

*На правах рукописи*

СОРОКИНА Ольга Игоревна

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ  
В ЛАНДШАФТАХ Г. УЛАН-БАТОРА**

25.00.23 – физическая география и биогеография,  
география почв и геохимия ландшафтов

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Москва – 2013

Работа выполнена на кафедре геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

Научный руководитель: академик РАН  
**Касимов Николай Сергеевич**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор  
**Алексеевко Владимир Алексеевич**  
Научно-исследовательский институт геохимии биосферы Ростовского Государственного университета, главный научный сотрудник

кандидат географических наук  
**Сорокина Елизавета Павловна**  
Федеральное государственное унитарное научно-производственное предприятие «Аэрогеология», старший научный сотрудник

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (ИГ СО РАН)**

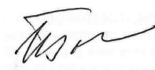
Защита состоится «17» октября 2013 года в 17-00 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.13 в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, 18 этаж, аудитория 1807.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций Научной библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова по адресу: Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, А8.

Автореферат диссертации размещен на сайте географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова (<http://www.geogr.msu.ru>), а также на официальном сайте ВАК (<http://www.vak.ed.gov.ru>).

Автореферат разослан «16» сентября 2013 года

Ученый секретарь диссертационного совета



И.А. Горбунова

**Актуальность темы.** Современные крупные города являются ключевыми объектами исследования взаимодействия природы и общества, так как в них функционально переплетаются и пространственно перекрываются разнообразные экологические проблемы.

Улан-Батор – один из крупных источников поступления тяжелых металлов (ТМ) в бассейн р. Селенги, впадающей в оз. Байкал. Столица Монголии относится к числу городов мира с наиболее запыленной атмосферой (Gutticunda, 2007; <http://www.who.int/en/>). Население города составляет 1,2 млн. чел. (40,5 % жителей страны). Неблагоприятная экологическая обстановка усугубляется обширными районами частной застройки из плотно расположенных юрт и домов, где проживает половина населения столицы (Gutticunda, 2007; Asian..., 2008; <http://www.nso.mn/v3/>). Бóльшая часть этих районов образовалась после 1990 г. Эколого-геохимические особенности юрточных районов мало изучены, хотя они являются особенностью городов Монголии и активно расширяются. Юрты и дома отапливаются бурым углем с большим количеством продуктов сгорания, которые выбрасываются в радиусе нескольких метров от источника – внутри жилищ и во дворах. На современном этапе проводится изучение состояния атмосферы г. Улан-Батора, как правило, содержания газообразных примесей: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, синтетических органических веществ и различных фракций пыли (Сарантуяа, 2005; Gutticunda, 2007; Аргучинцева и др., 2008; Air..., 2009; Environmental..., 2009; Allen et al., 2011; Davy et al., 2011 и др.), загрязнения почв (Кошелева и др., 2010; Batjargal et al., 2010; Васильева и др., 2013).

Актуальность диссертационного исследования определяется тем, что, несмотря на значительные изменения, произошедшие в Улан-Баторе за последние десятилетия, в настоящее время не опубликовано работ по комплексному анализу состояния городской среды.

**Цель и задачи.** Цель работы – исследовать распределение и поведение ТМ в компонентах природной среды г. Улан-Батора и оценить эколого-геохимическое состояние городских ландшафтов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) установить геохимическую специализацию источников загрязнения города; 2) определить геохимические параметры фоновых ландшафтов и их техногенную трансформацию в разных функциональных зонах города; 3) проанализировать пространственную структуру загрязнения снега, почв и древесных растений, выявить ландшафтные и техногенные факторы, контролирующие накопление ТМ в почвах и вегетативных органах деревьев, сопоставить концентрации ТМ с существующими санитарно-гигиеническими нормативами; 4) провести экологическое и функциональное районирование и картографирование города.

**Исходные материалы.** Основой для написания диссертации послужили материалы, собранные в ходе зимнего (2008/2009 гг.) и нескольких летних (2009, 2010 и 2011 гг.) полевых сезонов с функциональным зонированием города и опробованием аэрозолей воздуха, снега, почв, растений. Региональным фоном послужили пробы из заповедников Богдо-Ула (в 2–3 км к югу от города), Тэрэлж (в 20 км к востоку) и сомона Алтан-Булак (в 50 км к западу). Для определения геохимических особенностей источников загрязнения проанализированы образцы бурых углей из месторождений Налайх, Баганур и Чулут, образцы золы уноса ТЭЦ-3. Полученные данные обрабатывались с применением современных геохимических, статистических и картографических методов.

