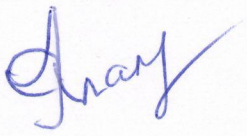
На правах рукописи



Ялалтдинова Альбина Рашидовна

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ИНДИКАТОР ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» и Технологическом университете Труа, Франция

Научный руководитель:

доктор биологических наук, доцент,
Барановская Наталья Владимировна

Научный консультант:

Ph.D., **Ким Джун Беум**

Официальные оппоненты:

Алексеенко Владимир Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова» (ГМУ имени адмирала Ф.Ф.Ушакова, г. Новороссийск), профессор кафедры безопасности жизнедеятельности

Робертус Юрий Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, Автономное учреждение Республики Алтай "Алтайский региональный институт экологии" (АУ РА «АРИ Экология», с. Майма, Республика Алтай), директор

Ведущая организация:

Государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности Республики Башкортостан» (ГУП «НИИ БЖД РБ», г.Уфа)

Защита диссертации состоится «12» ноября 2015 года в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (20-й корпус, ауд. 504)

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте http://portal.tpu.ru/council/914/worklist

Автореферат разослан «____» _____ 2015 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
к.г.-м.н., доцент Л.В. Жорняк

Общая характеристика работы

Актуальность диссертационной работы

В условиях повсеместной урбанизации и развития промышленности изменяется состав всех геосферных оболочек Земли, что усиливает геоэкологические проблемы территорий и негативно влияет на состояние здоровья человека (Казначеев, 1983; Revich, 1992; Ревич, 1998, 2008; Гичев, 2002 и др.). Поэтому все большее внимание уделяется контролю состояния компонентов природных сред на территории городов (Сает, 1990; Алексеенко, 2000; Язиков, Шатилов, 2004; Климова, 2005; Красовская, Галкин, 2006; Барановская, 2011; Рихванов и др., 2015 и др.).

В России, благодаря работам В.И. Вернадского и его последователей, получили широкое применение методы биогеохимического районирования с выделением провинций с избытком и недостатком химических элементов в окружающей среде, а также позволяющие в условиях усиления техногенеза охарактеризовать геоэкологические проблемы территории (Вернадский, 1939, 1940; Виноградов, 1952; Ковальский, 1974; Ковалевский, 1984; Геохимия…, 1990; Петрунина, 2000; Добровольский, 2003; Ермаков, 2013 и др.).

Листья деревьев в силу своих морфологических особенностей (наличие воска и трихом на поверхности, шероховатость поверхности, пассивная диффузия загрязнителей через устьица и др.) могут выступать в качестве своеобразного природного планшета, аккумулирующего загрязнение из сопряженных геосферных оболочек, и отражающего интенсивность техногенного воздействия на экосистемы (Everett et al., 1967; Goodman, Roberts, 1971; Kovacs et al., 1981; Markert, 1993; Djingova et al., 1995, 1999; Sawidis, 1995, 2011; Mulgrew, Williams, 2000; Черненькова, 2002; Celik et al., 2005; Кулагин, Шагиева, 2005; Леонова, 2010; Tomašević, Aničić, 2010; Барановская, 2011; Воскресенский, 2011; Попова, 2015 и др.).

В западных странах получили распространение методы, позволяющие оценить степень воздействия факторов окружающей среды на геосферные оболочки и здоровье человека: оценка воздействия на окружающую среду, анализ материальных потоков, оценка экологического риска и др. (Antunes et al., 2001; Van der Werf, Payraudeau, 2005; Strandesen et al., 2007; Alfonso Piña, Pardo Martínez, 2014). К этой группе также относится метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ), представляющий собой процесс оценки интегрированной нагрузки на окружающую среду и человека, связанной с промышленными системами и производством изделий и услуг в течение всего их жизненного цикла, начиная с добычи сырьевых материалов, процессов производства, до окончательного размещения в окружающей среде (Guinee et al., 2011). Но, на сегодняшний день, ОЖЦ очень слабо учитывает информацию о региональном уровне загрязнения окружающей среды, что особенно важно при производстве продуктов питания.

Для комплексной оценки территории, в частности урбанизированной, с целью получения общей картины загрязнения, степени воздействия на окружающую среду и дальнейшего использования результатов в целях профилактики здоровья населения и поддержания удовлетворительного

качества окружающей среды необходимо разработать и апробировать научный подход, позволяющий объединить методику геоэкологических исследований и оценку воздействия на окружающую среду.

Данная задача становится еще более актуальной на городских территориях с разноплановым и многокомпонентным техногенным воздействием. Усть-Каменогорск – один из значимо техногенно трансформированных городов Казахстана, представляющий собой уникальную урбанизированную систему, на территории которой сосредоточено большое количество разнопрофильных промышленных предприятий. Наиболее крупными среди них являются Ульбинский металлургический завод (УМЗ), выпускающий топливо для атомных электростанций, тантал и бериллий, свинцово-цинковый комбинат (СЦК) «Казцинк», титано-магниевый комбинат (ТМК) и др. На территориях со столь специфичным набором предприятий, являющихся источниками загрязняющих веществ, масштабных комплексных исследований ранее не проводилось.

Поэтому реализация комплексных работ по оценке состояния урбоэкосистемы с применением эффективного индикатора, способного отразить техногенное поликомпонентное многофакторное воздействие, картирование распределения загрязняющих компонентов, а также последующее применение полученных результатов в оценке степени воздействия промышленных предприятий на окружающую среду и в прогнозировании негативных последствий данного загрязнения (токсичность для человека и экосистемы) является актуальным.

Целью работы являются эколого-геохимическое исследование и оценка состояния территории г. Усть-Каменогорска посредством изучения элементного состава листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) и оценки степени воздействия промышленных предприятий города на окружающую среду с использованием методики, интегрирующей методологии оценки жизненного цикла и биогеохимических исследований.

Задачи:

• провести системное опробование листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) на территории г. Усть-Каменогорска;

• выявить их геохимическую специфику относительно региональных показателей и сопоставления с литературными данными;

• изучить пространственное распределение приоритетных химических элементов в листьях тополя черного на территории города, установить возможные источники их поступления;

• изучить формы распределения делящихся элементов (U) в листьях тополя черного и установить особенности их изменения относительно источников техногенного воздействия;

• применить данные о выбросах промышленных предприятий, количественно оцененных через элементный состав листьев тополя на элементарных площадках, для усовершенствования методики оценки жизненного цикла продукции;

• оценить гипотетический вклад выбросов промышленных предприятий в степень воздействия на окружающую среду через модельные расчеты выращивания 1 кг пшеницы;

• рассчитать вклад химических элементов, содержащихся в выбросах промышленных предприятий, в общую экотоксичность и токсичность для человека на территории г. Усть-Каменогорска.

Основные защищаемые положения

1. По комплексу биогеохимических показателей и их сравнению с таковыми в других регионах установлена геохимическая специфика листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающего на территории города Усть-Каменогорск. Приоритетными элементами, из числа 31 изученного, концентрирующимися в листьях тополя являются: **Zn, As, Sb, Ag, Ta, U, Be**, **La.**

2. Особенности пространственной локализации химических элементов, выявленные через изменения трендов их накопления и форм нахождения, позволяют утверждать, что основными источником поступления **Zn, Ag, Au, Sb** является свинцово-цинковый комбинат «Казцинк»; а для **Be, Ta, U** – Ульбинский металлургический завод.

3. Интегрированный метод оценки жизненного цикла, учитывающий результаты эколого-геохимического исследования, объективнее отражает специфику воздействия промышленных предприятий на окружающую среду. Наиболее высокий уровень общей токсичности отмечается на территории воздействия Северной промышленной зоны г. Усть-Каменогорска, а наибольший вклад в индекс токсичности (95%) вносят выбросы цинка.

