / Сарантуя Гончигжавын. – Казань, 2005. – 23 с.
- Семендяева Н.В. Влияние сельскохозяйственного использования на свойства почв Западной Сибири / Рец. д-р с.-х. наук Н.И. Добротворская и д-р биол. наук Н.Н. Наплёкова. – Новосибирск, 2011. – 168 с.
- Середина В.П. Калий и почвообразование. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. – 354 с.

- Смирнов Н. Таблица для оценки согласия эмпирических распределений // *Анналы математической статистики*. – 1948. – Т. 19. – № 2. – Р. 279-281.
- Смирнова Е.В., Зарубина О.В. Определение макро- и микроэлементов в биологических стандартных образцах растительного и животного происхождения методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // *Стандартные образцы*. – 2014. – № 3. – С. 45-57.
- Соколова Т.А., Алексеева С.А. Поглощение почвами сульфат иона // *Почвоведение*. – 2008. – № 2. – С. 158–167.
- Сорокина О. И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23 (физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов) / О.И. Сорокина. – Москва, 2013. – 23 с.
- Сорокина О.И. Кошелева, Н.Е., Касимов Н.С., Голованов Д.Л., Бажа С.Н., Доржготов Д., Энх-Амгалан С. Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // *География и природные ресурсы*. – 2013. – № 3. – С. 159-170.
- Строганова М.Н., Агаркова М.Г. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) // *Почвоведение*. – 1992. – № 7. – С. 16-24.
- Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // *Почвоведение*. – 1997. – № 1. – С. 96-101.
- Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: монография / отв. ред. И. М. Гаджиев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 274 с.
- Сысо А.И. Российские гигиенические нормативы экологической оценки почв, их научная обоснованность и проблемы использования / *Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии*. – В 2-х томах. – Т. 1. – Барнаул, 2015. – С. 39-42.
- Теория и практика химического анализа почв / под редакцией Л.А. Воробьевой. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
- Убонова В.Л. Моделирование распределения антропогенных примесей в пограничном слое атмосферы города Улан-Батора. Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири // *Сб. науч. тр.* – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – С. 53-60.
- Уфимцева К.А. Почвообразующие породы // *Почвенный покров и почвы Монголии. Биологические ресурсы и природные условия Монголии: труды совместной Советско-Монгольской комплексной биологической экспедиции*. Т. 21 / Ред. И.П. Герасимов, Н.А. Ногина, Д. Доржготов. – М.: Наука, 1984. – 194 с. (С.15-21).
- Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.
- Чудновская Г.В. *Thymus Serpyllum* L. в Восточном Забайкалье // *Вестник КемГУ*. – 2013. –Т. 1. – № 4 (56). – С. 12-1519.
- Ц. Бямбасүрэн, Б. Хүүхэнхүү, Шабанова Е.В, Васильева И.Е, Г. Очирбат, Ц. Цэдэнбалжир. Индексийн аргуудыг хөрсний хүнд элементийн бохирдлын үнэлгээнд хэрэглэсэн үр дүнгээс. (Application of some assessment approaches to study of Ulaanbaatar surface soil pollution with heavy metals) // *Proceedings of the Mongolian Academy of Science*. – 2017a. – V. 57. – № 01(221). – p. 18-28.
- Ц. Бямбасүрэн, Б. Хүүхэнхүү, Шабанова Е.В., Васильева И.Е., Б. Энхзул. Улаанбаатар хотын өнгөн хөрсөн дэх хүнд элементүүдийн хөдөлгөөнт хэлбэрийн агуулгын судалгаа (Some results of investigation of mobile forms of heavy metals in Ulaanbaatar soil) // *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*. – 2017b. – V.57. – № 03(223). – P. 21-36.

- Шабанова Е.В., Бусько А.Е., Забанов Ю.А. Комплексование методов атомно-эмиссионной спектроскопии при анализе сопряжённых сред "порода – почва – вода – растение" // Современные проблемы геохимии: Материалы Всерос. совещ. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2012. – В 3-х томах. – Т. 2. – С. 275-278.
- Шабанова Е.В., Бямбасурен Ц., Очирбат Г., Васильева И.Е. Формирование структуры данных для выявления геохимических особенностей почв методами многомерного статистического анализа (на примере почв г. Улан-Батор) // Петрология и геодинамика геологических процессов: Материалы XIII Всерос. петрограф. совещания (с участием зарубежных ученых) – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, – 2021. – В 3-х томах. – Т. 3. – С. 219.
- Шестаков И.Е., Еремченко О. З., Филькин Т.Г. Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Пермь // Почвоведение. – 2014. – № 1. – с. 12–21
- Шеуджен А.Х. Содержание и формы соединений кальция в черноземе выщелоченном западного предкавказья в условиях агрогенеза // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – Т 105. – № 01. – С. 1-12.
- Шихова Н.С. Оценка функционального состояния зеленых насаждений и аккумуляции ими тяжелых металлов на городских озелененных территориях различного назначения // Сибирский экологический журнал. – 2019. – Т. 5. – С. 612–626.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
- Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского – М.: НИИ-Природа, 2013. – 310 с.
- Экосистемы Монголии: распространение и современное состояние // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: тр. Совмест. сов.-монг. н.-и. геол. экспедиция. Т. 39 / Отв. ред. П.Д. Гунин, Е.А. Востокова. – М.: Наука, 1995. – 223 с.
- Юфа Б.Я. Метрологическое обеспечение качества работ при региональных геохимических исследованиях. – Л.: М-во геологии СССР ВСЕГЕИ, 1979. – 54 с.
- Abbasse G., Ouddane B., Fischer J.C. Determination of total and labile fraction of metals in seawater using solid phase extraction and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 2002. – V. 17. – № 10. – P. 1354-1358.
- Adams F.C. Elemental speciation: where do we come from? where do we go? // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 2004. – V. 19. – № 9. – P. 1090-1097.
- Air Pollution in Ulaanbaatar. Initial assessment of current situation and effects of abatement measures. Discussion Paper. – The World Bank, 2009. – 146 p.
- Alekseenko V., Alekseenko A. The abundances of chemical elements in urban soils // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – № 147. – P. 245-249.
- Allen R.W., Enkhjargal G., Baldorj B. An assessment of air pollution and its attributable mortality in Ulaanbaatar; Mongolia // Air Quality, Atmosphere & Health. – 2013. – № 6. – P. 137-150.
- Amarsaikhan D., Battengel V., Nergui B., Ganzorig M., Bolor G. A study on air pollution in Ulaanbaatar city, Mongolia // Journal of Geoscience and Environment Protection. – 2014. – V. 02. – № 02. – P. 123-128.
- Amarsaikhan D., Blotevogel H.H., Ganzorig M., Moon T.-H. Applications of remote sensing and geographic information systems for urban land-cover change studies in Mongolia // Geocarto International. – 2009. – V. 24. – № 4. – P. 257-271.
- Amgalan N., Narantsetseg T., Shagijamva D. Valuations of elemental concentrations of particle matter in Ulaanbaatar, Mongolia // Open Journal of Air Pollution. – 2016. – V. 5. – № 4. – P. 160-169.

- Ander E.L., Johnson C.C., Cave M.R.A, Palumbo-Roe B., Nathanail C.P., Lark M.R. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil // *Science of the Total Environment*. – 2013. – V. 454-455. – Article. 604-18.
- Awadh S.M., Al-Kilabi J.A., Khaleefah N.H. Comparison the geochemical background, threshold and anomaly with pollution indices in the assessment of soil pollution: Al-Hawija, North of Iraq case study // *International Journal of Science and Research*. – 2013. – V. 4. – № 7. – P. 2357-2363.
- Badarch G., Cunningham W.D., Windley B.F. A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2002. – № 21. –P. 87-110.
- Barbieri M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination // *Journal of Geology & Geophysics*. – 2016. – V. 5. – № 1. – P. 1-4.
- Batjargal T., Otgonjargal E., Baek K., Yang J.-S. Assessment of metals contamination of soils in Ulaanbaatar, Mongolia // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – V. 184. – № 1-3. – P. 872-876.
- Batnum L., Enhmaa S. Ulaanbaatar hotiin aagar bohirduulah eh Uusveriin Uzleg, Toollogo Yavuulsan Tuhai Ajliih Tailan. – Ulaanbaatar, 2008. – P. 40-41.
- Batsaikhan B., Yun S.-T., Kim K.-H., Yu S., Lee K.-J., Lee Y.-J., Namjil J. Groundwater contamination assessment in Ulaanbaatar City, Mongolia with combined use of hydrochemical, environmental isotopic, and statistical approaches // *Science of the Total Environment*. – 2021. – № 765. – Article. 142790.
- Bilguun U., Namkhainyambuu D., Purevsuren B., Soyol-Erdene T. O., Tuuguu E., Daichaa D. Sources, enrichment, and geochemical fractions of soil trace metals in Ulaanbaatar, Mongolia // *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2020. – V. 79. – № 2. – P. 219-232.
- Birch G.F. A review and critical assessment of sedimentary metal indices used in determining the magnitude of anthropogenic change in coastal environments // *Science of the Total Environment*. – 2023. – V. 854. – № 1. – Article. 158129.
- Box G.E.P., Cox D.R. An analysis of transformations // *Journal of the Royal Statistical Society*. – 1964. – V. 26. – № 2. – P. 211-252.
- Buccianti A. Is compositional data analysis a way to see beyond the illusion? // *Computers and Geosciences*. – 2013. – V. 50. – № 50. – P. 165-173.
- Buccianti A., Grunsky E. Compositional data analysis in geochemistry: Are we sure to see what really occurs during natural processes? // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2014. – № 141. – P. 1-5.
- Buck B.J., London S.C., McLaurin B.T., Metcalf R., Mouri H., Selinus O., Shelembe R. The emerging field of medical geology in brief: Some examples // *Environmental Earth Sciences*. – 2016. – V. 75. – № 6. – Article. 449.
- Byambadorj T., Amati M., Ruming K.J. Twenty-first century nomadic city: Ger districts and barriers to the implementation of the Ulaanbaatar City Master Plan // *Asia Pacific Viewpoint*. – 2011. – V. 52. –No 2. – P. 165-177.
- Byambasuren Ts., Ochirbat G., Shabanova E.V., Vasil'eva I.E., Khuukhenkhoo B., Tsedenbaljir D., Korolkov A.T. Ulaanbaatar soil heavy metal pollution and spatial distribution // 2nd International conference on environmental science and technology: Proceedings / Ulaanbaatar (13-16 June 2019). –2019. – P. 264.
- Byambasuren Ts., Ogtontuul Ts., Khuukhenkhoo B., Vasilyeva I.E., Shabanova E.V., Proydakova O.A. Multivariate statistical approaches to identify heavy metal sources in Ulaanbaatar soil //

- International Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies. – 2014. – V. 4. – № 5. – P. 27-34.
- Byambasuren Ts., Vasilyeva I.E., Shabanova E.V., Ochirbat G., Khuukhenkhoo B., Tsedenbaljir D., Korolkov A.T. Background concentration of microelements in Ulaanbaatar regional natural surface soil // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. – 2018. – V. 58. – № 2. – P.15-24.
- Chai Y., Guo J., Chai Sh., Cai J., Xue L., Zhang Q. Source identification of eight heavy metals in grassland soils by multivariate analysis from the Baicheng-Songyuan area, Jilin Province, Northeast China // Chemosphere. – 2015. – № 134. – P. 67-75.
- Chapman R.P. Letter to the editor // Journal of the International Association for Mathematical Geology. – 1976. – № 8. – P. 209-214.
- Chen T., Liu X.M., Zhu M.Z., Zhao K.L., Wu J.J., Xu J.M., Huang P. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China // Environmental Pollution. – 2008. – V. 151. – № 1. – P. 67-78.
- Chen T.-B., Zheng Y.-M., Lei M., Huang Z.-C., Wu H.-T., Chen, H. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China // Chemosphere. – 2005. – V. 60. – № 4. – P. 542-551.
- Chou C.-L. Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins // International Journal of Coal Geology. – 2012. – № 100. – P. 1-13.
- Christensen E.R., Steinnes E., Eggen O.A. Anthropogenic and geogenic mass input of trace elements to moss and natural surface soil in Norway // Science of the Total Environment. – 2018. – № 613 - 614. – P. 371-378.
- Chung S., Chon H.-T. Assessment of the level of mercury contamination from some anthropogenic sources in Ulaanbaatar, Mongolia // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – V. 147. Part B. – P. 237-244.
- Coal Mine Methane (CMM) Resource Assessment and Emissions Inventory Development in Mongolia. – Mongolian Nature and Environment Consortium, Ulaanbaatar Mongolia, May 2014. – 190 p.
- Conover W.J. Practical Nonparametric Statistics / 2nd Edition. – New York: Wiley, 1980. – 512 p.
- Danzer K., Flórian K., Haßler J., Matherny M., Schrön W., Zaray Gy. Comparison of solid sampling spectrochemical methods by means of multivariate statistics and information theory // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1998. – № 13. – P. 371-375.
- Davy P.K., Gunchin G., Markwitz A., Trompetter W.J., Barry B.J., Shagijamba D., Lodoysamba S. Air particulate matter pollution in Ulaanbaatar, Mongolia: Determination of composition, source contributions and source locations // Atmospheric Pollution Research. – 2011. – V. 2. – № 2. – P. 126-137.
- Dorjsuren B., Tomurtoogoo O., Dejidmaa G., Mahbadar Ts., Bujinlkham B. The new member of the Atan ovoo formation // Mongolian Geoscientist. – 2004. – № 26. – P. 53-56.
- Dung T.T.T., Cappuyns V., Swennen R., Phung N.K. From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils // Reviews in Environmental Science and Biotechnology. – 2013. – № 2. – P. 335-353.
- Eggen O.A., Reimann C., Flem B. Reliability of geochemical analyses: Deja vu all over again // Science of The Total Environment. – 2019. – № 670. – P. 138-148.
- Enkhchimeg B., Murayama T., Fukushi K., Nishikizawa S., Sonomdagva Ch., Altansukh O., Solongo Ts., Davaadorj D. Ecological and human health risk assessment of heavy metal pollution in the

- soil of the ger district in Ulaanbaatar, Mongolia // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – V. 17. – № 13. – Article. 4668.
- Environmental Outlook of the Ulaanbaatar City. – UNEP Reports by Subregions, 2009. – 107 p.
- Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 1994. – V. 91. – № 1. – P. 11-17.
- Erdenetsogt B.-O., Lee I., Bat-Erdene D., Jargal L. Mongolian coal-bearing basins: Geological settings, coal characteristics, distribution, and resources // *International Journal of Coal Geology*. – 2009. – № 80. – P. 87-104.
- Filzmoser P., Hron K., Reimann C. Principal component analysis for compositional data with outliers // *Environmetrics*. – 2009. – V. 20. – № 6. – P. 621-632.
- Gałaszka A., Migaszewski Z. Geochemical background - an environmental perspective // *Mineralogia*. – 2011. – V. 42. – № 1. – P. 7-17.
- Garcia E., Cabrera C., Lorenzo M.L., López M.C. Chromium levels in spices and aromatic herbs // *Science of the Total Environment*. – 2000. – V. 247. – P. 51-56.
- Gong Q., Deng J., Xiang Y., Wang Q., Yang L. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing // *Journal of China University of Geosciences*. – 2008. – № 19. – P. 230-241.
- Goovaerts P. Geostatistical modelling of uncertainty in soil science // *Geoderma*. – 2001. – V. 103 – № (1-2). – P. 3-26.
- Gunicheva T. Application of nondestructive X-Ray fluorescence method (XRF) in soils, friable and marine sediments and ecological materials // In: Panagiotaras D., ed., *Geochemistry – Earth's System Processes*. InTech, 2012. – P. 371-388.
- Gutticunda S. Urban air pollution analysis for Ulaanbaatar. The World Bank Consultant Report. – Washington DC USA, 2007. – 125 p.
- Håkanson L. An ecological risk index for aquatic. Pollution control: A sedimentological approach // *Water Research*. – 1980. – № 14. – P. 975-1001.
- Hara H., Kurihara T., Tsukada K., Kon Y., Uchino T., Suzuki T., Takeuchi M., Nakane Y., Nuramkhaan M., Chuluun M. Provenance and origins of a Late Paleozoic accretionary complex within the Khangai-Khentei belt in the Central Asian Orogenic Belt, central Mongolia // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2013. – № 75. – P.141-157.
- Hasenkopf C., Brauer M., Dewitt L., Guttikunda S., Ibrahim A., Lodoisamba D., Mutanyi N., Olivares G., Pant P., Salmon M., Sereeter L. To combat air inequality, governments and researchers must open their data // *Clean Air Journal*. – 2016. – V. 26. – № 2. – P. 8-10.
- Hauck M. Epiphytic lichens indicate recent increase in air pollution in the Mongolian capital Ulaanbaator // *Lichenologist*. – 2008. – V. 40. – № 2. – P. 165-168.
- Hodson M.J., White P.J., Mead A., Broadley M.R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants // *Annals of Botany*. – 2005. – V. 96. – № 6. – P. 1027-1046.
- ITRC. Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document. ITRC, 2001. – 124 p.
- Johnson C.C., Ander E.L., Cave M.R., Palumbo-Roe B. Normal background concentrations (NBCs) of contaminants in English soils: Final project report // *British Geological Survey Commissioned Report*. – CR/12/035, 2012. – 40 p.
- Kabata-Pendias A. Behavioural properties of trace metals in soils // *Applied Geochemistry*. – 1993. – Suppl. Issue № 2. – P. 3-9.

- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants / 4th ed. – NY.: Taylor and Francis Group, LLC, 2011. – 505 p.
- Kaiser H. Guiding concepts relating to trace analysis // *Pure and Applied Chemistry*. – 1973. – V. 34. – № 1. – P. 35-62.
- Kaiser H. Quantitation in elemental analysis // *Analytical Chemistry*. – 1970. – V. 42. – № 2 – P. 26-59.
- Kamata T., Reichert J. A., Tsevegmid T., Kim Y., Sedgewick B. Mongolia: Enhancing policies and practices for ger area development in Ulaanbaatar. – The World Bank, 1818 H Street NW. Washington DC 20433. USA, 2010. – 127 p.
- Karim Z., Qureshi B. A., Mumtaz M. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan // *Ecological Indicators*. – 2015. – № 48. – P. 358-364.
- Kashin V.K. Conditionally essential microelements in the medicinal herbs of Transbaikalia // *Chemistry for Sustainable Development*. – 2011. – V. 19. – № 3. – P. 237-244.
- Khishigsuren Sodnom, Gerel Ochir, Chuluun Danzan, Bat-Ulzii Dash, Munkhbat Baatar. Origin of the Early Mesozoic Bogd Uul granite pluton, Ulaanbaatar area, Mongolia // *Bulletin of Nagoya University Museum*. – 2012. – № 28. – P. 45–59.
- Kloke A. Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soils // *United Nations ECE symposium*. Geneva, 1979. – P. 51–53.
- Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Factors of the Accumulation of Heavy Metals and Metalloids at Geochemical Barriers in Urban Soils // *Eurasian Soil Science*. – 2015. – V. 48 – № 5. – P. 476-492.
- Kowalska J., Mazurek R., Gąsiorek M., Setlak, M., Zaleski T., Waroszewski J. Soil pollution indices conditioned by medieval metallurgical activity: A case study from Krakow (Poland) // *Environmental Pollution*. – 2016. – № 218. – P. 1023-1036.
- Kowalska J.B., Mazurek, R., Gąsiorek, M., Zaleski, T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination - A review // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2018. – № 40. – P. 2395-2420.
- Kroukamp E.M., Wondimu T., Forbes P.B.C. Metal and metalloid speciation in plants: Overview, instrumentation, approaches and commonly assessed elements // *Trends in Analytical Chemistry*. – 2016. – V. 77. – P. 87-99.
- Kurihara T., Tsukada K., Otoh S., Kashiwagi K., Chuluun M., Byambadash D., Boijir B., Gonchigdorj S., Nuramkhan M., Niwa M., Tokiwa T., Hikichic G., Kozuka, T. Upper Silurian and Devonian pelagic deep-water radiolarian chert from the Khangai-Khentei belt of Central Mongolia: Evidence for Middle Paleozoic subduction-accretion activity in the Central Asian Orogenic Belt // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2009. – V. 34. – P. 209-225.
- Kurilenko A.V., Minina O.R. The Devonian of Transbaikal: biostratigraphy and correlation. Palaeobiodiver // *Palaeoenvironment*. – 2017. – V. 97. – № 3. – P. 469-479.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, L., Calder, F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // *Environmental Management*. – 1995. – № 19. – P. 81.
- López F.F., Cabrera C., Lorenzo M.L., López M.C. Aluminum levels in spices and aromatic herbs // *Science of the Total Environment*. – 2000. – V. 257. – P. 191-197.
- Magic project. Geologic Map of Ulaanbaatar. Scale 1:100,000. – Geological Information Center. Ulaanbaatar, 1998.

- Mamontova E., Mamontov A., Tarasova E., Ganchimeg D., Odontuya G., Oyuntsetseg J. The distribution of organochlorine pesticides in surface soils from Mongolia // *Chemical Bulletin of Kazakh National University*. – 2015. – № 1. – P. 4-19.
- Mandakh N., Tsogtbaatar J., Dash D., Khudulmur S. Spatial assessment of soil wind erosion using WEQ approach in Mongolia // *Journal of Geographical Sciences*. – 2016. – V. 26. – № 4. – P. 473-483.
- Markwitz A., Barry B., Shagjjamba D. PIXE analysis of sand and soil from Ulaanbaatar and Karakorum, Mongolia // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. – 2008. – V. 266. – № 18. – P. 4010-4019.
- Maurice P.A. *Environmental surfaces and interfaces from the nanoscale to the global scale*. – Wiley& Sons, NY, 2009. – 464 p.
- Mazurek R., Kowalska J., Gašiorek M., Zadrozny P., Józefowska A., Zaleski, T. Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocz National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution // *Chemosphere*. – 2017. – № 168. – P. 839-850.
- Mengel K., Kirkby E.A., Kosegarten H., Appel T. *Principles of plant nutrition*. – Dordrecht.: Springer Science + Business Media, B.V, 2001. – 849 p.
- Minjin C., Tomurtoogoo O., Dorjsuren B. Devonian-Carboniferous accretionary complex of the Ulaanbaatar terrane // *Structural and Tectonic Correlation across the Central Asia Orogenic Collage: Implications for Continental Growth and Intracontinental Deformation: Abs.& Excursion Guidebook. Second International Workshop and Field Excursions for IGC Project 480*. – Ulaanbaatar, 2006. – P. 100-106.
- Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // *Geo Journal*. – 1969. – № 2. – P. 108-118.
- Naidansuren E., Dondog A., Erdenesaikhan B., Byambanyam E. Heavy metal pollution near a Tannery in Ulaanbaatar, Mongolia // *Journal of Health and Pollution*. – 2017. – V. 16. – № 7. – P. 2-11.
- Nikolić M., Glamočlija J., Ferreira I.C.F.R., Calhelha R.C., Fernandes Â., Marković T., Marković D., Giweli A., Soković M. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils // *Industrial Crops and Products*. – 2014. – № 52. – P. 183-190.
- Nishikawa M., Matsui I., Batdorj D., Jugder D., Mori I., Shimizu A. Chemical composition of urban airborne particulate matter in Ulaanbaatar // *Atmospheric Environment*. – 2011. – V. 45. – № 32. – P. 5710-5715.
- Norra S., Lanka-Panditha M., Kramar U., Stüben D. Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany // *Applied Geochemistry*. – 2006. – № 2. – P. 2064-2081.
- Ololade I.A. An assessment of heavy-metal contamination in soils within auto-mechanic workshops using enrichment and contamination factors with geoaccumulation indexes // *Journal of Environmental Protection*. – 2014. – № 5. – P. 970-982.
- Oyunbat P., Batkhishig O., Batsaikhan B., Lehmkuhl F., Knippertz M., Nottebaum V. Spatial distribution, pollution, and health risk assessment of heavy metal in industrial area soils of Ulaanbaatar, Mongolia // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2021. – V. 43. – № 4. – P. 123-133.
- Park H., Fan P., John R., Ouyang Z., Chen J. Spatiotemporal changes of informal settlements: Ger districts in Ulaanbaatar, Mongolia // *Landscape and Urban Planning*. – 2019. – V. 191. – Article 103630.

- Park J., Kwon E., Chung E., Kim H., Battogtokh B., Woo N.C. Environmental sustainability of open-pit coal mining practices at Baganuur, Mongolia // *Sustainability*. – 2020. – V. 12. – № 1. – Article 248.
- Pecina V., Juříčka D., Hedbávný J., Klimánek M., Kynický J., Brtnický M., Komendová R. The impacts of mining on soil pollution with metal(loid)s in resource-rich Mongolia // *Scientific Reports*. – 2023. – V. 13. – № 1. – P. 1-12.
- Pejman A., Gholamrez Nabi B., Saeedi M., Baghvanda A. A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study // *Ecological Indicators*. – 2015. – № 58. – P. 365-373.
- Pourret O., Bollinger J. C., Hursthouse A. Heavy metal: a misused term? // *Acta Geochimica*. – 2021. – V. 40. – № 3. – P. 466-471.
- Prikaz M., Fang C., Dash S., Wang J. Origin and Background Estimation of Sulfur Dioxide in Ulaanbaatar, 2017 // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2019. – № 16. – Article 442.
- Proidakova O.A., Vasil'eva I.E. Method to improve schemes of sample preparation and atomic-absorption analysis of geochemical samples // *Inorganic Materials*. – 2010. – V. 46. – № 14. – P. 1503-1512.
- Qingjie G., Jun D., Yunchuan X., Qingfei W., Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in Parks of Beijing // *Journal of China University of Geosciences*. – 2008. – V. 19. – № 3. – P. 230-241.
- Rabzhaeva A.N., Zhigzhitzhapova S.V., Radnaeva L.D. Component composition of the essential oils of *Thymus baicalensis* Serg. (*Lamiaceae*), growing in the Eastern Siberia and Mongolia // *Chemistry of plant raw material*. – 2015. – № 2. – P. 119-126.
- Reimann C., Filzmoser P. Normal and Lognormal Data Distribution in Geochemistry: Death of a Myth. Consequences for the Statistical Treatment of Geochemical and Environmental Data // *Environmental Geology*. – 2000. – V. 39. – № 9. – P. 1001-1014.
- Reimann C., Garrett R. G. Geochemical background – Concept and reality // *Science of the Total Environment*. – 2005. – V. 350 – № (1-3). – P. 12-27.
- Reimann C., Koller F., Frengstad B., Kashulina G., Niskavaara H., Englmaier P. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1500000-km² area in Northern Europe // *Science of The Total Environment*. – 2001. – V. 278. – № 1-3. – P. 87-112.
- Selina M., Drolc A., Selina L., Levei E. Validation and measurement uncertainty evaluation of ICP-OES method for the multi-elemental determination of essential and nonessential elements from medical plants and their aqueous extracts // *Journal of Analytical Science and Technology*. – 2014. – № 5. – Article 37.
- Semhi K., Clauer N., Chaudhuri S. Variable element transfers from an illite-rich substrate to growing plants during a three-month experiment // *Applied Clay Science*. – 2012. – V. 57. – P. 17-24.
- Shabanova E.V., Byambasuren Ts., Ochirbat G., Vasil'eva I.E., Khuukhenkhoo B., Korolkov A.T. Relationship between major and trace elements in Ulaanbaatar soils: a study based on multivariate statistical analysis // *Geography, Environment, Sustainability*. – 2019. – V. 12. – № 3 – P. 199-212.
- Shabanova E.V., Vasil'eva I.E., Khomutova M.Y., Tsagaan B., Ganbaatar O., Byambaa K. Rational Scheme of Chemical Analysis of Urban Soils for Ecological Monitoring // *New Prospects in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences: CAJG-2 / "Advances in Science, Technology & Innovation IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development"* Cham, 2022. – P. 207-209.
- Shapiro S.S., Wilk M.B. An analysis of variance test for normality // *Biometrika*. – 1965. – V. 52. – № 3. – P. 591-611.

- Sonomdagva Ch., Byambatseren Ch., Batdelger B. Assessment of air pollution of settlement areas in Ulaanbaatar city, Mongolia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – № 67. – Article 012029.
- Steinnes E., Lierhagen S. Geographical distribution of trace elements in natural surface soils: Atmospheric influence from natural and anthropogenic sources // Applied Geochemistry. – 2018. – № 88. – P. 2-9.
- Suzuki T., Nakane Y., Nuramkhaan B. Description of sandstones in the Ulaanbaatar area, Mongolia // Bulletin of Nagoya University Museum. – 2012. – № 28. – P. 27-38.
- Takeuchi M., Tsukada K., Suzuki T. Stratigraphy and geological structure of the Paleozoic system around Ulaanbaatar, Mongolia // Bulletin of Nagoya University Museum. – 2012. – № 28. – P. 1-18.
- Tomurtogoo O. A new tectonic scheme of the Paleozooids in Mongolia // Mongolian Geoscientist. – 1997. – No 3. – P. 12-19.
- Tomurtogoo O. Mongolia 1:1,000,000 Scale Tectonic Maps. - Mineral Resources Authority of Mongolia – Geological Office. Ulaanbaatar, 2003.
- Tomurtogoo O., Byamba J., Badarch G., Minjin Ch., Orolmaa D., Khosbayar P. Geologic map of Mongolia, Scale 1:1,000,000. in Mongolian / Eds. Chuluun, D. – Mineral Resources Authority of Mongolia. Geological Office. Ulaanbaatar, 1998.
- Tsagaan B., Byambaa Kh., Ganbaatar O., Darizav Ts. Temporal variation of the pseudo total content of heavy metals in Ulaanbaatar soil // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. – 2019. – V. 59. – № 03(231). – P. 28-31.
- Tsagaan B., Ganbaatar O., Darizav Ts., Byambaa Kh. Content and distribution of some chemical elements in the poplar leaves (*Populus Laurifolia*) in Ulaanbaatar // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. – 2020. – V. 60. – № 04(236). – P. 18-27.
- Tsagaan B., Ganbaatar O., Otgonbayar A. Results of the study of pH and organic matter in the surface soil of Ulaanbaatar // Proceedings of the Mongolian Academy of Science. – 2021. – V. 61. – № 04 (240). – P. 15-22.
- Tserenpil Sh., Sapkota A., Liu C.Q., Peng J.-H., Liu B., Segebade P. Chr. Lead isotope and trace element composition of urban soils in Mongolia // Eurasian Soil Science. – 2016. – V. 49. – № 8. – P. 879-889.
- Tsukada K., Nakane Y., Yamamoto K. Geological setting of basaltic rocks in an accretionary complex, Khangai-Khentei Belt, Mongolia // Island Arc. – 2013. – № 22. – P. 227-241.
- Vasil'eva I.E., Shabanova E.V., Tsagaan B., Bymbaa K. Elemental profiles of wild *Thymus* L. plants growing in different soil and climate conditions // Applied Sciences. – 2022. – № 12. – Article 3904.
- Vasilyeva I.E., Shabanova E.V., Doroshkov A.A., Proydakova O.A., Otgontuul Ts., Khuukhtnkhuu B., Byambasuren Ts. Distribution of toxic and essential elements in soils of Ulaanbaatar city. Pollution assessment of urban areas // Environment and sustainable development in Mongolian plateau and surrounding regions: Proceedings of the IX intern. conf. /ed. F.K. Tulokhonov. – Ulan-Ude, 2013. – V. 1. – P. 67-71.
- Walton J.R. Bioavailable aluminum: Its metabolism and effects on the environment / Encyclopedia of Environmental Health / ed. Nriagu J.O. 2nd ed. – Elsevier, 2019. – 328 p.
- Warburton D., Warburton N., Wigfall C., Chimedsuren O., Lodoisamba D., Lodoysamba S., Jargalsaikhan B. Impact of seasonal winter air pollution on health across the lifespan in Mongolia and some putative solutions // Annals of the American Thoracic Society. – 2018. – V. 15. – Supplement 2. – P. 86-90.

- Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China // *Microchemical Journal*. – 2010. – V. 94. – № 2. – P. 99-107.
- Wilding L.P. Spatial Variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys // *Soil Spatial Variability* / D. R. Nielsen and J. Bouma, eds. – Pudoc.: Wageningen, The Netherlands, 1985. – P. 166-194.
- Zavorin A.S., Dolgikh A.Y., Salomatov V.V., Batmunkh S., Enkhzhargal K. Combustion characteristics of Shiwei-Ovoo coal deposits in Mongolia for energy consumption // *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. – 2014. – V. 324. – № 4. – P. 47-53.
- Zinkute R., Taraškevičius R., Želvys T. Major elements as possible factors of trace element urban pedochemical anomalies // *Central European Journal of Chemistry*. – 2011. – P. 337–347.
- Zuo R., Xiong Y. Big Data Analytics of Identifying Geochemical Anomalies Supported by Machine Learning Methods // *Natural Resources Research*. – 2018. – V. 27. – № 1. – P. 5-13.