**Личный вклад соискателя.** Диссертант принимал непосредственное участие во всех летних полевых этапах, сборе и подготовке образцов, выполнил химико-аналитические работы по определению гранулометрического состава образцов почв, содержания в них органического углерода, химический анализ состава водной вытяжки, провел статистическую обработку и обобщение полевых и химико-аналитических данных, анализ литературы и фондовых материалов. Автором самостоятельно выполнены геоинформационное картографирование изучаемой территории, включая разработку матричной легенды и составление оригинальной карты ландшафтно-функциональных зон г. Улан-Батора и эколого-геохимическая оценки их суммарного загрязнения ТМ, подготовлен

иллюстративный и табличный материал, включенный в диссертационную работу и в научные публикации, выполнена основная часть интерпретации данных и формулировки выводов.

**Научная новизна работы.** В работе решена важная для геохимии ландшафтов научная задача – на примере г. Улан-Батора выявлен геохимический диссонанс загрязнения городских ландшафтов ТМ, который заключается в слабом загрязнении почв и растений города при высокой техногенной эмиссии поллютантов в атмосферу. Впервые на территории г. Улан-Батора проведены детальные исследования загрязнения приземного слоя атмосферы в холодное время года, суточной и сезонной изменчивости содержания большой группы ТМ, опасных для здоровья горожан. Охарактеризованы региональная геохимическая специализация древесных видов *Populus laurifolia*, *Larix sibirica*, пространственные закономерности и факторы бионакопления ТМ, экологическое состояние растений и их индикационная значимость. Предложен новый интегральный геохимический показатель – коэффициент биогеохимической трансформации  $Z_v$ . Рассмотрена геохимическая структура функциональных зон, в том числе районов юрточной застройки, выделены различия в составе выбросов ТМ от юрточных печей и от высокотемпературных установок ТЭЦ. Впервые составлена карта ландшафтно-функционального зонирования территории г. Улан-Батора и оценки загрязнения депонирующих сред ТМ.

#### **Защищаемые положения.**

1. Интенсивная техногенная эмиссия тяжелых металлов в зимний период привела к очень высокому и чрезвычайно опасному уровню загрязнения воздуха и снежного покрова г. Улан-Батора.

2. Для степных горно-котловинных ландшафтов Улан-Батора характерно слабое загрязнение почвенного и растительного покровов тяжелыми металлами со среднеконтрастными геохимическими аномалиями.

3. Природно-техногенный геохимический диссонанс ландшафтов Улан-Батора выражается в слабом загрязнении тяжелыми металлами почв и растений,

несмотря на их высокую техногенную эмиссию, увеличение площади и контрастности аномалий в снежном покрове за последние 20 лет.

4. Экологический мониторинг состояния городской среды должен базироваться на эколого-геохимических принципах и ландшафтно-функциональном зонировании территории. В пределах Улан-Батора выделено 20 ландшафтно-функциональных зон, различных по исходным природным условиям и степени техногенной геохимической трансформации.

**Апробация работы, публикации.** По теме диссертации опубликовано 22 работы: 9 статей (4 в журналах списка ВАК, 1 в сборнике, 4 в англоязычных журналах), 13 тезисов докладов и материалов конференций.

Материалы диссертации докладывались и опубликованы в трудах Международной научной конференции «Ломоносов» (Москва, 2009 г.), Международной конференции «Экологические последствия биосферных процессов в экотонной зоне Южной Сибири и Центральной Азии» (Улан-Батор, 2010 г.), Международной конференции, посвященной 165-летию В.В. Докучаева (Санкт-Петербург, 2011 г.), Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Сыктывкар, 2011 г.), Всероссийской научной конференции «Докучаевские молодежные чтения» (Санкт-Петербург, 2011 г.), Международной научно-практической конференции «Проблемы озеленения крупных городов» (Москва, 2011 г.), конференции «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2011 г.), Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов и география почв» (к 100-летию М.А. Глазовской) (Москва, 2012 г.), Всероссийской конференции молодых ученых «Стратегия взаимодействия микроорганизмов и растений с окружающей средой» (Саратов, 2012 г.), Международном семинаре «Bringing together Selenga-Baikal research» (Женева, 2012 г.), Международной конференции «The society for environmental geochemistry and health» (Тулуза, 2013 г.), Региональной конференции Международного географического союза (Киото, 2013).