Фактический материал и методы исследования

Основой диссертационной работы стали результаты исследования листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающего на территории г. Усть-Каменогорска (см. рис. 7). Пробоотбор, пробоподготовка и обработка результатов проводились лично автором. Количество изученных проб: 101 проба золы и 94 пробы сухого материала листьев. Также были отобраны и проанализированы 6 проб пылеаэрозолей из природного снегового покрова. Кроме того, автором проанализированы имеющиеся данные о содержании химических элементов в 101 пробе почвы и в 204 пробах листьев тополя городов России и Казахстана.

Количественное определение содержания химических элементов было выполнено комплексом современных методов анализа: инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), дуговой атомно-эмиссионный анализ по способу испарения из канала электрода (АЭА). Формы нахождения урана определялись при помощи f-радиографии. Электронная микроскопия при наличии приставки для микроанализа позволила изучить элементный состав микровключений пылеаэрозолей.

Все аналитические исследования проведены в аккредитованных лабораториях, с применением аттестованных методик и стандартных образцов

сравнения. Внутренний контроль качества измерений показал удовлетворительную сходимость результатов.

Достоверность защищаемых положений обеспечена применением отработанной методики отбора статистически значимого количества проб материала, зарекомендовавшего себя как чувствительный биомонитор; изучением содержания 31 химического элемента и форм нахождения некоторых из них с применением пяти современных высококачественных аналитических методов; использованием современного программного обеспечения; а также глубиной проработки полученного материала и литературы по теме исследований.

Статистическая обработка данных проводилась при уровне надежности 95 %. Для проверки гипотезы о нормальном распределении элементов в выборке применялись критерии Пирсона и Колмогорова-Смирнова. Для сравнения значимости различий между двумя выборками использовались критерий Стьюдента или U-критерий Манна-Уитни, различия принимались значимыми при *p*-уровне от 0,001 до 0,01.

Научная новизна

Установлена геохимическая специфика листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающего на территории города Усть-Каменогорска, по комплексу биогеохимических показателей и их сравнению с таковыми в других регионах;

определены закономерности пространственного распределения химических элементов и тенденции изменения их концентраций относительно вероятных источников поступления на территории города;

выявлены закономерности изменения формы нахождения урана в листьях тополя черного от рассеянной к форме собственных микроминералов по мере приближения к источнику поступления;

разработан новый подход, позволяющий рассчитать уровни условного токсического воздействия промышленных предприятий на человека и экосистемы с использованием методик оценки жизненного цикла и биогеохимических исследований;

выявлены элементы, вносящие наибольший вклад в суммарный показатель токсической нагрузки на территории г. Усть-Каменогорска.

Практическая значимость

Составлены и представлены для широкого обсуждения комплекты геохимических карт на территории г. Усть-Каменогорска по результатам изучения элементного состава листьев тополя черного.

Выполнено районирование территории с выделением наиболее напряженных по экологической опасности участков и подтверждено с использованием методики оценки жизненного цикла.

Материалы диссертационной работы используются при подготовке лекций, методических указаний к выполнению лабораторных работ для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Экология и природопользование» кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Томского политехнического университета в курсах «Экология»,

«Геохимия живого вещества», «Медицинская геология», а также для лекционных занятий по курсу «Оценка жизненного цикла» в Технологическом университете Труа (Франция).

Результаты проведенных исследований на территории г. Усть-Каменогорска могут быть использованы Министерством охраны окружающей среды Республики Казахстан, Департаментом экологии по Восточно-Казахстанской области Комитета экологического регулирования и контроля Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан, экологическими департаментами Республиканского государственного предприятия Казгидромет-Усть-Каменогорск. Методика учета региональных геохимических данных в оценке жизненного цикла, предложенная впервые, может заинтересовать как российских, так и зарубежных исследователей.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы, полученные автором, докладывались на 13 Международных и Всероссийском симпозиумах, конференциях, школах-семинарах: XV, XVI, XVII, XVIII Международных симпозиумах им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2011-2014), Международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения. Геология в XXI веке» (г. Алматы, Казахстан, 2011), XVI, XVII Международных экологических студенческих конференциях «Экология России и сопредельных территорий» (г. Новосибирск, 2011, 2012), XV Международной научной школе-конференции «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2011), VII Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде» (г. Семипалатинск, Казахстан, 2013), Международной молодежной школе-семинаре «Геохимия живого вещества» (г. Томск, 2013), конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (г. Иркутск, 2013), Международной конференции «European Geosciences Union» (г. Вена, Австрия, 2013), Международной конференции «SETAC» (г. Базель, Швейцария, 2014).

Публикации

Опубликовано 23 работы, из них 22 по материалам диссертации, в том числе 2 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 5 за рубежом, из которых 1 в журнале, индексируемом в базе данных Scopus (ИФ=1,879), и 2 статьи, опубликованные на английском языке в материалах конференций.

Структура и объем работы

Диссертация включает введение, шесть глав, заключение и список литературы, изложенные на 172 страницах печатного текста, содержащих 57 рисунков и 21 таблицу. Список литературы насчитывает 478 источников, из них 256 – на иностранном языке.

В **главе 1** приведен обзор современных методов и подходов к оценке техногенного воздействия на урбанизированной территории, а также анализ различий в зарубежных и российских методах, терминах, определениях.

В **главе 2** представлена общая геоэкологическая характеристика территории г. Усть-Каменогорска, особое внимание уделено технологическим циклам предприятий.

Глава 3 содержит информацию о методиках пробоотбора, пробоподготовки и методах анализа исходного материала.

В **главе 4** представлена геохимическая специфика листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающего на территории города Усть-Каменогорска, по результатам расчета комплекса биогеохимических показателей и приведены данные по сопоставлению с таковыми для других регионов. Отражены общие биогеохимические особенности элементного состава листьев тополя черного г. Усть-Каменогорска, а также обсуждаются возможные пути поступления химических элементов в растение посредством расчета коэффициентов биологического накопления и изучения форм нахождения химических элементов в пылеаэрозольных выпадениях, полученных из природного снегового покрова.

В **главе 5** рассматриваются общие особенности пространственного распределения химических элементов на территории города и проявленность промышленных предприятий в биогеохимических полях, приведены тенденции изменения концентраций специфичных для территории химических элементов, а также форм нахождения урана в листьях тополя черного относительно расположения источников поступления.

Глава 6 содержит оценку степени воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, рассчитанную через гипотетический вклад их выбросов в модель выращивания 1 кг пшеницы, а также расчет вклада химических элементов, содержащихся в выбросах промышленных предприятий, в общую экотоксичность и токсичность для человека на территории г. Усть-Каменогорска.

В заключении представлены основные выводы по диссертационной работе и подведены результаты исследования.

Личный вклад диссертанта в получении результатов, представленных в диссертации, заключается в непосредственном участии в отборе и подготовке к анализу проб листьев тополя черного, в статистической обработке данных, составлении комплекта геохимических карт для территории г. Усть-Каменогорска по результатам изучения элементного состава листьев тополя черного. Автором проводился расчет вклада выбросов промышленных предприятий в степень воздействия производства сельскохозяйственной продукции на окружающую среду, расчет общего уровня токсичности и построение карт токсичности (для человека и экосистемы). Анализ и обобщение результатов проводились под контролем руководителя и консультанта. Доля участия автора в совместных публикациях пропорциональна количеству соавторов.

Благодарности

Автор глубоко и искренне благодарен научному руководителю доценту, д.б.н. Н.В. Барановской и научному консультанту Ph.D. Дж. Киму, а также профессору, д.г.-м.н. Л.П. Рихванову за совместное обсуждение и обобщение

материалов, ценные советы, всестороннюю поддержку и помощь на всех этапах выполнения работы.

Автор признателен исполнителям аналитических исследований: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутской, С.С. Ильенку (г. Томск, Россия), И.Е. Васильевой (г. Иркутск, Россия) и Ф. Клемену (г. Труа, Франция).