Электронные ресурсы

- Архив погоды в Улан-Баторе [Электронный ресурс] URL:<https://world-weather.ru/archive/mongolia/Ulaanbaator>
- Архив статистических данных Монголии и Улан-Батор [Электронный ресурс] URL:<https://www.1212.mn/mn/statistic/statcate/573051/table>
- Нийслэлийн статистикийн газар.... 2022. Монголын статистикийн үндэсний хороо (Столичное статистическое управление.... 2022, Национальный статистический комитет Монголии) [Электронный ресурс]. URL: <http://ubstat.mn/StatTable=20>
- Правила отбора проб. Часть 3. Почва / Ю. Кириллова // *EcoStandard*. – 2023. – № 5. [Электронный ресурс] URL: <https://journal.ecostandard.ru/eco/praktikum/pravila-otbora-prob-chast-3-pochva/>

Нормативные документы

- ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. 2006. – 9 с.
- ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. 2006. – 7 с.
- ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 8 с.
- ГОСТ 27593. Почвы. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. – М.: ФГУП. Стандартиформ, 2006. – 11 с.
- ГОСТ ISO 22036-2014 Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС). – М.: ФГУП. Стандартиформ, 2015. – 26 с.
- ГОСТ Р 58595-2019. Почвы. Отбор проб. По техническому регулированию и метрологии. Национальный стандарт РФ. – М.: Стандартиформ, 2019. – 8 с.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания". утв. Минздравом РФ 07.02.1999. – М.: Минздрав РФ, 1999. – 26 с.
- НСАМ № 512-МС. Определение элементного состава образцов растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами анализа. – М.: Изд-во ФНМЦ ВИМС, 2011. – 50 с.
- НСАМ № 61-С. Определение лития, натрия, калия, рубидия, цезия в силикатных горных породах и в минералах-силикатах пламенно-спектрофотометрическим методом. – М.: ФГУП "ВИМС", 2006. – 24 с.

- ОСТ 41-08-214-04. Стандарт отрасли. Управление качеством аналитических работ. Внутренний лабораторный контроль точности (правильности и прецизионности) результатов количественного химического анализа. – М.: Изд-во ФНМЦ ВИМС, 2004. – 92 с.
- ПНДФ 16.1:2.2:2.3.36-02. Количественный химический анализ почв. Методика измерений валового содержания кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома и цинка в почвах, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФБУ "ФЦАО", 2002. – 20 с.
- Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.7.1287-03 (с изм. от 25.04.2007 № 20). – М.: Федеральный центр госанэпиднадзора Минздрава России, 2007. – 16 с.
- ФР. 31.01.2008.05150. Атомно-эмиссионный анализ геологических образцов по способу вдувания-просыпки. МВИ массовых долей примесей атомно-эмиссионным методом. (СТП ИГХ-020-2007) – Иркутск: ИГХ СО РАН, 2007. – 26 с.
- ФР.1.31.2015.20474. Определение массовых долей фтора в порошковых пробах. Методика количественного химического анализа горных пород, рыхлых отложений, донных осадков, почв, зол, шлаков, руд и продуктов их переработки методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с фотоэлектрической регистрацией спектров и введением вещества в дуговой разряд по способу вдувания-просыпки. (СТП ИГХ-025-2014). – Иркутск: ИГХ СО РАН, 2014. – 20 с.
- MNS 5850-2019. Хорсний чанар. Хорс бохирдуулагч бодис, элементуудийн зовшоогдох дээд хэмжээ. Монгол улсын стандарт – Стандартчилал, хэмжилзуйн Үндэсний тов. Улаанбаатар, 2019. – 8 с. (Качество почвы. Максимальное количество вредных загрязняющих веществ и элементов. Стандарт Монголии. – Национальный центр стандартизации и измерения)

ПРИЛОЖЕНИЕ А.1

Пробоотбор

Год отбора	№ п.п.	Полевой № пробы	Географические		Место отбора		Геологическое строение (природное и техногенное)	Тип почвы	Растительный покров		
			Долгота	Широта	Район города	Категория землепользования			Состояние	Покрытие, %	Тип произрастающих растений
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2010	1	001a	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2010	2	002a	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	50	Сорные растения
2010	3	003a	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	50	Сорные растения
2010	4	004a	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2010	5	006a	47.89	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	70	Газонная трава
2010	6	008a	47.90	106.86	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2010	7	009a	47.90	106.86	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	60	Сорные растения
2010	8	011a	47.90	106.86	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Аллювиальный	Естественное	60	Сорные растения
2010	10	013a	47.90	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Естественное	50	Сорные растения
2010	11	014a	47.90	106.81	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Естественное	30	Сорные растения
2010	12	015a	47.89	106.81	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Естественное	50	Сорные растения
2010	13	016a	47.89	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Естественное	50	Сорные растения
2010	15	018a	47.92	106.89	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2010	16	019a	47.91	106.89	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	90	Тополь, газонная трава
2010	18	021a	47.89	106.90	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Естественное	35	Сорные растения
2010	19	022a	47.93	106.90	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2010	14	017a	47.92	106.90	Чингэлтэй	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2010	20	023a	47.94	106.88	Чингэлтэй	Рекреационная зона	C ₁₋₂	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2010	21	024a	47.95	106.88	Чингэлтэй	Рекреационная зона	C ₁₋₂	Каштановый	Естественное	75	Горно-степная растительность, сорные трава
2010	22	025a	47.94	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C ₁₋₂ +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2010	23	026a	47.94	106.90	Чингэлтэй	Промышленная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2010	24	027a	47.94	106.90	Чингэлтэй	Промышленная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	30	Газонная трава
2010	25	028a	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал, наносы бытовых отходов	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	26	029a	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	27	030a	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	28	031a	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2010	29	032a	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2010	30	033a	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2010	31	034a	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2010	32	035a	47.97	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	33	036a	47.98	106.89	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2010	17	020a	47.91	106.89	Сухэ-Батор	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	90	Тополь, газонная трава
2010	34	037a	47.97	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2010	35	038a	47.96	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	40	Тополь, газонная трава
2010	36	039a	47.94	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	37	040a	47.94	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	38	041a	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	30	Тополь, газонная трава
2010	39	042a	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	40	043a	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	41	044a	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2010	42	045a	47.92	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	43	046a	47.92	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2010	44	047a	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Тополь, газонная трава
2010	45	048a	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Тополь, газонная трава
2010	46	049a	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Тополь, газонная трава
2010	47	050a	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Тополь, газонная трава
2010	48	051a	47.91	106.99	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2010	49	052a	47.91	106.99	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2010	50	053a	47.91	106.99	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2010	51	054a	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2010	52	055a	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2010	53	056a	47.92	106.97	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2010	54	057a	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесённый материал, наносы бытовых отходов	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	55	058a	47.93	106.97	Баянзурх	Промышленная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесённый материал, наносы отходов	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	56	059a	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесённый материал, наносы отходов	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2010	57	060a	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	58	061a	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	59	062a	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2010	60	063a	47.85	106.86	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	80	Горная-лесная растительность
2010	61	064a	47.83	106.90	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	80	Горная-лесная растительность
2010	62	065a	47.91	107.13	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	85	Горная-лесная растительность

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2010	63	066a	47.87	106.86	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	85	Горная-лесная растительность
2011	1	057b	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +летучая зола, шлаки	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	2	058b	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +летучая зола, шлаки	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	3	059b	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +летучая зола, шлаки	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	4	060b	47.89	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +летучая зола, шлаки	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2011	5	061b	47.89	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +летучая зола, шлаки	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2011	6	144b	47.90	106.91	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	7	145b	47.90	106.91	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	8	146b	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	9	148b	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	10	149b	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	11	150b	47.90	106.89	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	12	154b	47.90	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	13	157b	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	14	158b=001f(2010)	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал, отходы	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	15	159b	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал, отходы	Аллювиальный	Естественное	90	Тополь, пойменные травы, сорные растения
2011	16	160b	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал, отходы	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	70	Тополь, газонная трава
2011	17	161b	47.89	106.88	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал, отходы	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	70	Тополь, газонная трава
2011	18	162b	47.90	106.89	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал, отходы	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	70	Тополь, газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	19	163b	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	70	Тополь, газонная трава
2011	20	164b	47.89	106.89	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	21	165b	47.89	106.89	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	22	166b	47.89	106.89	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	23	167b	47.89	106.90	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	24	168b	47.89	106.90	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	25	170b	47.89	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	-	Газонная трава
2011	26	171b	47.89	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	27	177b	47.90	106.91	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2011	28	178b	47.90	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	29	179b	47.90	106.92	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2011	30	180b	47.90	106.93	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2011	31	147b	47.89	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Горный чернозём	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2011	32	151b	47.90	106.89	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	33	169b	47.89	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	34	172b	47.89	106.91	Хан-Уул	Рекреационная зона	Q _{IV}	Аллювиальный	Естественное	60	Пойменные травы, сорные растения
2011	35	173b	47.89	106.91	Хан-Уул	Рекреационная зона	Q _{IV}	Аллювиальный	Естественное	60	Пойменные травы, сорные растения
2011	36	174b	47.88	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Горный чернозём	Уничтожен	-	нет
2011	37	175b	47.88	106.92	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Горный чернозём	Уничтожен	-	нет
2011	38	176b	47.89	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Горный чернозём	Уничтожен	-	нет
2011	39	032b	47.91	106.89	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	-	Тополь, газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	63	128b	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	64	129b	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	65	130b	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	66	131b	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	-	Газонная трава
2011	67	132b	47.91	106.88	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	68	133b	47.91	106.88	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	69	134b	47.91	106.88	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	70	135b	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	71	152b	47.90	106.89	Баянгол	Транспортная зона	Q _{п-iv} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	72	153b	47.90	106.89	Баянгол	Селитебная зона	Q _{п-iv} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	73	155b	47.90	106.89	Баянгол	Промышленная зона	Q _{п-iv} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	74	156b	47.90	106.88	Баянгол	Промышленная зона	Q _{п-iv} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	75	192b	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	76	193b	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	77	194b	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	78	195b	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	79	196b	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	80	197b	47.92	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	81	198b	47.92	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	82	202b	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	83	203b	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	133	124b	47.92	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50-60	Тополь, газонная трава
2011	134	125b	47.93	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50-60	Тополь, газонная трава
2011	135	126b	47.92	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50-60	Тополь, газонная трава
2011	136	127b	47.92	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50-60	Тополь, газонная трава
2011	137	196b	47.92	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	138	199b	47.93	106.89	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	139	200b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	140	218b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	141	219b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	143	221b	47.95	106.87	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	144	224b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Рекреационная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	145	225b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Рекреационная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	146	226b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	147	227b	47.95	106.87	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	148	228b	47.94	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	149	229b	47.93	106.89	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	150	010b	47.92	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Естественное	30	Пойменные травы, сорные растения
2011	151	022b	47.91	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Газонная трава
2011	152	023b	47.91	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава, сорные растения
2011	153	024b	47.91	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	35	Газонная трава
2011	154	025b	47.91	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	35	Газонная трава
2011	155	026b	47.91	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	35	Газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	156	063b	47.93	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	40	Тополь, газонная трава
2011	157	064b	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	40	Тополь, газонная трава
2011	158	065b	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	40	Тополь, газонная трава
2011	159	066b	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	160	067b	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	161	068b	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2011	162	069b	47.94	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	163	070b	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	164	071b	47.94	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	20	Горно-степная растительность
2011	165	072b	47.94	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	20	Горно-степная растительность
2011	166	073b	47.94	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	20	Горно-степная растительность
2011	167	077b	47.95	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Естественное	20	Горно-степная растительность
2011	168	078b	47.96	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Горный чернозём	Естественное	30	Сорные растения
2011	169	079b	47.96	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Горный чернозём	Естественное	30	Сорные растения
2011	170	080b	47.96	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Горный чернозём	Естественное	30	Сорные растения
2011	171	081b	47.97	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Горный чернозём	Естественное	30	Сорные растения
2011	172	092b	47.95	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Естественное	30	Горно-степная растительность
2011	173	106b	47.93	106.90	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	30	Горно-степная растительность
2011	174	107b	47.92	106.90	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50-60	Тополь, газонная трава
2011	175	110b	47.92	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50-60	Тополь, газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	196	004b	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	197	005b	47.92	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	198	006b	47.92	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	199	007b	47.93	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	200	008b	47.93	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	201	009b	47.92	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2011	202	011b	47.92	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	203	012b	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2011	204	013b	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2011	205	014b	47.92	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	206	015b	47.91	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	207	016b	47.91	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	208	017b	47.91	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	209	018b	47.91	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	210	019b	47.91	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	211	020b	47.91	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	212	021b	47.91	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	213	027b	47.91	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	214	028b	47.91	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	215	029b	47.91	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	216	030b	47.91	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	217	031b	47.91	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	10	Газонная трава
2011	218	074b	47.94	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	30	Пойменные травы, сорные растения
2011	219	075b	47.94	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	30	Пойменные травы, сорные растения
2011	220	076b	47.94	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	30	Пойменные травы, сорные растения
2011	221	180b	47.90	106.93	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2011	222	181b	47.90	106.93	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2011	223	182b	47.89	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2011	224	185b	47.90	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2011	225	186b	47.90	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2011	226	187b	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2011	227	188b	47.92	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2011	228	189b	47.92	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2011	229	190b	47.92	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Тополь, газонная трава
2011	230	230b	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	45	Тополь, газонная трава
2011	231	231b	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	C _{1,2} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2011	232	232b	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	233	233b	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	234	234b	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	235	235b	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	236	236b	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорные трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2011	257	257b	47.93	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	258	258b	47.91	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2011	259	259b	47.91	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	260	260b	47.91	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2011	261	183b	47.89	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	70	Пойменные травы, сорные растения
2011	262	184b	47.88	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	70	Пойменные травы, сорные растения
2011	263	215b	47.93	106.85	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность
2011	264	216b	47.93	106.85	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность
2011	265	222b	47.95	106.86	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность
2011	266	223b	47.95	106.86	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность
2011	267	267b	47.87	106.86	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	85	Горная-лесная растительность
2011	268	268b	47.80	107.53	Фоновая почва	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Каштановый	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	1	113d	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	2	114d	47.89	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	3	115d	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	50	Тополь, газонная трава
2017	4	116d	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	50	Тополь, газонная трава
2017	5	117d	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	50	Тополь, газонная трава
2017	6	118d	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	15	Тополь, газонная трава
2017	7	119d	47.90	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	10	Газонная трава
2017	8	120d	47.89	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	10	Газонная трава
2017	9	121d	47.89	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	15	Тополь, газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2017	10	122d	47.89	106.94	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Горный чернозём	Естественное	60	Пойменные травы
2017	11	186d	47.90	106.86	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы шлаки и пепел	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	12	187d	47.90	106.86	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы шлаки и пепел	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	13	188d	47.89	106.86	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы шлаки и пепел	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	14	189d	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы шлаки и пепел	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	15	190d	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы шлаки и пепел	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	16	191d	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы шлаки и пепел	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	17	86d	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	18	88d	47.94	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	19	126d	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	20	127d	47.92	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	21	128d	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	22	129d	47.92	106.90	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	23	130d	47.92	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	24	131d	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	25	132d	47.94	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	26	133d	47.94	106.87	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	27	134d	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	28	135d	47.93	106.87	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	29	136d	47.93	106.87	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	30	138d	47.93	106.86	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	175	139d	47.92	106.85	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность
2017	176	140d	47.92	106.85	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность
2017	31	141d	47.93	106.86	Баянгол	Селитебная зона	C _{1,2} + привнесённые материалы	Каштановый	Уничтожен	-	нет

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2017	32	148d	47.91	106.81	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	33	149d	47.91	106.82	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	34	150d	47.91	106.82	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	35	151d	47.91	106.83	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	36	152d	47.91	106.84	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	37	153d	47.91	106.84	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	38	154d	47.91	106.85	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	39	155d	47.91	106.86	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	40	156d	47.91	106.87	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	41	157d	47.91	106.88	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	42	158d	47.91	106.95	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	43	159d	47.92	106.90	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Тополь, Газонная трава
2017	44	192d	47.89	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Аллювиальный	Естественное	40	Пойменные травы, сорные растения
2017	45	193d	47.90	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Аллювиальный	Естественное	40	Пойменные травы, сорные растения
2017	46	194d	47.90	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Аллювиальный	Естественное	40	Пойменные травы, сорные растения
2017	47	195d	47.94	106.81	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	40	Газонная трава
2017	48	196d	47.90	106.78	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	49	197d	47.89	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	50	198d	47.90	106.80	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +наносы золы, угольных шлаков	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	51	54d	47.98	106.92	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	52	55d	47.97	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2017	53	56d	47.97	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	54	57d	47.98	106.89	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	55	58d	47.99	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	56	59d	47.97	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	57	60d	47.97	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	58	61d	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	59	62d	47.97	106.89	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	60	63d	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	61	64d	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2017	62	65d	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2017	63	66d	47.95	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2017	64	67d	47.96	106.92	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	65	68d	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2017	66	69d	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	67	70d	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	69	79d	47.94	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	60	нет
2017	70	80d	47.95	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2017	71	81d	47.95	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	72	82d	47.95	106.89	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	73	83d	47.96	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	74	84d	47.93	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2017	75	85d	47.93	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	76	87d	47.94	106.88	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Горный чернозём	Уничтожен	-	нет
2017	77	129d	47.92	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	78	160d			Чингэлтэй	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	79	161d	47.92	106.90	Чингэлтэй	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	80	47d	47.97	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	81	48d	47.98	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	82	49d	47.98	106.95	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	83	50d	47.99	106.96	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	84	51d	47.99	106.95	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	85	52d	47.99	106.96	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	86	53d	47.98	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	60	Горно-степная растительность
2017	87	71d	47.94	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	30	Горно-степная растительность
2017	88	72d	47.94	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	89	73d	47.94	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	90	74d	47.94	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	91	75d	47.94	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	92	76d	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	93	77d	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	94	78d	47.93	106.90	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	30	Газонная трава
2017	95	123d	47.91	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Газонная трава
2017	96	124d	47.91	106.91	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Газонная трава
2017	97	125d	47.92	106.91	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Газонная трава
2017	98	162d	47.92	106.91	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Газонная трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2017	99	163d	47.92	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	100	164d	47.92	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	101	165d	47.92	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	102	166d	47.92	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	65	Тополь, газонная трава
2017	103	1d	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	70-80	Пойменные травы
2017	104	2d	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	70-80	Пойменные травы
2017	105	3d	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	60	Пойменные травы
2017	106	4d	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	60	Пойменные травы
2017	107	5d	47.91	106.99	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	108	6d	47.91	106.98	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	109	7d	47.91	106.98	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2017	110	8d	47.91	106.98	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	111	9d	47.92	106.99	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Каштановый	Искусственное (Посадки)	20	Газонная трава
2017	112	10d	47.92	106.99	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Каштановый	Искусственное (Посадки)	40	Газонная трава
2017	113	11d	47.92	106.99	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Каштановый	Искусственное (Посадки)	50	Газонная трава
2017	114	12d	47.92	106.98	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Каштановый	Искусственное (Посадки)	50	Газонная трава
2017	115	13d	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Каштановый	Искусственное (Посадки)	15	Газонная трава
2017	116	14d	47.92	106.98	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	117	15d	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	118	16d	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Газонная трава
2017	119	17d	47.92	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2017	120	18d	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	121	19d	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	122	20d	47.93	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	123	21d	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	124	22d	47.93	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2017	125	23d	47.94	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	126	24d	47.94	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	127	25d	47.94	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	128	26d	47.93	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	129	27d	47.92	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт	Каштановый	Искусственное (Посадки)	55	Газонная трава
2017	130	28d	47.92	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	131	29d	47.92	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	132	30d	47.92	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	133	31d	47.91	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	134	32d	47.91	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	135	33d	47.91	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	136	34d	47.91	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	137	35d	47.91	106.96	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2017	138	36d	47.93	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	55	Газонная трава
2017	139	37d	47.93	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, наносы бытового отхода	Аллювиальный	Искусственное (Посадки)	55	Газонная трава
2017	140	38d	47.93	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	141	39d	47.95	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Пойменные травы
2017	142	40d	47.94	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность
2017	143	41d	47.95	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Пойменные травы
2017	144	42d	47.95	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	145	43d	47.95	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	146	44d	47.95	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2017	147	45d	47.95	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Аллювиальный	Естественное	40	Пойменные травы
2017	148	46d	47.96	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытового отхода	Горный чернозём	Естественное	40	Пойменные травы
2017	149	167d	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	50	Тополь, газонная трава
2017	150	168d	47.92	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (Посадки)	50	Тополь, газонная трава

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2017	181	146d	47.92	106.83	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность
2017	182	147d	47.92	106.83	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность
2017	183	107d	47.91	106.53	Фоновая почва	Рекреационная зона	N	Каштановый	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	184	108d	47.91	106.52	Фоновая почва	Рекреационная зона	N	Каштановый	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	185	109d	47.91	106.52	Фоновая почва	Рекреационная зона	N	Каштановый	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	186	110d	47.77	106.79	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	187	111d	47.77	106.79	Фоновая почва	Рекреационная зона	C _{1,2}	Горный чернозём	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	188	112d	47.77	106.80	Фоновая почва	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	80	Горно-степная растительность
2017	189	177d	47.80	107.53	Фоновая почва	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Каштановый	Естественное	90	Горно-степная растительность
2017	190	178d	47.80	107.53	Фоновая почва	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Каштановый	Естественное	90	Горно-степная растительность
2019	1	52f = 001(2010)	47.90	106.87	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2019	2	53f = 003(2010)	47.89	106.88	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Естественное	90	Пойменные травы, сорные растения
2019	3	54f	47.89	106.88	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	35	Тополь, газонная трава
2019	4	55f	47.90	106.90	Хан-Уул	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Естественное	35	Сорные растения
2019	5	56f	47.92	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Газонная трава
2019	6	57f	47.89	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Газонная трава
2019	7	58f	47.90	106.90	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Гравийный	уничтожен	-	нет
2019	8	59f	47.90	106.91	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Естественное	60	Пойменные травы, сорные растения
2019	9	61f	47.88	106.91	Хан-Уул	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2019	10	62f	47.88	106.94	Хан-Уул	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесённый материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	60	Газонная трава
2019	11	33f	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Естественное	20	Горно-степная растительность
2019	12	34f	47.93	106.88	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Естественное	20	Горно-степная растительность
2019	13	35f	47.93	106.87	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Естественное	20	Горно-степная растительность
2019	14	36f	47.93	106.87	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Естественное	20	Горно-степная растительность
2019	15	37f	47.94	106.87	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Естественное	20	Горно-степная растительность
2019	16	39f	47.91	106.87	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесённый материал	Каштановый	Естественное	5	Сорные растения

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2019	17	40f	47.91	106.86	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	25	Газонная трава
2019	18	41f	47.92	106.86	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	19	42f	47.92	106.88	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Естественное	15	Сорные растения
2019	20	43f	47.92	106.89	Баянгол	Селитебная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	21	64f	47.91	106.84	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2019	22	65f	47.91	106.89	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	40	Тополь, газонная трава
2019	23	66f	47.92	106.89	Баянгол	Транспортная зона	N+перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	70	Тополь, газонная трава
2019	24	74f	47.91	106.88	Баянгол	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2019	24	75f	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	40	Газонная трава
2019	25	76f	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2019	26	51f	47.90	106.87	Баянгол	Промышленная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2019	27	67f	47.92	106.90	Баянгол	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	40	Газонная трава
2019	28	68f	47.91	106.89	Баянгол	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	40	Газонная трава
2019	29	22 f	47.97	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	45	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	30	23f	47.97	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	31	24f	47.96	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	35	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	32	25f	47.95	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	33	27f	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	30	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	34	30f	47.94	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	35	31f	47.95	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)	80	Газонная трава
2019	36	32f	47.94	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Искусственное (посадки)		нет
2019	37	70f	47.92	106.91	Чингэлтэй	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	40	Тополь, газонная трава
2019	38	71f	47.92	106.90	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	39	72f	47.92	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	40	73f	47.92	106.91	Чингэлтэй	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	41	26f	47.96	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	70	Горно-степная растительность

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2019	42	29f	47.94	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2019	43	45f	47.94	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	45	Газонная трава
2019	44	46f	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	
2019	45	47f	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	
2019	46	48f	47.93	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2019	47	50f	47.92	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2019	48	78f	47.91	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	60	Тополь, газонная трава
2019	49	79f	47.92	106.92	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	50	80f	47.92	106.92	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	51	81f	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	52	82f	47.93	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	53	83f	47.94	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	54	84f	47.92	106.93	Сухэ-Батор	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	55	85f	47.92	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Газонная трава
2019	56	28f	47.95	106.93	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Гравийный	Уничтожен	-	нет
2019	57	77f	47.92	106.91	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	75	Тополь, газонная трава
2019	58	69f	47.92	106.90	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2019	59	49f	47.92	106.86	Сухэ-Батор	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2019	60	8f	47.91	106.99	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	80	Пойменные травы, сорные растения
2019	61	9f	47.91	107.00	Баянзурх	Рекреационная зона	Q _{III-IV}	Аллювиальный	Естественное	80	Пойменные травы, сорные растения
2019	62	10f	47.92	106.98	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	30	Тополь, газонная трава
2019	63	11f=15d (2017)	47.92	106.98	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	64	12f	47.92	106.97	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	65	13f	47.92	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	66	14f	47.93	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	67	15f	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	45	Горно-степная растительность, сорные трава

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
2019	68	16f	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	69	17f	47.93	106.97	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	70	18f	47.93	106.95	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	71	19f	47.93	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	10	Сорные растения
2019	72	20f	47.94	106.94	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	20	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	73	21f	47.95	106.93	Баянзурх	Селитебная зона	C _{1,2} +наносы бытовых отходов	Аллювиальный	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорные трава
2019	74	86f	47.92	106.94	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	50	Тополь, газонная трава
2019	75	87f	47.91	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Уничтожен	-	нет
2019	76	89f	47.92	106.95	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	77	91f	47.92	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	78	92f	47.92	106.96	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	55	Тополь, газонная трава
2019	79	63f	47.90	106.93	Баянзурх	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Искусственное (посадки)	55	Газонная трава
2019	80	1f	47.95	106.86	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	50	Горно-степная растительность, сорны- растения
2019	81	2f	47.96	106.84	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорны- растения
2019	82	3f	47.96	106.83	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность, сорны- растения
2019	83	4f	47.92	106.82	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Аллювиальный	Уничтожен	-	нет
2019	84	5f	47.92	106.82	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность
2019	85	6f	47.92	106.83	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	40	Горно-степная растительность
2019	86	7f	47.91	106.82	Сонгинохайрхан	Транспортная зона	Q _{III-IV} +перемещенный грунт, привнесенный материал	Каштановый	Искусственное (посадки)	45	Тополь, газонная трава
2019	87	38f	47.93	106.85	Сонгинохайрхан	Селитебная зона	C _{2,3} +наносы бытовых отходов	Каштановый	Естественное	65	Горно-степная растительность

ПРИЛОЖЕНИЕ А.2

Валовые содержания рН, С_{орг} и элементного состава в почвах г. Улан-Батор и содержания элементов в аммонийно-ацетатных вытяжках из почв определённые разными аналитическими методами (АЭС-ДР (испарение) - 1; АЭС-ДР (вдувание-просыпка) - 2; РФС - 3; ААС - 4 ; ПАЭС- 5; АЭС-ИСП -6); процент извлечения (ξ)

Год отбора	Номер пробы п/п полевой		рН	С _{орг}	Si, мас. %				Al, мас. %				Mg, мас. %						Ca, мас. %						Fe, мас. %			
					Вал		Подвижная форма		Вал			Подвижная форма	Вал			Подвижная форма			Вал			Подвижная форма			Вал			
					3	1	6	ξ	3	1	4	6	ξ	3	1	4	6	4	ξ	3	1	4	6	4	ξ	3	1	4
2010	1	001a	7.78	6.84	28.0	29	0.028	0.1	6.1	6.79	5.9	0.0032	0.05	0.49	0.55	0.59	0.06	0.038	11	3.93	3.25	2.8	1.6	48	2.77	2.95	2.9	
2010	2	002a	7.38	10.87	21.3	16.5	0.029	0.18	5.04	4.45	4.9	0.0025	0.06	0.4	0.44	0.44	0.078	0.058	18	3.23	2.38	2.3	0.80	34	2.6	2.22	2.8	
2010	3	003a	5.31	11.15	19.5	14	0.012	0.09	4.5	2.97	4.1	0.0032	0.11	0.34	0.26	0.35	0.071	0.062	27	2.06	1.17	1.5	0.60	51	2.62	1.59	2.6	
2010	4	004a	6.38	10.1	28.4	28.4	0.021	0.07	5.91	6.77	5.7	0.0118	0.17	0.45	0.4	0.45	0.026	0.028	6.5	2.88	2.26	1.9	0.48	21	2.69	2.84	2.8	
2010	5(1)	005a	6.5	3.65	10.2	< 8	0.008	-	1.72	1.42	2.2	0.0009	0.06	0.21	0.19	0.18	0.082	0.066	43	0.65	0.52	0.9	0.55	61	1.14	0.644	1.1	
2010	5	006a	7.6	5.66	22.8	20.7	0.042	0.2	5.53	4.52	5.4	0.011	0.24	0.48	0.39	0.59	0.117	0.090	30	3.33	2.62	2.6	0.80	30	4.97	5.61	6	
2010	6(1)	007a	7.97	2.84	27.9	28.9	0.016	0.06	5.78	5.7	6.4	0.0054	0.09	0.71	0.49	0.64	0.132	0.090	27	3.93	3.09	3.3	2.12	69	2	1.97	2.2	
2010	6	008a	10.53	0.96	24.7	22.5	0.045	0.2	6.28	6.25	5.9	0.115	1.8	0.37	0.49	0.63	0.064	0.042	13	5.83	6.805	5.7	2.3	34	4.2	4.56	4.6	
2010	7	009a	7.68	5.57	23.3	22.5	0.016	0.07	6.81	6.53	9	0.0029	0.04	0.76	0.86	1	0.126	0.079	15	5.65	5.37	5.5	2.9	53	4.11	4.7	4.8	
2010	7(1)	010a	7.68	3.48	5.4	< 8	0.005	-	0.53	< 1.25	< 0.2	0.00035	-	0.16	0.11	0.0985	0.077	90	0.4	0.236	1	0.67	67	0.8	0.46	1		
2010	8	011a	7.71	5.74	30.6	30	0.021	0.07	6.03	6.48	6.5	0.0055	0.08	0.69	0.45	0.52	0.062	0.049	14	3.29	2.52	2.1	0.87	35	2.43	2.27	2.5	
2010	9	012a	8.25	2.04	23.8	26.2	0.063	0.24	7.25	7.72	6.6	0.047	0.61	0.58	1.48	1.16	0.345	0.210	23	12.91	14.1	13.5	3.9	27	6.61	8.61	2.9	
2010	10	013a	8.46	0.4	27.9	29.2	0.017	0.06	6	6.4	6.7	0.0016	0.03	0.8	0.53	0.63	0.061	0.053	12	2.1	1.83	1.6	0.43	23	2.51	2.48	2.6	
2010	11	014a	8.44	1.16	31.2	31.9	0.023	0.07	6.16	4.98	6.8	0.0033	0.07	0.52	0.28	0.47	0.04	0.035	14	2.2	1.24	1.7	0.43	35	2.04	2.05	2.1	
2010	12	015a	8.15	2.24	28.3	27.2	0.02	0.07	5.36	5.66	6.3	0.002	0.04	0.51	0.36	0.4	0.062	0.045	17	3.22	2.93	2	0.70	24	2.07	1.89	2.2	
2010	13	016a	7.77	3.68	27.7	31.5	0.015	0.05	5.77	6.33	6.2	0.00065	0.01	1.11	0.74	0.8	0.078	0.048	11	7	5.06	4.8	0.87	17	2.5	2.18	2.3	
2010	14	017a	8.37	0.94	28.9	31	-	-	7.29	8.25	8.1	0.0011	0.01	1.16	0.86	0.82	0.05	0.053	5.8	1.89	1.87	2.5	0.37	0.47	20	3.21	3.43	3
2010	15	018a	8.2	2.15	34.8	34.9	-	-	5.72	5.46	7.8	0.0015	0.03	0.34	0.1625	0.69	0.021	0.022	13	1.49	1.14	1.6	0.24	0.34	21	1.01	0.822	2.8
2010	16	019a	7.54	2.86	28.4	30.1	-	-	5.99	6.38	7.1	0.0007	0.01	0.71	0.53	0.67	0.037	0.039	7	2.76	2.52	1.7	0.65	0.85	26	2.31	2.34	2.4
2010	17	020a	8.02	1.47	30.9	32.5	-	-	7.02	5.82	7	0.0013	0.02	0.95	0.52	1	0.03	0.032	5.8	2.32	1.39	2	0.50	0.72	36	2.62	2.29	3
2010	18	021a	8.3	1.77	29.8	30.4	-	-	8.11	7.65	8.2	0.0026	0.03	1	0.67	0.69	0.067	0.071	-	1.85	1.14	1.2	0.50	0.68	44	3.2	3.06	7.5
2010	19	022a	8.25	2.21	28.9	29.15	-	-	8.54	8.345	7.6	0.0023	0.03	0.98	0.79	0.75	0.0865	0.091	11	2.42	1.385	1.7	0.81	1.1	59	3.5	3.4	2.55
2010	20	023a	8.31	2.48	28.9	31.7	-	-	7.41	7.235	8.1	0.0014	0.02	1.34	0.69	0.65	0.04	0.049	5.8	2.49	1.585	1.4	0.83	0.90	52	3.06	3.005	3.15
2010	21	024a	8.08	3.16	28.8	29.7	-	-	7.92	7.26	7.4	0.002	0.03	1.14	0.68	0.8	0.048	0.049	7.1	1.4	1.11	2.7	0.26	0.36	24	3.61	3.42	2.5
2010	22	025a	7.96	2.83	29.3	32	0.013	0.04	7.07	8.2	7.6	0.0014	0.02	1.28	0.98	0.96	0.115	0.071	12	3.66	2.31	2.6	1.1	-	2.97	3.1	3.2	
2010	23	026a	8.62	2.85	30.8	30.7	-	-	6.63	6.21	7.5	0.0026	0.04	0.76	0.52	0.71	0.044	0.047	8.5	2.51	1.83	1.7	0.67	0.93	37	2.27	2.09	3
2010	24	027a	7.99	2.43	27.2	30.9	-	-	6.72	6.58	8.3	0.00027	0	1.24	0.82	1.12	0.115	0.127	14	6.03	3.45	2.1	2	3.1	58	2.85	2.8	3.8
2010	25	028a	8.29	1.07	30.6	32.1	0.014	0.04	7.06	6.05	7.3	0.0024	0.04	0.93	0.53	0.67	0.04	0.030	7.5	2.57	1.25	1.7	0.69	-	2.7	2.47	2.7	
2010	26	029a	7.83	4.15	31.0	32.2	0.019	0.06	6.5	4.42	7.5	0.0036	0.08	0.72	0.35	1.03	0.046	0.033	13	2.14	0.981	1.5	0.56	-	2.26	1.73	3.8	
2010	27	030a	8.64	1.18	27.5	27.2	0.019	0.07	6.1	5.98	8	0.002	0.03	0.71	0.52	0.078	0.053	15	3.53	3.37	2	1.1	-	2.73	2.66	2		
2010	28	031a	8.63	0.79	31.3	32.05	0.015	0.05	7.17	6.06	6.3	0.004	0.07	0.89	0.49	0.87	0.042	0.032	8.6	1.66	0.908	1.5	0.52	-	2.83	2.585	3.25	
2010	29	032a	8.8	0.29	29.5	31.7	-	-	7.09	6.1	6.3	0.0014	0.02	0.85	0.46	0.21	0.022	0.020	4.8	1.72	1.15	1	0.22	0.28	19	2.83	2.52	1.05
2010	30	033a	8.52	1.47	28.2	28.5	-	-	7.66	7.75	8.4	0.0018	0.02	1.13	0.89	0.62	0.055	0.051	6.2	1.71	1.71	2	0.38	0.44	22	3.54	3.46	2.4
2010	31	034a	7.75	1.78	27.8	28	-	-	6.74	6.55	7.1	0.0011	0.02	0.79	0.62	0.66	0.035	0.039	5.6	4.99	4.34	1.6	0.16	0.17	3.7	2.82	2.58	2.7
2010	32	035a	7.94	2.13	30.1	32.1	0.016	0.05	6.78	5.97	6.8	0.0017	0.03	0.93	0.505	0.7	0.07	0.048	14	2.08	1.445	1.3	0.57	-	2.59	2.15	3.1	
2010	33	036a	8.42	0.74	28.8	30.1	0.014	0.05	6.98	6.42	8.1	0.0015	0.02	0.92	0.53	0.83	0.036	0.024	6.8	1.64	1.59	1.8	0.23	13	3.06	2.89	3.4	
2010	34	037a	7.54	4.41	29.7	36.2	0.0077	0.02	6.44	7.07	8.9	0.0018	0.03	0.92	0.6	0.95	0.167	0.110	28	3.54	3.14	1.6	1.66	-	2.36	2.51	3	