**Практическая значимость и реализация результатов работы.** Работа

содержит фактические данные о реально существующей экологической ситуации в Улан-Баторе, научное объяснение и прогнозные модели миграции и аккумуляции ТМ в ландшафтах города. Исследования проводились при поддержке РФФИ (проект №10-05-93178-Монг\_а «Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды в крупных городах Монголии»), Совместной российско-монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ (СРМКБЭ), ФЦП «Научные и педагогические кадры инновационной России» (Госконтракт № 02.740.11.0337 с Роснаукой по теме «Эколого-геохимическая оценка техногенной трансформации ландшафтов», Госконтракт № П1078 «Разработка теоретических, экспериментальных и прикладных основ экологической геохимии ландшафтов», Госконтракт №11.519.11.5008 «Разработка научно-методических основ мониторинга и прогнозирования состояния бассейна р. Селенга с целью контроля трансграничного переноса загрязняющих веществ и их выноса в оз. Байкал и оптимизации использования и охраны водных ресурсов»), Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 8673).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 144 страницах печатного текста, содержит 30 рисунков, 21 таблицу и 3 приложения на 24 страницах. Список литературы насчитывает 179 наименований.

**Благодарности.** Особую благодарность за научное руководство, советы и помощь в работе автор выражает академику РАН Н.С. Касимову. Автор благодарит Н.Е. Кошелеву за проведение полевых работ, помощь при обработке данных и подготовке публикаций, Д.Л. Голованова, Е.М. Никифорову, И.А. Авесаломову, Е.В. Терскую, Т.М. Дианову, П.П. Кречетова, О.В. Черницову, Е.Б. Двуреченскую, А.В. Андреева за помощь и профессиональные консультации и коллектив кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, оказавший содействие в анализе и обсуждении материалов диссертации. Автор признателен П.Д. Гунину за предоставление ресурсов Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ (СРМКБЭ), поддержку

полевых этапов и финансирование химико-аналитических работ, директору Института географии АНМ академику Д. Доржготову за помощь в ходе исследований на территории Монголии, С. Энх-Амгалану за активное участие в полевых работах и поддержку, а также С.Н. Баже, О. Батхишигу, С. Хадбаатару, Б. Бямбаа, и сотрудникам СРМКБЭ и Института географии АНМ за помощь в полевых исследованиях, переводе материалов с монгольского языка и консультации.

### **Содержание работы**

**Введение.** Обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, приведены сведения о практической значимости работы.

### **Глава 1. Современное состояние и методы экогеохимии городских ландшафтов**

Рассмотрены основные идеи и методы экогеохимии городских ландшафтов, региональные исследования, в том числе посвященные эколого-геохимической оценке г. Улан-Батора, подробно описаны материалы и методы, использованные при написании диссертации.

Методологической основой использования геохимических методов при экологической оценке городов является представление о том, что техногенные потоки веществ рассеиваются, аккумулируются и транспортируются через природные компоненты окружающей среды. Поэтому чаще всего вывод об экологическом состоянии делается на основе анализа одного или нескольких компонентов городского ландшафта.

Наиболее актуальны исследования воздуха, так как здоровье населения зависит от загрязнения нижней части городской атмосферы. Содержание ТМ в воздухе часто оценивают косвенными методами на основе взаимосвязей между поступлением ТМ в атмосферу и их фиксацией в снежном покрове. Почвенно-геохимические исследования занимают важную часть в экогеохимии городских