За помощь и поддержку, ценные советы и рекомендации автор приносит благодарность д.г.-м.н.: Г.А. Леоновой, В.Д. Страховенко; д.б.н.: М.С. Панину, В.В. Ермакову, В.С. Безелю, Т.В. Жуйковой; к.г.-м.н. В.А. Боброву; к.б.н.: Е.Н. Черновой, Г.А. Белоголовой и сотрудникам кафедры ГЭГХ: д.г.-м.н.: Е.Г. Язикову, С.И. Арбузову; к.х.н. Н.А. Осиповой; к.г.н. Н.П. Соболевой; к.г.-м.н.: И.С. Соболеву, С.В. Азаровой, Т.А. Архангельской, Л.В. Жорняк, А.М. Межибор, А.В. Таловской, Т.В. Усмановой, Д.В. Наркович, Д.В. Юсупову; зав. лабораторией Г.А. Бабченко; аспирантам: Е.А. Филимоненко, Б.Р. Соктоеву, Т.А. Перминовой.

Автор благодарит за ценные советы по оценке жизненного цикла Б. Ларата (Ph.D., ТУТ), за помощь и поддержку сотрудников исследовательского центра по изучению окружающей среды и устойчивому развитию Технологического университета Труа (ТУТ), Франция: профессора Н. Трусие, к.г.н. Н. Сирину, Ph.D. Б. Гийома, инженеров: Ж. Гобер, Ф. Братек, М. Ови и аспирантов: Р. Аллэ, М. Жамбу, О. Брюэля, К. Вадуди, Я. Джин и Ж. Жубера.

Защищаемые положения

ПОЛОЖЕНИЕ 1. **По комплексу биогеохимических показателей и их сравнению с таковыми в других регионах установлена геохимическая специфика листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающего на территории города Усть-Каменогорск. Приоритетными элементами, из числа 31 изученного, концентрирующимися в листьях тополя являются: *Zn, As, Sb, Ag, Ta, U, Be, La.***

Спецификой элементного состава листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) на территории г. Усть-Каменогорска является широкая вариативность распределения большинства химических элементов со значительным разбросом между минимальными и максимальными их концентрациями (рис. 1). Так, неравномерное распределение на территории города, при коэффициенте вариации более 70 % установлено нами для концентраций Be, Na, Cr, As, Ag, Sb, Nd, Eu, Tb, Hf, Ta, Au, U. При этом крайне высокий коэффициент вариации (более 100%) характерен для Be, Ag, Nd, Tb, Ta, Au. Ознакомление с геоэкологической ситуацией на территории города и с особенностями технологических циклов основных промышленных предприятий позволяет утверждать, что ведущим фактором формирования такой специфики является техногенный.

Комплекс промышленных предприятий Северной промышленной зоны (СПЗ) г. Усть-Каменогорска оказывает существенное влияние на формирование специфичных геохимических ассоциаций, установленных с использованием ранговых корреляций. Сильно значимые корреляции между химическими

элементами, характерные для листьев тополя на изученной территории, приведены на рисунке 2.

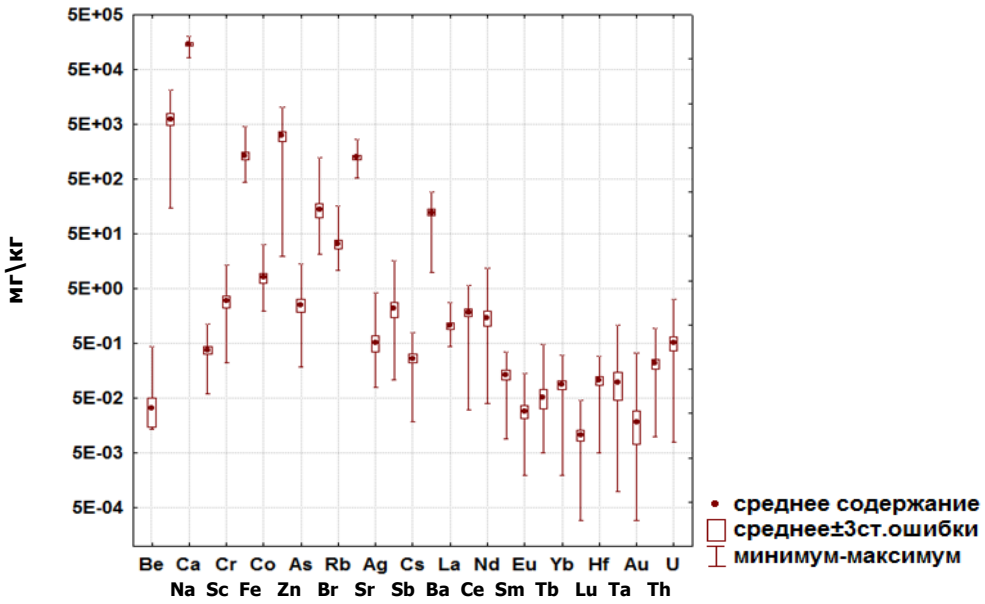


Рисунок 1 – Среднее содержание и диапазон концентраций химических элементов в сухом веществе листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) на территории г. Усть-Каменогорска (шкала логарифмическая)

Рисунок 2 – Значимые ранговые корреляции, характерные для золы листьев тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска (связи считаются значимыми при значении *p* больше 0,19, n=101)

Эта специфика определяет «геохимическое лицо» города по сравнению с усредненным значением по 5 городам Казахстана: Актюбинск, Павлодар, Тараз, Усть-Каменогорск, Экибастуз (2011, 2013 года отбора, 259 проб) (рис. 3). Относительно изученных урбанизированных территорий Казахстана зола листьев тополя (*Populus nigra* L.) из г.Усть-Каменогорска характеризуется повышенным уровнем содержания Zn, As, Ag, Sb, Ta и Na ($p<0.001$).

Кроме того, на фоне 7 российских городов: Асино, Томск, Северск, Колпашево, Краснокаменск, Закаменск, Кызыл (2006-2013 года отбора, 46 проб) также отмечаются значимо более высокие концентрации Na, Zn, As, Br, Sr, Ag, Sb, U ($p<0.05$) в золе листьев тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска.

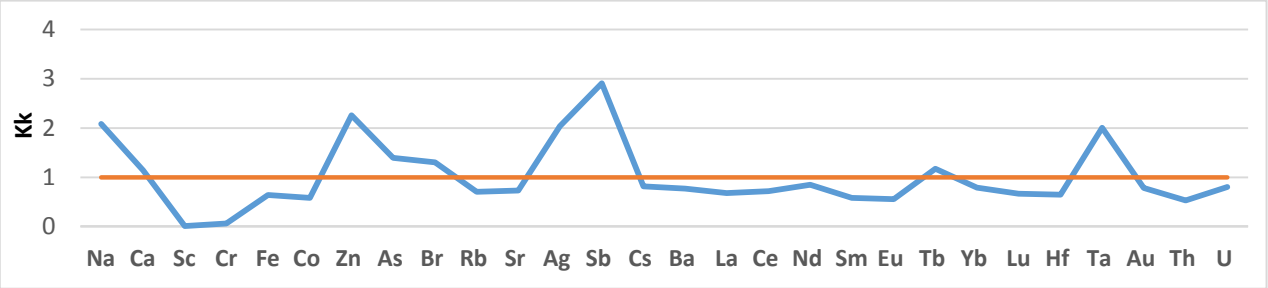


Рисунок 3 – Уровни концентрирования химических элементов в золе листьев тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска
(Kk – значения коэффициентов концентрации, рассчитанные относительно усредненного значения по пяти городам Казахстана)

По сравнению с литературными данными, в частности со средним содержанием элементов в золе растений (по данным, обобщенным В.А. Алексеенко, 2000), также отмечается характерное для г. Усть-Каменогорска концентрирование следующих химических элементов: Sb_{43} –Sr_{42} –Hf_{22} –Ta_{20} –As_{9} –Ca_{5} –Sc_{4} – Zn_{3} (в нижнем индексе указаны значения коэффициентов концентрации, рассчитанные относительно среднего содержания химических элементов в золе растений (по В.А.Алексеенко, 2000)).