Год отбора	Номер пробы п/п	Номер полевой	pH	С орг	Si, мас. %				Al, мас. %				Mg, мас. %					Ca, мас. %					Fe, мас. %					
					Вал		Подвижная форма		Вал			Подвижная форма	Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал					
					3	1	6	ξ	3	1	4	6	ξ	3	1	4	6	4	ξ	3	1	4	6	4	ξ	3	1	4
2010	35	038a	8.02	2.46	28.3	32.5	0.011	0.03	7.02	6.18	8.9	0.0022	0.04	1.25	0.77	0.88	0.096	0.064	12	3.27	2.47	1.1	1.57	-	3.01	2.86	3.8	
2010	36	039a	8.43	2.35	28.4	33.7	-	-	6.68	8.13	8.6	0.0005	0.01	0.93	0.84	0.55	0.042	0.043	5	3.53	4.17	1.7	1.01	1.37	24	2.59	2.95	2.45
2010	37	040a	8.18	2.72	31.3	37.7	-	-	5.81	6.07	8	0.0017	0.03	1.04	0.63	1	0.125	0.138	20	3.21	2.74	4	0.85	1.1	31	1.92	2.05	3
2010	38	041a	8.98	1.88	27.7	26.5	-	-	6.7	5.53	7.3	0.0012	0.02	1	0.62	0.63	0.052	0.057	8.4	2.28	1.68	1.3	0.53	0.74	32	3.01	2.41	2.9
2010	39	042a	7.86	4.17	30.3	37.1	-	-	6.76	6.77	7.2	0.00063	0.01	0.87	0.47	0.99	0.028	0.026	6	3.05	2.77	1.5	0.73	0.87	26	2.32	2.22	3.7
2010	40	043a	8.13	1.69	28.2	29.2	-	-	7.46	5.47	7.5	0.0014	0.03	1.1	0.57	0.72	0.054	0.061	9.5	2.12	1.93	3.8	0.53	0.77	28	3.45	2.88	2.9
2010	41	044a	8.23	2.9	29.3	34.1	0.021	0.06	7.01	6.86	7.9	0.0014	0.02	0.92	0.63	0.73	0.074	0.038	12	2.23	2.15	2.6	0.54	-	2.85	2.6	2.85	
2010	42	045a	8.08	2.83	28.9	30.8	-	-	7.05	5.7	6.9	0.0013	0.02	1.01	0.61	0.67	0.033	0.032	5.4	2.1	1.8	2	0.36	0.46	20	3.01	2.4	2.15
2010	43	046a	8.04	3.48	28.0	27.9	-	-	7.17	5.37	6.7	0.0011	0.02	1.06	0.56	0.8	0.049	0.049	8.8	2.22	1.81	1.7	0.46	0.58	25	3.18	2.6	3.25
2010	44	047a	6.99	3.64	27.7	28.2	-	-	5.9	6.27	6.3	0.00023	0	0.78	0.6	0.53	0.047	0.049	7.8	3.23	3.15	1.9	0.74	0.97	24	2.36	2.13	2.2
2010	45	048a	8.44	1.8	29.1	33.3	-	-	6.94	6.01	7.6	0.00092	0.02	1.03	0.5	0.85	0.048	0.055	9.6	3.51	2.35	1.7	1.0	1.4	41	2.65	2.52	3.55
2010	46	049a	8.72	1.29	29.9	30.5	-	-	6.46	6.02	7.1	0.0016	0.03	0.86	0.52	0.72	0.042	0.041	8.1	4.77	2.79	1.5	1.3	1.9	46	2.39	2.01	3
2010	47	050a	7.75	1.99	30.3	29.8	-	-	6.97	5.59	7	0.0013	0.02	0.85	0.44	1	0.027	0.026	6.1	1.89	1.27	2	0.30	0.36	23	2.61	1.84	3
2010	48	051a			27.1	24.8	0.024	0.1	6.93	5.61	7.3	0.0016	0.03	1.3	0.64	0.61	0.157	0.083	25	2.54	1.96	2.1	1.0	49	3.55	3.07	2.4	
2010	49	052a			28.8	28.4	0.018	0.06	6.29	5.78	7.5	0.0012	0.02	0.86	0.65	0.7	0.082	0.053	13	2.34	1.65	2.2	0.53	-	2.5	2.28	2.6	
2010	50	053a			27.9	30.7	0.032	0.1	7.13	5.92	7.1	0.0013	0.02	1.3	0.78	0.66	0.166	0.061	21	1.83	1.56	2.8	0.43	-	3.55	3.44	2.2	
2010	51	054a			28.4	29.9	-	-	6.44	6.79	7.2	0.00085	0.01	0.91	0.67	0.53	0.047	0.049	7	2.83	3.18	1.2	0.68	0.90	21	2.65	2.59	2.15
2010	52	055a	8.08	3.33	29.2	28.8	-	-	6.75	6.96	7.7	0.00086	0.01	0.88	0.65	0.7	0.039	0.039	6	1.73	1.84	2	0.23	0.31	13	2.87	2.85	2.75
2010	53	056a	7.56	2.91	31.7	32.6	-	-	6.35	5.2	7.3	0.0016	0.03	0.75	0.45	0.73	0.037	0.037	8.2	2.12	1.31	1.5	0.43	0.57	33	2.11	1.82	2.9
2010	54	057a	8.02	2.12	28.0	29.4	-	-	6.01	6.54	7.1	0.0016	0.02	0.99	0.7	0.47	0.083	0.091	12	4.93	3.83	1.4	1.5	2.27	40	2.3	2.29	2.1
2010	55	058a	8.02	3.22	30.0	33.8	0.022	0.07	5.74	7.61	7.3	0.007	0.09	0.62	0.51	0.7	0.122	0.040	24	3.71	3.8	3.2	0.59	-	1.8	1.87	2.2	
2010	56	059a	7.84	4.32	28.3	30.2	-	-	5.76	6.8	6.8	0.0011	0.02	0.69	0.49	0.62	0.078	0.085	16	3.81	3.56	3.2	1.3	2.11	36	2.02	2.25	2.15
2010	57	060a	7.83	2.92	30.9	32.9	-	-	6.03	6.46	7	0.003	0.05	0.71	0.47	1	0.0495	0.049	11	2.59	2.25	2	0.68	0.80	30	2.08	2.07	2
2010	58	061a	8.44	1.89	34.1	40.2	-	-	5.58	7.94	7.3	0.0057	0.07	0.44	0.38	0.33	0.027	0.032	7.1	1.81	1.48	1.2	0.33	0.47	22	1.56	2.01	1.65
2010	59	062a	8.27	2.54	32.0	34.4	-	-	5.75	5.68	7.1	0.0033	0.06	0.61	0.42	0.43	0.052	0.057	12	2.63	1.93	1.7	0.72	0.92	37	1.81	1.67	1.9
2010	60	063a	7	1.97	33.2	30.3	-	-	5.88	5.1	6.4	0.0005	0.01	0.57	0.27	0.41	0.02	0.022	7.4	1.47	0.99	1.2	0.11	0.15	11	1.66	1.12	1.35
2010	61	064a	6.97	4.08	27.4	21.3	-	-	6.76	5.53	7.3	0.00036	0.01	1.1	0.85	0.94	0.034	0.036	4	1.64	1.43	1.5	0.29	0.37	20	3.49	2.72	3.7
2010	62	065a	6.78	3.26	28.8	24.7	-	-	6.98	5.95	7.4	0.001	0.02	0.9	0.66	0.85	0.023	0.024	3.5	1.61	1.3	1.5	0.19	0.23	15	3.17	2.71	3.35
2010	63	066a	7.01	2.92	28.6	26.2	-	-	7.12	5.78	8.1	0.0013	0.02	0.99	0.66	0.79	0.029	0.030	4.4	1.66	1.37	1.4	0.23	0.28	17	3.29	2.94	3.45

Номер пробы		Fe, мас. %			Ti, % мас.			Na, мас. %					K, мас. %						P, % мас.					S, % мас.			
		Подвижная форма			Вал			Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма			Вал			Подвижная форма		Вал	Подвижная форма		
п/п	полевой	6	4	§	3	1	4	3	1	4	6	4	§	1	3	4	6	4	§	3	1	2	6	§	3	6	§
1	001a	0.0008	0.001	0.03	0.29	0.318	0.318	1.35	1.72	2.1	0.006	0.013	0.33	1.5	1.97	1.88	0.0275	0.0422	1.4	0.119	0.068	0.093	0.0037	5.4	0.192	0.0045	2.3
2	002a	0.0006	0.0006	0.03	0.25	0.204	0.276	0.77	0.892	0.8	0.004	0.01	0.47	1	1.43	1.15	0.0532	0.0922	3.7	0.131	0.077	0.085	0.0057	7.4	0.322	0.004	1.2
3	003a	0.0015	0.0014	0.09	0.23	0.120	0.162	0.66	0.686	1.1	0.015	0.04	2.2	1	1.24	1.16	0.0131	0.026	1.1	0.08	0.045	0.058	< 0.001	-	0.952	0.18	1.9
4	004a	0.0061	0.0062	0.21	0.26	0.227	0.219	1.14	1.61	1.9	0.002	0.006	0.11	2	1.92	1.96	0.0131	0.032	0.68	0.077	0.044	0.064	< 0.001	-	0.354	0.0071	2
5(1)	005a	0.0004	0.0005	0.06	0.140	0.034		< 0.15	0.154	0.3	0.005	0.014	3.2		0.53	0.4	0.0035	0.0077	0.66	0.009	0.028	0.017	< 0.001	-	0.372	0.017	4.6
5	006a	0.001	0.0012	0.02	0.26	0.201	0.251	0.77	0.89	1.3	0.008	0.02	0.91	0.5	1.29	1.27	0.0167	0.0328	1.3	0.057	0.053	0.066	< 0.001	-	0.441	0.046	10
6(1)	007a	0.0015	0.0016	0.08	0.26	0.311	0.277	2.12	1.47	2.6	0.061	0.086	4.1	1.7	1.98	1.86	0.0291	0.036	1.5	0.086	0.052	0.080	0.0016	3.1	0.217	0.039	18
6	008a	0.044	0.034	0.96	0.280	0.268	0.270	0.63	0.901	1.3	0.005	0.01	0.58	1	1.3	1.18	0.034	0.059	2.6	0.046	0.052	0.052	< 0.001	-	2.520	0.85	34
7	009a	0.001	0.001	0.02	0.37	0.372	0.373	0.95	0.996	1.6	0.011	0.018	1.1	1.5	1.48	1.41	0.0592	0.0703	4	0.122	0.099	0.098	< 0.001	-	0.250	0.019	7.6
7(1)	010a	0.0002	0.0003	0.03	0.06	0.011		< 0.15	0.062	0.00	0.006	0.015	9.2		0.16		0.0032	0.0051	2	0.007	0.017	0.019	< 0.001	-	0.439	0.03	6.8
8	011a	0.0013	0.0014	0.06	0.28	0.236	0.267	1.66	2.4	2.3	0.003	0.007	0.11	3	2.2	2.3	0.0101	0.0218	0.46	0.083	0.039	0.071	< 0.001	-	0.131	0.004	3.1
9	012a	0.017	0.0124	0.2	0.31	0.330	0.396	0.41	0.405	0.4	0.011	0.016	2.7	0.7	0.94	0.98	0.0125	0.014	1.3	0.017	0.054	0.045	< 0.001	-	0.424	0.26	61
10	013a	0.0004	0.0007	0.02	0.31	0.370	0.335	1.36	1.69	2	0.003	0.008	0.15	2	2.13	2.11	0.0153	0.0354	0.72	0.087	0.049	0.071	< 0.001	-	0.125	< 0.001	-
11	014a	0.0009	0.0011	0.04	0.24	0.217	0.267	1.81	1.42	2.4	0.002	0.007	0.15	2	2.38	2.36	0.0102	0.027	0.43	0.059	0.034	0.058	< 0.001	-	0.119	< 0.001	-
12	015a	0.0009	0.0011	0.05	0.22	0.204	0.251	1.53	1.98	2	0.003	0.009	0.16	2	2.08	2.08	0.0192	0.0438	0.92	0.074	0.039	0.052	0.0016	4.1	0.235	0.0039	1.7
13	016a	0.0001	< 0.0001	0.01	0.29	0.252	0.299	1.37	1.71	2.2	0.004	0.008	0.23	2	1.96	2.01	0.0407	0.0616	2.1	0.087	0.055	0.076	0.0044	8	0.176	0.026	15
14	017a	0.0007	< 0.0001	0.02	0.42	0.520	0.412	1.28	2	2.8	5E-04	0.014	0.03		2.31	2.11	0.012	0.0317	0.52	0.126	0.074	0.097	0.0016	2.2	0.069	0.002	2.9
15	018a	0.01	< 0.0001	1.2	0.13	0.131	0.406	2.55	1.995	2.4	0.001	0.041	0.07		2.77	2.36	0.031	0.0733	1.1	0.093	0.036	0.079	0.0115	32	0.058	0.0054	9.3
16	019a	0.001	< 0.0001	0.04	0.29	0.339	0.309	1.62	1.85	2.8	4E-04	0.01	0.02		2.17	2.38	0.045	0.0947	2.1	0.177	0.090	0.140	0.024	27	0.160	0.0064	4
17	020a	0.0006	< 0.0001	0.03	0.33	0.317		1.99	1.63	2	9E-04	0.023	0.05		2.38	2	0.013	0.0322	0.55	0.116	0.075	0.100	0.0064	8.5	0.057	0.0039	6.8
18	021a	0.0008	< 0.0001	0.03	0.39	0.363	0.464	1.51	1.57	2.3	0.001	0.033	0.07		2.37	2.42	0.012	0.0257	0.51	0.101	0.091	0.084	0.003	3.3	0.046	0.0041	8.9
19	022a	0.0009	< 0.0001	0.03	0.4	0.368	0.367	1.33	1.325	2.5	4E-04	0.01	0.03		2.2	2.25	0.0091	0.0191	0.41	0.077	0.088	0.062	0.0008	0.91	0.023	0.0022	9.6
20	023a	0.0007	< 0.0001	0.02	0.4	0.391	0.496	1.77	1.625	2.1	4E-04	0.008	0.02		2.4	2.16	0.025	0.0432	1	0.103	0.068	0.097	0.002	3	0.051	0.0016	3.1
21	024a	0.0011	< 0.0001	0.03	0.43	0.450	0.380	1.54	1.74	2.8	3E-04	0.007	0.02		2.29	2.23	0.018	0.0531	0.79	0.109	0.077	0.100	0.0019	2.5	0.052	0.001	1.9
22	025a	0.0003	0.0044	0.01	0.39	0.369	0.399	2.56	2.41	2.5	0.035	0.066	1.4	2	2.07	2.04	0.0432	0.0678	2.1	0.16	0.106	0.120	0.012	11	0.087	0.027	31
23	026a	0.0007	< 0.0001	0.03	0.29	0.273	0.441	2.11	2.24	2	0.001	0.032	0.05		2.28	2.11	0.0089	0.0197	0.39	0.075	0.056	0.086	0.0017	3	0.115	0.016	14
24	027a	0.0003	< 0.0001	0.01	0.35	0.352	0.460	2.14	1.81	2	0.007	0.234	0.37		2.04	2.09	0.015	0.033	0.74	0.095	0.071	0.077	0.0073	10	0.221	0.06625	30
25	028a	0.0005	0.0008	0.02	0.35	0.327	0.412	1.97	1.49	2	0.004	0.011	0.24	3	2.35	2.13	0.0191	0.0396	0.81	0.185	0.116	0.125	0.0097	8.4	0.076	0.0026	3.4
26	029a	0.0008	0.0011	0.05	0.3	0.343	0.457	2.16	1.03	1.8	0.004	0.011	0.36	2	2.43	2.2	0.0167	0.0368	0.69	0.13	0.079	0.120	0.0046	5.8	0.100	0.0025	2.5
27	030a	0.0003	0.0006	0.01	0.28	0.280		2.1	1.87	2	0.039	0.134	2.1	1.5	2.1	2	0.054	0.11	2.6	0.28	0.118	0.200	0.029	25	0.317	0.088	28
28	031a	0.0007	0.0079	0.03	0.35	0.320	0.399	2.22	1.22	2.1	0.005	0.017	0.39	2	2.69	2.14	0.012	0.033	0.45	0.095	0.081	0.090	0.0014	1.7	0.046	0.0028	6.1
29	032a	0.0007	5E-05	0.03	0.36	0.367	0.110	1.8	1.52	2.4	4E-04	0.013	0.02		2.56	2.69	0.05	0.1079	2	0.234	0.111	0.180	0.053	48	0.103	0.0035	3.4
30	033a	0.0016	< 0.0001	0.05	0.42	0.492	0.299	1.29	1.62	2.3	0.001	0.031	0.06		2.24	2.08	0.011	0.0185	0.49	0.115	0.085	0.110	0.0014	1.6	0.062	0.0028	4.5
31	034a	0.0004	< 0.0001	0.01	0.35	0.353	0.332	1.53	2	2.3	6E-04	0.012	0.03		2.18	2.2	0.024	0.0471	1.1	0.15	0.080	0.130	0.0096	12	0.126	0.0094	7.5
32	035a	0.0008	0.0009	0.03	0.35	0.307	0.361	1.56	1.59	2.1	0.009	0.03	0.59	2	2.28	2.26	0.0107	0.028	0.47	0.112	0.063	0.099	0.0028	4.4	0.081	0.0053	6.5
33	036a	0.0002	0.0003	0.01	0.4	0.441	0.201	1.49	1.7	2.5	0.002	0.008	0.13	1.5	2.28	2.1	0.0361	0.0944	1.6	0.208	0.102	0.125	0.014	14	0.094	< 0.001	-
34	037a	0.0005	0.0007	0.02	0.3	0.355	0.387	2.6	2.13	2.2	0.059	0.105	2.7	1.5	2.34	2.26	0.0311	0.0398	1.3	0.089	0.065	0.093	0.0029	4.5	0.142	0.03	21

Номер пробы		Fe, мас. %			Ti, % мас.			Na, мас. %					K, мас. %					P, % мас.					S, % мас.				
		Подвижная форма			Вал			Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал	Подвижная форма			
		6	4	ξ	3	1	4	3	1	4	6	4	ξ	1	3	4	6	4	ξ	3	1	2	6	ξ	3	6	ξ
35	038a	0.0005	0.0011	0.02	0.39	0.370	0.440	1.53	1.6	2.1	0.016	0.031	0.97	1.5	2.08	2.22	0.0192	0.0278	0.92	0.121	0.084	0.115	0.0036	4.3	0.083	0.013	16
36	039a	0.0003	< 0.0001	0.01	0.34	0.397	0.247	1.59	2.2	2.3	3E-04	0.011	0.01		2.09	2.22	0.039	0.0792	1.9	0.16	0.094	0.120	0.022	23	0.117	0.0086	7.4
37	040a	0.0009	< 0.0001	0.04	0.24	0.267	0.000	2.49	2.06	2	0.002	0.057	0.09		2.26	2	0.017	0.0358	0.75	0.082	0.050	0.084	0.0025	5	0.173	0.033	19
38	041a	0.0012	< 0.0001	0.05	0.37	0.372	0.408	1.42	1.31	2.2	5E-04	0.017	0.04		2.37	2.26	0.063	0.1434	2.7	0.18	0.110	0.130	0.017	15	0.115	0.01	8.7
39	042a	0.0004	< 0.0001	0.02	0.34	0.336	0.436	1.79	2.15	2.2	0.001	0.039	0.06		2.27	2.05	0.027	0.0554	1.2	0.141	0.069	0.110	0.016	23	0.104	0.011	11
40	043a	0.0007	< 0.0001	0.03	0.41	0.411	0.380	1.05	1.49	2	2E-04	0.01	0.02		2.48	2.08	0.054	0.1197	2.2	0.108	0.070	0.110	0.006	8.6	0.062	0.0046	7.4
41	044a	0.0006	0.0006	0.02	0.37	0.407	0.437	1.74	1.84	2.1	0.003	0.008	0.15	2	2.35	1.96	0.0464	0.1025	2	0.174	0.095	0.155	0.018	19	0.083	0.001	1.2
42	045a	0.001	< 0.0001	0.04	0.39	0.382	0.373	1.35	1.55	2.3	2E-04	0.008	0.01		2.43	2.01	0.06	0.1303	2.5	0.252	0.133	0.190	0.056	42	0.086	0.0031	3.6
43	046a	0.0007	< 0.0001	0.03	0.39	0.381	0.446	1.31	1.52	1.8	2E-04	0.009	0.01		2.36	2.17	0.059	0.1237	2.5	0.176	0.107	0.150	0.028	26	0.101	0.0046	4.6
44	047a	0.0005	< 0.0001	0.02	0.31	0.292	0.427	2.18	1.93	2.3	0.007	0.232	0.36		2.16	2.15	0.077	0.167	3.6	0.607	0.218	0.270	0.0343	16	0.268	0.047	18
45	048a	0.0004	< 0.0001	0.02	0.35	0.366	0.501	1.71	1.67	1.7	4E-04	0.017	0.02		2.23	2.22	0.018	0.0388	0.81	0.112	0.059	0.100	0.0061	10	0.079	0.0053	6.7
46	049a	0.0006	< 0.0001	0.03	0.32	0.295	0.466	1.82	1.85	1.9	4E-04	0.016	0.02		2.17	2.17	0.0093	0.0156	0.43	0.101	0.050	0.082	0.0031	6.2	0.091	0.0085	9.3
47	050a	0.001	< 0.0001	0.05	0.36	0.291	1.000	1.42	1.74	2	3E-04	0.014	0.02		2.36	2	0.033	0.0679	1.4	0.151	0.060	0.100	0.016	27	0.104	0.0098	9.4
48	051a	0.0007	0.0008	0.02	0.41	0.391	0.409	1.21	1.24	2.3	0.006	0.017	0.49	2	2.24	2.03	0.0345	0.0631	1.5	0.124	0.090	0.120	0.0025	2.8	0.066	0.0045	6.8
49	052a	0.0009	0.001	0.04	0.33	0.380	0.453	1.58	1.07	2.3	0.003	0.007	0.26	2	2.34	2.22	0.0873	0.0146	3.7	0.38	0.135	0.240	0.088	65	0.112	0.0064	5.7
50	053a	0.0009	0.0006	0.03	0.43	0.460	0.387	1.31	1.35	2.5	0.001	0.005	0.1	2	2.36	2.26	0.0351	0.0952	1.5	0.167	0.106	0.150	0.0255	24	0.068	0.006	8.8
51	054a	0.0006	< 0.0001	0.02	0.34	0.415	0.334	1.73	2.13	2.1	2E-04	0.008	0.01		2.21	2.33	0.053	0.1171	2.4	0.294	0.137	0.200	0.073	53	0.110	0.0042	3.8
52	055a	0.0005	< 0.0001	0.02	0.37	0.450	0.440	1.63	1.85	2.1	0.0000	0.007	-		2.39	1.93	0.071	0.1552	3	0.273	0.131	0.190	0.058	44	0.091	0.0022	2.4
53	056a	0.0005	< 0.0001	0.03	0.29	0.264	0.510	2.03	1.79	2.4	4E-04	0.016	0.02		2.39	2	0.013	0.0257	0.54	0.08	0.049	0.085	0.0035	7.1	0.101	0.0043	4.3
54	057a	0.0003	< 0.0001	0.01	0.31	0.337	0.386	1.79	1.86	2.3	0.001	0.044	0.08		1.92	2.26	0.0071	0.0128	0.37	0.068	0.044	0.060	0.0016	3.6	0.153	0.014	9.2
55	058a	0.007	0.0028	0.37	0.24	0.303	0.410	2.32	2.65	2.2	0.025	0.08	0.94	2	2.23	1.88	0.0143	0.032	0.64	0.07	0.040	0.059	0.0026	6.5	0.135	0.063	47
56	059a	0.0005	3E-05	0.02	0.26	0.328	0.386	2.22	2.09	2.5	0.004	0.11	0.21		2.06	1.94	0.016	0.0382	0.78	0.082	0.049	0.081	0.0037	7.6	0.199	0.029	15
57	060a	0.0018	< 0.0001	0.09	0.29	0.311		2.11	1.91	2	1E-03	0.027	0.05		2.31	2	0.023	0.0437	1	0.079	0.046	0.083	0.003	6.5	0.143	0.0098	6.9
58	061a	0.0173	0.0009	0.86	0.21	0.284	0.288	2.46	2.38	2.3	0.002	0.02	0.07		2.52	2.19	0.011	0.0241	0.44	0.05	0.037	0.063	0.002	5.4	0.099	0.0044	4.4
59	062a	0.008	0.0004	0.48	0.25	0.264	0.399	2.62	2.21	2.5	0.004	0.113	0.17		2.4	2.19	0.017	0.038	0.71	0.071	0.042	0.076	0.0023	5.5	0.177	0.025	14
60	063a	0.0006	2E-05	0.06	0.28	0.221	0.323	1.99	1.89	2.8	4E-04	0.007	0.02		2.46	2.41	0.015	0.0322	0.61	0.114	0.037	0.069	0.0054	15	0.104	0.0013	1.3
61	064a	0.0002	< 0.0001	0.01	0.43	0.419	0.545	1.25	1.63	1.9	3E-04	0.005	0.02		2.15	1.88	0.028	0.0443	1.3	0.119	0.077	0.100	0.0038	4.9	0.086	0.001	1.2
62	065a	0.0004	< 0.0001	0.01	0.41	0.417	0.500	1.48	1.69	2.5	3E-04	0.005	0.02		2.18	2.07	0.025	0.0516	1.1	0.139	0.075	0.099	0.0047	6.3	0.089	0.0012	1.3
63	066a	0.0007	< 0.0001	0.02	0.43	0.461	0.531	1.39	1.45	1.9	3E-04	0.005	0.02		2.15	1.98	0.023	0.0431	1.1	0.118	0.066	0.083	0.0041	6.2	0.090	0.0017	1.9