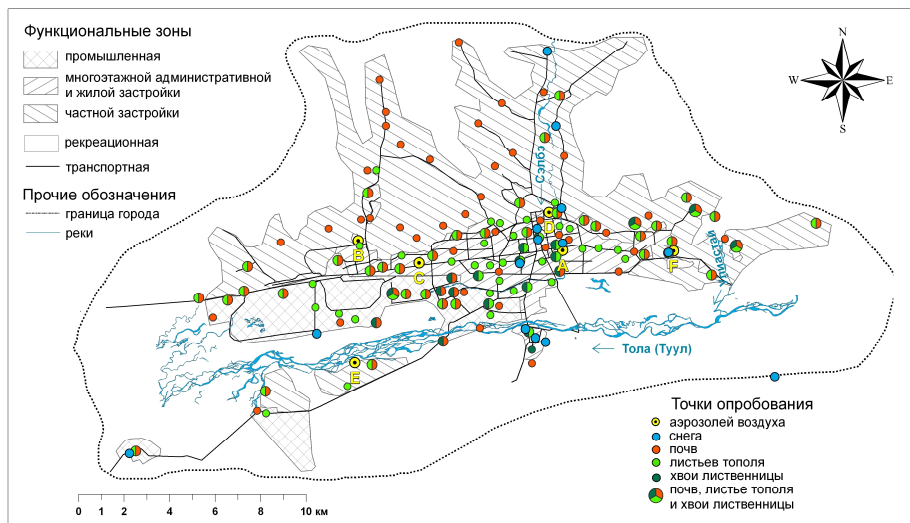


Рис. 1. Функциональное зонирование г. Улан-Батора и точки отбора проб

ландшафтов из-за способности почв накапливать поллютанты в течение длительного периода. Все более активно используются методы биоиндикации состояния городской среды, создаются сети биомониторинга.

Комплексная оценка территории Улан-Батора, выполненная в конце 1980-х гг. сотрудниками кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ, включала анализ загрязнения воздуха (индикация по снежному покрову), почв, водотоков, травянистой и древесной растительности в пределах города. В конце 90-х годов изучено воздействие эколого-геохимических условий на медико-биологическую обстановку в столице и составлена карта «Экологическое зонирование территории Улан-Батора».

Для диссертационного исследования отобрано 132 пробы аэрозолей воздуха, 21 снега, 108 почв, 82 листьев тополя, 21 хвои лиственницы (рис. 1). Во всех образцах определялось валовое содержание ТМ методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, масс-спектрометр Elan-6100 фирмы «PerkinElmer», США) и атомно-эмиссионной спектрометрии (спектрометр Optima-4300 той же фирмы) во ВНИИ минерального сырья. В аэрозолях воздуха дополнительно определялось количество взвешенных частиц, в

почвах – основные физико-химические свойства: pH, TDS, содержание  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , содержание органического углерода с пересчетом на количество гумуса стандартными методами (Аринушкина, 1962), гранулометрический состав почв на лазерном дифрактометре «Analizette 22» (с раствором пирофосфата натрия). Определение свойств почв выполнялось автором в Эколого-геохимическом центре Географического факультета МГУ.

При геохимической обработке рассчитывались коэффициенты:

**коэффициент аэрозольной концентрации  $K_a=A/K$** , где  $A$  – концентрация элемента в аэрозолях воздуха,  $K$  – кларк этого элемента в гранитном слое континентальной земной коры (Беус, 1981; Добровольский, 1983);

**коэффициенты накопления  $KK$  и рассеяния  $KP$**  относительно кларков литосферы (Виноградов, 1962; Taylor & McLennan, 1985; Беус и др., 1976; Rudnick, Gao, 2003) и ежегодного прироста растений суши (Добровольский, 1998):  $KK=Cф/кларк$  и  $KP=кларк/Cф$ , где  $Cф$  – средние концентрации элемента в фоновых образцах,  $кларк$  – его кларк (Геохимия..., 1990);

**коэффициенты концентрации  $Kc$  и рассеяния  $Kp$** :  $Kc=Ca/Cф$  и  $Kp=Cф/Ca$ , где  $Cф$ ,  $Ca$  – средние концентрации элемента в фоновых и городских образцах соответственно (Геохимия..., 1990);

**суммарный показатель загрязнения  $Zc = \sum_1^n Kc - (n - 1)$** , где  $n$  – количество ТМ с  $Kc > 1,5$  (Геохимия..., 1990); градации уровней загрязнения приведены в табл. 1;

**коэффициент биогеохимической трансформации  $Zv = \sum_1^{n_1} Kc + \sum_1^{n_2} Kp - (n_1 + n_2 - 1)$** , где  $n_1$ ,  $n_2$  – количество микроэлементов с  $Kc > 1,5$  и с  $Kp > 1,5$  соответственно (Касимов и др., 2011).