Сравнение с элементным составом «условного растения», рассчитанного Б. Маркертом (1992), позволило установить широкий спектр накапливающихся в листьях тополя (сух. масса) химических элементов: Be, Na, Ca, Sc, Co, Zn, As, Br, Sr, Cd, Sb, Ta, Au, Th, U - коэффициенты концентраций которых превышают единицу (рис. 4). Обращают на себя внимание 5 элементов (Cd, Be, Ta, Zn, U), превышение их содержания отмечается более чем в 8 раз, что также может быть объяснено спецификой промышленных циклов предприятий Северной промышленной зоны.

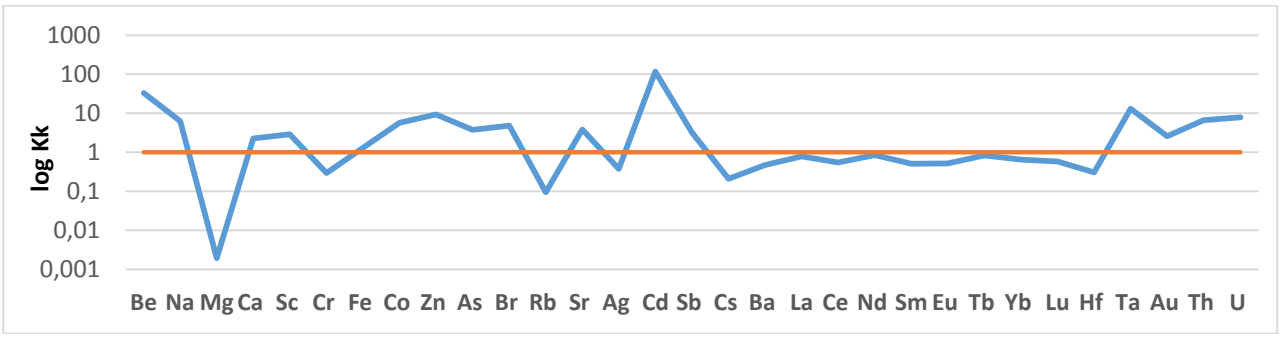


Рисунок 4 – Уровни концентрирования химических элементов в сухой массе листьев тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска
(Kk – значения коэффициентов концентрации, рассчитанные относительно «условного растения», предложенного Б. Маркертом, 1992)

К комплексу параметров, использованных для выявления геохимических особенностей листьев тополя черного, мы добавили показатели, позволившие провести сопоставление с элементным составом почв и пылеаэрозолей на территории г. Усть-Каменогорска.

Для характеристики интенсивности биологического накопления химических элементов листьями тополя из подстилающих поверхностей на

территории г. Усть-Каменогорска были рассчитаны два типа коэффициентов биологического накопления и построены геохимические ряды:

Ax_1 (относительно содержания в верхней континентальной коре по Н.А. Григорьеву, 2009): Zn_{41} - Br_{12} - Sr=Ag=Au_5 - Ca=Sb_4;

Ax_2 (относительно среднего содержания в почвах г. Усть-Каменогорска): Br_{24} - Ca_8 - Sr_6 - Zn_3.

Общими элементами для полученных геохимических рядов являются Br, Ca, Sr и Zn.

В пылеаэрозольных выпадениях, отобранных в зоне воздействия СПЗ, был обнаружен ряд специфических химических элементов: Zn, As, Ag, Sb, Hf, Ta, Au, U, для которых была установлена техногенная природа поступления (относительно содержания в верхней континентальной коре по Н.А. Григорьеву (2009) базовый элемент – Sc). Были выявлены частицы с примесью характерных элементов: Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sb, Bi, Ba, La, Ce, Nd, Pb, Th, U. В пробе, отобранной между промзоной и хвостохранилищем УМЗ, была обнаружена частица, в составе которой отмечается наличие оксидов урана, (рис. 5а) и Al-Si частица с содержанием лантаноидов (рис. 5б).

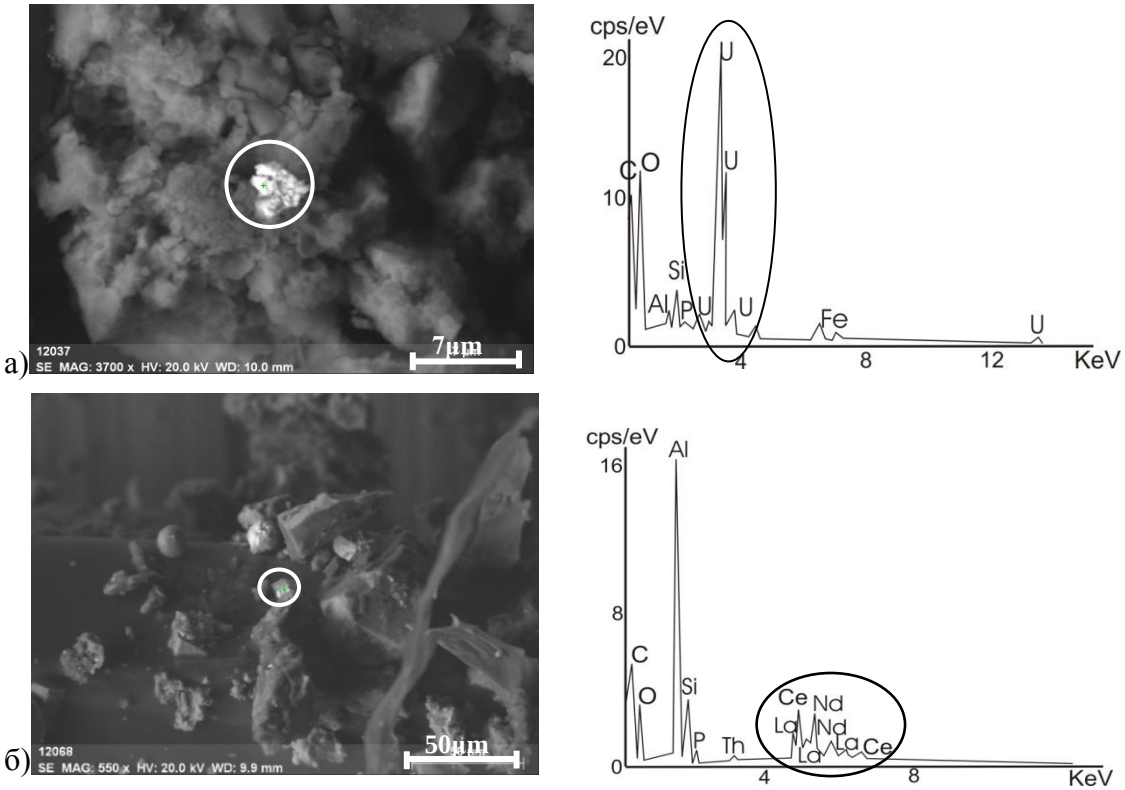


Рисунок 5 – Микроминеральные фазы в составе пылеаэрозолей:
а) частица, в составе которой отмечается наличие оксидов урана (~37% U);
б) Al-Si частица с содержанием лантаноидов (~10% Ce, ~5% La, ~5% Nd)

Сопоставление комплекса полученных показателей, включающих анализ специфики накопления химических элементов в листьях тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска, сравнение с геохимической спецификой почв и пылеаэрозолей, с биогеохимическими особенностями листьев тополей, произрастающих на территории городов России и Казахстана, позволило