Номер пробы		Ba, г/т					Sr, г/т					Li, г/т					Rb, г/т					B, г/т					Mn, г/т					
		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал		Подвижная форма			Вал		Подвижная форма			Вал			Подвижная форма							
		3	1	4	6	§	3	1	4	6	4	§	2	5	6	5	§	5	6	5	§	1	2	6	§	3	1	2	4	6	4	§
1	001a	740	670	603	27	4	322	380	394	58	54	15	21	22	1	0.54	4.8	76		0.96	1.3	33	48	11	23	530	470	600	595	165	102	35
2	002a	650	440	487	13	3	299	340	671	48	52	14	20	20	<1.0	0.46	-	59		1.28	2.2	30	48	10	21	530	440	680	560	73	56	17
3	003a	670	360	456	3.2	0.89	239	180	304	33	38	18	21	17	<1.0	0.5	-	58		0.58	1	21	31	6.9	22	380	260	740	390	74	66	28
4	004a	770	770	658	9.5	1.2	319	420	421	23	30	5.5	22	21	<1.0	0.42	-	83		0.58	0.7	34	61	8.3	14	620	500	690	595	53	52	11
5(1)	005a	590	230	291	15	6.5	270	170	154	61	71	36	19	10	<1.0	0.35	-	26		1.44	5.5	11	15	5	33	150	130	150	120	35	32	27
5	006a	730	450	493	8.2	1.8	288	270	418	52	56	19	23	21	1.8	1.04	7.8	58		1.04	1.8	33	53	9.7	18	750	670	950	925	94	80	14
6(1)	007a	730	690	762	16	2.3	389	410	501	110	96	27	18	20	2.6	0.94	14	75		0.8	1.1	34	43	9.3	22	500	290	570	510	140	106	48
6	008a	920	775	285	3.1	0.4	612	510		145	118	28	33	29	2.3	1.5	7	68		1.54	2.3	62.5	81	17	21	810	635	670	840	135	108	21
7	009a	710	550	627	13	2.4	379	400	501	96	72	24	23	26	2	0.53	8.7	66		0.98	1.5	55	56	9	16	780	690	750	875	110	80	16
7(1)	010a	400	65	144	11	7.6	271	86	152	70	79	81	16	4.2	<1.0	0.28	-	9.2		0.74	8	12	17	5	29	130	58	<100	118	34	30	59
8	011a	700	690	639	18	2.6	322	380	407	55	60	14	21	20	<1.0	0.64	-	95		0.48	0.51	34	58	5.6	9.7	650	430	660	590	110	90	26
9	012a	1370	1420		12	0.85	1683	1580		>300.	298	-	27	24	3.4	0.84	13	60		0.88	1.5	280	400	76	19	1890	2660	1400	1900	47	34	1.8
10	013a	660	600	578	15	2.5	287	340	421	35	42	10	20	21	<1.0	0.58	-	89		0.72	0.81	33	45	5.9	13	640	440	730	670	110	100	25
11	014a	650	600	603	11	1.8	280	320	378	23	27.4	7.2	18	20	<1.0	0.62	-	94		1.04	1.1	31	44	5.2	12	510	330	600	495	72	70	22
12	015a	720	660		9.8	1.5	314	380	458	38	44		17	18	<1.0	0.44	-	84		1.02	1.2	33	38	6.5	17	530	330	595	535	73	66	22
13	016a	690	660	578	15	2.3	333	410	410	67	54	16	23	19	1.2	0.36	5.2	75		1.38	1.8	35	47	5.2	11	620	390	620	515	41	32	11
14	017a	710	720	823	25	3.5	270	350		21	32	6	29	26	0.39	0.57	1.3	65	<2	0.83	1.3	41	54	0.36	0.67	770	560	890	630	80	78	14
15	018a	580	520	737	11	2.1	225	200	498	11	15	5.5	15	35	0.34	0.42	2.3	85	<2	1.33	1.6	17.5	45	0.33	0.73	250	135	350	630	47	46	35
16	019a	760	750	749	23	3.1	314	380	458	29	46	7.6	21	22	0.46	0.63	2.2	89	<2	1.33	1.5	42	47	0.83	1.8	580	440	460	545	120	120	27
17	020a	710	670	853	16	2.4	343	380		22	38	5.8	20	18	0.46	0.67	2.3	74	<2	0.83	1.1	38	57	0.33	0.58	680	430	690	590	63	60	15
18	021a	710	840	749	26	3.1	319	400	394	39	68	9.8	34	30	0.51	0.76	1.5	96	<2	0.45	0.47	64	82	0.58	0.71	660	590	730	630	82	80	14
19	022a	690	920	578	28	3	357	355	346	46	76	13	44	23	0.46	0.66	1	102	<2	0.32	0.31	60	81	<0.2	-	650	575	710	550	67	64	12
20	023a	720	645		17	2.6	329	290	514	24	40	8.3	38	24	0.62	0.82	1.6	88	<2	1.12	1.3	45.5	68	0.31	0.46	760	480	680	750	83	80	17
21	024a	700	660	694	17	2.6	351	350	511	20	34	5.7	35	24	0.73	1.12	2.1	82	<2	0.57	0.7	41	53	0.22	0.42	810	600	770	535	71	70	12
22	025a	720	960	578	12	1.3	518	660	421	110	90	17	26	26	2.2	0.9	8.5	80		1.42	1.8	37	52	13	25	660	630	570	690	110	80	17
23	026a	710	740		17	2.3	360	430	463	29	52	6.7	23	26	0.5	0.66	2.2	83	<2	0.69	0.83	44	57	0.77	1.4	560	490	640	650	94	90	19
24	027a	730	650	639	13	2	414	450	391	70	100	16	27	34	0.815	0.84	3	110	<2	0.65	0.59	64	74	1.35	1.8	660	510	580	970	50	43	9.8
25	028a	800	820	633	21	2.6	403	450	471	50	54	11	24	24	<1.0	0.5	-	79		0.62	0.78	42	50	6	12	680	430	660	665	100	82	23
26	029a	800	760	627	20	2.6	336	370	368	42	48	11	21	32	1.1	0.8	5.2	89		1.24	1.4	44	52	7.4	14	540	320	540	850	110	102	34
27	030a	930	830	572	12	1.4	385	400	415	88	88	22	18	20	2.1	0.86	12	85		1.34	1.6	81	92	23	25	580	380	850	430	134	95	35
28	031a	740	720	554	21	2.9	325	265	341	32	38.3	12	27	30	1.1	0.93	4.1	120		1	0.83	34	43	5.5	13	660	425	600	760	100	88	24
29	032a	800	690	1116	15	2.2	343	330	346	19	30	5.8	26	21	0.45	0.55	1.7	151	<2	1.77	1.2	39	48	0.63	1.3	740	440	730	230	88	86	20
30	033a	690	720	603	24	3.3	271	330	415	27	42	8.2	31	23	0.53	0.7	1.7	81	<2	0.72	0.89	42	55	0.4	0.73	790	590	820	600	67	65	11
31	034a	1020	970		39	4	501	510	487	81	140	16	25	24	0.7	0.8	2.8	91	<2	1.03	1.1	42	66	0.33	0.5	660	460	570	645	59	58	13
32	035a	690	585	627	26	4.4	266	220	399	35	37.4	16	24	35	<1.0	0.52	-	88		1.02	1.2	32	48	5.8	12	620	355	590	615	110	74	31
33	036a	720	340	578	27	7.9	350	210	413	19	22	9	27	37	<1.0	0.32	-	75		2	2.7	32	40	4.9	12	760	540	680	620	130	88	24
34	037a	730	430	609	9.5	2.2	425	280	373	93	82	33	25	40	1.6	0.64	6.4	83		1.02	1.2	38	48	6.9	14	550	400	480	740	89	68	22

Номер пробы		Ba, г/т					Sr, г/т					Li, г/т					Rb, г/т					B, г/т					Mn, г/т					
		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал		Подвижная форма			Вал		Подвижная форма			Вал				Подвижная форма						
		3	1	4	6	ξ	3	1	4	6	4	ξ	2	5	6	5	ξ	5	6	5	ξ	1	2	6	ξ	3	1	2	4	6	4	ξ
35	038a	680	680	590	19	2.8	334	210	471	63	56	30	27	42	1.2	0.6	4.4	119	<2	0.78	0.66	36	52	4.7	9	700	520	550	820	86	66	17
36	039a	770	960	621	24	2.5	371	310	471	45	70	15	27	25	0.6	0.7	2.2	105	<2	1.2	1.1	37	41	0.78	1.9	680	570	520	595	92	86	16
37	040a	740	810	731	14	1.7	346	230	470	33	52	14	16	27	0.65	0.76	4.1	73	<2	0.91	1.2	36	52	1.2	2.3	480	370	520	615	72	70	19
38	041a	750	<60	749	23	-	272	180	474	25	40	14	27	25	0.72	0.85	2.7	88	<2	1.51	1.7	42	42	1	2.4	770	490	780	685	140	136	29
39	042a	720	<60	737	16	-	346	220	333	27	42	12	26	33	0.54	0.61	2.1	102	<2	0.6	0.59	33	48	0.8	1.7	610	400	700	810	65	60	16
40	043a	710	290	1031	31	11	282	160		22	38	14	25	26	0.86	0.93	3.4	91	<2	1.46	1.6	40	59	0.46	0.78	870	540	860	640	100	98	19
41	044a	730	750	749	19	2.5	341	240	469	38	39	16	25	24	1	0.74	4	89		1.06	1.2	40	48	5	10	620	460	570	670	62	73	13
42	045a	730	740	688	17	2.3	315	200	437	22	36	11	26	19	0.71	0.76	2.7	83	<2	1.51	1.8	38	50	0.59	1.2	760	490	760	495	68	64	14
43	046a	740	<60	676	20	-	323	200	381	28	44	14	30	24	0.8	0.87	2.7	124	<2	1.26	1	36	44	0.69	1.6	740	470	700	780	81	78	17
44	047a	740	760		5.2	0.68	358	250	487	29	44	12	22	23	0.62	0.65	2.8	94	<2	2.17	2.3	35	38	1.7	4.5	660	490	580	540	110	100	22
45	048a	700	550	603	19	3.5	390	210	357	39	64	19	26	31	0.56	0.67	2.2	120	<2	0.63	0.53	35	49	0.61	1.2	700	380	590	875	80	76	21
46	049a	710	650	725	18	2.8	392	290	381	43	68	15	24	26	0.53	0.56	2.2	83	<2	0.43	0.52	29	43	0.3	0.7	600	370	580	700	74	70	20
47	050a	690	610	618	13	2.1	271	200	391	14	22	7	33	28	0.33	0.35	1	89	<2	0.54	0.61	27	35	0.39	1.1	710	390	730	723	87	82	22
48	051a	710	510	725	28	5.5	293	190	434	59	54	31	31	22	2	0.86	6.5	78		1.48	1.9	41	51	5	9.8	920	570	720	635	130	95	23
49	052a	730	910	676	21	2.3	366	280	447	49	50	18	23	26	1.2	0.82	5.2	91		2.36	2.6	32	46	5.9	13	670	430	650	630	130	90	30
50	053a	680	620	615	27	4.4	287	180	498	36	36	20	32	27	<1.0	0.91	-	119		1.28	1.1	37	53	5	9.4	800	580	630	515	220	70	38
51	054a	750	740	603	20	2.7	384	240	325	39	60	16	26	26	0.67	0.66	2.6	101	<2	1.66	1.6	33	47	0.76	1.6	680	510	650	550	97	90	19
52	055a	740	710	609	17	2.4	340	240	482	19	30	7.9	30	23	0.69	0.74	2.3	70	<2	2.23	3.2	32	44	0.29	0.66	750	510	750	675	80	76	16
53	056a	720	720	633	16	2.2	307	210	397	19	32	9	22	27	0.54	0.57	2.5	82	<2	0.73	0.89	29	51	0.48	0.94	510	370	500	700	74	70	20
54	057a	760	750	645	17	2.3	443	350	394	63	110	18	30	22	0.6	0.7	2	95	<2	0.44	0.46	32	40	0.57	1.4	580	370	490	480	69	64	19
55	058a	690	800	676	17	2.1	327	330	511	45	35	14	19	23	<1.0	0.5	-	71		0.78	1.1	29	31	9	29	480	330	685	520	200	64	61
56	059a	740	720	664	14	1.9	414	330	498	56	96	17	20	21	0.76	0.91	3.8	76	<2	0.52	0.68	39	47	1.2	2.6	490	370	410	520	85	80	23
57	060a	750	740	661	21	2.8	336	320	430	31	48	9.7	22	22	0.66	0.78	3	83	<2	0.67	0.81	41	53	1.15	2.2	510	370	530	520	98	91	26
58	061a	690	910	597	13	1.4	308	330	394	14	24	4.2	16	19	0.4	0.48	2.5	88	<2	0.67	0.76	29	47	0.4	0.85	390	430	500	380	47.3	50	11
59	062a	730	680		14	2.1	356	280	495	27	44	9.6	19	20	0.61	0.76	3.2	84	<2	0.78	0.93	34	54	1	1.9	430	310	470	450	78	72	25
60	063a	670	600	639	5	0.83	288	220	368	8.2	11	3.7	47	18	<0.2	0.23	-	89	<2	0.82	0.92	23	24	<0.2	-	450	250	640	375	31	28	12
61	064a	710	570	578	24	4.2	261	210	354	16	26	7.6	35	33	0.45	0.68	1.3	120	<2	1.12	0.93	45	45	<0.2	-	840	620	650	890	54	50	8.7
62	065a	720	680	615	24	3.5	296	190	381	13	20	6.8	38	25	0.28	0.43	0.74	97	<2	1.32	1.4	34	36	<0.2	-	810	580	710	780	59	56	10
63	066a	710	620	621	30	4.8	306	260	368	16	26	6.2	34	26	0.32	0.48	0.94	94	<2	1.25	1.3	35	34	<0.2	-	820	550	730	810	75	72	14

Номер пробы		Ni, г/т					Co, г/т					V, г/т					Cr, г/т					Mo, г/т			Sn, г/т			
		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал	Подвижная форма	Вал	Подвижная форма			
		1	2	4	6	§	1	2	4	6	§	1	2	4	6	§	1	2	4	6	4	§	2	6	§	2	6	§
1	001a	18	31	25	<1.0	-	11	12	11	<1.0	-	70	52		<2.0	-	75	54	87	<1.0		-	4.8	<1.0	-	7.6	3.7	49
2	002a	11	25	24	<1.0	-	8	19	11	<1.0	-	46	69		<2.0	-	72	72	85	1.1		1.5	8.1	<1.0	-	6.1	3	49
3	003a	12	25	26	<1.0	-	5.5	13	8	<1.0	-	32	76		<2.0	-	60	95	94	1.6		1.7	8.7	<1.0	-	4.1	3.8	93
4	004a	17	25	24	<1.0	-	9.1	14	10	<1.0	-	48	50		<2.0	-	79	59	72	1.45		2.5	7.4	<1.0	-	6.9	3.9	57
5(1)	005a	<1	6	7.1	<1.0	-	5.5	4.7	4	<1.0	-	12	52		<2.0	-	17	35	20	<1.0		-	2.1	<1.0	-	9.2	3.7	40
5	006a	33	59	56	<1.0	-	14	15	12	<1.0	-	61	65	60	<2.0	-	100	97	119	<1.0		-	17	<1.0	-	6	4.8	80
6(1)	007a	10	25	13	<1.0	-	8.4	10	9	<1.0	-	65	39	50	<2.0	-	64	35	72	1.75		5	3	<1.0	-	5.5	4.8	87
6	008a	34	16	33	<1.0	-	18.5	12	19	1.2		63	58	70	<2.0	-	69.5	45	90	1.25		2.8	13	<1.0	-	9	5.3	59
7	009a	26	50	39	<1.0	-	17	15	18	<1.0	-	105	79	90	<2.0	-	95	57	107	<1.0		-	7.6	<1.0	-	8.9	3.2	36
7(1)	010a	<1	13	8	<1.0	-	5.4	9.6	8	<1.0	-	8	50		<2.0	-	14	31	11	<1.0		-	5.42	<1.0	-	6.4	3.8	59
8	011a	12	28	20	<1.0	-	7	11	9	<1.0	-	48	43	50	<2.0	-	97	49	78	<1.0		-	4.2	<1.0	-	7.4	4.6	62
9	012a	29	53	42	1.5	2.8	34	24	33	1.2	5	91	78	90	<2.0	-	79	72	92	2		2.8	16	3.6	23	6	4.5	75
10	013a	15	25	22	<1.0	-	9.3	12	12	<1.0	-	68	47	60	<2.0	-	76	50	85	<1.0		-	2.2	<1.0	-	4.9	3.9	80
11	014a	12	22	16	<1.0	-	6	10	8	<1.0	-	44	37	50	<2.0	-	55	38	68	<1.0		-	3.2	<1.0	-	5.1	4.5	88
12	015a	24	34	21	<1.0	-	5.9	8.3	7	<1.0	-	40	35	50	<2.0	-	68	48	82	1		2.1	3.2	<1.0	-	5.2	4.5	87
13	016a	22	41	36	<1.0	-	8.6	10	11	<1.0	-	50	45	50	<2.0	-	60	46	66	<1.0		-	2.5	<1.0	-	5	4.3	86
14	017a	26	47	13	<0.5	-	14	18	10	<0.2	-	105	87	95	<0.2	-	76	57	46	0.74	<	1.3	1.2	<0.2	-	3.7	<0.2	-
15	018a	6	24	18	1	4.2	3.45	4.8	9	0.31	6.5	22	31	80	<0.2	-	61	99	55	3	2.2	3	1.9	<0.2	-	2.9	<0.2	-
16	019a	13	42	15	<0.5	-	9.1	12	7	0.35	2.9	66	57	60	<0.2	-	78	48	66	0.9	6.4	1.9	3.2	<0.2	-	4.5	<0.2	-
17	020a	10	35	49	<0.5	-	10	12	12	<0.2	-	64	69	63	<0.2	-	50	57	99	0.36	5.2	0.63	1.8	<0.2	-	4.8	<0.2	-
18	021a	9	24	13	<0.5	-	8.7	9.5	9	<0.2	-	78	86	75	<0.2	-	41	42	55	0.53	<	1.3	1.6	<0.2	-	4.6	<0.2	-
19	022a	14	21	20	<0.5	-	8.9	9.4	9	<0.2	-	79.5	94	70	<0.2	-	30.5	31	69	1	6	3.2	1.2	<0.2	-	3.7	<0.2	-
20	023a	12	33	22	<0.5	-	12	15	9	<0.2	-	78.5	78	85	<0.2	-	35	30	70	0.39	<	1.3	1.4	<0.2	-	3.5	<0.2	-
21	024a	29	42	14	<0.5	-	13	19	8	<0.2	-	89	87	70	<0.2	-	43	33	44	0.36	3.8	1.1	1.4	<0.2	-	3.4	<0.2	-
22	025a	10	15	27	<1.0	-	7.5	9.2	11	<1.0	-	69	90	80	<2.0	-	35	36	71	<1.0		-	2.4	<1.0	-	8	4.3	54
23	026a	9	31	24	<0.5	-	6.4	9.8	10	0.44	4.5	52	61	80	<0.2	-	50	52	73	0.57	4.2	1.1	2.4	<0.2	-	5.1	<0.2	-
24	027a	10	28	34	<0.5	-	9.8	10	14	<0.2	-	69	66	110	<0.2	-	34	38	78	0.29	11.3	0.76	1.9	<0.2	-	3	<0.2	-
25	028a	15	20	20	<1.0	-	7.8	13	9	<1.0	-	61	75	65	<2.0	-	38	43	65	<1.0		-	2.2	<1.0	-	5.4	3.6	67
26	029a	8	18	32	<1.0	-	5.7	12	13	<1.0	-	60	56	95	<2.0	-	42	42	80	1.5		3.6	2.3	<1.0	-	7	4.8	69
27	030a	30	49	15	2.4	4.9	9	12	9	<1.0	-	51	41	50	<2.0	-	76	33	77	<1.0		-	5.5	<1.0	-	96	14	15
28	031a	22	28	28	<1.0	-	9.05	11	12	<1.0	-	65.5	86	80	<2.0	-	31	41	83	<1.0		-	2.4	<1.0	-	5.6	4.1	73
29	032a	16	45	9.7	<0.5	-	9.7	17	4	0.36	2.1	68	75		<0.2	-	46	51	76	0.36	<	0.71	2.8	<0.2	-	4.2	<0.2	-
30	033a	31	48	22	<0.5	-	14	19	9	0.25	1.3	99	82	60	<0.2	-	69	46	75	1	<	2.2	1.2	<0.2	-	3.7	<0.2	-
31	034a	12	39	20	<0.5	-	9.1	13	12	<0.2	-	69	68	60	<0.2	-	59	55	66	0.38	<	0.69	2.4	<0.2	-	5.1	<0.2	-
32	035a	17	28	15	<1.0	-	9	14	9	<1.0	-	64	69	70	<2.0	-	54	51	46	<1.0		-	1.4	<1.0	-	4.4	<2.0	-
33	036a	25	26	13	<1.0	-	10	14	11	<1.0	-	75	71	60	<2.0	-	27	49	38	<1.0		-	2.1	<1.0	-	4.3	<2.0	-
34	037a	13	20	17	<1.0	-	10	10	12	<1.0	-	64	60	60	<2.0	-	20	31	46	<1.0		-	2.7	<1.0	-	5	4	80

Номер пробы		Ni, г/т					Co, г/т					V, г/т					Cr, г/т					Mo, г/т			Sn, г/т			
		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал	Подвижная форма	Вал	Подвижная форма			
		1	2	4	6	ξ	1	2	4	6	ξ	1	2	4	6	ξ	1	2	4	6	4	ξ	2	6	ξ	2	6	ξ
п/п	полевой	24	41	25	<1.0	-	12	13	13	<1.0	-	74	77	90	<2.0	-	42	46	59	<1.0	-	1.7	<1.0	-	4.8	3.3	69	
35	038a	17	39	16	<0.5	-	12	13	8	0.28	2.2	74	69	50	<0.2	-	66	46	69	0.37	<	0.8	1.7	<0.2	-	3.6	<0.2	-
36	039a	14	29	18	0.77	2.7	6.7	7.8	7	0.42	5.4	45	43	68	<0.2	-	75	58	50	2	1.3	3.4	2.5	<0.2	-	4.8	<0.2	-
37	040a	18	41	19	<0.5	-	10	14	10	0.38	2.7	66	73	70	<0.2	-	47	53	66	0.89	<	1.7	1.4	<0.2	-	2.7	<0.2	-
38	041a	29	32	35	<0.5	-	9.1	11	10	0.26	2.4	54	68	80	<0.2	-	24	53	87	0.33	4	0.62	1.5	<0.2	-	3.9	<0.2	-
39	042a	20	45	26	<0.5	-	14	16	13	0.27	1.7	83	75	70	<0.2	-	45	49	72	0.8	4.2	1.6	1	<0.2	-	3.8	<0.2	-
40	043a	18	33.2	25	<1.0	-	12	13	12	<1.0	-	82	77	60	<2.0	-	35	42	71	<1.0	-	-	2.3	<1.0	-	7.6	5	66
41	044a	15	42	21	<0.5	-	12	15	10	<0.2	-	76	80	50	0.2	0.25	48	57	79	0.44	4.8	0.77	1.5	<0.2	-	5.2	<0.2	-
42	045a	16	46	32	<0.5	-	13	17	8	0.27	1.6	78	87	80	<0.2	-	42	56	94	0.4	4	0.71	2	<0.2	-	4.5	<0.2	-
43	046a	13	37	18	<0.5	-	9.5	13	11	<0.2	-	56	62	65	<0.2	-	43	41	45	0.38	4	0.93	2.1	<0.2	-	3.3	<0.2	-
44	047a	10	37	36	<0.5	-	11	13	8	0.35	2.7	74	72	90	<0.2	-	39	47	85	0.57	5.8	1.2	1.5	<0.2	-	4.4	<0.2	-
45	048a	9	31	27	0.5	1.6	6.7	10	12	0.51	5.1	51	64	80	<0.2	-	43	58	77	1.3	<	2.2	1.5	<0.2	-	3.7	<0.2	-
46	049a	13	37	32	<0.5	-	6.3	14	12	0.43	3.1	52	82	80	<0.2	-	36	54	76	0.55	<	1	1.3	<0.2	-	2.7	<0.2	-
47	050a	30	30.65	17	<1.0	-	14	14	11	<1.0	-	84	75	55	<2.0	-	56	41	62	<1.0	-	-	1.3	<1.0	-	4.6	4	87
48	051a	16	28.09	18	<1.0	-	7.6	11	8	<1.0	-	69	56	65	<2.0	-	48	41	51	<1.0	-	-	2	<1.0	-	8.5	2.3	27
49	052a	24	45.97	17	<1.0	-	14	13	9	<1.0	-	98	73	70	<2.0	-	49	44	52	<1.0	-	-	1.3	<1.0	-	5.4	<2.0	-
50	053a	20	37	14	<0.5	-	11	13	9	<0.2	-	81	66	70	<0.2	-	56	47	48	0.34	<	0.72	1.6	<0.2	-	6.9	<0.2	-
51	054a	13	40	21	<0.5	-	11	15	9	0.24	1.6	90	76	70	<0.2	-	52	44	68	0.29	<	0.66	1.8	<0.2	-	6.7	<0.2	-
52	055a	8	34	21	<0.5	-	6.3	10	9	0.54	5.4	52	59	70	<0.2	-	49	54	63	1.5	4.2	2.8	2	<0.2	-	4.9	<0.2	-
53	056a	11	34	16	0.64	1.9	9	12	7	0.32	2.7	66	61	60	<0.2	-	38	41	60	0.45	4	1.1	1.6	<0.2	-	3	<0.2	-
54	057a	8	28.09	17	<1.0	-	5.5	7	9	<1.0	-	48	38	65	<2.0	-	82	40	47	1.95	-	4.9	2.3	<1.0	-	22	<2.0	-
55	058a	14	32	15	<0.5	-	8	9.8	8	0.27	2.8	60	45	65	<0.2	-	96	52	104	1	1.4	1.9	2.6	<0.2	-	3.4	<0.2	-
56	059a	21	31	16	1	3.2	6.4	9.4	6	0.54	5.7	50	52	63	<0.2	-	61	53	63	2	2.3	3.8	2.2	<0.2	-	4.6	<0.2	-
57	060a	7	24	13	1.1	4.6	4.4	5.1	5	0.4	7.8	41	42	50	<0.2	-	94	105	82	5.6	6.5	5.3	2.5	<0.2	-	4.7	<0.2	-
58	061a	10	27	12	0.91	3.4	4.9	7	5	0.53	7.6	43	44	60	<0.2	-	110	61	74	3.3	3.2	5.4	2.5	<0.2	-	5	<0.2	-
59	062a	7	25	10	<0.5	-	3.7	11	5	<0.2	-	32	68	50	<0.2	-	15	32	22	<0.2	<	-	1.4	<0.2	-	2.2	<0.2	-
60	063a	18	57	31	<0.5	-	11	22	12	<0.2	-	81	84	100	<0.2	-	54	41	73	<0.2	<	-	2	<0.2	-	3.6	<0.2	-
61	064a	16	47	23	<0.5	-	10	20	10	<0.2	-	82	91	100	<0.2	-	36	40	52	<0.2	<	-	2.4	<0.2	-	2.9	<0.2	-
62	065a	24	44	25	<0.5	-	11	19	11	0.26	1.4	77	90	90	<0.2	-	45	41	60	<0.2	<	-	1.9	<0.2	-	2.4	<0.2	-
63	066a																											

Номер пробы		Pb, г/т			Cu, г/т					Zn, г/т					Ag, г/т			As, г/т			Bi, г/т			Cd, г/т			Be, г/т			
		Вал	Подвижная форма		Вал			Подвижная форма		Вал		Подвижная форма			Вал	Подвижная форма		Вал	Подвижная форма		Вал	Подвижная форма		Вал	Подвижная форма		Вал	Подвижная форма		
п/п	полевой	2	6	§	1	2	4	6	4	§	2	4	6	4	§	2	6	§	2	6	§	2	6	§	2	6	§	1	6	§
1	001a	91	5	5.5	48	59	53	<1.0		-	160	143	21	16	13	0.17	<2	-	11	<20.	-	0.8	1.3	163	1.7	<1.0	-	3.1	<2.0	-
2	002a	51	<2.0	-	47	54	53	<1.0		-	125	121	7.8	7	6.2	0.17	<2	-	18	<20.	-	0.9	0.62	69	2.3	<1.0	-	2.5	<2.0	-
3	003a	30	<2.0	-	52	55	71	<1.0		-	140	117	14	13		0.13	<2	-	23	<20.	-	0.7	0.88	126	2.7	<1.0	-	1.7	<2.0	-
4	004a	33	<2.0	-	37	51	40	<1.0		-	120	104	7.9	7.2	6.6	0.18	<2	-	12	<20.	-	0.7	0.85	121	1.4	<1.0	-	3.3	<2.0	-
5(1)	005a	6.7	<2.0	-	13	8.5	12	<1.0		-	40	20	<1.0	0.67	-	0.12	<2	-	19	<20.	-	0.5	0.57	114	0.5	<1.0	-	1.5	<2.0	-
5	006a	25	<2.0	-	75	99	96	<1.0		-	160	166	15	13.2	9.4	0.13	<2	-	18	<20.	-	1.2	0.65	54	2.4	<1.0	-	3.1	<2.0	-
6(1)	007a	57	<2.0	-	29	33	31	<1.0		-	180	136	24	22	13	0.14	<2	-	6.8	<20.	-	0.5	0.72	144	0.8	<1.0	-	2.7	<2.0	-
6	008a	26	2.4	9.2	72.5	66	76	<1.0	0.9	-	150	123	17	15.8	11	0.49	<2	-	47	<20.	-	1	1.1	110	1.3	<1.0	-	5.95	<2.0	-
7	009a	85	2.5	2.9	130	120	295	<1.0	1.9	-	310	305	41	39	13	0.37	<2	-	23	<20.	-	1	0.57	57	2.4	<1.0	-	3.9	<2.0	-
7(1)	010a	3.3	1.8	55	6	7.3	10	<1.0		-	34	17	<1.0	1	-	0.09	<2	-	26	<20.	-	0.9	0.64	71	0.6	<1.0	-	1.2	<2.0	-
8	011a	35	<2.0	-	45	64	47	<1.0		-	140	102	15	12.6	11	0.18	<2	-	8.7	<20.	-	0.9	0.97	108	1.1	<1.0	-	3.8	<2.0	-
9	012a	23	<2.0	-	68	69	68	<1.0	1.58	-	80	78	4.5	5	5.6	0.7	<2	-	100	84	84	1.3	0.48	37	1.3	<1.0	-	6.6	<2.0	-
10	013a	33	<2.0	-	43	50	43	<1.0		-	81	74	2.8	2.8	3.5	0.13	<2	-	8.1	<20.	-	0.6	0.84	140	1	<1.0	-	2.6	<2.0	-
11	014a	35	<2.0	-	37	52	35	<1.0		-	110	89	7.1	6.4	6.5	0.13	<2	-	6.1	<20.	-	0.5	0.55	110	0.7	<1.0	-	2.8	<2.0	-
12	015a	35	<2.0	-	35	39	35	<1.0		-	120	112	9.7	9.2	8.1	0.13	<2	-	8.3	<20.	-	0.6	0.57	95	1.2	<1.0	-	2.8	<2.0	-
13	016a	36	<2.0	-	24	40	30	<1.0		-	130	118	4.2		3.2	0.13	<2	-	7	<20.	-	0.6	0.59	98	0.6	<1.0	-	2.8	<2.0	-
14	017a	20	0.26	1.3	25	31	20	<0.2	<	-	72	88	0.52	0.8	0.72	0.08		-	8.2		-	0.45	<0.2	-	0.86	<0.2	-	3		-
15	018a	47	2	4.3	12	20	30	<0.2	<	-	82	107	14	13	17	0.15		-	5		-	0.72	<0.2	-	0.5	<0.2	-	3.1		-
16	019a	44	0.88	2	59	41	25	0.49	0.4	1.2	120	131	25	23	21	0.2		-	12		-	0.88	<0.2	-	2.2	<0.2	-	2.6		-
17	020a	39	0.35	0.9	31	42	2190	0.25	<	0.6	130	513	5.1	6.6	3.9	0.21		-	7.6		-	0.62	<0.2	-	0.6	<0.2	-	2.6		-
18	021a	29	0.25	0.86	32	36	220	0.3	<	0.83	120	110	6.4	8.2	5.3	0.1		-	13		-	0.67	<0.2	-	0.54	<0.2	-	2.9		-
19	022a	19	0.25	1.3	21.5	27	24	0.32	<	1.2	160	78	43	36	27	0.05		-	13		-	0.59	<0.2	-	0.41	<0.2	-	2.6		-
20	023a	30	<0.2	-	22.5	30	25	0.24	<	0.8	110	108	1	1.1	0.91	0.12		-	11		-	0.62	<0.2	-	0.75	<0.2	-	2.6		-
21	024a	24	<0.2	-	27	31	270	<0.2	<	-	100	91	0.61	1.1	0.61	0.11		-	8.7		-	0.4	<0.2	-	0.87	<0.2	-	2.5		-
22	025a	19	<2.0	-	17	22	26	<1.0		-	86	82	1.4	2.2	1.6	0.09	<2	-	6	<20.	-	0.4	0.63	158	0.6	<1.0	-	2.4	<2.0	-
23	026a	85	3.7	4.4	34	59	54	0.73	0.62	1.2	150	148	11	13	7.3	0.14		-	8.9		-	0.6	0.3	50	0.63	<0.2	-	2.5		-
24	027a	27	<0.2	-	22	28	32	0.81	<	2.9	99	91	8.825	1.3	8.9	0.08		-	11		-	0.65	<0.2	-	0.53	<0.2	-	2.7		-
25	028a	62	<2.0	-	25	37	30	<1.0		-	160	112	14	12	8.8	0.19	<2	-	8.5	<20.	-	0.5	0.68	136	0.7	<1.0	-	2.6	<2.0	-
26	029a	160	21	13	30	35	33	<1.0		-	180	102	26	25.4	14	0.23	<2	-	7.9	<20.	-	0.5	0.84	168	0.9	<1.0	-	2.5	<2.0	-
27	030a	1300	106	8.2	>2000	1400	340	100	150	7.1	640	119	185	168	29	1.2	<2	-	7.5	<20.	-	0.7	0.4	57	2.9	<1.0	-	2.8	<2.0	-
28	031a	76	<2.0	-	73	39	24	<1.0		-	140	73	7.5	9.1	5.4	0.17	<2	-	12	<20.	-	0.5	0.64	128	0.7	<1.0	-	2.55	<2.0	-
29	032a	80	0.45	0.56	23	40	9	<0.2	<	-	170	54	12	11.4	7.1	0.38		-	11		-	0.67	<0.2	-	1	<0.2	-	2.8		-
30	033a	35	<0.2	-	24	40	47	0.21	<	0.53	110	220	1	4.75	0.91	0.15		-	9.7		-	0.42	<0.2	-	0.67	<0.2	-	3.2		-
31	034a	86	1	1.2	22	45	29	0.42	<	0.93	160	107	4.6	7.4	2.9	0.18		-	12		-	0.7	0.3	43	0.72	<0.2	-	2.7		-
32	035a	41	<2.0	-	16.5	32	25	<1.0		-	94	109	3	2.4	3.2	0.17	<2	-	5.9	<20.	-	0.6	<0.05	-	0.7	<1.0	-	4.45	<2.0	-
33	036a	47	<2.0	-	22	32	19	<1.0		-	90	160	5.7	5	6.3	0.21	<2	-	6.9	<20.	-	0.6	<0.05	-	0.9	<1.0	-	2.6	<2.0	-
34	037a	48	<2.0	-	19	32	20	<1.0		-	110	95	5.1	5.2	4.6	0.14	<2	-	9.8	<20.	-	0.5	0.73	146	0.8	<1.0	-	2.5	<2.0	-