Для санитарно-гигиенической оценки использованы нормативы, принятые в России и Монголии (ГН 2.1.6.1338-03; ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2042-06; Методические..., 1982; Доржготов, Батхишиг, 2008). Рассчитан **индекс загрязнения атмосферы  $ИЗА = \sum (C_i / ПДК_i) \cdot K_i$** , где  $C_i$  – среднесуточная концентрации  $i$ -го вещества в воздухе; ПДК<sub>*i*</sub> – его ПДК<sub>сс</sub>,  $K_i$  – коэффициент для пересчета загрязнения воздуха  $i$ -м веществом в загрязнение  $\text{SO}_2$ . Значения  $K_i$  равны 1,5, 1,3,

1,0 и 0,85 соответственно для I, II, III и IV классов опасности. В зависимости от значения ИЗА уровень загрязнения воздуха определялся как низкий (ИЗА<5), повышенный (5-7), высокий (7-14) или очень высокий (>14) (РД 52.04.186-89).

Фитотоксичность уровня содержания ТМ в листьях тополя оценивалась в сравнении с известными диапазонами дефицитных, нормальных и токсичных концентраций ТМ в зрелых тканях листьев (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Таблица 1. Уровни загрязнения компонентов ландшафта ТМ и соответствующие им градации экологической опасности (Геохимия..., 1990; Кошелева и др., 2012)

Уровни загрязнения и экологической опасности	Суммарные показатели Zc	
	загрязнения снега	загрязнения почв
Низкий, неопасный	< 32	<16
Средний, умеренно-опасный	32 – 64	16-32
Высокий, опасный	64 – 128	32-64
Очень высокий, очень опасный	128 – 256	64-128
Максимальный, чрезвычайно опасный	> 256	>128

Статистическая обработка проведена в программных пакетах *Microsoft Excel* и *Statistica 7.0* и включала расчет выборочных средних  $C_{\text{ср}}$ , стандартных отклонений, коэффициентов вариации  $C_v$  и амплитуд колебаний содержания ТМ для каждой функциональной зоны и для города в целом. Значимость различий средних оценивалась по t-критерию, однородность дисперсий – с помощью F-статистики. Парагенетические ассоциации ТМ с общими тенденциями накопления и выноса выделены с помощью кластерного анализа (алгоритм *Complete Linkage*), сходство поведения ТМ оценивалось коэффициентами корреляции  $r$ , ассоциации выделялись с помощью кластерного анализа с учетом «пороговых» значений коэффициентов корреляции, соответствующих 95 %-ному доверительному интервалу. Методом регрессионных деревьев (пакет *SPLUS, MathSoft, 1999*) выявлены основные природные и антропогенные факторы, контролирующие содержание ТМ в почвах и растениях, интерпретация результатов проводилась с использованием известных закономерностей поведения ТМ в ландшафтах (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Геохимия..., 1990; Елпатьевский, Аржанова, 1990; Добровольский, 1998; Перельман, Касимов, 1999; Баргальи, 2005).

Картографическая обработка выполнена в программном пакете *ArcGIS*

10.0. При составлении карт использовались собственные полевые материалы рекогносцировочных маршрутов, описания ключевых участков, литературные данные (Мурзаев, 1952; Геоморфология..., 1982; Ногина, 1984; Национальный..., 1990; Экогеохимия..., 1995; Гунин и др., 2003; Экосистемы..., 2005), материалы Института географии АНМ, цифровые модели рельефа из баз данных CGIAR-CSI (<http://www.cgiar-csi.org/>), многоканальные космические снимки LandSat (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>), космические снимки GoogleEarth. Почвенно-геохимическое и биогеохимическое картографирование выполнено методом обратно взвешенных расстояний (ОВР / IDW) по результатам химико-аналитических работ. При обработке картографической информации использовались приемы пространственного анализа: оверлей слоев, геоинформационный статистический анализ и др.

## **Глава 2. Ландшафтно-функциональная структура территории г. Улан-Батора**

В главе рассмотрены основные источники поступления ТМ и особенности ландшафтов, представлены результаты картографической обработки материалов, а также схемы ландшафтной структуры территории, функционального зонирования города и карта ландшафтно-функциональных зон.

Один из главных источников загрязнения Улан-Батора – топливно-энергетический комплекс – включает 3 действующих ТЭЦ и районы частной застройки (юрты и дома), работает на бурых углях месторождений Налайх, Бага-Нура и Шарын-Гол, обогащенных относительно кларков литосферы Pb, As, Mo в десятки раз и Cu, Sr, Cd, Ni – в разы, а по сравнению с другими бурыми углями мира – Pb, Cu, Ni, W и Mo. Городской автопарк насчитывает более 300 тыс. единиц транспорта, работающего на этилированном бензине и в большом количестве выбрасывающего Pb. В Улан-Баторе действуют предприятия строительной, текстильной и пищевой промышленности, очистные сооружения.