выявить спектр химических элементов, характерных для изучаемой территории: Zn (6), Sb (5), Ag (5), Ta (5), U (4), As (4), Au (3), La (3), Be (2), в скобках указана частота встречаемости в показателях. Бериллий изучался только в двух показателях, но в обоих случаях был отмечен как специфичный элемент. Таким образом, можно утверждать, что данные элементы являются приоритетными для урбоэкосистемы г. Усть-Каменогорска.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. **Особенности пространственной локализации химических элементов, выявленные через изменения трендов их накопления и форм нахождения, позволяют утверждать, что основными источником поступления *Zn, Ag, Au, Sb* является свинцово-цинковый комбинат «Казцинк»; а для *Be, Ta, U* – Ульбинский металлургический завод.**

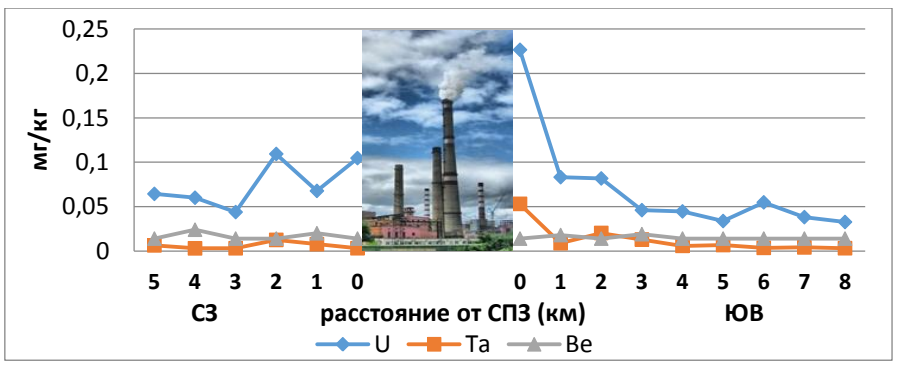
Анализ общего пространственного распределения химических элементов показал, что наибольшая их концентрация наблюдается в Ульбинском районе, в особенности в непосредственной близости от предприятий Северной промышленной зоны (0,8-2 км).

С целью выявления вклада промышленных предприятий СПЗ в формирование биогеохимических полей были детально изучены особенности распределения химических элементов, являющихся частью готовой продукции и (или) содержащихся в исходных рудах: Be, Ta, U (входят в состав готовой продукции УМЗ); Zn, Au, Ag (производятся на СЦК), As и Sb (входят в состав руд, но также Sb входит в состав золошлаковых отходов УК ТЭЦ) (Такежанов, 2002; Комплексное…, 2005; Проект…, 2011; Ульбинский…, 2015; Усть-Каменогорский металлургический…, 2015).

Изучение поведения элементов вдоль условного профиля, проходящего через центр промышленной зоны с северо-запада на юго-восток (рис. 6), позволило сделать ряд выводов.

1) Содержание цинка и урана в листьях тополя черного уменьшается по мере удаления от промышленной зоны в обоих направлениях; 2) для тантала, мышьяка, серебра и сурьмы в направлении северо-запада уменьшение проявляется не явно или отсутствует; 3) в распределении бериллия и золота вдоль профиля закономерности не прослеживаются, что, вероятно, связано с крайней неравномерностью их распределения.

А



Б

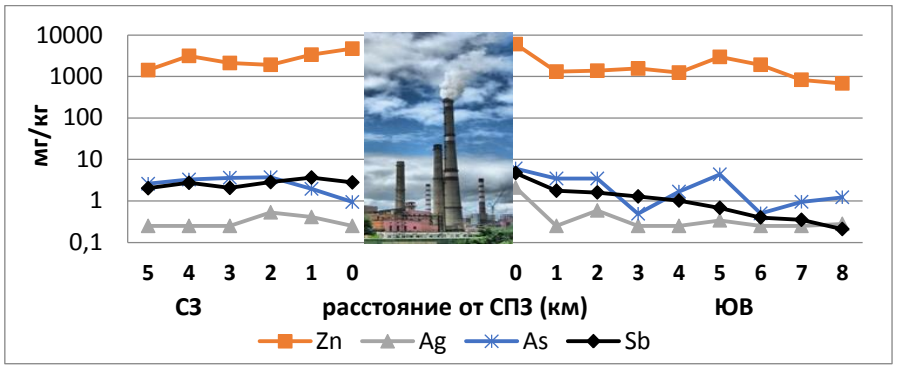


Рисунок 6 – Изменение содержания химических элементов в золе листьев тополя черного в зависимости от расстояния до источника эмиссии (Северной промышленной зоны): А – U, Ta, Be; Б – Zn, Ag, As и Sb

При построении моноэлементных карт распределения данных химических элементов четко выявились ореолы аномально высоких их содержаний, приуроченные к зонам воздействия промышленных объектов. На рисунке 7 приведены две наиболее специфичные карты распределения: урана (рис. 7а) и цинка (рис. 7б).

а

б

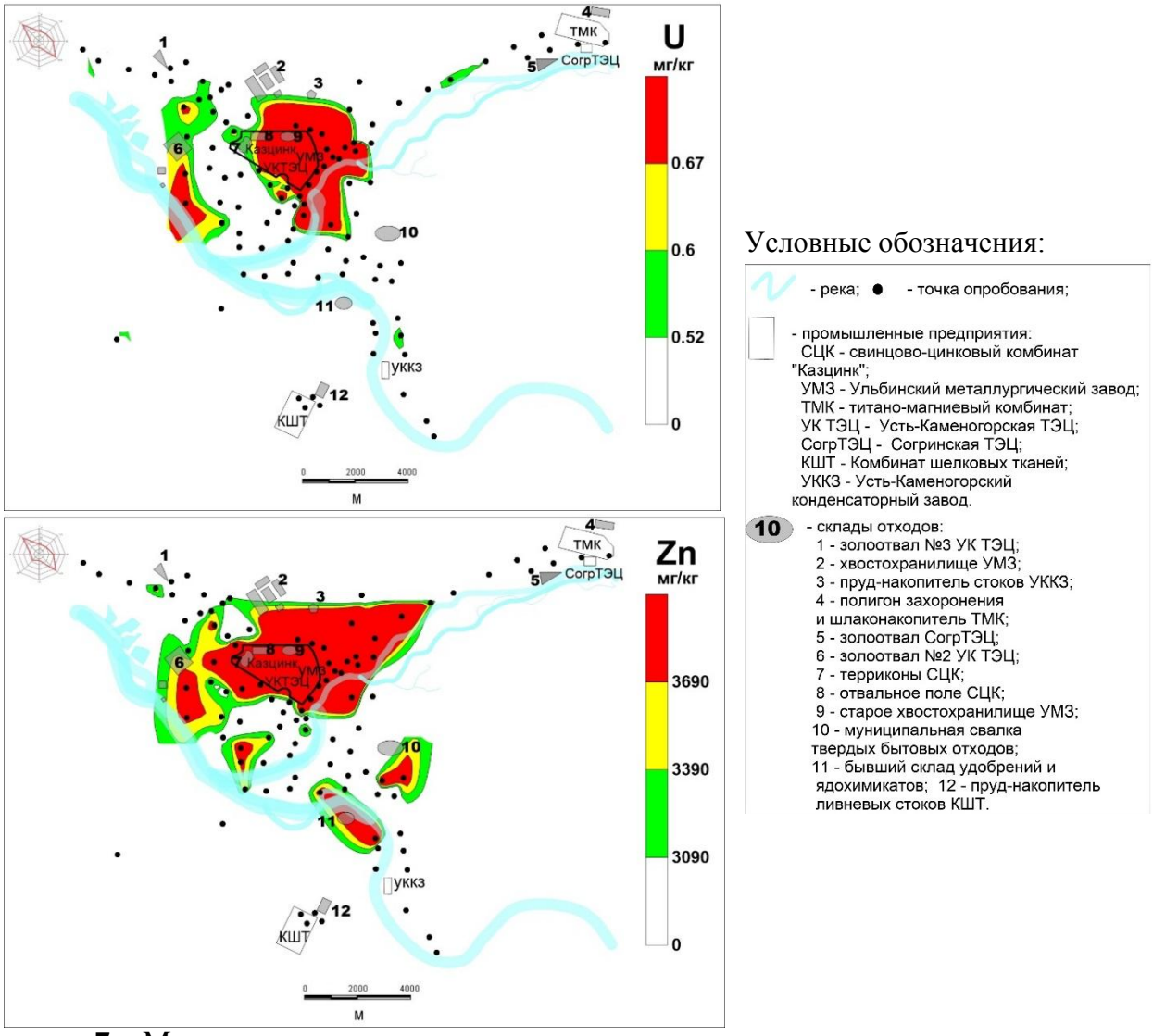


Рисунок 7 – Моноэлементные карты распределения элементов в золе листьев тополя черного на территории г. Усть-Каменогорска: а - уран, б –цинк