Номер пробы		Pb, г/г			Cu, г/г					Zn, г/г					Ag, г/г			As, г/г			Bi, г/г			Cd, г/г			Be, г/г			
		Вал		Подвижная форма	Вал			Подвижная форма		Вал		Подвижная форма			Вал		Подвижная форма													
		2	6	ξ	1	2	4	6	4	ξ	2	4	6	4	ξ	2	6	ξ	2	6	ξ	2	6	ξ	1	6	ξ			
35	038a	38	<2.0	-	31	35	24	<1.0	-	97	92	1.6	2.2	1.6	0.17	<2	-	6.4	<20.	-	0.6	0.36	60	0.7	<1.0	-	2.7	<2.0	-	
36	039a	73	0.63	0.86	35	52	55	0.63	<	1.2	160	91	15	14	9.4	0.34	-	8.9	-	0.63	<0.2	-	0.94	<0.2	-	2.7	-	-		
37	040a	94	2.8	3	31	48	22	0.88	0.64	1.8	140	90	29	26	21	0.19	-	8	-	0.65	<0.2	-	0.61	<0.2	-	2.5	-	-		
38	041a	27	0.34	1.3	29	32	25	0.38	0.28	1.2	97	200	6.7	6.6	6.9	0.17	-	8.2	-	0.53	<0.2	-	0.85	<0.2	-	2.5	-	-		
39	042a	48	0.74	1.5	21	37	29	0.36	<	0.97	250	125	67	60	27	0.39	-	5.7	-	0.67	<0.2	-	0.52	<0.2	-	2.7	-	-		
40	043a	28	<0.2	-	32	43	28	0.27	<	0.63	120	122	1.3	1.5	1.1	0.11	-	8.8	-	0.43	<0.2	-	0.55	<0.2	-	2.5	-	-		
41	044a	79	<2.0	-	34	45	74	<1.0	-	-	150	153	3.8	4.7	2.5	0.74	<2	-	7.9	<20.	-	0.6	0.695	116	0.9	<1.0	-	2.6	<2.0	-
42	045a	52	0.24	0.46	29	44	38	0.29	<	0.66	150	131	6.3	5.6	4.2	0.45	-	11	-	0.68	<0.2	-	0.67	<0.2	-	2.7	-	-		
43	046a	60	0.37	0.62	34	49	32	0.33	<	0.67	150	125	4.7	4.4	3.1	0.3	-	10	-	0.76	<0.2	-	0.71	<0.2	-	2.5	-	-		
44	047a	56	0.32	0.57	61	46	26	1.3	0.98	2.8	130	330	18	15	14	0.26	-	10	-	0.65	<0.2	-	1.1	<0.2	-	2.5	-	-		
45	048a	52	0.57	1.1	27	47	33	0.54	<	1.1	130	92	4.5	4.2	3.5	0.39	-	13	-	0.64	<0.2	-	0.77	<0.2	-	2.7	-	-		
46	049a	38	0.49	1.3	20	38	31	0.64	<	1.7	110	146	7.3	6.8	6.6	0.47	-	7	-	0.67	<0.2	-	0.48	<0.2	-	2.4	-	-		
47	050a	42	0.96	2.3	22	29	37	0.36	<	1.2	86	131	3.9	3.8	4.5	0.1	-	7.7	-	0.5	<0.2	-	0.73	<0.2	-	3	-	-		
48	051a	22	<2.0	-	32	43	63	<1.0	-	-	99	215	<1.0	1.1	-	0.17	<2	-	7.9	<20.	-	0.6	0.46	77	0.8	<1.0	-	2.5	<2.0	-
49	052a	55	<2.0	-	29	41	29	<1.0	-	-	120	96	4.8	4.2	4	0.56	<2	-	6.7	<20.	-	0.6	<0.5	-	1.1	<1.0	-	2.3	<2.0	-
50	053a	27	<2.0	-	32	42	19	<1.0	-	-	94	83	2.1	1.4	2.2	0.2	<2	-	7.6	<20.	-	0.6	<0.5	-	0.8	<1.0	-	2.6	<2.0	-
51	054a	47	0.38	0.81	27	39	20	0.41	<	1.1	120	82	4.7	4.4	3.9	0.46	-	8.6	-	0.69	<0.2	-	0.62	<0.2	-	2.4	-	-		
52	055a	37	0.22	0.59	26	36	28	0.2	<	0.56	110	106	4	3.6	3.6	0.38	-	10	-	0.62	<0.2	-	0.75	<0.2	-	2.6	-	-		
53	056a	57	1.8	3.2	22	47	26	0.4	<	0.85	120	97	10	8.6	8.3	0.16	-	7.9	-	0.68	<0.2	-	0.69	<0.2	-	2.7	-	-		
54	057a	35	0.68	1.9	21	31	42	0.54	0.4	1.7	93	83	3	4.6	3.2	0.09	-	9.4	-	0.66	0.26	39	0.57	<0.2	-	2.3	-	-		
55	058a	1370	390	28	150	157	23	12	-	7.6	140	102	64	26.6	46	0.17	<2	-	5.3	<20.	-	0.6	<0.5	-	0.6	<1.0	-	2.5	<2.0	-
56	059a	48	0.51	1.1	25	33	26	0.4	<	1.2	160	139	14	19	8.8	0.12	-	8.2	-	0.74	2	270	0.65	<0.2	-	2.7	-	-		
57	060a	61	1.85	3	26	42	28	0.39	<	0.93	120	97	12	12	-	0.14	-	7.7	-	0.65	<0.2	-	0.61	<0.2	-	2.8	-	-		
58	061a	52	3.3	6.3	30	30	18	0.9	0.84	3	110	59	10	14	9.1	0.08	-	7.3	-	0.59	1.7	288	0.42	<0.2	-	2.8	-	-		
59	062a	70	3.2	4.6	30	48	41	0.92	0.88	1.9	140	129	19	20	14	0.15	-	7.4	-	0.6	0.28	47	0.5	<0.2	-	2.5	-	-		
60	063a	13	<0.2	-	8	17	8	<0.2	<	-	45	36	1	1.7	2.2	0.06	-	10	-	0.55	0.3	55	0.69	<0.2	-	2.6	-	-		
61	064a	18	<0.2	-	24	26	29	<0.2	<	-	61	86	0.39	0.7	0.64	0.11	-	13	-	0.53	0.29	55	2.1	<0.2	-	2.3	-	-		
62	065a	21	0.25	1.2	25	25	28	<0.2	<	-	65	105	1.4	2	2.2	0.1	-	13	-	0.52	0.3	58	1.5	<0.2	-	2.5	-	-		
63	066a	22	0.22	1	23	25	25	<0.2	<	-	69	116	0.79	1.2	1.1	0.11	-	11	-	0.53	0.28	53	0.93	<0.2	-	2.6	-	-		

Номер пробы		Sb	Tl	Ge	Zr	F
		Вал				
п/п	полевой	2	2	2	2	2
1	001a	2.2	1.9	1.9	150	520
2	002a	4.4	2	1.7	110	740
3	003a	3.3	1.5	1.1	120	630
4	004a	1.6	2	2	130	990
5(1)	005a	2	0.6	0.6	<50	570
5	006a	2.6	1.9	2	89	1100
6(1)	007a	1.4	1.2	2.1	210	460
6	008a	1.1	2.2	3.3	130	2100
7	009a	1.8	1.6	2.5	150	770
7(1)	010a	1.5	0.3	0.5	<50	370
8	011a	1.4	1.6	1.8	140	470
9	012a	1	1.7	1.6	120	190
10	013a	1.7	1.7	1.3	220	470
11	014a	1.2	1.3	1.5	170	360
12	015a	2.2	1.7	1.3	120	450
13	016a	1.2	0.9	1.6	190	360
14	017a	1.6	0.8	1.2	280	600
15	018a	1.5	0.7	1.7	67	240
16	019a	3	1.1	1.3	280	540
17	020a	4	0.5	2.1	250	510
18	021a	3.1	0.5	2	200	640
19	022a	2	0.4	1.5	200	530
20	023a	2.2	0.6	2.2	240	560
21	024a	1.4	0.6	1.7	220	450
22	025a	1.8	0.8	1.7	280	370
23	026a	4.3	0.6	1.9	250	420
24	027a	2.8	0.4	1.6	270	440
25	028a	1.6	0.9	2.3	270	390
26	029a	4.7	1.3	2.3	300	430
27	030a	20	1.6	2.3	180	580
28	031a	1.4	1.2	2	255	510
29	032a	3.2	0.9	1.9	280	550
30	033a	1.6	0.8	1.5	270	610
31	034a	3.2	0.6	3	220	570
32	035a	1.3	1.3	1.7	245	460
33	036a	1.7	1.7	1.8	290	520
34	037a	1.4	1.2	2.1	250	440

Номер пробы		Sb	Tl	Ge	Zr	F
		Вал				
п/п	полевой	2	2	2	2	2
35	038a	0.8	1.3	2	270	490
36	039a	2.8	0.7	1.8	280	470
37	040a	4.1	0.4	1.8	230	350
38	041a	1.9	0.9	1	210	470
39	042a	2.4	0.5	1.6	330	380
40	043a	2.2	0.6	1.5	250	540
41	044a	1.5	1.2	2.4	210	440
42	045a	2.7	0.7	1.8	240	540
43	046a	2.9	0.8	2.1	270	640
44	047a	2.1	1	1.2	250	490
45	048a	2.8	0.6	1.5	250	410
46	049a	2.6	0.5	1.3	180	380
47	050a	1.8	0.8	0.93	200	390
48	051a	0.8	1.5	1.6	220	600
49	052a	1.3	1.6	2	280	530
50	053a	1.1	1.6	1.8	260	620
51	054a	2	0.7	1.8	280	590
52	055a	1.8	0.8	1.6	330	540
53	056a	3.4	0.7	1.6	210	390
54	057a	1.9	0.6	1.4	240	600
55	058a	2.4	1.1	1.6	180	340
56	059a	2.7	0.8	1.8	240	490
57	060a	3.6	0.8	1.5	420	410
58	061a	3	0.6	1.4	260	320
59	062a	3.6	0.6	1.6	300	420
60	063a	0.98	0.7	0.75	200	270
61	064a	1.5	1.2	1.2	260	550
62	065a	1.2	1.2	1.2	320	560
63	066a	1	1	1.3	410	570

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.1

Разведочный анализ (валовые содержания)

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные														
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные											
										S	K	S-W	S	K	S-W									
Фон	2010 (4)	pH	м/л	6.9	7.0	6.8	7.0	1.6	1.2	-1.9	3.5	0.0	-1.8	3.4	0.1									
	2011 (2)			6.9	6.9	6.8	7.0	2																
БГ	2010 (6)			8.1	8.2	7.5	8.5	5																
	2011 (8)			8.0	8.0	7.1	8.5	5																
	2019 (28)			8.5	8.5	8.0	9.4	4																
БЗ	2010 (13)			8.0	8.0	7.0	8.7	5																
	2011 (7)			8.0	7.9	7.4	8.7	5																
	2019 (20)			8.2	8.4	7.0	8.8	5																
Ч	2010 (18)			8.2	8.3	7.5	8.8	4																
	2011 (2)			8.1	8.1	7.4	8.7	11																
	2019 (14)			8.3	8.4	7.6	8.8	5																
ХУ	2010 (8)			7.6	7.6	5.3	10.5	20																
	2011 (11)			7.2	7.4	5.2	8.3	14																
	2019 (11)			8.6	8.7	7.3	9.7	7																
СБ	2010 (9)			8.3	8.2	7.9	9.0	4																
	2011 (3)			8.7	8.6	8.3	9.1	5																
	2019 (11)			8.3	8.4	7.6	8.9	4																
Фон	2010 (4)			C орг	%	3.1	3.1	2.0								4.1	29	0.7	-0.2	0.8	1.0	-0.2	0.8	1.0
	2011 (2)					3.1	3.1	2.9								3.3	8							
БГ	2010 (6)					2.1	2.2	0.40								3.7	56							
	2011 (8)	2.8	2.9			1.5	5.0	41																
	2019 (28)	1.7	1.4			0.6	4.6	49																
БЗ	2010 (13)	2.7	2.9			1.3	4.3	32																
	2011 (7)	3.9	3.6			0.80	8.2	60																
	2019 (20)	2.2	2.0			0.84	5.9	54																
Ч	2010 (18)	2.1	2.2			0.29	4.4	52																
	2011 (2)	1.6	1.6			0.49	2.7	98																
	2019 (14)	2.3	2.2			1.4	3.7	29																
ХУ	2010 (8)	7.1	6.3			1.0	11.2	49																
	2011 (11)	9.9	9.9			1.4	19.6	59																
	2019 (11)	3.5	1.3			0.71	19.3	156																
СБ	2010 (9)	2.3	2.4			0.79	4.2	43																
	2011 (3)	2.3	2.1			1.6	3.3	36																
	2019 (11)	2.3	2.1			0.73	4.6	48																
Фон	2010(4)	Si	%			27.6	27.1	24.3	31.8	11.3	0.8	0.9	1.8	0.7	0.1	1.3	0.9							
	2011(2)					27.1	27.1	26.8	27.4	1.6														
	2017(8)					29.0	29.6	23.5	32.2	9.6														
БГ	2010 (6)			30.8	30.8	27.2	34.9	9																
	2011 (63)			29.8	29.9	19.9	35.4	10																
	2017 (8)			28.4	28.6	17.2	37.7	22																
	2019 (28)			35.4	35.4	27.7	40.6	10																
БЗ	2010 (17)			30.9	30.2	24.8	40.2	11																
	2011 (67)			29.5	29.6	18.9	35.6	11																
	2017 (14)			29.4	30.7	19.9	36.2	15																
	2019 (20)			33.4	33.6	19.4	39.4	14																
Ч	2010 (18)			30.9	31.0	27.2	36.2	6.6																
	2011 (49)			29.7	30.2	20.7	37.6	13																
	2017 (9)			33.1	34.2	28.4	35.4	7.3																
	2019 (14)			32.9	32.9	28.6	38.7	8.2																
2010 (8)	23.0			22.5	14.0	30.0	26																	

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M Cфон	Коэффициенты, описывающие данные						
				μ	M	Cмин	Cмакс	V		исходные			преобразованные			
										S	K	S-W	S	K	S-W	
ХУ	2011 (42)	Al	%	28.2	29.8	12.4	37.1	22	1.1	-1.11	0.88	0.00	-0.35	-0.26	0.35	
	2017 (13)			30.8	32.3	13.6	37.4	21	1.1	-1.98	3.76	0.00	-1.34	1.89	0.02	
	2019 (11)			34.2	35.8	14.1	38.8	21	1.3	-2.71	7.97	0.00	-2.10	5.04	0.00	
СБ	2010 (9)			32.6	32.5	26.5	37.7	11	1.2	-0.19	-0.24	0.92	-0.32	-0.11	0.90	
	2011 (43)			30.0	30.2	23.2	36.0	9	1.1	-0.37	0.29	0.69	-0.52	0.43	0.46	
	2017 (7)			34.8	35.4	31.6	37.2	5	1.2	-0.75	0.70	0.83	-0.81	0.80	0.79	
	2019 (11)			34.9	34.6	28.6	40.2	10	1.3	-0.22	-0.60	0.58	-0.32	-0.51	0.51	
Фон	2010(4)			6.5	6.7	5.8	7.0	8.0			-1.2	1.1	0.6	-0.8	0.0	0.8
	2011(2)			6.9	6.9	6.8	7.0	2.0								
	2017(8)			6.1	6.0	5.5	6.9	9.2			0.73	-1.00	0.16	0.23	-1.41	0.48
БГ	2010 (6)			5.9	6.0	5.0	6.4	10	0.9	-0.57	-1.45	0.20	-0.56	-1.47	0.20	
	2011 (63)			6.5	6.5	3.4	8.6	16	0.9	-0.29	0.20	0.61	-0.26	0.16	0.66	
	2017 (8)	6.3	6.2	3.7	8.5	25	1.0	-0.04	0.31	0.31	0.00	0.26	0.31			
	2019 (28)	7.5	7.6	5.2	9.6	15	1.1	-0.15	-0.64	0.78	-0.14	-0.65	0.79			
БЗ	2010 (17)	6.3	6.0	5.2	7.9	12	0.9	0.76	0.03	0.37	0.74	0.00	0.38			
	2011 (67)	6.9	6.9	4.2	9.4	16	1.0	-0.03	-0.28	0.81	-0.06	-0.26	0.81			
	2017 (14)	6.9	6.8	5.0	8.7	18	1.1	0.14	-1.18	0.54	0.13	-1.18	0.55			
Ч	2010 (18)	7.4	7.7	5.6	8.3	11	1.2	-0.89	-0.29	0.03	-0.90	-0.27	0.03			
	2011 (49)	6.8	6.6	4.4	8.4	15	1.0	-0.26	0.22	0.27	-0.31	0.31	0.25			
	2017 (9)	6.3	6.2	3.6	9.6	16	0.9	0.36	1.49	0.19	0.29	1.44	0.21			
ХУ	2017 (9)	7.2	7.0	6.0	8.6	12	1.2	0.82	-0.16	0.21	0.80	-0.17	0.23			
	2019 (14)	7.4	7.1	5.5	8.8	12	1.1	-0.19	0.09	0.70	-0.22	0.14	0.69			
	2010 (8)	5.6	6.4	3.0	6.8	26	1.0	-1.03	-0.27	0.04	-1.02	-0.32	0.04			
СБ	2011 (42)	6.2	6.0	3.3	9.9	25	0.9	0.39	0.32	0.22	0.43	0.34	0.20			
	2017 (13)	6.1	6.2	3.6	7.3	18	1.0	-1.14	1.24	0.18	-1.12	1.17	0.20			
	2019 (11)	7.4	7.8	3.7	8.6	18	1.2	-2.14	5.51	0.00	-2.11	5.39	0.01			
	2010 (9)	6.3	6.1	5.5	8.1	14	0.9	1.44	1.96	0.08	1.16	0.98	0.19			
Фон	2011 (43)	6.5	6.2	3.9	10.5	20	0.9	0.97	1.32	0.03	0.17	0.60	0.68			
	2017 (7)	7.3	7.0	6.4	9.6	15	1.2	2.07	4.79	0.01	1.82	3.95	0.04			
	2019 (11)	7.2	7.2	5.2	9.8	15	1.1	0.21	1.18	0.23	-0.44	0.52	0.17			
	2010(4)	0.8	0.8	0.4	1.0	34			-1.1	2.2	0.4	-0.5	1.7	0.6		
БГ	2011(2)	0.80	0.80	0.80	0.80	0										
	2017(8)	0.48	0.49	0.31	0.61	22			-0.48	-0.76	0.68	-0.21	-1.08	0.77		
	2010 (6)	0.43	0.45	0.16	0.74	48	0.6	0.22	-0.58	0.89	-0.43	-0.42	0.87			
	2011 (63)	0.56	0.54	0.25	1.17	35	0.7	0.99	1.14	0.00	0.29	0.02	0.63			
БЗ	2017 (8)	0.53	0.44	0.26	0.91	43	0.9	0.68	-0.85	0.37	0.30	-1.08	0.62			
	2019 (28)	0.60	0.57	0.31	1.11	30	0.7	0.91	1.25	0.18	0.27	0.29	0.96			
	2010 (17)	0.55	0.52	0.38	0.78	20	0.7	0.34	-0.80	0.65	0.12	-0.94	0.80			
	2011 (67)	0.59	0.57	0.27	0.92	28	0.7	0.08	-0.74	0.22	-0.33	-0.48	0.13			
Ч	2017 (14)	0.61	0.6	0.37	0.97	25	1.2	0.67	1.03	0.71	0.14	0.43	0.98			
	2019 (20)	0.71	0.61	0.51	1.18	29	1.1	1.09	0.26	0.01	0.84	-0.41	0.02			
	2010 (18)	0.65	0.65	0.35	0.98	26	0.8	0.23	-0.68	0.80	-0.34	-0.18	0.76			
ХУ	2011 (49)	0.54	0.49	0.25	1.17	40	0.6	1.26	1.51	0.00	0.28	-0.11	0.45			
	2017 (9)	0.57	0.53	0.45	0.78	21	1.1	0.74	-0.99	0.14	0.57	-1.35	0.20			
	2019 (14)	0.59	0.53	0.35	0.96	32	0.9	0.82	-0.32	0.20	0.36	-0.77	0.75			
	2010 (8)	0.48	0.45	0.26	0.86	36	0.6	1.53	3.59	0.12	-0.25	1.96	0.67			
СБ	2011 (42)	0.50	0.46	0.28	1.06	36	0.6	1.33	1.81	0.00	0.18	-0.55	0.45			
	2017 (13)	0.43	0.46	0.27	0.72	31	0.9	0.62	-0.12	0.19	-0.03	-1.44	0.25			
	2019 (11)	0.48	0.47	0.30	0.63	25	1.0	-0.06	-1.64	0.28	-0.43	-1.20	0.28			
	2010 (9)	0.60	0.61	0.47	0.84	18	0.8	1.28	2.63	0.13	0.75	1.25	0.38			
2011 (43)	0.56	0.50	0.25	1.15	38	0.6	0.92	0.55	0.01	0.11	-0.62	0.76				

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M Сфон	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	Смин	Смакс	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
СБ	2017 (7)	Са	%	0.50	0.49	0.37	0.68	20	1.0	0.81	1.00	0.52	0.30	0.75	0.74
	2019 (11)			0.55	0.54	0.33	0.87	25	1.2	0.43	0.10	0.61	-0.14	-0.57	0.78
Фон	2010(4)			1.4	1.5	1.2	1.5	11		-2.0	4.0	0.0	-2.0	4.0	0.0
	2011(2)			1.5	1.5	1.5	1.5	0							
	2017(8)			0.9	0.9	0.7	1.3	22		1.64	3.62	0.10	0.03	1.26	0.87
БГ	2010 (6)			2.4	2.2	1.1	5.1	61	1.4	1.33	1.84	0.26	0.09	-1.22	0.77
	2011 (63)			2.4	2.3	0.93	6.3	42	1.5	1.49	3.02	0.00	-0.16	-0.10	0.87
	2017 (8)			3.0	1.9	1.2	8.6	87	2.2	1.95	3.44	0.00	0.95	0.14	0.19
	2019 (28)			2.1	1.7	0.86	5.7	53	1.1	1.81	3.59	0.00	0.07	0.07	0.54
БЗ	2010 (17)			2.4	2.0	1.3	3.8	37	1.3	0.55	-1.18	0.05	0.10	-1.30	0.22
	2011 (67)			2.4	2.2	0.73	6.6	44	1.5	1.63	3.57	0.00	0.05	0.64	0.30
	2017 (14)			2.5	2.4	1.2	4.5	33	2.8	0.88	1.62	0.44	-0.34	0.40	0.86
	2019 (20)			2.3	2.2	1.2	3.8	39	1.5	0.52	-1.07	0.03	0.03	-1.37	0.10
Ч	2010 (18)			2.0	1.7	1.0	4.3	48	1.1	1.11	0.28	0.01	0.29	-1.02	0.48
	2011 (49)			2.2	1.9	0.8	7.9	57	1.2	2.29	7.91	0.00	0.02	-0.36	0.82
	2017 (9)			2.0	1.9	1.2	2.8	29	2.2	0.08	-1.30	0.65	-0.50	-0.68	0.59
	2019 (14)			2.7	2.2	1.5	5.5	48	1.4	1.30	0.65	0.01	0.57	-0.79	0.34
ХУ	2010 (8)			3.3	2.6	1.2	6.8	56	1.7	1.19	0.64	0.10	-0.49	-0.42	0.60
	2011 (42)			2.4	2.1	1.0	5.9	43	1.4	1.58	3.39	0.00	-0.17	-0.54	0.77
	2017 (13)			2.2	1.8	0.92	4.9	54	2.1	1.14	0.57	0.06	0.58	0.66	0.79
	2019 (11)	1.9	1.8	1.0	4.9	59	1.2	2.21	5.77	0.00	-0.32	-0.48	0.56		
СБ	2010 (9)	2.2	1.9	0.90	4.2	44	1.3	1.06	1.65	0.50	-0.54	0.96	0.91		
	2011 (43)	2.3	2.0	1.2	5.6	40	1.3	1.52	3.16	0.00	0.35	-0.59	0.36		
	2017 (7)	1.7	1.6	1.3	2.1	16	1.9	0.25	0.06	0.94	-0.23	0.36	0.94		
	2019 (11)	2.0	1.9	0.83	4.0	35	1.2	1.11	2.69	0.17	-0.68	1.41	0.54		
Фон	2010(4)	Fe	%	2.8	3.2	1.4	3.3	32.9		-2.0	3.8	0.0	-1.7	3.2	0.1
	2011(2)			3.2	3.2	3.1	3.2	2.2							
	2017(8)			2.4	2.4	1.6	3.0	18.1		-0.73	0.75	0.83	-0.13	0.16	0.99
	БГ			2010 (6)	2.0	2.2	0.80	2.5	31	0.7	-1.87	3.90	0.06	-2.23	5.15
2011 (63)				2.2	2.0	1.2	4.8	28	0.6	1.59	4.60	0.00	0.42	0.40	0.54
2017 (8)				3.0	2.1	1.3	6.3	59	0.9	1.19	0.13	0.06	0.50	-0.64	0.43
2019 (28)				2.6	2.6	1.5	3.7	20	0.8	-0.23	-0.26	0.84	-0.83	0.59	0.14
БЗ	2010 (17)			2.3	2.3	1.7	3.4	21	0.7	0.84	0.11	0.23	0.35	-0.66	0.77
	2011 (67)			2.5	2.4	1.4	3.7	24	0.8	0.11	-0.83	0.25	-0.54	-0.31	0.03
	2017 (14)			2.4	2.5	1.6	3.3	22	1.0	0.28	-0.53	0.81	-0.34	-0.29	0.89
	2019 (20)			3.2	3.0	2.4	8.6	41	0.9	3.85	16.12	0.00	2.39	7.98	0.00
Ч	2010 (18)			2.8	2.9	1.7	3.5	18	0.9	-0.46	-0.18	0.56	-1.15	1.56	0.08
	2011 (49)			2.2	2.1	1.1	3.8	27	0.7	0.73	0.33	0.07	-0.34	0.43	0.64
	2017 (9)			2.7	2.5	1.9	4.4	28	1.0	1.51	2.86	0.13	0.63	0.56	0.84
	2019 (14)			3.1	2.6	2.0	9.7	61	0.8	3.53	12.83	0.00	2.54	7.99	0.00
ХУ	2010 (8)			3.3	2.9	1.6	5.6	43	0.9	0.50	-1.33	0.36	-0.30	0.86	0.51
	2011 (42)			2.3	2.1	1.2	4.3	33	0.7	0.98	0.52	0.01	-0.01	-0.12	0.87
	2017 (13)			2.9	2.0	1.4	9.1	71	0.8	2.80	8.59	0.00	0.09	-0.68	0.85
	2019 (11)			2.5	2.2	1.5	3.6	28	0.7	0.41	-1.21	0.32	0.76	0.20	0.20
СБ	2010 (9)			2.5	2.4	2.1	3.0	12	0.8	0.51	-0.70	0.61	0.19	-0.85	0.82
	2011 (43)	2.2	2.0	1.1	3.9	28	0.6	1.07	1.09	0.01	-0.28	0.53	0.84		
	2017 (7)	2.4	2.1	1.8	4.1	32	0.9	2.14	4.99	0.01	1.41	2.41	0.19		
	2019 (11)	3.0	2.7	1.8	9.7	57	0.9	3.81	15.71	0.00	1.13	3.41	0.03		
Фон	2010(4)			0.43	0.47	0.30	0.48	20		-1.9	3.5	0.0	-1.5	2.2	0.3
	2011(2)			0.47	0.47	0.46	0.48	3.5							
	2017(8)			0.36	0.37	0.24	0.44	18		-0.70	0.44	0.74	-0.16	-0.25	0.93

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M Cфон	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	Cмин	Cмакс	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
БГ	2010 (6)	Ti	%	0.25	0.23	0.13	0.37	35	0.5	0.15	-1.00	0.78	-0.08	-0.72	0.82
	2011 (63)			0.29	0.28	0.17	0.44	22	0.6	0.39	-0.40	0.36	0.21	-0.50	0.71
	2017 (8)			0.26	0.27	0.15	0.38	24	0.7	-0.08	1.62	0.77	-0.42	1.73	0.71
	2019 (28)			0.34	0.35	0.22	0.48	19	0.7	0.17	-0.39	0.92	0.01	-0.36	0.96
БЗ	2010 (17)			0.34	0.33	0.26	0.46	18	0.7	0.57	-0.81	0.16	0.36	-1.06	0.28
	2011 (67)			0.34	0.33	0.22	0.5	20	0.7	0.47	-0.61	0.02	0.15	-0.79	0.14
	2017 (14)			0.36	0.35	0.2	0.53	25	0.9	0.20	0.05	0.89	-0.46	0.41	0.79
	2019 (20)			0.39	0.38	0.30	0.51	17	0.8	0.68	-0.30	0.05	0.41	-0.48	0.15
Ч	2010 (18)			0.37	0.365	0.273	0.52	18	0.8	0.76	0.45	0.13	0.51	0.22	0.27
	2011 (49)			0.28	0.28	0.16	0.43	21	0.6	0.57	0.32	0.24	0.22	0.07	0.82
	2017 (9)			0.35	0.37	0.27	0.42	16	1.0	-0.20	-1.33	0.52	-0.31	-1.27	0.49
	2019 (14)			0.36	0.36	0.25	0.45	15	0.8	-0.20	-0.37	0.89	-0.41	-0.09	0.79
ХУ	2010 (8)			0.24	0.23	0.12	0.37	32	0.5	0.23	0.37	0.92	-0.58	1.16	0.78
	2011 (42)			0.28	0.27	0.15	0.48	26	0.6	0.48	0.07	0.45	-0.05	-0.39	0.96
	2017 (13)			0.25	0.25	0.15	0.33	23	0.7	-0.34	-0.71	0.88	-0.68	-0.34	0.53
	2019 (11)			0.31	0.27	0.18	0.54	35	0.6	1.08	1.11	0.16	0.48	-0.12	0.51
СБ	2010 (9)			0.36	0.37	0.27	0.41	14	0.8	-0.62	-0.59	0.40	-0.89	0.17	0.27
	2011 (43)			0.3	0.29	0.195	0.53	25	0.6	1.04	1.14	0.01	0.33	-0.26	0.75
	2017 (7)			0.34	0.33	0.27	0.53	26	0.9	2.11	5.02	0.01	1.66	3.61	0.09
	2019 (11)			0.35	0.34	0.26	0.48	18	0.7	0.55	-0.37	0.30	0.20	-0.89	0.55
Фон	2010(4)	1.8	1.8	1.6	2.2	16		0.9	-1.3	0.3	0.4	-3.7	0.2		
	2011(2)	1.8	1.8	1.6	1.9	12									
	2017(8)	1.5	1.5	1.3	1.8	11		1.14	2.31	0.40	0.03	0.81	0.94		
БГ	2010 (6)	1.78	1.8	1.4	2	13	1.0	-0.86	0.14	0.30	-1.04	0.72	0.24		
	2011 (63)	1.86	1.79	1.04	3.63	26	1.0	1.28	2.60	0.00	0.51	0.70	0.26		
	2017 (8)	1.67	1.68	0.77	2.88	40	1.1	0.46	0.72	0.74	-0.40	-0.07	0.70		
	2019 (28)	1.96	1.8	1.22	3.03	23	1.0	0.87	0.41	0.05	0.42	-0.03	0.43		
БЗ	2010 (17)	1.85	1.9	1.1	2.7	22	1.1		0.31	0.81	-0.03	0.28	0.80		
	2011 (67)	1.87	1.88	0.89	2.94	22	1.1	0.05	0.60	0.30	-0.04	0.58	0.30		
	2017 (14)	1.88	1.82	1.19	2.83	22	1.2	0.73	1.19	0.56	0.65	1.08	0.63		
	2019 (20)	2.01	1.96	1.27	2.68	18	1.1	0.25	-0.07	0.45	0.19	-0.03	0.48		
Ч	2010 (18)	1.73	1.65	1	2.4	19	0.9	0.02	0.47	0.74	-0.29	0.82	0.63		
	2011 (49)	1.86	1.8	0.88	2.61	22	1.0	0.08	-0.72	0.10	-0.13	-0.42	0.12		
	2017 (9)	2.01	1.89	1.6	2.76	21	1.3	1.15	-0.04	0.03	1.07	-0.18	0.05		
	2019 (14)	2.23	2.21	1.76	2.99	17	1.3	0.70	-0.34	0.28	0.59	-0.56	0.37		
ХУ	2010 (8)	1.27	0.95	0.7	2.4	46	0.5	1.19	0.58	0.07	1.17	0.52	0.07		
	2011 (42)	1.88	1.88	0.44	3.59	37	1.1	-0.05	0.20	0.67	-0.09	0.20	0.64		
	2017 (13)	1.57	1.74	0.44	2.15	31	1.2	-1.28	1.02	0.04	-1.31	1.09	0.04		
	2019 (11)	1.95	2.01	0.77	2.68	28	1.1	-0.90	0.98	0.51	-0.93	1.06	0.48		
СБ	2010 (9)	1.72	1.6	1.2	2.2	22	0.9	0.12	-1.47	0.34	-0.32	-1.04	0.43		
	2011 (43)	1.92	1.74	1.1	3.62	30	1.0	1.07	0.60	0.00	0.17	-0.49	0.53		
	2017 (7)	1.92	2.01	1.55	2.27	14	1.4	-0.47	-0.90	0.42	-0.73	-0.96	0.23		
	2019 (11)	1.8	1.9	1.16	2.37	17	1.1	-0.22	-0.01	0.74	-0.96	1.06	0.14		
Фон	2010 (4)	K	%	2.20	2.20	2.00	2.40	13							
БГ	2010 (6)			2.25	2.15	1.96	2.77	13	1.0	1.39	1.87	0.27	0.25	-0.03	0.96
БЗ	2010 (17)			2.27	2.31	1.92	2.52	6.4	1.1	-0.81	1.01	0.34	-0.05	0.29	0.82
Ч	2010 (18)			2.27	2.28	2.04	2.56	6.1	1.0	0.07	-0.14	0.72	-0.01	-0.23	0.71
ХУ	2010 (8)			1.6	1.46	1.24	2.2	23	0.7	0.67	-1.40	0.12	0.27	-1.88	0.24
СБ	2010 (9)			2.37	2.37	2.09	2.69	7.0	1.1	0.38	1.53	0.82			
Фон	2010(4)			0.10	0.10	0.09	0.12	11		0.1	-1.1	1.0	0.0	-1.1	1.0
	2011(2)	0.11	0.11	0.10	0.12	12									