На миграцию и аккумуляцию ТМ в условиях Улан-Батора влияют 4 груп-

пы природных факторов: геолого-геоморфологические, ландшафтно-геохимические, климатические и социально-экономические (табл. 2).

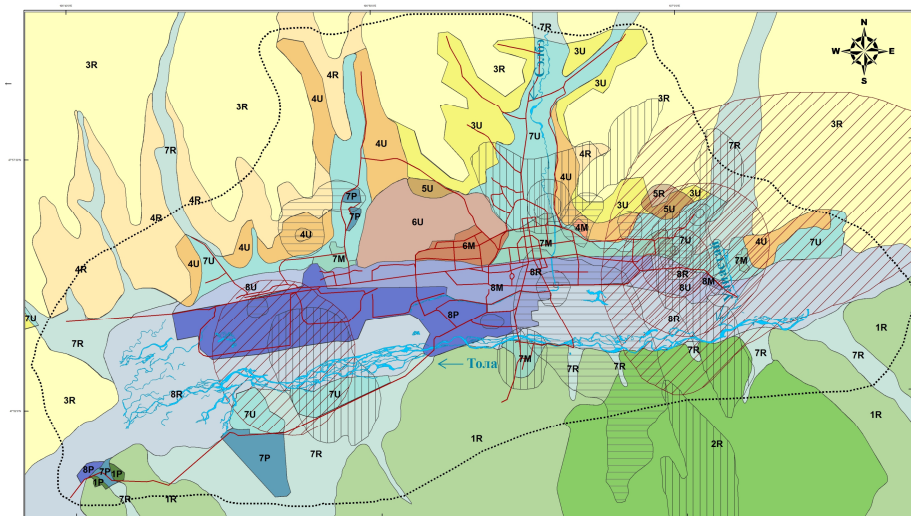
В результате наложения антропогенных процессов на исходную природную структуру территории в пределах Улан-Батора в настоящее время сформировались 20 типов ландшафтно-функциональных зон (рис. 2). Достаточно четко различаются таежные, степные и долинные ландшафтные комплексы, претерпевшие изменения в соответствии с их функциональным использованием: в долине р. Толы сформировался промышленно-транспортно-селитебный городской центр, на степных склонах – массивы частной застройки, на таежных – заповедник.

### **Глава 3. Состояние атмосферного воздуха г. Улан-Батора в зимний период**

На основе данных о содержании ТМ в атмосферных аэрозолях, фильтрате и взвеси снеговой воды дана оценка состояния воздуха Улан-Батора в зимний период, когда максимальны техногенные нагрузки на ландшафты города.

Сопряженный анализ коэффициентов  $K_a$  и  $K_c$  для аэрозолей воздуха и взвесей снеговой воды, парагенетических ассоциаций ТМ в растворенной и взвешенной формах в снеге разных функциональных зон, а также литературных данных позволил установить геохимические особенности основных источников поступления ТМ в атмосферу города: 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). При сжигании углей на промышленных установках ТЭЦ в атмосферу выбрасываются As, Bi, Zn, Th, Fe, Co, Cr, Cu, в юрочных печах – Be, Cd, Mo, Sb, Sr, V.

В воздухе повсеместно превышены среднесуточные предельно допустимые концентрации (ПДК<sub>сс</sub>) для Pb и взвешенных частиц (до 26 и 21 раз соответственно), а также Mn, Cu, Be, Fe, Ni, Zn, Cr. В растворенной фракции снега  $K_c$  для Mo, Be, Sn, Sr, U, As, W, Ni достигает 30, во взвешенной – 2,5.



Масштаб 1: 50000











Рис. 2. Ландшафтно-функциональная структура (А) г. Улан-Батора и эколого-геохимическая оценка суммарного загрязнения тяжелыми металлами (Б)

### А. Ландшафтно-функциональная структура территории г. Улан-Батора

Ландшафты		Таежные северных склонов		Степные южных склонов				Речных долин		
								притоков р. Толга	р. Толга	
Почвы и почвообразующие породы		Горные дерново-таежные и лугово-лесные на каменноугольных сланцах	Горные дерново-таежные и мерзлотно-таежные на архейских гранитах	Горные каштановые и темно-каштановые и горные черноземы на каменноугольных сланцах	Горные каштановые и темно-каштановые и горные черноземы на неогеновых пестроцветных глинах	Аллювиальные каменисто-галечниковые на аллювиальных отложениях				
Положение в ландшафтно-геохимической катене*		ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТА	ТЭ	ТА	TAS	TAS	
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Функциональная зона	Рекреационная	R	1R	2R	3R	4R	5R		7R	8R
	Частной застройки	U			3U	4U	5U	6U	7U	8U
	Многоэтажной застройки	M				4M		6M	7M	8M
	Промышленная	P	1P						7P	8M