Для урана, а также тантала и бериллия (между всеми тремя элементами отмечаются значимые корреляционные связи) ореол аномальных содержаний приходится на восточную границу СПЗ, к которой ближе всего расположена промышленная площадка УМЗ.

Распределение цинка – основного из элементов готовой продукции СЦК – больше всего совпадает с распределением сурьмы. Для них характерно аномальное высокое содержание в Ульбинском районе, вокруг СПЗ. Распределения серебра и золота имеют более пятнистый характер, но в большей степени пространственно приурочены также к Ульбинскому району. Между Zn, Sb, Ag и Au были установлены значимые корреляционные связи.

По мере приближения к источнику поступления (Ульбинскому металлургическому заводу) изменяется не только концентрация элементов, но также форма нахождения урана в листьях тополя: происходит переход от рассеянной формы к форме собственных микроминералов (рис. 8), что было установлено по результатам проведения f-радиографии.

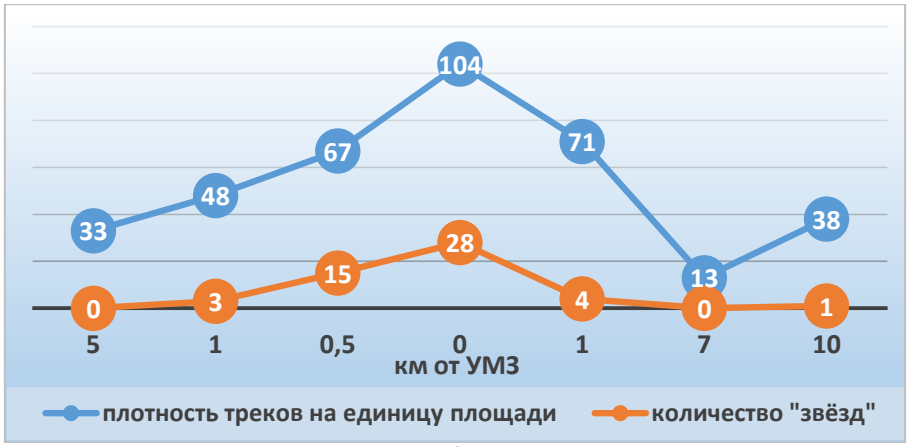


Рисунок 8 – Изменение формы нахождения урана (плотности треков, количества неоднородностей) по мере приближения к Ульбинскому металлургическому заводу

В листьях тополя черного, произрастающего на расстоянии 0,5 км от УМЗ, были зафиксированы «звезды» наибольшей плотности (рис. 9), хотя их количество в 2 раза меньше, чем в непосредственной близости от УМЗ. В обеих пробах в остальной части детектора в целом распределение относительно равномерное с высокой плотностью треков.

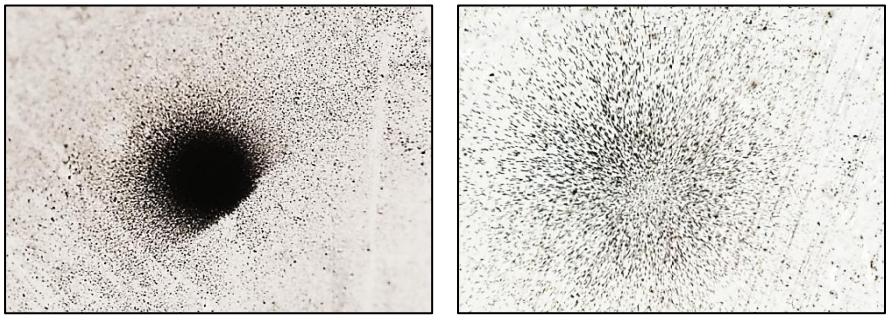


Рисунок 9 – «Звезды», образовавшиеся при индуцированном делении радионуклидов (U), в пробе, отобранной на расстоянии 0,5 км от Ульбинского металлургического завода, увел. 100

Таким образом, элементный состав листьев тополя черного г. Усть-Каменогорска отражает специфику производства основных промышленных предприятий города (Казцинка и Ульбинского металлургического завода).

ПОЛОЖЕНИЕ 3. **Интегрированный метод оценки жизненного цикла, учитывающий результаты эколого-геохимического исследования, объективнее отражает специфику воздействия промышленных предприятий на окружающую среду. Наиболее высокий уровень общей токсичности отмечается на территории воздействия Северной промышленной зоны г. Усть-Каменогорска, а наибольший вклад в индекс токсичности (95%) вносят выбросы цинка.**

В случае, если вблизи сельскохозяйственных площадок функционируют промышленные предприятия, выбросы последних оказывают негативное влияние на выращиваемую продукцию, а также усугубляют влияние самого процесса выращивания на окружающую среду, которое может быть оценено методикой оценки жизненного цикла (ОЖЦ).

В общем случае в методике ОЖЦ предусмотрен учет только прямого воздействия производства данного продукта, но не рассчитывается косвенное влияние, заключающееся, например, в дополнительном воздействии на данную территорию региональных или локальных выпадений из атмосферы загрязняющих веществ, в частности от выбросов промышленных предприятий. Поэтому мы предлагаем методику, способствующую более полной оценке воздействия на окружающую среду при производстве сельскохозяйственной продукции.

Для данного исследования был выбран метод ReCiPe (Huijbregts and Van Zelm, 2009) и 3 его категории воздействия, непосредственно зависящие от концентрации химических элементов: потенциал токсичности для человека, потенциал экотоксичности (токсичности для экосистемы) наземной и пресноводной. Для проведения расчетов была выбрана иерархическая концепция и вариант условного расчета воздействия при концентрировании элементов в воздухе густонаселенных территорий.

В стандартную методику ReCiPe и стандартную формулу для расчета воздействий на промежуточной стадии был добавлен дополнительный показатель, отражающий загрязненность воздуха выбросами промышленных предприятий:

$$I_m = \sum_i Q_{mi} (m_i + \boldsymbol{m_{0i}}), \qquad (1)$$

где m_i - величина наличия i (в данном случае масса химического элемента, поступающего в окружающую среду от прямого воздействия выращивания 1 кг пшеницы), $\mathbf{m_{oi}}$ - величина привноса i из-за границы системы (масса данного элемента, содержащаяся в атмосферном воздухе независимо от процесса выращивания пшеницы, например, в силу деятельности близ расположенных промышленных предприятий), Q_{mi} – характеристический коэффициент (ХК), связывающий наличие *i* с категорией воздействия *m* на промежуточной стадии, и I_m – характеристический результат для категории воздействия *m* на промежуточной стадии.

Воздействие всех элементов выражается через эквивалент одного вещества для удобства сопоставления, в данном случае дихлорбензол (ДХБ) - органическое соединение с формулой $C_6H_4Cl_2$. Таким образом, единица измерения характеристического результата воздействия – кг 1,4-ДХБ экв./м^2 (Huijbregts and Van Zelm, 2009).