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
	2017(8)	P	%	0.06	0.06	0.05	0.08	18		1.38	2.44	0.38	1.35		0.43
БГ	2010 (6)			0.08	0.07	0.05	0.14	40	0.7	1.85	3.94	0.06	1.34	2.47	0.30
	2011 (63)			0.11	0.1	0.05	0.23	39	0.9	0.83	0.14	0.00	0.16	-0.66	0.44
	2017 (8)			0.06	0.05	0.03	0.1	41	0.9	0.82	-0.16	0.57	0.29	-0.88	0.94
	2019 (28)			0.1	0.09	0.07	0.15	26	0.9	0.86	-0.16	0.01	0.50	-0.61	0.09
	2010 (17)			0.12	0.10	0.059	0.27	53	1.0	1.07	0.08	0.01	0.22	-1.17	0.29
БЗ	2011 (67)			0.13	0.11	0.045	0.29	43	1.0	1.17	0.82	0.00	-0.24	0.19	0.39
	2017 (14)			0.11	0.105	0.054	0.2	35	1.8	0.89	0.70	0.33	-0.50	0.61	0.77
	2019 (20)			0.11	0.0875	0.064	0.24	49	0.9	1.77	1.77	0.00	1.21	0.61	0.00
Ч	2010 (18)			0.112	0.105	0.062	0.2	30	1.1	1.31	2.13	0.03	0.65	1.02	0.40
	2011 (49)			0.11	0.11	0.038	0.18	25	1.0	0.24	0.36	0.24	-0.63	2.00	0.05
	2017 (9)			0.107	0.098	0.085	0.14	18	1.7	0.71	-0.86	0.30	0.58	-1.07	0.40
	2019 (14)			0.101	0.0905	0.067	0.19	33	0.9	1.81	3.32	0.01	1.37	1.80	0.06
ХУ	2010 (8)			0.073	0.068	0.0515	0.098	23	0.7	0.39	-1.39	0.55	0.04	-1.29	0.74
	2011 (42)			0.10	0.09	0.038	0.21	39	0.8	0.94	0.56	0.01	-0.23	-0.04	0.46
	2017 (13)			0.07	0.073	0.041	0.11	30	1.2	0.42	-0.62	0.61	-0.19	-1.02	0.72
	2019 (11)			0.085	0.075	0.063	0.14	28	0.8	1.26	1.34	0.06	0.70	-0.47	0.26
СБ	2010 (9)			0.12	0.11	0.054	0.19	28	1.1	1.17	1.13	0.29	0.47	-0.23	0.91
	2011 (43)			0.12	0.11	0.079	0.26	36	1.0	1.76	2.68	0.00	0.79	0.14	0.01
	2017 (7)			0.078	0.075	0.058	0.096	16	1.3	-0.10	-0.22	0.79	-0.65	0.72	0.64
	2019 (11)	0.098	0.094	0.046	0.15	28	0.9	0.12	-0.48	0.83	-0.97	1.28	0.18		
Фон	2010 (2)	S	%	0.1	0.1	0.1	0.1	8.7		1.7	3.2	0.1	1.4	2.2	0.4
БГ	2010 (6)			0.14	0.14	0.060	0.23	41	1.6	0.07	0.52	0.97	-0.13	0.58	0.97
БЗ	2010 (17)			0.12	0.10	0.066	0.27	42	1.1	1.54	2.56	0.01	0.06	-0.31	0.91
Ч	2010 (18)			0.10	0.085	0.023	0.32	68	1.0	2.08	5.03	0.00	-0.01	1.24	0.86
ХУ	2010 (8)			0.64	0.34	0.13	2.52	124	3.8	2.34	5.64	0.00	0.15	-0.10	0.99
СБ	2010 (9)			0.094	0.086	0.046	0.17	42	1.0	0.90	0.98	0.52	0.00	-0.51	0.94
Фон	2010(4)	F	мг/кг	488	555	270	570	30		-2.0	3.9	0.0	-1.9	3.6	0.0
	2011(2)			565	565	560	570	1.3							
	2017(8)			320	330	230	380	18		-0.71	-0.89	0.20	-0.32	-1.26	0.38
БГ	2010 (6)			403	405	240	540	26	0.7	-0.40	-0.10	0.85	-0.71	0.43	0.70
	2011 (63)			446	440	270	770	23	0.8	0.93	1.19	0.01	0.53	0.42	0.27
	2017 (8)			306	260	190	550	38	0.8	1.51	2.38	0.10	1.17	1.26	0.31
	2019 (28)			505	490	340	840	21	0.9	1.04	1.98	0.06	0.64	0.80	0.34
БЗ	2010 (17)			480	490	320	640	22	0.9	0.11	-1.47	0.16	-0.08	-1.37	0.20
	2011 (67)			490	490	300	820	22	0.9	0.60	0.46	0.08	0.13	-0.33	0.66
	2017 (14)			378	370	260	520	20	1.1	0.53	-0.13	0.63	0.16	-0.23	0.92
	2019 (20)			558	545	220	880	27	1.0	0.40	1.01	0.09	-0.79	3.05	0.03
Ч	2010 (18)			503	505	370	640	16	0.9	0.05	-1.22	0.53	-0.05	-1.20	0.54
	2011 (49)			438	430	270	620	20	0.8	0.20	-0.45	0.44	-0.02	-0.45	0.57
	2017 (9)			334	330	280	390	11	1.0	0.12	-1.28	0.76	0.05	-1.27	0.78
	2019 (14)			460	470	350	590	16	0.8	-0.07	-0.85	0.61	-0.19	-0.93	0.55
ХУ	2010 (8)			915	755	470	2100	57	1.4	1.96	4.31	0.02	0.48	0.02	0.92
	2011 (42)			526	460	260	1400	47	0.8	1.79	3.60	0.00	0.30	-0.52	0.72
	2017 (13)			413	320	180	1600	89	1.0	3.22	11.01	0.00	0.91	1.92	0.52
	2019 (11)			452	430	240	880	35	0.8	2.04	5.91	0.00	-0.22	3.02	0.21
СБ	2010 (9)			468	470	350	540	14	0.8	-0.75	-0.51	0.28	-0.74	-0.52	0.29
	2011 (43)	430	440	270	660	22	0.8	0.33	-0.21	0.43	0.35	-0.19	0.41		
	2017 (7)	323	330	200	430	21	1.0	-0.48	2.80	0.19	-0.45	2.79	0.20		
	2019 (11)	502	500	380	630	14	0.9	0.14	-0.59	0.96	0.15	-0.58	0.96		
	2010(4)			658	661	644	668	1.7		-0.8	-1.6	0.5	-0.7	-1.9	0.5

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные						
				μ	M	Смин	Смакс	V		исходные			преобразованные			
										S	K	S-W	S	K	S-W	
Фон	2011(2) 2017(8)	Ba	мг/кг	667	667	666	668	0								
				533	540	400	670	17		0.01	-0.71	0.97	-0.05	-0.72	0.97	
БГ	2010 (6) 2011 (63) 2017 (8) 2019 (28)			632	630	520	750	12	1.0	0.16	0.61	0.83	-0.36	0.73	0.79	
				761	710	490	2280	33	1.1	3.75	21.06	0.00	0.48	1.07	0.18	
				613	625	390	810	24	1.2	-0.17	-0.81	0.66	-0.83	-0.22	0.34	
				766	760	590	1100	13	1.2	1.14	4.11	0.02	0.02	1.44	0.28	
БЗ	2010 (17) 2011 (67) 2017 (14) 2019 (20)			673	720	< 60	910	28	1.1	-2.11	6.60	0.00	-2.08	6.50	0.00	
				745	730	430	1480	21	1.1	1.87	6.87	0.00	1.89	6.96	0.00	
				714	700	530	920	14	1.3	0.48	0.99	0.64	0.48	0.99	0.64	
				774	765	550	1000	16	1.2	0.19	-0.80	0.57	0.19	-0.80	0.57	
Ч	2010 (18) 2011 (49) 2017 (9) 2019 (14)			720	720	340	970	23	1.1	-0.61	0.66	0.41	-0.86	1.14	0.21	
				761	750	470	1160	20	1.1	0.66	0.21	0.14	0.50	0.04	0.38	
				826	770	680	1210	20	1.4	1.88	4.04	0.02	1.76	3.59	0.04	
				781	780	570	970	13	1.2	-0.22	0.47	0.89	-0.35	0.58	0.83	
ХУ	2010 (8) 2011 (42) 2017 (13) 2019 (11)			588	610	360	775	27	0.9	-0.17	-1.76	0.35	-0.33	-1.58	0.35	
				720	710	350	1180	27	1.1	0.61	0.33	0.17	0.12	0.11	0.78	
				654	660	490	820	14	1.2	-0.15	-0.01	0.89	-0.37	-0.01	0.81	
				710	760	420	880	18	1.2	-1.25	1.47	0.11	-1.51	2.24	0.04	
СБ	2010 (9) 2011 (43) 2017 (7) 2019 (11)			562	720	< 60	960	60	1.1	-0.76	-1.10	0.06	-0.64	-1.19	0.09	
				759	720	470	1450	27	1.1	1.10	1.67	0.00	1.25	2.26	0.00	
		733	700	590	910	15	1.3	0.48	-0.02	0.93	0.54	0.05	0.91			
		782	790	600	1110	17	1.2	0.78	0.70	0.32	0.86	0.93	0.24			
Фон	2010(4) 2011(2) 2017(8)	328	333	308	339	4										
		338	338	337	339	0										
		238	245	190	270	14		-0.74	-0.95	0.12	-0.33	-1.34	0.31			
БГ	2010 (6) 2011 (63) 2017 (8) 2019 (28)	338	360	200	410	22	1.1	-1.53	2.60	0.19	-1.98	4.19	0.03			
		400	390	210	1170	34	1.2	2.97	15.71	0.00	-0.06	0.87	0.18			
		461	400	230	1040	55	1.6	2.08	5.08	0.01	0.32	0.92	0.75			
		320	310	180	490	23	0.9	0.39	-0.19	0.74	-0.48	0.20	0.67			
БЗ	2010 (17) 2011 (67) 2017 (14) 2019 (20)	261	250	180	350	22	0.8	0.14	-1.50	0.12	-0.11	-1.48	0.14			
		411	400	230	1470	39	1.2	4.42	27.79	0.00	0.79	3.46	0.00			
		411	390	310	570	20	1.6	0.67	-0.39	0.30	0.29	-0.82	0.61			
		338	340	170	530	27	1.0	-0.05	0.14	0.91	-1.01	0.88	0.07			
Ч	2010 (18) 2011 (49) 2017 (9) 2019 (14)	366	353	210	660	31	1.1	0.83	1.53	0.27	0.66	1.13	0.39			
		383	370	220	540	21	1.1	0.26	-0.54	0.36	0.18	-0.54	0.47			
		414	410	300	530	19	1.7	0.14	-0.74	0.60	0.08	-0.73	0.62			
		306	315	160	440	31	0.9	-0.29	-0.93	0.28	-0.37	-0.90	0.24			
ХУ	2010 (8) 2011 (42) 2017 (13) 2019 (11)	360	380	180	510	28	1.1	-0.56	0.81	0.77	-1.18	1.73	0.32			
		376	370	240	750	25	1.1	1.71	5.41	0.00	0.77	1.92	0.06			
		355	340	270	430	15	1.4	-0.07	-0.73	0.22	-0.30	-0.53	0.19			
		279	280	170	360	21	0.8	-0.52	-0.57	0.68	-0.83	-0.01	0.39			
СБ	2010 (9) 2011 (43) 2017 (7) 2019 (11)	243	230	160	380	28	0.7	1.01	0.91	0.54	0.54	0.09	0.95			
		345	340	220	540	23	1.0	0.51	-0.31	0.21	0.14	-0.73	0.61			
		349	300	240	590	33	1.2	1.82	3.68	0.05	1.40	2.35	0.26			
		303	310	170	430	20	0.9	-0.23	0.45	0.87	-0.79	1.09	0.39			
Фон	2010(4) 2011(2) 2017(8)	32	33	30	34	5										
		31	31	30	32	5										
		36	39	26	40	14		-1.50	1.81	0.02	-0.87	-0.85	0.06			
БГ	2010 (6) 2011 (63) 2017 (8)	19	19	15	23	15	0.6	0.00	-0.83	0.98	-0.13	-0.80	0.98			
		24	25	13	33	19	0.8	-0.13	-0.77	0.24	-0.34	-0.50	0.14			
		32	34	24	45	22	0.9	0.53	0.44	0.42	0.28	-0.04	0.47			

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
БЗ	2019 (28)	Li	мг/кг	31	31	22	42	15	0.9	0.29	-0.46	0.65	0.12	-0.52	0.78
	2010 (17)			25	24	16	33	21	0.7	0.04	-1.24	0.31	-0.35	-0.75	0.33
	2011 (67)			23	22	13	34	19	0.7	0.55	0.58	0.06	-0.26	0.74	0.31
	2017 (14)			38	38	30	46	11	1.0	0.23	0.36	0.98	-0.18	0.48	0.98
	2019 (20)			31	32	24	41	17	1.0	0.56	-0.56	0.11	0.24	-0.92	0.27
Ч	2010 (18)			28	27	18	44	23	0.8	1.04	1.18	0.14	0.63	0.60	0.52
	2011 (49)			24	22	< 10	37	21	0.7	0.33	1.11	0.08	-0.42	2.19	0.03
	2017 (9)			37	38	30	44	14	1.0	-0.15	-1.41	0.47	-0.26	-1.39	0.41
	2019 (14)			29	29	20	40	15	0.9	0.74	3.54	0.06	0.14	3.00	0.11
ХУ	2010 (8)			23	22	20	33	18	0.7	2.48	6.53	0.00	2.25	5.61	0.00
	2011 (42)			21	21	13	49	27	0.7	2.65	11.36	0.00	0.49	2.44	0.04
	2017 (13)			32	32	22	42	15	0.8	0.11	1.87	0.63	-0.83	2.77	0.29
	2019 (11)			28	26	23	40	17	0.8	2.19	5.27	0.00	1.76	3.70	0.01
СБ	2010 (9)			24	26	16	27	16	0.8	-1.73	2.24	0.00	-1.84	2.80	0.00
	2011 (43)			22	22	13	36	19	0.7	0.64	2.27	0.05	-0.01	1.26	0.18
	2017 (7)	34	32	30	44	15	0.8	1.28	0.99	0.12	1.15	0.53	0.17		
	2019 (11)	30	29	20	38	13	0.9	-0.18	1.60	0.28	-0.64	2.18	0.15		
Фон	2010(4)	35	35	24	45	25		-0.2	1.3	0.9	-0.1	1.2	0.9		
	2011(2)	35	35	34	36	4									
	2017(8)	38	38	30	48	17		0.14	-1.43	0.69	-0.01	-1.48	0.70		
БГ	2010 (6)	44	45	38	47	8	1.3	-1.76	3.53	0.05	-1.93	4.12	0.02		
	2011 (63)	61	52	37	230	44	1.5	4.50	26.92	0.00	0.62	0.66	0.12		
	2017 (8)	63	45	24	> 200	91	1.2	2.54	6.77	0.00	0.03	0.63	0.60		
	2019 (28)	41	40	29	68	21	1.1	1.22	2.22	0.04	0.11	-0.18	0.98		
БЗ	2010 (17)	45	47	31	54	14	1.3	-0.74	0.03	0.33	-1.44	1.97	0.02		
	2011 (67)	58	50	36	170	42	1.4	3.28	12.83	0.00	0.63	0.37	0.07		
	2017 (14)	42	42	26	54	17	1.1	-0.53	1.24	0.69	-2.03	5.82	0.01		
	2019 (20)	49	40	31	140	48	1.1	3.33	12.99	0.00	0.48	0.16	0.21		
Ч	2010 (18)	60	54	40	92	24	1.5	1.00	0.07	0.02	0.19	-0.33	0.31		
	2011 (49)	59	53	35	140	33	1.5	2.47	6.94	0.00	0.47	1.01	0.07		
	2017 (9)	50	52	39	62	16	1.4	-0.02	-0.97	0.67	-0.46	-1.16	0.41		
	2019 (14)	45	41	33	68	22	1.2	0.96	0.71	0.12	0.18	-0.97	0.53		
ХУ	2010 (8)	55	55	31	81	26	1.6	0.36	2.01	0.63	-1.31	3.25	0.19		
	2011 (42)	49	45	28	130	37	1.3	2.90	10.17	0.00	0.59	2.19	0.01		
	2017 (13)	41	39	28	64	24	1.0	0.98	1.00	0.37	0.13	-0.37	1.00		
	2019 (11)	34	34	23	51	24	1.0	0.70	0.03	0.64	-0.06	-0.51	0.96		
СБ	2010 (9)	49	48	41	59	13	1.4	0.36	-0.97	0.54	0.34	-0.98	0.54		
	2011 (43)	50	50	34	72	16	1.4	0.33	0.59	0.60	0.28	0.53	0.66		
	2017 (7)	46	45	36	60	18	1.2	0.80	0.97	0.68	0.76	0.89	0.71		
	2019 (11)	45	42	28	72	27	1.2	0.28	-0.64	0.20	0.23	-0.72	0.21		
Фон	2010(4)	709	777	488	793	21		-2.0	3.9	0.0	-1.9	3.5	0.0		
	2011(2)	777	777	767	787	2									
	2017(8)	704	713	520	885	18		-0.10	-1.21	0.88	-0.10	-1.21	0.88		
БГ	2010 (6)	344	360	135	440	33	0.5	-1.49	2.50	0.12	-2.12	4.74	0.01		
	2011 (63)	383	350	180	1040	37	0.5	1.76	6.05	0.00	0.00	0.00	0.69		
	2017 (8)	705	385	310	2050	85	0.5	2.03	4.16	0.00	1.06	-0.14	0.07		
	2019 (28)	475	475	290	900	24	0.6	1.71	6.56	0.00	-0.09	1.83	0.10		
БЗ	2010 (17)	426	390	310	580	19	0.5	0.59	-0.72	0.11	0.23	-0.91	0.28		
	2011 (67)	419	410	160	> 5500	32	0.5	0.84	2.16	0.02	-0.88	1.33	0.01		
	2017 (14)	440	410	260	600	25	0.6	0.20	-1.20	0.25	-0.36	-0.45	0.38		
	2019 (20)	678	515	400	3200	89	0.7	4.18	18.14	0.00	2.47	7.91	0.00		

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные						
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные			
										S	K	S-W	S	K	S-W	
Ч	2010 (18)	Mn	мг/кг	493	500	320	630	19	0.6	-0.33	-0.91	0.66	-0.34	-0.90	0.65	
	2011 (49)			379	390	140	690	28	0.5	0.23	0.41	0.75	0.20	0.38	0.78	
	2017 (9)			466	430	340	630	21	0.6	0.68	-0.98	0.15	0.67	-0.98	0.15	
	2019 (14)			439	455	290	610	22	0.6	0.04	-0.47	0.85	0.03	-0.48	0.85	
ХУ	2010 (8)			512	485	260	690	29	0.6	-0.34	-0.39	0.50	-1.80	3.93	0.03	
	2011 (42)			513	390	240	> 5500	140	0.5	6.24	39.89	0.00	0.34	0.46	0.56	
	2017 (13)			492	390	250	1050	49	0.5	1.51	1.55	0.01	-0.03	-0.15	0.76	
	2019 (11)			431	430	330	550	16	0.6	0.08	-0.91	0.90	-0.42	-0.92	0.68	
СБ	2010 (9)			464	460	370	570	14	0.6	0.28	-0.72	0.91	0.09	-0.77	0.95	
	2011 (43)			376	340	210	630	33	0.4	0.76	-0.66	0.00	0.47	-0.95	0.02	
	2017 (7)			421	370	320	660	29	0.5	1.43	1.50	0.08	1.19	0.56	0.18	
Фон	2010(4)			33	35	18	44	33								
	2011(2)			35	35	35	35	0								
	2017(8)			26	27	20	31	13		-0.71	0.63	0.83	-0.13	-0.07	0.99	
БГ	2010 (6)			31	30	22	42	28	0.8	0.29	-2.46	0.19	0.28	-2.48	0.19	
	2011 (63)			33	32	20	49	19	0.9	0.58	0.16	0.07	0.53	0.10	0.11	
	2017 (8)	28	31	8	42	46	1.1	-0.46	-1.40	0.38	-0.52	-1.31	0.37			
	2019 (28)	26	26	19	35	15	1.0	0.45	0.06	0.36	0.42	0.03	0.40			
БЗ	2010 (17)	34	34	24	46	18	1.0	0.51	-0.08	0.42	0.22	-0.27	0.69			
	2011 (67)	38	39	21	68	23	1.1	0.51	0.64	0.10	0.03	-0.18	0.49			
	2017 (14)	29	30	13	47	29	1.1	0.30	1.20	0.84	-0.49	1.16	0.75			
	2019 (20)	29	27	19	53	25	1.0	2.27	7.16	0.00	1.57	4.36	0.02			
Ч	2010 (18)	32	30	15	49	36	0.8	0.17	-1.44	0.16	-0.18	-1.25	0.26			
	2011 (49)	33	32	22	53	21	0.9	0.66	0.41	0.12	0.20	-0.29	0.67			
	2017 (9)	28	26	24	37	16	1.0	1.37	1.02	0.04	1.21	0.51	0.07			
	2019 (14)	26	26	18	44	24	0.9	1.92	5.64	0.01	1.11	2.94	0.09			
ХУ	2010 (8)	32	27	16	59	45	0.8	1.17	0.37	0.07	0.53	0.05	0.33			
	2011 (42)	37	35	25	73	30	1.0	1.37	2.17	0.00	0.74	-0.01	0.01			
	2017 (13)	33	33	9	78	48	1.2	1.88	5.99	0.01	-0.54	3.31	0.09			
	2019 (11)	26	25	20	34	18	0.9	0.60	-0.52	0.54	0.36	-0.86	0.71			
СБ	2010 (9)	36	35	28	45	17	1.0	0.11	-1.43	0.66	0.03	-1.45	0.67			
	2011 (43)	37	36	25	59	20	1.0	0.56	0.57	0.24	0.31	0.01	0.55			
	2017 (7)	32	34	18	39	22	1.3	-1.52	2.40	0.16	-1.70	3.03	0.08			
	2019 (11)	27	27	18	44	22	1.0	1.13	2.60	0.03	0.73	1.79	0.09			
Фон	2010(4)	14	15	8	17	29										
	2011(2)	15	15	15	15	0										
	2017(8)	13	13	11	16	13		1.38	2.67	0.09	0.12	-0.18	0.40			
БГ	2010 (6)	9.5	10.0	4.8	12.0	28	0.7	-1.15	1.27	0.27	-1.32	1.78	0.20			
	2011 (63)	10.9	11.0	5.9	18.0	26	0.7	0.36	-0.23	0.12	0.16	-0.33	0.25			
	2017 (8)	12.7	12.5	6.0	21.0	41	1.0	0.26	-0.65	0.73	0.04	-0.78	0.75			
	2019 (28)	12.6	12.5	9.1	16.0	15	0.8	-0.15	-0.70	0.37	-0.24	-0.66	0.32			
БЗ	2010 (17)	11.4	12.0	5.1	17.0	28	0.8	-0.34	-0.27	0.74	-0.78	0.27	0.29			
	2011 (67)	12.8	12.0	5.7	32.0	34	0.8	1.36	4.52	0.00	0.41	0.94	0.22			
	2017 (14)	14.0	14.5	9.1	18.0	18	1.2	-0.34	-0.71	0.78	-0.56	-0.41	0.59			
	2019 (20)	13.8	14.0	9.3	20.0	17	0.9	0.42	1.70	0.22	-0.05	1.15	0.31			
Ч	2010 (18)	13.2	13.0	9.2	19.0	25	0.9	0.55	-0.84	0.06	0.25	-1.14	0.12			
	2011 (49)	11.8	12.0	6.8	19.0	24	0.8	0.56	-0.15	0.08	0.06	-0.49	0.50			
	2017 (9)	13.3	13.0	12.0	15.0	9	1.0	0.23	-1.56	0.12	0.15	-1.62	0.12			
	2019 (14)	11.8	12.0	9.5	14.0	12	0.8	-0.30	-1.18	0.14	-0.44	-1.09	0.11			
	2010 (8)	13.9	13.5	11.0	19.0	18	0.9	1.17	1.66	0.32	0.83	0.75	0.60			

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
ХУ	2011 (42)	V	мг/кг	11.5	10.0	3.9	34.0	49	0.7	1.83	5.04	0.00	0.40	0.49	0.44
	2017 (13)			12.1	12.0	6.9	19.0	25	1.0	0.59	1.44	0.44	-0.21	0.91	0.64
	2019 (11)			12.0	12.0	9.2	15.0	15	0.8	0.02	-0.76	0.73	-0.22	-0.75	0.68
СБ	2010 (9)			12.5	13.0	7.8	16.0	20	0.9	-0.58	0.61	0.85	-0.82	1.10	0.68
	2011 (43)			11.9	11.0	6.6	21.0	28	0.7	0.49	-0.17	0.16	0.24	-0.57	0.37
	2017 (7)			13.6	13.0	8.9	19.0	23	1.0	0.48	1.71	0.75	0.14	1.58	0.81
	2019 (11)			12.5	12.0	7.9	17.0	20	0.8	-0.36	-0.25	0.25	-0.55	-0.17	0.15
Фон	2010(4)			84	91	59	96	20		-1.9	3.6	0.1	-1.5	2.6	0.3
	2011(2)			82	81	72	90	11							
	2017(8)			76	76	60	90	15		-0.10	-1.57	0.65	-0.09	-1.58	0.65
БГ	2010 (6)			42	41	31	57	23	0.5	0.60	-0.39	0.76	0.67	-0.23	0.72
	2011 (63)			64	62	42	94	19	0.8	0.38	-0.39	0.27	0.46	-0.31	0.16
	2017 (8)	50	39	28	86	43	0.5	0.82	-0.96	0.12	0.89	-0.77	0.10		
	2019 (28)	76	78	50	100	16	0.9	-0.44	0.04	0.46	-0.35	-0.01	0.59		
БЗ	2010 (17)	62	62	38	87	23	0.7	-0.07	-0.91	0.80	-0.17	-0.91	0.76		
	2011 (67)	67	68	49	110	17	0.8	0.75	1.41	0.02	0.58	0.89	0.05		
	2017 (14)	65	68	39	89	22	0.9	-0.20	-0.65	0.76	-0.32	-0.63	0.70		
	2019 (20)	79	79	52	98	14	0.9	-0.38	0.35	0.85	-0.50	0.62	0.75		
Ч	2010 (18)	74	75	41	94	18	0.8	-0.64	0.37	0.70	-0.55	0.17	0.80		
	2011 (49)	68	69	44	89	15	0.9	-0.21	-0.03	0.73	-0.14	-0.08	0.78		
	2017 (9)	67	66	56	78	11	0.9	0.57	0.00	0.23	0.61	-0.01	0.21		
	2019 (14)	71	69	52	93	14	0.8	0.36	1.65	0.62	0.45	1.74	0.58		
ХУ	2010 (8)	62	62	43	79	21	0.7	0.01	-1.36	0.80	-0.46	-0.85	0.72		
	2011 (42)	66	61	43	180	35	0.8	3.07	13.60	0.00	0.56	0.59	0.21		
	2017 (13)	51	49	33	76	22	0.6	0.71	1.18	0.76	-0.39	0.46	0.97		
	2019 (11)	68	70	43	92	19	0.8	-0.17	0.98	0.84	-1.31	2.81	0.16		
СБ	2010 (9)	71	73	43	86	17	0.8	-1.65	4.07	0.07	-1.59	3.89	0.08		
	2011 (43)	65	67	43	85	17	0.8	-0.24	-0.70	0.39	-0.21	-0.71	0.42		
	2017 (7)	67	64	45	94	23	0.8	0.52	0.87	0.94	0.59	0.93	0.92		
	2019 (11)	69	67	52	93	17	0.7	0.44	-0.30	0.52	0.48	-0.26	0.48		
Фон	2010(4)	45	49	27	57	29		-1.3	1.9	0.5	-0.7	0.7	0.9		
	2011(2)	49	49	46	51	7									
	2017(8)	51	51	40	61	15		-0.05	-1.40	0.80	-0.07	-1.39	0.80		
БГ	2010 (6)	55	48	38	99	40	1.0	2.24	5.31	0.00	1.59	3.73	0.08		
	2011 (63)	55	50	24	290	59	1.0	6.43	46.56	0.00	0.31	5.30	0.00		
	2017 (8)	65	63	53	86	16	1.2	1.13	1.54	0.40	0.57	0.30	0.85		
	2019 (28)	69	70	49	103	19	1.4	0.49	0.16	0.45	-0.22	-0.62	0.54		
БЗ	2010 (17)	52	47	40	105	30	1.0	2.85	9.82	0.00	0.98	1.35	0.06		
	2011 (67)	55	49	29	170	45	1.0	3.29	12.76	0.00	-0.11	0.95	0.22		
	2017 (14)	50	49	38	67	15	1.0	0.69	0.73	0.67	-0.14	-0.20	0.98		
	2019 (20)	71	65	46	170	39	1.3	2.61	8.74	0.00	0.18	-0.23	0.79		
Ч	2010 (18)	43	43	30	57	21	0.9	0.01	-1.33	0.24	-0.32	-1.34	0.12		
	2011 (49)	50	48	29	110	27	1.0	2.31	8.70	0.00	0.11	1.39	0.09		
	2017 (9)	46	40	30	68	29	0.8	0.90	-0.36	0.19	0.29	-0.63	0.74		
	2019 (14)	60	58	30	92	32	1.2	0.18	-0.56	0.77	-0.88	0.29	0.18		
ХУ	2010 (8)	66	58	45	97	31	1.2	0.87	-0.87	0.11	0.08	-1.12	0.67		
	2011 (42)	101	62	44	960	151	1.3	5.00	26.61	0.00	0.52	-0.14	0.11		
	2017 (13)	74	61	50	180	46	1.2	2.98	9.67	0.00	0.74	0.83	0.73		
	2019 (11)	116	81	66	> 500	104	1.7	3.27	10.79	0.00	1.46	3.23	0.10		
СБ	2010 (8)	51	53	41	58	13	1.1	-0.43	-1.42	0.25	-0.72	-1.02	0.14		
	2011 (42)	55	54	41	98	19	1.1	2.17	6.80	0.00	0.31	0.47	0.53		