Для исследования были выделены 4 условные площадки на территории г. Усть-Каменогорска, площадью 1 км^2 каждая, на разном расстоянии от Северной промышленной зоны, как одного из основных источников загрязнения на территории города (площадка I расположена вблизи Северной промышленной зоны, с подветренной стороны, площадка IV на наибольшем от нее удалении).

С целью объективного сравнения при одинаковых условиях для всех 4 площадок данные инвентаризационного анализа жизненного цикла (входные и выходные потоки) были взяты из базы данных ecoinvent (Ecoinvent…, 2015) для условной модели выращивания 1 кг зерна пшеницы с влажностью 15%. Выбор данного вида продукции обусловлен важностью в рационе питания и частотой применения в расчетах оценки жизненного цикла сельскохозяйственной продукции.

Показатели, полученные по результатам биогеохимического исследования, приведены в мг/кг, но для использования их в методике ОЖЦ необходим перерасчет содержания на единицу площади. Зная вес листьев в сухом состоянии, их площадь, а также концентрации Ag, As, Ba, Cr, Sb и Zn в каждой изученной пробе, мы рассчитали соотношения концентраций химических элементов к предполагаемой площади, которую займет 1 кг листьев из этой пробы. Путем добавления полученных результатов в формулу 1, были рассчитаны ХК, и оценка жизненного цикла была проведена с учетом внешних выбросов и без них (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристические результаты воздействия модельного процесса производства 1 кг пшеницы без учета дополнительного воздействия выбросов промышленных предприятий (базовый уровень) и при его учете на площадках I-IV (кг 1,4-ДХБ экв./м^2)

	Токсичность для человека	Токсичность для наземных экосистем	Токсичность для пресноводных экосистем
Базовый уровень	0,090	0,00510	0,00470
Площадка I	0,239	0,00597	0,00476
Площадка II	0,236	0,00605	0,00476
Площадка III	0,228	0,00599	0,00476
Площадка IV	0,115	0,00520	0,00471

Полученные результаты подтвердили, что показатель токсичности для человека значимо изменяется при учете информации о региональных выбросах: на I площадке превышение над базовым уровнем отмечается на 165%, на наиболее удаленной IV площадке - на 28%. Если говорить о токсичности для наземных экосистем, увеличение степени воздействия отмечалось от 2% (площадка IV) до 19% (площадка II). В случае с токсичностью для пресноводных экосистем разница была незначимой и составляла от 0,2% до

1,3%. Установлено, что выбросы Zn вносят наибольший вклад в изменение всех категорий воздействия.

На площадке IV, расположенной на наибольшем удалении от СПЗ, наблюдается наименьшая степень воздействия на окружающую среду при производстве 1 кг пшеницы. Но было зафиксировано значимое превышение по показателю токсичности для человека над базовым уровнем. Это указывает на то, что деятельность промышленных предприятий или имеющаяся загрязненность территории усугубляют влияние процесса производства сельскохозяйственной продукции на окружающую среду (Kim et al., 2015).

Следующим этапом оценки воздействия промышленных предприятий на окружающую среду стал расчет степени воздействия загрязнения без привязки к определенной продукции, а исходя из результатов изучения состояния окружающей среды города. Для этих целей была выбрана другая методика ОЖЦ – USEtox™ (USEtox, 2015).

Учитывался вклад 8 химических элементов (Ag, As, Ba, Be, Co, Cr, Sb, Zn), информация по которым имеется в базе данных Ecoinvent, в общую экотоксичность и общую токсичность для человека на всей территории города, на площадках размером 1км^2. Для расчета суммарного воздействия нескольких компонентов применялась существующая формула:

$$IS = \sum_i \sum_x C_{x,i} * M_{x,i}, \qquad (2)$$

где IS – степень воздействия, например, токсичность для человека (случаев), $C_{x,i}$ – ХК компонента x, выброшенного в среду i (случаев/кг), $M_{x,i}$ – выброс данного компонента x в среду i (кг).

Единицы измерения экотоксичности в общем случае – PAF*м^3*день/кг$_{выброс}$ (PAF – потенциально затрагиваемая фракция); токсичности для человека – случаев/кг$_{выброс}$. Но для простоты и удобности сравнения результатов была введена Сравнительная токсическая единица (CTUчел./CTUэко) (Huijbregts et al, 2010; USEtox, 2015).

Из базы данных были выбраны характеристические коэффициенты, рассчитанные для случая содержания химических элементов в воздухе урбанизированной территории.

Суммарный показатель токсичности (для человека и экосистемы), учитывающий вклад 8 изученных элементов, представлен на рисунке 10. Данная карта-схема совпадает по сути с картой токсичности цинка, который вносит в показатель наибольший вклад (порядка 95%) в силу как высокой концентрации элемента, так и высокого характеристического коэффициента.

Таким образом, максимальные показатели токсичности наблюдаются вблизи СЦК «Казцинк» (1,44 случая токсичности для человека на кв. км и порядка 1 580 000 потенциально затрагиваемых фракций на куб. м в день на кв. км - для экосистемы). Максимальный уровень токсичности в Ульбинском районе находит отражение в высоком уровне заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания (рис. 11) и высокой частоте хромосомных аберраций в этом районе (Комплексная…, 2005).

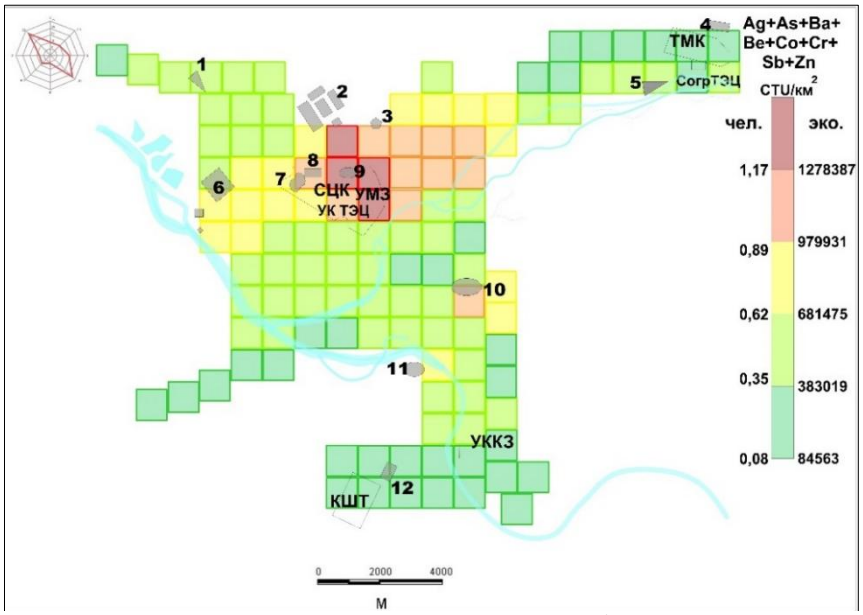


Рисунок 10 – Карта-схема суммарной токсичности (для человека и экосистемы), рассчитанная по сумме элементов (Ag, As, Ba, Be, Co, Cr, Sb, Zn) на территории г. Усть-Каменогорска (СТU/км^2: для человека - случаев токсичности на кв. км, для экосистемы - потенциально затрагиваемых фракций на куб. м в день на кв. км)
Примечание: условные обозначения см. рисунок 7.