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
СБ	2017 (13)			61	63	52	75	14	1.2	0.49	-0.70	0.21	0.08	-1.77	0.18
	2019 (11)			71	73	48	92	20	1.5	-0.03	-1.20	0.33	-0.65	-0.72	0.09
Фон	2011(2) 2017(8)	W	мг/кг	2.2	1.6	1.3	3.6	58		1.61	3.33	0.11	0.05	0.67	0.95
БГ	2011 (63)			2.8	2.5	1.4	5.9	39	1.6	1.18	0.84	0.00	0.55	-0.46	0.03
	2017 (8)			5.4	4.7	2.2	11	54	2.5	0.93	0.80	0.42	-0.10	-0.58	0.61
	2019 (28)			2.1	1.7	0.5	13	108	1.1	4.15	19.88	0.00	0.73	1.98	0.07
БЗ	2011 (67)			2.5	2.3	1.2	7.1	41	1.4	2.44	7.63	0.00	1.14	2.24	0.00
	2017 (14) 2019 (20)			2.7	2.8	1.3	4	32	1.5	-0.03	-1.24	0.63	-0.42	-0.89	0.49
Ч	2011 (49)			2.3	2.8	0.7	3.8	44	1.8	-0.28	-1.45	0.07	-0.70	-0.90	0.02
	2017 (9)			2.4	2.3	0.89	4.5	33	1.4	0.73	0.32	0.06	-0.02	0.08	0.79
	2019 (14)			2.5	2.5	1.7	3.1	18	1.3	-0.39	-0.56	0.79	-0.70	0.11	0.62
ХУ	2011 (42)			2.4	2.2	1.1	5.2	48	1.3	1.15	1.19	0.13	0.31	-0.37	0.85
	2017 (13)			5.1	3.0	1.5	28	114	1.8	2.55	6.50	0.00	0.41	-0.90	0.03
	2019 (11)			6.0	3.0	1.3	23	103	1.6	2.01	4.23	0.00	-0.14	-0.95	0.80
СБ	2011 (43)			3.2	1.9	1.1	11	95	1.2	2.06	4.16	0.00	0.54	-0.75	0.53
	2017 (7)			2.7	2.6	1.4	5.2	31	1.6	1.25	1.47	0.00	0.08	0.12	0.40
	2019 (11)	2.3	2.2	1.6	3	25	1.2	0.12	-2.10	0.37	-0.17	-1.83	0.44		
Фон	2010(4)	4.2	2.1	1	23	126	1.3	2.86	9.41	0.00	0.29	-1.21	0.18		
	2011(2)	2	2	1	2	28.6		-2.0	4.0	0.0	-2.0	4.0	0.0		
	2017(8)	2	2	2	2	8.8		0.74	-0.34	0.15	0.20	-1.77	0.14		
БГ	2010 (6)	3	3	2	3	21	1.4	-0.42	-2.15	0.10	-0.63	-1.45	0.13		
	2011 (63)	3	2	1	9	45	1.4	3.36	17.75	0.00	-1.13	6.33	0.00		
	2017 (8)	5	3	2	15	88	1.8	2.14	4.59	0.00	0.84	0.66	0.40		
	2019 (28)	2	2	1	5	30	1.1	2.21	7.65	0.00	0.48	1.05	0.34		
БЗ	2010 (17)	2	2	1	3	23	1.0	0.13	-1.27	0.20	-0.44	-1.17	0.07		
	2011 (67)	3	2	1	17	78	1.4	4.24	21.58	0.00	-0.02	0.43	0.57		
	2017 (14)	2	2	2	5	31	1.3	2.42	7.64	0.00	0.25	0.71	0.09		
	2019 (20)	3	2	2	11	73	1.2	4.19	18.21	0.00	1.11	2.86	0.08		
Ч	2010 (18)	2	2	1	6	48	1.0	2.40	7.75	0.00	0.11	-0.53	0.25		
	2011 (49)	2	2	1	7	47	1.2	3.41	13.23	0.00	-0.07	3.38	0.00		
	2017 (9)	3	3	2	3	13	1.4	-0.43	-0.20	0.83	-0.90	0.45	0.46		
	2019 (14)	3	3	1	10	71	1.3	2.50	7.10	0.00	0.17	-0.30	0.95		
ХУ	2010 (8)	9	8	4	17	48	3.9	1.10	0.88	0.24	-0.44	-0.34	0.60		
	2011 (42)	4	3	1	16	85	1.6	2.36	5.26	0.00	0.32	-0.13	0.14		
	2017 (13)	5	3	2	11	66	1.7	0.89	-0.77	0.01	0.11	-1.70	0.13		
	2019 (11)	3	2	2	5	39	1.2	1.21	0.35	0.02	0.43	-0.85	0.50		
СБ	2010 (9)	2	2	1	3	29	0.9	0.15	-1.08	0.49	-0.68	0.47	0.43		
	2011 (43)	2	2	1	4	25	1.4	0.36	-0.57	0.18	-0.34	-0.40	0.19		
	2017 (7)	2	2	2	5	48	1.1	2.00	4.33	0.02	1.05	1.09	0.58		
	2019 (11)	3	3	1	10	63	1.4	3.04	11.34	0.00	0.08	0.46	0.25		
Фон	2010(4)	3	3	2	4	35		0.9	-1.3	0.3	0.3	-4.0	0.2		
	2011(2)	3	3	2	3	28									
	2017(8)	3	3	3	4	9		1.33	1.52	0.18	0.47	-0.23	0.85		
БГ	2010 (6)	4	5	3	5	20	1.9	-1.29	1.23	0.25	-1.80	3.28	0.04		
	2011 (63)	5	4	3	11	33	1.8	1.76	3.70	0.00	0.17	-0.27	0.48		
	2017 (8)	4	4	3	5	21	1.3	0.13	-1.81	0.17	-0.19	-1.97	0.11		
	2019 (28)	4	4	3	8	25	1.7	1.30	2.03	0.01	-0.17	0.43	0.63		
БЗ	2010 (17)	6	5	3	22	77	1.8	3.40	12.67	0.00	-0.26	0.11	0.87		
	2011 (67)	6	5	3	23	67	2.0	2.93	8.71	0.00	0.32	-0.15	0.20		

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные						
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные			
										S	K	S-W	S	K	S-W	
Сп	2017 (14) 2019 (20)	Sn	мг/кг	11	5	4	73	163	1.9	3.65	13.51	0.00	0.79	0.16	0.36	
				8	5	3	44	132	1.8	2.90	7.57	0.00	0.72	-0.17	0.15	
	Ч			2010 (18)	9	4	3	96	229	1.7	4.23	17.91	0.00	0.19	0.96	0.81
				2011 (49)	5	4	3	38	97	1.8	6.60	45.18	0.00	-0.15	0.27	0.30
				2017 (9)	5	5	3	7	24	1.7	0.65	-0.70	0.23	-0.17	-0.85	0.58
				2019 (14)	10	4	3	53	144	1.8	2.60	6.28	0.00	0.38	-0.17	0.19
	ХУ			2010 (8)	7	7	4	9	23	2.9	-0.49	0.16	0.70	-1.77	3.70	0.05
				2011 (42)	6	5	3	27	69	1.9	4.68	25.13	0.00	0.09	0.67	0.94
				2017 (13) 2019 (11)	10	5	4	66	165	1.7	3.53	12.58	0.00	0.86	0.73	0.23
	СБ			2010 (9)	4	4	3	7	28	1.6	1.53	2.41	0.03	0.50	-0.66	0.46
				2011 (43)	5	5	3	8	30	1.9	0.91	1.49	0.59	-0.97	1.48	0.52
				2017 (7)	5	5	4	9	19	2.0	0.90	1.19	0.07	-0.34	0.25	0.91
2019 (11)		6	4	4	14	66	1.3	2.25	5.20	0.00	1.10	0.11	0.18			
Фон	2010(4) 2011(2) 2017(8)	11	5	3	53	126	2.0	2.42	5.40	0.00	0.25	-0.73	0.60			
	БГ	2010 (6)	3	3	2	3	5.7		-1.4	1.5	0.2	-1.2	0.6	0.2		
		2011 (63)	3	3	3	3	2.8									
2017 (8) 2019 (28)		3	3	2	3	17.7		0.75	0.11	0.80	0.07	-0.50	1.00			
БЗ	2010 (17)	3	3	3	3	7	1.1	0.94	1.36	0.15	0.55	0.41	0.20			
	2011 (67)	3	3	2	5	16	1.0	3.63	20.92	0.00	0.27	1.47	0.01			
	2017 (14)	3	3	2	6	36	1.2	1.50	3.10	0.18	-1.25	2.43	0.35			
	2019 (20)	3	3	2	5	15	1.2	1.19	2.89	0.03	-0.38	0.46	0.50			
Ч	2010 (18)	3	3	2	3	7	1.0	0.51	0.04	0.45	0.06	-0.43	0.63			
	2011 (49)	3	3	2	7	27	1.0	4.23	21.38	0.10	0.10	2.85	0.00			
	2017 (9)	3	3	2	4	16	1.1	0.06	1.40	0.10	-1.33	1.48	0.01			
	2019 (14)	3	3	2	6	26	1.1	2.42	6.73	0.00	0.82	0.39	0.23			
ХУ	2010 (8)	3	3	2	4	17	1.0	3.06	10.78	0.00	2.69	8.72	0.00			
	2011 (42)	2	2	2	4	16	0.9	0.32	0.29	0.52	-0.08	0.09	0.71			
	2017 (13)	3	3	3	3	8	1.1	0.65	-0.56	0.09	0.57	-0.81	0.09			
	2019 (11)	3	3	3	3	8	1.1	0.26	-0.92	0.29	0.16	-0.92	0.35			
СБ	2010 (9)	3	3	2	6	36	1.3	1.04	2.39	0.41	-1.36	2.80	0.22			
	2011 (43)	3	3	2	4	15	1.0	1.92	6.41	0.00	0.66	0.70	0.09			
	2017 (7)	3	3	3	4	11	1.3	0.73	-0.70	0.05	0.46	-1.07	0.10			
	2019 (11)	3	3	2	6	30	1.2	1.44	2.56	0.11	-0.20	0.84	0.93			
Фон	2010 (9)	3	3	3	3	3.4	1.0	0.21	-1.85	0.04	0.15	-1.86	0.05			
	2011 (43)	2	2	2	3	11	0.9	0.71	0.09	0.04	0.10	-0.52	0.46			
	2017 (7)	3	3	3	3	8.0	1.2	0.42	0.08	0.69	-0.02	-0.21	0.76			
	2019 (11)	3	3	2	4	16	1.2	0.73	1.19	0.27	-0.33	-0.47	0.57			
Ga	2011 (2) 2017 (5)	Sn	мг/кг	22	22	16	27	25								
				18	17	13	27	25		1.33	1.45	0.17	0.14	-0.12	0.95	
	БГ			2011 (63)	17	17	10	26	18	0.8	0.49	0.48	0.03	0.30	0.44	0.07
				2017 (8)	15	14	10	22	28	0.8	0.45	-1.23	0.57	0.35	-1.30	0.64
				2019 (28)	21	21	16	26	14	1.0	0.15	-0.53	0.32	0.07	-0.54	0.36
	БЗ			2011 (67)	18	19	8	27	20	0.9	-0.39	0.84	0.04	-0.12	0.60	0.27
				2017 (14)	19	19	14	24	19	1.2	0.02	-1.36	0.27	0.09	-1.35	0.26
				2019 (20)	21	21	17	30	14	1.0	1.29	2.88	0.04	1.46	3.51	0.02
	Ч			2011 (49)	17	17	9	24	19	0.8	-0.10	0.00	0.87	0.20	-0.09	0.81
				2017 (9)	19	20	15	22	12	1.2	-0.72	-0.05	0.24	-0.61	-0.10	0.29
				2019 (14)	21	21	18	25	10	1.0	0.19	-0.48	0.40	0.30	-0.35	0.38
	ХУ			2011 (42)	17	16	6	34	30	0.7	0.62	3.16	0.01	0.58	3.06	0.01
2017 (13)		17	18	13	21	16	1.1	-0.43	-1.39	0.14	-0.44	-1.39	0.14			
2019 (11)		21	21	17	24	10	1.0	-0.07	-0.49	0.89	-0.08	-0.49	0.89			

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	Смин	Смакс	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
СБ	2011 (43)	Pb	мг/кг	18	17	12	25	18	0.8	0.33	-0.71	0.08	0.27	-0.74	0.10
	2017 (7)			19	20	13	22	16	1.2	-1.17	1.30	0.40	-1.23	1.48	0.35
	2019 (11)			19	19	15	23	13	0.9	-0.14	-1.01	0.17	-0.18	-0.96	0.17
Фон	2010(4)			19	20	13	22	22		-1.1	0.3	0.5	-0.6	-1.6	0.7
	2011(2)			22	22	21	22	3							
	2017(8)			20	20	15	26	19		0.46	-0.73	0.39	0.02	-0.60	0.64
БГ	2010 (6)			38	36	33	47	15	1.8	0.96	-1.16	0.10	0.88	-1.30	0.13
	2011 (63)			54	46	19	190	61	2.1	2.13	5.51	0.00	0.59	0.25	0.12
	2017 (8)			27	32	7	36	40	1.6	-1.39	0.27	0.01	-1.63	1.38	0.00
	2019 (28)			51	53	25	91	36	2.7	0.61	-0.29	0.11	-0.05	-0.70	0.50
БЗ	2010 (17)			125	52	22	1370	256	2.7	4.11	16.94	0.00	0.71	3.63	0.04
	2011 (67)			66	56	20	360	73	2.6	4.04	21.32	0.00	-0.57	0.78	0.06
	2017 (14)			62	40	30	330	124	2.0	3.66	13.58	0.00	2.05	5.70	0.01
	2019 (20)			57	53	25	120	52	2.7	0.95	-0.19	0.01	-0.13	-1.14	0.25
Ч	2010 (18)			119	40	19	1300	248	2.0	4.15	17.40	0.00	0.18	-0.57	0.81
	2011 (49)	65	44	22	> 500	115	2.0	4.60	24.81	0.00	0.25	0.15	0.73		
	2017 (9)	46	52	23	63	31	2.6	-0.65	-1.24	0.15	-1.12	-0.07	0.03		
	2019 (14)	137	65	33	640	133	3.3	2.32	4.67	0.00	0.37	-0.73	0.58		
ХУ	2010 (8)	47	34	25	91	57	1.7	1.12	-0.51	0.02	0.64	-1.26	0.19		
	2011 (42)	47	43	19	120	46	2.0	1.56	3.14	0.00	-0.16	-0.33	0.87		
	2017 (13)	42	35	20	97	55	1.8	1.45	1.38	0.02	0.42	-0.68	0.78		
	2019 (11)	45	40	23	100	51	2.1	1.46	2.50	0.06	0.16	-0.99	0.60		
СБ	2010 (9)	57	52	27	94	42	2.7	0.11	-1.45	0.48	-0.68	-0.99	0.18		
	2011 (43)	68	59	28	185	50	2.7	1.77	3.29	0.00	-0.24	0.09	0.55		
	2017 (7)	87	35	27	370	143	1.8	2.58	6.74	0.00	1.19	1.07	0.21		
	2019 (11)	133	61	29	640	127	3.1	2.21	4.20	0.00	0.16	-0.53	0.53		
Фон	2010(4)	23	26	13	28	30		-1.8	3.3	0.1	-1.3	1.6	0.4		
	2011(2)	26	26	25	27	5									
	2017(8)	26	25	20	40	24		1.68	3.53	0.06	0.11	0.11	0.67		
БГ	2010 (6)	40	41	20	52	28	1.6	-1.21	2.08	0.24	-2.12	4.81	0.01		
	2011 (63)	41	34	21	140	47	1.3	2.93	11.36	0.00	0.46	0.10	0.21		
	2017 (8)	51	46	25	94	50	1.8	0.62	-0.99	0.33	-0.16	-1.87	0.42		
	2019 (28)	40	41	25	57	19	1.6	0.20	0.33	0.59	-0.94	0.98	0.06		
БЗ	2010 (17)	47	42	29	157	62	1.6	3.78	15.04	0.00	1.11	3.33	0.04		
	2011 (67)	42	38	20	230	61	1.5	6.30	46.36	0.00	-0.19	1.23	0.14		
	2017 (14)	49	37	19	210	95	1.5	3.52	12.85	0.00	-0.24	2.97	0.21		
	2019 (20)	46	41	28	100	35	1.6	2.31	6.20	0.00	0.45	1.09	0.47		
Ч	2010 (18)	111	34	22	1400	291	1.3	4.24	17.97	0.00	1.00	3.33	0.09		
	2011 (49)	47	36	17	520	151	1.4	6.57	44.68	0.00	-0.46	2.39	0.02		
	2017 (9)	38	31	30	> 1700	29	1.2	1.11	-0.61	0.00	0.92	-1.27	0.00		
	2019 (14)	254	44	32	2300	241	1.7	3.33	11.42	0.00	0.91	-0.11	0.11		
ХУ	2010 (8)	71	62	51	120	35	2.4	1.48	1.06	0.02	1.09	-0.09	0.12		
	2011 (42)	47	43	21	140	45	1.6	2.40	8.72	0.00	-0.03	0.11	0.93		
	2017 (13)	49	40	23	120	52	1.6	2.02	4.81	0.01	0.24	0.24	1.00		
	2019 (11)	41	35	28	62	28	1.3	0.70	-0.96	0.15	0.31	-1.42	0.36		
СБ	2010 (9)	42	43	32	> 500	14	1.7	-0.21	0.22	1.00	-1.01	1.29	0.58		
	2011 (43)	45	43	33	> 2000	20	1.7	1.35	1.83	0.00	0.29	-0.22	0.80		
	2017 (7)	128	31	25	680	190	1.2	2.63	6.95	0.00	0.81	-0.05	0.58		
	2019 (11)	223	43	23	2300	240	1.7	3.65	14.16	0.00	0.03	-0.53	0.59		
Фон	2010(4)	73	80	41	93	31		-1.4	1.8	0.4	-0.8	0.1	0.8		
	2011(2)	89	89	85	93	6									

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
	2017(8)	Zn	мг/кг	75	73	58	93	17		0.49	-0.61	0.25	0.03	-0.56	0.44
БГ	2010 (6)			107	115	81	130	19	1.4	-0.58	-1.83	0.16	-0.74	-1.87	0.08
	2011 (63)			156	120	63	1600	123	1.3	7.21	55.02	0.00	0.89	2.60	0.01
	2017 (8)			73	65	42	110	35	0.9	0.38	-1.57	0.39	-0.18	-1.32	0.57
	2019 (28)			133	125	71	240	29	1.6	1.01	0.92	0.02	-0.18	0.41	0.37
БЗ	2010 (17)			120	120	86	160	17	1.5	0.24	-0.48	0.83	-0.39	-0.48	0.67
	2011 (67)			142	130	69	450	41	1.5	2.67	11.25	0.00	-0.22	0.19	0.81
	2017 (14)			107	97	72	190	28	1.3	1.87	4.65	0.01	0.42	0.63	0.75
	2019 (20)			160	140	80	460	53	1.8	2.56	8.03	0.00	-0.04	-0.15	0.78
Ч	2010 (18)			150	110	72	640	84	1.4	3.77	15.20	0.00	0.40	0.57	0.60
	2011 (49)			159	130	61	1200	102	1.5	5.88	37.40	0.00	-0.37	2.77	0.01
	2017 (9)			122	120	91	170	21	1.6	0.60	0.40	0.51	-0.21	-0.89	0.53
	2019 (14)			182	150	100	400	48	1.9	1.60	2.10	0.01	0.27	-0.64	0.89
ХУ	2010 (8)			163	145	120	310	37	1.8	2.51	6.69	0.00	1.97	4.71	0.02
	2011 (42)			141	130	72	280	35	1.5	1.00	0.70	0.01	0.00	-0.43	0.60
	2017 (13)			127	110	68	270	46	1.5	1.40	1.72	0.03	0.47	-0.66	0.71
	2019 (11)			141	150	92	230	34	1.9	0.48	-0.98	0.09	0.08	-1.84	0.06
СБ	2010 (9)			149	140	97	250	29	1.8	1.85	4.85	0.03	0.93	2.86	0.29
	2011 (43)			159	150	100	290	26	1.7	1.39	2.41	0.00	0.60	0.51	0.10
	2017 (7)			115	97	70	220	44	1.3	1.91	4.02	0.04	1.24	1.93	0.46
	2019 (11)	165	155	75	310	37	1.9	0.78	0.74	0.45	-0.24	-0.06	0.92		
Фон	2010(4)	0	0	0	0	25			-1.8	3.1	0.1	-1.3	0.8	0.2	
	2011(2)	0	0	0	0	7									
	2017(8)	0	0	0	0	18			0.16	-0.55	0.52	-0.03	-0.73	0.49	
БГ	2010 (6)	0	0	0	0	19	1.2	2.07	4.24	0.00	1.90	3.41	0.00		
	2011 (63)	0	0	0	2	117	1.8	3.67	14.50	0.00	-0.03	-0.09	0.83		
	2017 (8)	0	0	0	1	114	2.3	2.67	7.34	0.00	0.87	1.26	0.23		
	2019 (28)	0	0	0	1	61	1.7	1.10	0.24	0.00	-0.21	-0.61	0.33		
БЗ	2010 (17)	0	0	0	1	61	1.6	0.80	-0.66	0.04	-0.09	-1.14	0.46		
	2011 (67)	0	0	0	1	62	1.8	2.32	7.28	0.00	-0.05	0.04	0.83		
	2017 (14)	0	0	0	1	67	2.0	1.34	1.05	0.01	0.40	-1.18	0.25		
	2019 (20)	0	0	0	1	71	1.7	1.34	1.08	0.00	0.15	-0.94	0.72		
Ч	2010 (18)	0	0	0	1	123	1.4	3.70	14.58	0.00	-0.39	1.25	0.82		
	2011 (49)	1	0	0	10	269	1.6	6.02	39.02	0.00	0.35	-0.63	0.19		
	2017 (9)	0	0	0	0	68	1.5	2.06	4.21	0.00	1.01	-0.17	0.11		
	2019 (14)	0	0	0	3	159	2.5	3.58	13.12	0.00	0.14	0.09	0.73		
ХУ	2010 (8)	0	0	0	0	57	1.7	1.59	1.44	0.01	0.85	-0.27	0.11		
	2011 (42)	0	0	0	2	123	1.3	5.25	30.91	0.00	0.16	-0.63	0.51		
	2017 (13)	0	0	0	0	69	1.6	1.86	3.84	0.01	-0.01	-0.80	0.82		
	2019 (11)	0	0	0	0	69	1.2	2.92	9.18	0.00	0.58	1.82	0.42		
СБ	2010 (9)	0	0	0	1	65	2.0	1.41	1.96	0.09	-0.13	-0.60	0.81		
	2011 (43)	0	0	0	1	59	2.3	2.95	12.54	0.00	-0.14	-0.17	0.36		
	2017 (7)	0	0	0	0	36	2.1	0.65	0.52	0.73	-0.47	-0.10	0.85		
	2019 (11)	0	0	0	3	137	2.9	4.05	17.09	0.00	0.41	0.60	0.43		
Фон	2010(4)	1	1	1	2	21			1.1	0.2	0.3	0.5	-3.0	0.4	
	2011(2)	1	1	1	2	7									
	2017(8)	3	2	2	6	43			2.53	6.75	0.00	0.30	0.72	0.97	
БГ	2010 (6)	2	2	1	3	39	1.5	1.19	0.82	0.25	0.65	-0.67	0.51		
	2011 (63)	4	3	2	26	89	2.6	4.38	21.39	0.00	1.23	2.88	0.00		
	2017 (8)	2	2	1	4	49	0.9	0.26	-1.30	0.42	-0.43	-1.33	0.38		
	2019 (28)	5	4	1	15	81	3.5	1.44	1.48	0.00	-0.39	-0.42	0.45		

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	Смин	Смакс	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
БЗ	2010 (17)	Sb	мг/кг	4	3	1	24	147	2.4	3.95	15.99	0.00	1.21	4.25	0.03
	2011 (67)			4	3	1	14	59	2.4	2.74	9.59	0.00	-0.07	2.15	0.01
	2017 (14)			7	5	1	33	120	1.9	3.20	11.11	0.00	-0.07	1.56	0.80
	2019 (20)			6	5	1	13	65	4.3	0.45	-0.94	0.17	-1.12	0.54	0.01
Ч	2010 (18)			3	2	1	20	132	1.7	3.83	15.46	0.00	0.16	1.03	0.71
	2011 (49)			8	3	1	> 200	355	2.3	6.88	47.84	0.00	0.84	2.39	0.00
	2017 (9)			6	4	2	24	112	1.7	2.81	8.13	0.00	0.74	1.82	0.65
	2019 (14)			10	6	2	42	118	5.1	2.41	5.39	0.00	0.01	0.64	0.78
ХУ	2010 (8)			2	2	1	4	48	1.8	1.05	0.56	0.42	0.12	-0.74	0.99
	2011 (42)			3	3	1	7	50	2.4	0.86	1.07	0.02	-1.15	1.28	0.00
	2017 (13)			6	2	1	51	213	0.8	3.47	12.28	0.00	0.79	0.83	0.75
	2019 (11)			5	2	1	14	115	1.5	1.15	-0.55	0.00	0.45	-1.51	0.11
СБ	2010 (9)			3	2	1	4	38	2.2	0.64	-0.61	0.31	-0.20	-0.89	0.64
	2011 (43)			4	4	2	22	72	2.8	5.08	29.45	0.00	1.03	2.80	0.02
	2017 (7)			4	3	1	14	110	1.1	2.41	6.06	0.00	0.09	1.10	0.94
	2019 (11)			10	6	1	42	111	5.0	1.71	2.38	0.00	-0.58	-0.73	0.20
Фон	2010(4)	12	12	10	13	13		-0.4	-3.9	0.2	-0.3	-4.4	0.2		
	2011(2)	12	12	11	13	12									
	2017(8)	12	12	10	16	16		1.35	2.71	0.18	0.02	1.17	0.71		
БГ	2010 (6)	8	8	5	12	31	0.6	1.08	1.71	0.56	0.14	0.33	0.97		
	2011 (63)	10	10	6	33	40	0.8	3.72	17.66	0.00	0.78	2.83	0.00		
	2017 (8)	16	18	7	23	38	1.6	-0.40	-1.66	0.24	-0.82	-1.02	0.09		
	2019 (28)	14	14	6	22	21	1.2	-0.14	2.57	0.05	-2.09	7.07	0.00		
БЗ	2010 (17)	8	8	5	13	21	0.7	1.05	2.21	0.11	-0.40	1.69	0.43		
	2011 (67)	10	10	6	30	37	0.8	3.58	16.01	0.00	0.55	1.85	0.03		
	2017 (14)	12	12	7	20	28	1.0	0.91	1.12	0.30	-0.21	-0.47	0.89		
	2019 (20)	15	15	10	25	19	1.3	2.01	7.62	0.00	-0.23	4.16	0.02		
Ч	2010 (18)	9	9	6	13	25	0.7	0.23	-0.98	0.43	-0.29	-0.92	0.42		
	2011 (49)	12	11	6	33	40	0.9	2.54	8.97	0.00	0.44	0.76	0.44		
	2017 (9)	11	10	9	16	25	0.9	1.06	-0.28	0.06	0.76	-0.90	0.16		
	2019 (14)	15	15	11	18	12	1.3	-0.32	0.76	0.63	-0.89	1.57	0.27		
ХУ	2010 (8)	20	18	9	47	60	1.5	1.80	3.89	0.04	0.36	0.08	0.81		
	2011 (42)	13	9	3	64	95	0.8	3.20	11.10	0.00	0.31	1.21	0.07		
	2017 (13)	13	10	7	36	70	0.9	2.07	3.20	0.00	1.42	1.54	0.01		
	2019 (11)	18	18	12	26	24	1.5	0.53	-0.59	0.61	0.04	-0.74	0.90		
СБ	2010 (9)	9	8	6	12	21	0.7	0.51	0.56	0.48	-0.72	1.81	0.40		
	2011 (43)	11	10	8	28	33	0.8	2.97	11.69	0.00	0.95	0.89	0.01		
	2017 (7)	10	10	8	12	17	0.9	-0.25	-1.31	0.63	-0.61	-1.14	0.41		
	2019 (11)	15	15	11	22	21	1.3	0.46	-0.65	0.46	-0.13	-0.95	0.62		
Фон	2010(4)	1.025	1.1	0.7	1.2	23		-1.2	0.4	0.2	-0.7	-2.0	0.3		
	2011(2)	1.1	1.1	1	1.2	13									
	2017(8)	1.45	1.5	1.1	1.7	14		-0.64	-0.41	0.52	-0.21	-0.94	0.73		
БГ	2010 (6)	1.23	1.2	< 0.3	1.7	34	1.1	0.05	-1.72	0.49	-0.37	-1.15	0.59		
	2011 (63)	0.62	0.6	0.3	1.2	34	0.5	0.93	0.39	0.00	0.22	-0.43	0.02		
	2017 (8)	1.38	1.25	1	1.9	23	0.8	0.62	-1.05	0.41	0.37	-1.28	0.60		
	2019 (28)	1.63	1.7	1.1	2.2	15	1.5	-0.51	0.88	0.01	-1.02	1.06	0.00		
БЗ	2010 (17)	0.89	0.8	0.5	1.6	40	0.7	1.23	0.32	0.00	0.45	-0.59	0.15		
	2011 (67)	0.78	0.8	0.5	1.2	22	0.7	0.39	-0.35	0.01	-0.35	-0.35	0.01		
	2017 (14)	1.22	1.2	0.8	1.6	20	0.8	-0.11	-1.18	0.54	-0.59	-0.50	0.35		
	2019 (20)	1.65	1.65	1.1	2.1	15	1.5	-0.35	0.03	0.80	-1.01	1.15	0.13		
Ч	2010 (18)	0.91	0.8	0.4	1.7	44	0.7	0.61	-0.72	0.10	-0.08	-1.00	0.35		
	2011 (49)	0.68	0.7	0.3	1.2	29	0.6	0.50	-0.03	0.03	-0.30	-0.11	0.07		
	2017 (9)	1.11	1.1	0.8	1.4	16	0.7	-0.04	0.40	0.85	-0.57	1.02	0.69		