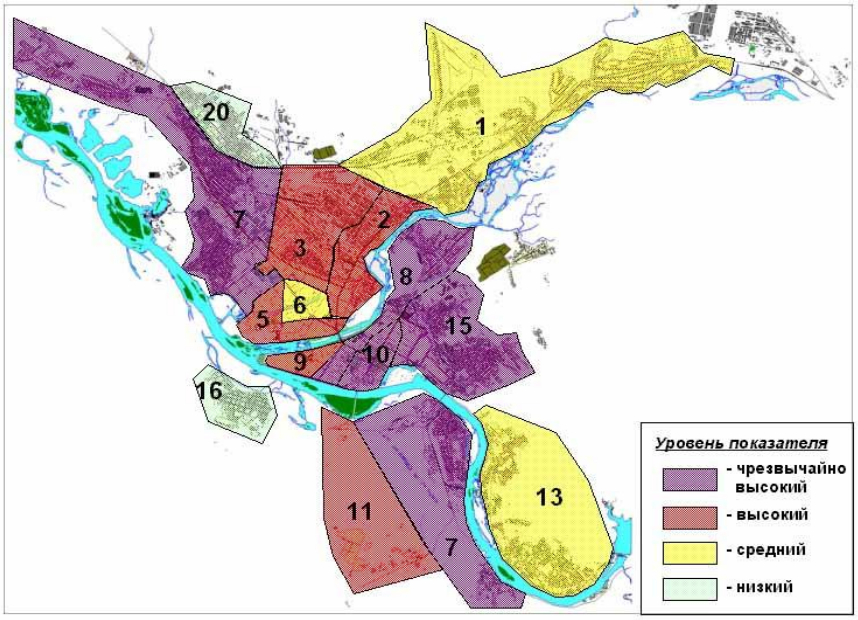


Рисунок 11 – Уровень заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания в г. Усть-Каменогорске по зонам обслуживания семейной врачебной амбулатории (цифрами обозначены номера зон) (Комплексная…, 2005)

Выводы

1. На территории г. Усть-Каменогорска было проведено системное опробование листьев тополя черного (*Populus nigra* L.).

2. По комплексу биогеохимических показателей и их сравнению с таковыми в других регионах была установлена геохимическая специфика листьев тополя черного (*Populus nigra* L.), произрастающего на территории города Усть-Каменогорск. Приоритетными элементами, из числа 31

изученного, концентрирующимися в листьях тополя являются*: Zn, As, Sb, Ag, Ta, U, Be, La.*

3. Изучение трендов накопления и пространственного распределения приоритетных химических элементов позволило установить, что основным источником поступления *Zn, Ag, Au, Sb* является свинцово-цинковый комбинат «Казцинк»; а для *Be, Ta, U* – Ульбинский металлургический завод.

4. Выявлены закономерности изменения формы нахождения урана в листьях тополя черного: от рассеянной к форме собственных микроминералов - по мере приближения к источнику поступления (Ульбинскому металлургическому заводу).

5. Разработан интегрированный метод оценки жизненного цикла, учитывающий результаты эколого-геохимического исследования, который объективнее отражает специфику воздействия промышленных предприятий на окружающую среду.

6. Наиболее высокий уровень общей токсичности (для человека и экосистемы) отмечается в Ульбинском районе на территории воздействия Северной промышленной зоны г. Усть-Каменогорска.

7. Наибольший вклад в индекс токсичности (95%) вносят выбросы цинка.

8. Максимальный уровень токсичности, полученный для Ульбинского района, находит отражение в высоком уровне заболеваемости детского населения болезнями органов дыхания и высокой частоте хромосомных аберраций в этом районе.

Таким образом, объединение методик биогеохимии и оценки жизненного цикла может усовершенствовать и дополнить обе методики и использоваться как на территории России, так и за рубежом для проведения комплексного изучения окружающей среды, включающего как оценку состояния территории, так и оценку воздействия на нее деятельности промышленных предприятий, с выходом на составление прогноза влияния на здоровье человека и благополучие экосистемы в целом.

Список основных публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК

1) **Ялалтдинова, А. Р**. Влияние выбросов промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска на формирование элементного состава листьев тополя / А. Р. Ялалтдинова, Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (85). – С. 108-113.

2) Рихванов, Л. П. Элементный состав листвы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем / Л. П. Рихванов, Д. В. Юсупов, Н. В. Барановская, **А. Р. Ялалтдинова** // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – № 6. – С. 58-63.

Статьи в журналах, индексируемых базой данных Scopus

3) Kim, J. Integration of life cycle assessment and regional emission information in agricultural systems / J. Kim, **A. Yalaltdinova**, N. Sirina, N. Baranovskaya. – Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2015. – V. 95. – I. 12. – pp. 2544–2553.

Статьи, опубликованные за рубежом или на английском языке

4) **Ялалтдинова, А. Р.** Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Усть-Каменогорска по результатам изучения золы листьев тополя черного

(*Populus nigra* L.) / А.Р. Ялалтдинова, Л.П. Рихванов, Н.В.Барановская, Ж.Е. Абикеева. – Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012. – №1 (18). – С. 94-99.

5) **Ялалтдинова, А. Р.** Проявленность промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска в геохимических полях по данным изучения золы листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) / А. Р. Ялалтдинова, Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Мат. VII Междунар. науч.-практич. конф., г. Семей, 4-8 октября 2012. – Семей, 2012. – С. 335-340.

6) **Yalaltdinova, A. R.** Geochemical peculiarities of black poplar leaves (*Populus nigra* L.) in the sites with heavy metals intensive fallouts / A. R. Yalaltdinova, N. V. Baranovskaya L. P. Rikhvanov, I. A. Matveenko // EGU General Assembly 2013: Abstracts, Viena, April 7-12, 2013. – Munich: EGU Press & Media, 2013 – p. 258 – flash-card [electronic resource].

7) **Yalaltdinova, A. R.** Leaves of *Populus nigra* L. as bioindicator of heavy metal pollution / A. R. Yalaltdinova // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. XVII Междунар. симп. им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 1-6 апреля 2013 г.: в 2 т. – Т. II. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 861-862.

Публикации в иных изданиях (материалы конференций)

8) **Ялалтдинова, А. Р.** Геохимические особенности пылеаэрозолей в зоне воздействия Северной промышленной зоны г. Усть-Каменогорска (Республика Казахстан) / А. Р. Ялалтдинова // Экология России и сопредельных территорий: Мат. XVI Междунар. экол. студ. конф., Новосибирск, 28 - 31 октября 2011. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2011. – С. 167-168.

9) **Ялалтдинова, А. Р.** Отражение процесса техногенеза в элементном составе листьев тополей (*Populus nigra* L.) на примере г. Усть-Каменогорска / А. Р. Ялалтдинова // Экология России и сопредельных территорий: Мат. XVII Междунар. экол. студ. конф., Новосибирск, 26-29 октября, 2012 г.: в 2-х томах.– Новосибирск: Изд-во НГУ, 2012. – Том 2. – С. 154.

10) **Ялалтдинова, А. Р.** Элементный состав золы листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) как индикатор экологического состояния территории города Усть-Каменогорска / А. Р. Ялалтдинова // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. XVI Междунар. симп. им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 2-7 апреля 2012 г. : в 2 томах. –Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – Том I. – С. 637-639.

11) **Ялалтдинова, А. Р.** Концентрирование химических элементов растительными организмами урбанизированных территорий / А. Р. Ялалтдинова, Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: Мат. VIII Международ. биогеохимической школы, Гродно, 11-14 сентября 2013 г. – М. : ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 187-190.

12) **Ялалтдинова, А. Р.** Элементы-индикаторы техногенеза в листьях древесных растений / А. Р. Ялалтдинова // Геохимия живого вещества: Мат. Междунар. молодеж. школы-семинара, Томск, 2-5 июня 2013 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 186-187.

13) **Ялалтдинова, А. Р.** Использование результатов биогеохимического исследования с целью оценки токсичности загрязнения для человека и экосистемы / А. Р. Ялалтдинова, Н. В. Барановская, Дж. Ким, Л. П. Рихванов // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: Мат. IX Международ. биогеохимической школы, Барнаул, 24-28 августа, 2015 г.: в 2 т. – Т. II. – Барнаул: Пять плюс, 2015. – С. 53-56.