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные					
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные		
										S	K	S-W	S	K	S-W
ХУ	2019 (14)	Ge	мг/кг	1.62	1.7	1.3	1.9	13	1.5	-0.53	-0.66	0.06	-0.73	-0.56	0.03
	2010 (8)			1.84	1.9	1.5	2.2	13	1.7	-0.11	-1.26	0.42	-0.23	-1.36	0.37
	2011 (42)			0.83	0.75	0.3	2.1	47	0.7	1.35	1.93	0.00	0.56	-0.07	0.10
	2017 (13)			1.21	1	0.7	2.4	39	0.7	1.83	2.96	0.00	1.36	1.77	0.03
	2019 (11)			1.67	1.7	1.2	2	14	1.5	-0.70	0.70	0.39	-0.99	1.28	0.22
СБ	2010 (9)			0.74	0.7	0.4	1.2	40	0.6	0.74	-0.80	0.16	0.20	-1.05	0.56
	2011 (43)			0.8	0.8	0.5	1.3	26	0.7	0.61	0.05	0.02	-0.06	-0.50	0.06
	2017 (7)			1.19	1.2	0.8	1.7	24	0.8	0.78	1.75	0.69	-0.02	1.15	0.92
	2019 (11)			1.67	1.7	1.1	2	14	1.5	-0.57	0.19	0.20	-1.05	1.53	0.05
Фон	2010(4)			2.225	2.225	1.95	2.5	38		1.68	2.75	0.03	0.39	-0.79	0.83
	2011(2)			1.25	1.25	1.2	1.3	6							
	2017(8)			1.1	1	0.9	1.6	22		1.59	2.20	0.03	0.34	-0.74	0.43
БГ	2010 (6)			1.45	1.4	1.3	1.7	12	0.6	0.49	-1.93	0.11	0.34	-2.38	0.09
	2011 (63)			2.22	1.9	1.2	5.9	45	1.5	2.04	4.40	0.00	0.00	-0.13	0.14
	2017 (8)			1.29	1.2	1.1	1.7	16	1.2	1.32	1.53	0.08	0.79	-0.08	0.24
	2019 (28)	1.84	1.7	1.5	2.7	20	0.8	1.35	0.97	0.00	0.76	-0.39	0.01		
БЗ	2010 (17)	1.57	1.6	0.93	2.1	18	0.7	-0.26	0.59	0.79	-1.43	3.20	0.04		
	2011 (67)	1.88	1.8	0.85	6.8	41	1.4	4.27	25.65	0.00	-0.19	2.67	0.01		
	2017 (14)	1.15	1.2	0.9	1.4	11	1.2	-0.13	0.36	0.39	-0.67	0.63	0.22		
	2019 (20)	1.8	1.6	1.2	4.4	37	0.7	3.43	13.41	0.00	1.50	4.44	0.01		
ц	2010 (18)	1.93	1.9	1.2	3	21	0.9	0.77	1.59	0.44	-0.14	0.75	0.91		
	2011 (49)	1.92	1.8	0.9	4	33	1.4	1.69	3.31	0.00	0.41	1.03	0.07		
	2017 (9)	1.06	1	0.9	1.2	10	1.0	0.27	-0.76	0.21	0.07	-0.61	0.24		
	2019 (14)	1.73	1.7	1.3	2	11	0.8	-0.25	0.32	0.12	-0.71	1.38	0.08		
ХУ	2010 (8)	2.04	1.95	1.1	3.3	31	0.9	0.89	1.94	0.41	-0.85	2.38	0.39		
	2011 (42)	1.69	1.6	0.9	3.6	30	1.3	2.40	7.61	0.00	0.02	2.58	0.00		
	2017 (13)	1.35	1.1	0.9	4.1	64	1.1	3.14	10.28	0.00	2.13	4.81	0.00		
	2019 (11)	1.61	1.6	1.5	1.8	5.9	0.7	0.66	0.20	0.10	0.47	-0.14	0.11		
СБ	2010 (9)	1.78	1.8	1	2.4	22	0.8	-0.55	1.26	0.80	-0.47	1.16	0.84		
	2011 (43)	1.7	1.7	1.1	2.4	18	1.4	0.49	-0.14	0.09	0.53	-0.11	0.07		
	2017 (7)	1.07	1.1	0.9	1.2	10	1.1	-0.25	-0.94	0.48	-0.23	-0.97	0.48		
	2019 (11)	1.76	1.8	1.3	2.2	14	0.8	-0.28	-0.58	0.57	-0.25	-0.59	0.59		
Фон	2010(4)	0.5325	0.53	0.52	0.55	2.4		1.1	2.2	0.4	0.9	2.0	0.5		
	2011(2)	0.525	0.525	0.52	0.53	1.3									
	2017(8)	0.45	0.45	0.4	0.5	12		0.00	-2.80	0.00	0.00	-2.80	0.00		
БГ	2010 (6)	0.65	0.6	0.5	0.9	21	1.1	1.37	2.35	0.18	1.29	2.16	0.22		
	2011 (63)	0.74	0.73	0.46	1.2	18	1.4	0.66	1.14	0.06	0.51	0.78	0.16		
	2017 (8)	0.34	0.3	< 0.3	0.4	15	0.7	0.64	-2.24	0.00	0.64	-2.24	0.00		
	2019 (28)	0.49	0.5	< 0.3	0.7	19	0.9	0.22	-0.26	0.01	0.12	-0.28	0.01		
БЗ	2010 (17)	0.65	0.6	0.5	0.8	11	1.1	0.12	0.16	0.01	-0.13	0.26	0.01		
	2011 (67)	0.68	0.67	0.42	1.2	19	1.3	0.85	2.67	0.01	0.18	1.08	0.29		
	2017 (14)	0.49	0.45	0.4	0.8	24	1.0	1.67	3.06	0.00	1.32	1.57	0.00		
	2019 (20)	0.49	0.5	0.4	0.7	17	0.9	0.77	0.35	0.00	0.50	-0.28	0.00		
ц	2010 (18)	0.57	0.6	0.4	0.7	19	1.1	-0.33	-1.04	0.02	-0.78	-0.50	0.01		
	2011 (49)	0.68	0.66	0.42	2.1	36	1.3	4.37	25.24	0.00	0.58	2.04	0.07		
	2017 (9)	0.46	0.5	0.3	0.5	16	1.1	-1.50	1.47	0.00	-1.88	3.43	0.00		
	2019 (14)	0.52	0.5	0.4	0.6	13	0.9	-0.32	-0.63	0.01	-0.78	0.20	0.00		
ХУ	2010 (8)	0.9	0.9	0.7	1.2	19	1.7	0.47	-0.03	0.56	0.06	-0.66	0.60		
	2011 (42)	0.94	0.79	0.45	3.6	53	1.5	3.96	20.34	0.00	1.23	3.08	0.00		
	2017 (13)	0.39	0.3	< 0.3	0.6	30	0.7	0.88	-0.81	0.00	0.66	-1.33	0.00		
	2019 (11)	0.55	0.5	0.5	0.7	12	0.9	0.93	0.08	0.00	0.75	-0.63	0.00		
СБ	2010 (9)	0.59	0.6	0.4	0.7	18	1.1	-0.55	-0.55	0.19	-0.68	-0.25	0.18		
	2011 (43)	0.71	0.71	0.52	1	17	1.4	0.53	-0.37	0.07	0.40	-0.55	0.15		
	2017 (7)	0.4	0.4	0.3	0.5	20	0.9	0.00	-1.20	0.14	-0.12	-1.20	0.14		

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний					M C _{фон}	Коэффициенты, описывающие данные						
				μ	M	C _{мин}	C _{макс}	V		исходные			преобразованные			
										S	K	S-W	S	K	S-W	
	2019 (11)			0.58	0.6	0.3	1.2	37	1.1	1.62	3.51	0.00	1.11	2.27	0.01	
Фон	2010(4)	Cd	мг/кг	1.305	1.215	0.69	2.1	48		0.6	-1.5	0.7	0.0	-2.4	0.9	
	2011(2)			1.215	1.215	0.93	1.5	33								
	2017(8)			0.7	0.6	0.3	1.5	52		1.70	3.47	0.07	0.01	1.19	0.85	
БГ	2010 (6)			1.03	0.85	0.5	2.2	61	0.7	1.60	2.66	0.13	0.28	-0.89	0.94	
	2011 (63)			0.68	0.65	0.36	1.4	34	0.5	1.02	1.31	0.00	-0.20	-0.76	0.12	
	2017 (8)			1.33	0.8	0.3	3.9	93	1.3	1.52	2.13	0.04	-0.28	-1.17	0.77	
	2019 (28)			0.51	0.5	< 0.3	0.9	35	0.4	0.87	-0.06	0.00	-0.08	-0.78	0.04	
БЗ	2010 (17)			0.71	0.7	0.4	1.1	27	0.6	0.79	0.76	0.10	-0.26	0.44	0.44	
	2011 (67)			0.93	0.88	0.48	2.1	35	0.7	1.23	2.00	0.00	0.09	-0.53	0.67	
	2017 (14)			1.03	0.85	0.4	2.5	54	1.4	1.60	2.79	0.02	0.03	0.06	0.99	
	2019 (20)			0.56	0.5	0.4	0.8	26	0.4	0.32	-1.36	0.01	0.01	-1.54	0.01	
Ч	2010 (18)			0.84	0.7	0.4	2.9	64	0.6	3.60	14.30	0.00	0.41	2.36	0.15	
	2011 (49)			0.73	0.66	0.36	3.1	55	0.5	4.45	25.19	0.00	0.26	0.92	0.65	
	2017 (9)			0.84	0.9	0.6	1.1	24	1.5	-0.19	-1.39	0.04	-0.54	-1.61	0.01	
	2019 (14)			0.6	0.55	0.3	1.2	37	0.5	1.48	3.39	0.05	-0.42	0.75	0.75	
ХУ	2010 (8)			1.91	2	1.1	2.7	32	1.6	-0.11	-1.97	0.28	-0.57	-1.30	0.22	
	2011 (42)	0.78	0.61	0.37	2.4	52	0.5	2.10	5.82	0.00	0.15	-0.86	0.33			
	2017 (13)	1.49	0.7	0.4	8.6	152	1.2	3.04	9.61	0.00	0.45	-0.52	0.47			
	2019 (11)	0.55	0.4	0.4	1	38	0.3	1.32	0.87	0.00	0.76	-1.14	0.01			
СБ	2010 (9)	0.71	0.7	0.5	0.9	22	0.6	0.30	-1.56	0.08	-0.04	-1.17	0.17			
	2011 (43)	0.83	0.71	0.39	2.8	52	0.6	2.88	10.41	0.00	0.56	0.73	0.49			
	2017 (7)	0.7	0.6	0.5	1.2	37	1.0	1.55	1.70	0.02	1.09	0.14	0.10			
	2019 (11)	0.65	0.6	0.3	1.2	40	0.5	0.40	-0.65	0.25	-0.40	-0.98	0.15			
Фон	2010(4)	Zr	мг/кг	298	290	200	410	30		0.4	-0.4	1.0	0.0	-0.6	1.0	
	2011(2)			365	365	320	410	17								
	2017(8)			251	275	110	340	30		-0.86	0.20	0.55	-0.36	-0.77	0.86	
БГ	2010 (6)			175	180	67	280	43	0.6	-0.09	-0.20	1.00	-0.59	0.14	0.93	
	2011 (63)			225	220	140	370	22	0.6	0.59	0.24	0.10	0.30	-0.20	0.45	
	2017 (8)			226	220	110	400	39	0.8	0.92	1.46	0.66	0.38	0.65	0.96	
	2019 (28)			270	250	160	490	25	0.9	1.38	3.10	0.01	0.90	1.76	0.13	
БЗ	2010 (17)			257	250	180	420	23	0.9	1.27	2.86	0.09	1.10	2.34	0.16	
	2011 (67)			250	240	170	380	19	0.7	0.54	-0.33	0.00	0.46	-0.43	0.08	
	2017 (14)			224	245	70	330	36	0.9	-0.60	-0.90	0.20	-0.72	-0.64	0.15	
	2019 (20)			307	300	200	430	22	1.0	0.44	-0.75	0.32	0.36	-0.80	0.40	
Ч	2010 (18)			251	260	180	300	14	0.9	-0.64	-0.57	0.18	-0.67	-0.53	0.17	
	2011 (49)			221	220	110	340	23	0.6	0.26	0.00	0.73	0.19	-0.02	0.81	
	2017 (9)			262	280	150	310	20	1.0	-1.32	1.27	0.09	-1.37	1.42	0.08	
	2019 (14)			249	235	160	350	24	0.8	0.45	-0.86	0.36	0.42	-0.87	0.40	
ХУ	2010 (8)			127	130	89	150	16	0.4	-0.78	0.26	0.52	-0.95	0.67	0.41	
	2011 (42)	204	200	70	340	29	0.5	-0.11	0.24	0.77	-0.63	0.78	0.17			
	2017 (13)	228	230	100	400	46	0.8	0.50	-0.88	0.18	0.18	-1.03	0.34			
	2019 (11)	262	270	150	350	22	0.9	-0.40	0.19	0.91	-0.70	0.67	0.72			
СБ	2010 (9)	251	250	210	330	15	0.9	1.21	1.95	0.22	0.71	0.78	0.51			
	2011 (43)	239	230	160	350	18	0.6	0.43	-0.22	0.44	-0.13	-0.48	0.83			
	2017 (7)	311	310	160	450	29	1.1	-0.21	0.63	0.95	-1.37	2.61	0.27			
	2019 (11)	266	260	170	400	22	0.9	0.56	0.15	0.84	-0.19	-0.08	1.00			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.2

Разведочный анализ

(содержания, извлечённые из аммонийно-ацетатных вытяжек)

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных	Коэффициенты, описывающие данные			
				M	Смин	Смакс		V	исходные		
							S		K	S-W, p>0.05	
Фон	2010(4)	Si	%		н/д						
	2011(2)				н/д						
	БГ			2010(4)	0.0185	0.015	0.023	19	0.321	-1.598	0.894
	БЗ			2010(4)	0.023	0.018	0.032	25	0.941	1.500	0.734
	Ч			2010(8)	0.014	0.0077	0.019	27	-0.289	-0.229	0.683
	ХУ			2010(9)	0.022	0.012	0.045	42	0.730	-0.387	0.347
СБ	2010(2)			0.018	0.015	0.021	24				
Фон	2010(4)	Al	%	0.0004	0.0004	0.0005	23				
	2011(2)			0.0012	0.001	0.0013	18				
	БГ			2010(6)	0.0016	0.0007	0.0033	60	0.977	1.082	0.405
	2011(8)			0.0008	0.0003	0.0057	130	2.564	6.859	0.000	
	БЗ			2010(17)	0.0013	0.0002	0.007	90	1.969	3.392	0.000
	2011(7)			0.0029	6E-05	0.0071	81	0.685	0.824	0.551	
	Ч			2010(18)	0.0018	0.0003	0.0036	40	0.265	1.272	0.823
	2011(2)			0.0031	0.0027	0.0034	16				
	ХУ			2010(13)	0.0032	0.0011	0.115	230	3.531	12.607	0.000
	2011(6)			0.0012	0.0006	0.0019	37	0.906	2.190	0.486	
	СБ			2010(9)	0.0013	0.0005	0.004	68	2.173	5.811	0.003
	2011(2)			0.0027	0.0016	0.0038	58				
Фон	2010(4)	Mg	%	0.028	0.021	0.035	35				
	2011(2)			0.026	0.023	0.029	16				
	БГ			2010(6)	0.046	0.021	0.063	35	-0.536	-0.712	0.592
	2011(8)			0.064	0.036	0.098	34	0.106	-0.881	0.705	
	БЗ			2010(17)	0.049	0.026	0.12	46	1.010	0.258	0.047
	2011(7)			0.043	0.025	0.189	88	1.386	0.599	0.022	
	Ч			2010(18)	0.0525	0.021	0.139	51	1.123	0.863	0.080
	2011(2)			0.038	0.023	0.053	56				
	ХУ			2010(13)	0.067	0.027	0.104	38	0.043	-0.843	0.621
	2011(6)			0.0555	0.025	0.065	30	-1.203	1.072	0.191	
	СБ			2010(9)	0.043	0.027	0.131	61	2.261	5.778	0.003
	2011(2)			0.0295	0.026	0.033	17				
Фон	2010(4)	Ca	%	0.2295	0.129	0.33	62				
	2011(2)			0.2315	0.209	0.254	14				
	БГ			2010(6)	0.568	0.291	0.87	39	0.027	-1.959	0.522
	2011(8)			0.9335	0.613	2.178	47	1.095	0.426	0.216	
	БЗ			2010(17)	0.739	0.271	1.909	60	1.055	0.128	0.029
	2011(7)			0.881	0.433	2.93	77	1.391	1.511	0.099	
	Ч			2010(18)	0.7445	0.226	2.55	69	1.599	3.030	0.011
	2011(2)			0.7335	0.272	1.195	89				
	ХУ			2010(13)	0.804	0.4	2.866	65	0.986	-0.104	0.043
	2011(6)			0.659	0.442	1.268	39	1.283	1.755	0.378	
	СБ			2010(9)	0.634	0.412	1.192	35	1.064	0.520	0.282
	2011(2)			0.7045	0.575	0.834	26				

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных V	Коэффициенты, описывающие данные		
				M	Смин	Смакс		исходные		
								S	K	S-W, p>0.05
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Fe	%	0.0004	0.0002	0.0006	79			
	2011(2)			0.0005	0.0004	0.0007	43			
	2010(6)			0.001	0.0003	0.01	163	2.417	5.881	0.000
	2011(8)			0.0004	8E-05	0.0005	51	-0.435	-0.955	0.569
	2010(17)			0.0007	0.0003	0.0173	184	2.997	9.429	0.000
	2011(7)			0.0006	0.0002	0.0086	141	1.382	0.257	0.005
	2010(18)			0.0007	0.0003	0.0024	60	2.013	5.210	0.002
	2011(2)			0.0006	0.0003	0.0009	75			
	2010(13)			0.0014	0.0003	0.039	187	2.743	7.746	0.000
	2011(6)			0.0005	0.0004	0.001	38	1.069	-0.366	0.155
2010(9)	0.0007	0.0003	0.0043	111	2.687	7.612	0.000			
2011(2)	0.0041	0.0022	0.0059	65						
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Ti			< 2					
	2011(2)				< 2					
	2010(6)				< 2	< 10				
	2011(8)				< 2					
	2010(17)				< 2	< 10				
	2011(7)				< 2					
	2010(18)				< 2	< 10				
	2011(2)				< 2					
	2010(13)				< 10					
	2011(6)				< 2					
2010(9)		< 2	< 10							
2011(2)		< 2								
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Na	%	0.0059	0.0048	0.007	26			
	2011(2)			0.0052	0.0051	0.0052	1			
	2010(6)			0.0085	0.0072	0.041	97	2.424	5.901	0.000
	2011(8)			0.0025	0.0004	0.0072	80	0.648	-0.643	0.409
	2010(17)			0.0167	0.0051	0.2316	137	2.304	5.645	0.000
	2011(7)			0.002	0.0007	0.0084	95	1.175	-0.603	0.018
	2010(18)			0.0222	0.0074	0.2342	135	2.405	6.019	0.000
	2011(2)			0.0013	0.0008	0.0017	48			
	2010(13)			0.0197	0.006	0.1095	101	1.761	2.610	0.003
	2011(6)			0.0009	0.0007	0.0028	65	2.089	4.514	0.011
2010(9)	0.017	0.0078	0.0566	78	1.559	1.842	0.022			
2011(2)	0.0011	0.0011	0.0011	0						
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	K	%	0.0383	0.0322	0.0443	22			
	2011(2)			0.0474	0.0431	0.0516	13			
	2010(6)			0.0527	0.027	0.0947	46	0.521	-0.846	0.805
	2011(8)			0.0265	0.011	0.066	58	0.678	-0.726	0.467
	2010(17)			0.0388	0.0128	0.167	79	0.999	-0.260	0.012
	2011(7)			0.014	0.0074	0.091	95	1.291	0.635	0.056
	2010(18)			0.0382	0.0185	0.11	62	1.323	0.663	0.002
	2011(2)			0.0108	0.0086	0.013	29			
	2010(13)			0.0328	0.0128	0.0922	54	1.261	1.451	0.115
	2011(6)			0.062	0.014	0.093	63	-0.265	-2.391	0.221
2010(9)	0.0792	0.0322	0.1434	54	0.151	-1.848	0.201			
2011(2)	0.02	0.017	0.023	21						

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных	Коэффициенты, описывающие данные										
				M	Смин	Смакс		V	исходные									
							S		K	S-W, p>0.05								
Фон	2010(4)	P	%	0.0046	0.0038	0.0054	25											
	2011(2)			0.0044	0.0041	0.0047	10											
БГ	2010(4)			0.008	< 0.001	0.024	96				1.097	0.426	0.521					
	2011(8)			0.01	0.002	0.064	119				2.153	5.061	0.006					
БЗ	2010(17)			0.0037	0.0016	0.343	213				3.449	12.83	0.000					
	2011(6)			0.0022	0.0006	0.143	233				2.631	6.940	0.000					
Ч	2010(18)			0.0033	0.0008	0.053	145				2.734	8.049	0.000					
	2011(2)			0.0009	0.0006	0.0011	42											
ХУ	2010(7)			0.003	< 0.001	0.0057	43				0.949	1.158	0.576					
	2011(6)			0.0085	0.003	0.183	195				2.441	5.969	0.000					
СБ	2010(9)			0.016	0.0014	0.056	103				1.929	4.494	0.014					
	2011(2)			0.002	0.0016	0.0024	28											
Фон	2010(4)			S	%	11.5	10				13	18						
	2011(2)					14.5	12				17	24						
БГ	2010(4)					0.0059	0.0039				0.026	100				1.942	3.812	0.020
	2011(8)					0.0625	0.0061				0.281	103				0.689	-1.495	0.080
БЗ	2010(17)					0.0064	0.0022				0.063	117				2.002	3.486	0.000
	2011(7)					0.018	0.0019				0.475	136				1.166	-0.531	0.013
Ч	2010(17)					0.0041	0.001				0.088	152				2.186	4.291	0.000
	2011(2)					0.1635	0.002				0.325	140						
ХУ	2010(13)	0.014	0.004			0.85	244	3.359	11.592	0.000								
	2011(6)	0.0058	0.0022			0.044	125	2.185	4.895	0.004								
СБ	2010(9)	0.0046	0.001			0.033	113	2.317	5.948	0.002								
	2011(2)	0.0053	0.0045			0.006	20											
Фон	2010(4)	Ba	мг/кг			14.5	5	24	93									
	2011(2)					27	24	30	16									
БГ	2010(6)					13	9.8	23	34							1.444	2.129	0.124
	2011(8)					14.5	3.5	50	85							2.098	5.162	0.013
БЗ	2010(17)					17	5.2	28	30							-0.100	1.300	0.448
	2011(7)					10	3.6	17	53							0.249	-1.665	0.387
Ч	2010(18)					19.5	9.5	39	36							0.733	0.790	0.367
	2011(2)					7.6	4.2	11	63									
ХУ	2010(13)			13	3.1	27	49	0.143	0.178				0.810					
	2011(6)			16	8.4	20	34	-0.519	-1.823				0.251					
СБ	2010(9)			19	14	31	26	1.052	0.994				0.377					
	2011(2)			21	20	22	7											
Фон	2010(4)			Sr	мг/кг	15.3	9.6	21	53									
	2011(2)					18.75	16.5	21	17									
БГ	2010(6)					38	13	60.5	44							0.118	0.750	0.828
	2011(8)					63	23	270	94							2.119	4.968	0.008
БЗ	2010(17)					39.5	18	86.5	43							0.844	0.663	0.224
	2011(7)					41	18	470	125							1.780	2.981	0.015
Ч	2010(18)					48.5	20.5	110.5	52							0.670	-0.813	0.073
	2011(2)					24.5	10	39	84									
ХУ	2010(13)	54	19			131.5	52	1.152	1.665	0.234								
	2011(6)	33	23			69	41	1.706	3.400	0.081								
СБ	2010(9)	34.5	29			57.5	24	1.825	3.650	0.024								
	2011(2)	22.5	21			24	9											

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных V	Коэффициенты, описывающие данные			
				M	Смин	Смакс		исходные			
								S	K	S-W, p>0.05	
Фон	2010(4)	Li	мг/кг	0.3975	0.23	0.565	60				
	2011(2)			0.3775	0.355	0.4	8				
	БГ			2010(6)	0.6	0.36	0.67	22	-0.915	-0.862	0.257
				2011(8)	0.885	0.53	1.5	33	0.514	-0.287	0.816
	БЗ			2010(17)	0.7	0.35	0.91	23	-0.473	-0.434	0.604
				2011(7)	0.93	0.38	1.5	55	0.037	-2.919	0.103
	Ч			2010(18)	0.68	0.32	1.12	26	0.164	0.711	0.952
				2011(2)	0.655	0.38	0.93	59			
	ХУ			2010(13)	0.535	0.42	1.5	53	1.746	2.445	0.008
				2011(6)	0.72	0.46	1	25	0.245	-0.857	0.555
СБ	2010(9)	0.76	0.61	0.93	14	0.300	-0.899	0.520			
	2011(2)	0.65	0.6	0.7	11						
Фон	2010(4)	Rb	мг/кг	0.97	0.82	1.12	22				
	2011(2)			1.285	1.25	1.32	4				
	БГ			2010(6)	1.03	0.72	1.38	25	0.129	-1.548	0.570
				2011(8)		< 2.0					
	БЗ			2010(17)	0.78	0.43	2.36	60	0.897	-0.604	0.008
				2011(7)		< 2.0					
	Ч			2010(18)	0.925	0.32	2	46	0.803	0.292	0.384
				2011(2)		< 2.0					
	ХУ			2010(13)	0.97	0.48	1.54	40	0.356	-0.785	0.530
				2011(6)		< 2.0					
СБ	2010(9)	1.06	0.6	1.51	29	-0.083	-1.144	0.459			
	2011(2)		< 2.0								
Фон	2010(4)	B	мг/кг		< 0.2						
	2011(2)				< 0.2						
	БГ			2010(6)	5.2	0.33	6.5	67	-0.839	-1.762	0.060
				2011(8)	2.6	0.71	12	103	1.265	0.682	0.058
	БЗ			2010(17)	0.76	0.29	9	127	1.743	2.250	0.000
				2011(7)	2.1	0.2	22	122	1.191	0.108	0.060
	Ч			2010(17)	1.35	0.22	23	133	2.112	5.148	0.000
				2011(2)		< 0.2					
	ХУ			2010(13)	8.3	0.4	17	72	0.207	-0.222	0.188
				2011(6)	0.795	0.27	2.3	74	1.099	0.530	0.404
СБ	2010(9)	0.8	0.33	5.5	116	1.563	0.720	0.001			
	2011(2)	0.24	0.24	0.24							
Фон	2010(4)	Mn	мг/кг	40.75	29.5	52	39				
	2011(2)			65.5	57.5	73.5	17				
	БГ			2010(6)	70.25	36.5	120	43	0.365	-1.321	0.636
				2011(8)	60.5	38	180	60	2.254	5.600	0.004
	БЗ			2010(17)	78	48.65	105	17	-0.211	0.328	0.967
				2011(7)	65	46	140	42	1.832	3.587	0.045
	Ч			2010(18)	81.25	46.5	114.5	21	-0.086	-0.160	0.987
				2011(2)	20.5	8	33	86			
	ХУ			2010(13)	82.5	48.65	133.5	31	0.605	-0.274	0.547
				2011(6)	69	39	330	101	2.302	5.439	0.002
СБ	2010(9)	71	61.5	138	30	1.449	2.090	0.047			
	2011(2)	97	84	110	19						

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных V	Коэффициенты, описывающие данные		
				M	Смин	Смакс		исходные		
								S	K	S-W, p>0.05
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Ni	мг/кг		< 0.5					
	2011(2)			< 0.5						
	2010(6)			< 0.5	< 1.0					
	2011(8)			< 0.5	0.83					
	2010(17)			< 0.5	1.1					
	2011(7)			< 0.5	1.3					
	2010(18)			< 0.5	2.4					
	2011(2)			0.7	5					
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(13)		< 1.0							
	2011(6)	< 0.5	0.68							
	2010(9)	< 0.5	< 1.0							
	2011(2)	1.1	1.4							
	2010(4)	Co	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2	0.26					
	2010(6)			< 0.2	< 1.0					
	2011(8)			< 0.2	0.45					
2010(17)	< 0.2			< 1.0						
2011(7)	< 0.2			0.51						
2010(18)	< 0.2			< 1.0						
2011(2)	< 0.2			0.48						
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(13)		< 0.2	1.2						
	2011(6)	< 0.2	0.9							
	2010(9)	< 0.2	< 1.0							
	2011(2)	0.86	0.92							
	2010(4)	Cr	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2						
	2010(3)				0.36	< 1.0				
	2011(8)			0.375	0.22	0.7	37	0.630	-0.201	0.736
2010(14)	0.785			0.29	5.6	106	2.025	4.398	0.001	
2011(7)	0.35			0.25	4.2	121	1.570	1.553	0.009	
2010(11)				0.29	< 1.0					
2011(2)	0.68			0.26	1.1	87				
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(9)		< 1.0	1.6						
	2011(6)	0.455	0.27	15	211	2.448	5.995	0.000		
	2010(7)		0.33	< 1.0						
	2011(2)	5.3	4.7	5.9	16					
	2010(4)	V	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2						
	2010(6)			< 0.2						
	2011(8)			< 0.2						
2010(17)	< 0.2			< 2.0						
2011(7)	< 0.2			0.21						
2010(18)	< 0.2			< 2.0						
2011(2)	< 0.2									
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(13)		< 0.2							
	2011(6)	< 0.2	0.33							
	2010(9)	< 0.2	< 2.0							
	2011(2)	< 0.2								

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных V	Коэффициенты, описывающие данные		
				M	Смин	Смакс		исходные		
								S	K	S-W, p>0.05
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Mo	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2						
	2010(6)			< 0.2	< 1.0					
	2011(8)			< 0.2	0.81					
	2010(17)			< 0.2	< 1.0					
	2011(7)			< 0.2	0.81					
	2010(18)			< 0.2	< 1.0					
2011(2)	< 0.2									
2010(13)	< 1.0									
2011(6)	< 0.2	0.29								
2010(9)	< 0.2	< 1.0								
2011(2)	< 0.2									
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Sn	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2						
	2010(6)			< 0.2	4.5					
	2011(8)			< 0.2						
	2010(17)			< 0.2	4					
	2011(7)			< 0.2						
	2010(18)			< 0.2	14					
2011(2)	< 0.2									
2010(13)	3.85	3	5.3	19.77	0.328	-0.974	0.738			
2011(6)	< 0.2									
2010(9)	< 0.2	5								
2011(2)	< 0.2									
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Pb	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2						
	2010(2)			0.35	< 2.0					
	2011(7)			< 0.2	5.6					
	2010(14)			0.22	> 390					
	2011(7)			< 0.2	4.3					
	2010(8)			< 0.2	106					
2011(2)	2.2	6180								
2010(8)	< 0.2	5								
2011(4)	< 0.2	1.1								
2010(6)	< 0.2	2.8								
2011(2)	4									
Фон БГ БЗ Ч ХУ СБ	2010(4)	Cu	мг/кг		< 0.2					
	2011(2)			< 0.2						
	2010(1)			0.2	< 1.0					
	2011(8)			0.645	0.43	1.4	48	1.050	0.625	0.059
	2010(14)			0.41	0.2	12	231	3.694	13.7	0.000
	2011(5)			< 0.2	1.6					
	2010(8)			< 0.2	150					
2011(1)	< 0.2	60								
2010(7)	< 1.0									
2011(6)	0.52	0.31	1.1	56	0.546	-2.072	0.143			
2010(7)	0.25	< 1.0		46						
2011(2)	1.055	0.61	1.5	60						

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных	Коэффициенты, описывающие данные														
				М	Смин	Смакс		V	исходные													
							S		K	S-W, p>0.05												
Фон	2010(4)	Zn	мг/кг	0.9475	0.545	1.35	60															
	2011(2)			1.3475	< 1.0	1.7	37															
БГ	2010(6)			8.1	2.8	24	77				1.311	1.582	0.328									
	2011(8)			14	6.5	140	142				2.593	6.940	0.000									
БЗ	2010(17)			4.55	< 1.0	45.3	106				2.485	7.441	0.000									
	2011(7)			44	2.7	73	88				-0.020	-2.294	0.106									
Ч	2010(18)			5.25	0.66	176.5	230				3.860	15.6	0.000									
	2011(2)			146	2	290	139															
ХУ	2010(13)			13.8	3.8	45.3	71				1.679	2.231	0.003									
	2011(6)			9.35	6.2	36	79				1.478	1.334	0.046									
СБ	2010(9)			6.65	1.4	63.5	128				2.265	5.287	0.001									
	2011(2)			38.5	22	55	61															
Фон	2010(4)			Bi	мг/кг	0.295	0.29				0.3	2										
	2011(2)					0.29	0.28				0.3	5										
БГ	2010(6)					< 0.2	0.84															
	2011(8)					< 0.2	2.2															
БЗ	2010(17)					< 0.2	2															
	2011(7)					< 0.2	0.33															
Ч	2010(18)					< 0.2	0.84															
	2011(2)					< 0.2																
ХУ	2010(13)	0.88	0.26			2	52	0.776	0.216	0.584												
	2011(6)	< 0.2																				
СБ	2010(9)	< 0.2	0.7																			
	2011(2)	< 0.2																				
Фон	2010(4)	Cd	мг/кг				< 0.2															
	2011(2)					< 0.2																
БГ	2010(6)					< 0.2	< 1.0															
	2011(8)					< 0.2																
БЗ	2010(17)					< 0.2	< 1.0															
	2011(7)					< 0.2																
Ч	2010(18)					< 0.2	< 1.0															
	2011(2)					< 0.2	1.8															
ХУ	2010(13)			< 1.0																		
	2011(6)			< 0.2																		
СБ	2010(9)			< 0.2	< 1.0																	
	2011(2)			< 0.2																		
Фон	2010(4)			Be	мг/кг		н/д															
	2011(2)					н/д																
БГ	2010(4)					< 2.0																
	БЗ					2010(4)																
Ч						2010(8)																
	ХУ					2010(13)																
СБ						2010(8)																
	Фон					2010(4)																
2011(2)		н/д																				
БГ	2010(4)	< 2.0																				
	БЗ	2010(4)	< 2.0																			
Ч		2010(8)	< 2.0																			

Район	Год (число проб)	Элемент	Ед. изм.	Статистики для выборок найденных содержаний			Разброс данных V	Коэффициенты, описывающие данные		
				M	Смин	Смакс		исходные		
								S	K	S-W, p>0.05
ХУ	2010(8)				< 2.0					
СБ	2010(4)				< 2.0					
Фон	2010(4)				н/д					
	2011(2)				н/д					
БГ	2010(4)				< 20.0					
БЗ	2010(4)	As	мг/кг		< 20.0					
Ч	2010(8)				< 20.0					
ХУ	2010(8)				< 20.0					
СБ	2010(4)				< 20.0					