\*Обозначения: ТЭ – трансэлювиальное, ТА – трансаккумулятивное, TAS – трансаккумулятивно-суперкавальное

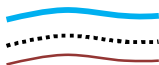
**Б. Эколого-геохимическая оценка  
суммарного загрязнения тяжелыми металлами ландшафтов г. Улан-Батора**

Среда	Степень загрязнения снега, почв, биогеохимической трансформации растений			
	Низкая* Слабая**	Средняя Средняя	Высокая Выше среднего	Очень высокая Вдвое выше среднего
Взвесь снеговой воды, Zc	 < 32	 32-64	 64-128	 > 128
Почвы, Zc	 < 16	 16-32	 32-64	 > 64
Листья тополя, Zv	 < 15	 15-20	 20-25	 > 25

\*для взвеси, почв

\*\*для листьев тополя

**Прочие обозначения**



реки  
контур границы г. Улан-Батора  
автодороги

Таблица 2. Факторы, способствующие самоочищению и загрязнению ландшафтов г. Улан-Батора

Группы факторов	Факторы	
	самоочищения	загрязнения
Геолого-геоморфологические	транзитные (склоновые) позиции рельефа; породы обеднены многими ТМ	котловинный рельеф; обогащенность пород As
Ландшафтно-геохимические	легкий гранулометрический состав почв и пород; малое содержание гумуса в почвах; разреженный травянистый покров; преобладание растений, устойчивых к загрязнению (род <i>Populus</i> )	высокие концентрации карбонатов в почвах; локальные аномалии с высоким содержанием сульфатов в почвах; хвойных виды-концентраторы
Климатические	летний ливневой максимум осадков; большое количество УФ солнечной радиации	зимние температурные инверсии; осложненный воздухообмен; малое количество осадков
Социально-экономические	расширение города за счет строительства на незагрязненных территориях; спад промышленного производства после 1990 г. ; отсутствие экологически «грязных» производств (металлургия, химическая промышленность и т.п.)	постепенное наращивание экономики страны и объемов производства; активное строительство; рост автопарка в основном за счет подержанных автомобилей; отсутствие централизованной канализации и водоснабжения в юрточных районах; стихийные свалки ТБО; отопление углем с высоким содержанием ТМ, индивидуальные печи в юртах и частных домах

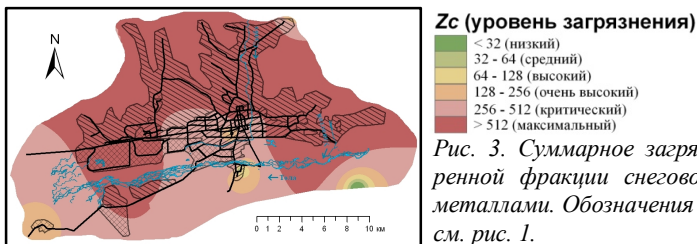


Рис. 3. Суммарное загрязнение ( $Z_c$ ) растворенной фракции снеговой воды тяжелыми металлами. Обозначения функциональных зон см. рис. 1.

Максимальное загрязнение воздуха с ИЗА  $>50$  наблюдается в центре города, что связано с его застаиванием в днище котловины при антициклональном режиме погоды. С удалением от центра содержание ТМ в воздухе уменьшается, загрязнение остается высоким (ИЗА  $>5$ ). За зимний сезон 2008/2009 гг. содержание ТМ в аэрозолях возрастало с декабря до начала февраля и постепенно снижалось к марту. В течение суток выбросы ТМ увеличивались в утренние (9–11) и вечерние (20–23) часы. В конце зимы в снеге сформировались средне- и сильноконтрастные полиэлементные аномалии ТМ в центре и на востоке города, в западной части промзоны (рис. 2, 3). Наиболее сильное техногенное воздействие испытывали районы частной застройки ( $Z_c=853$  в растворенной фракции снега и 41 во взвешенной) и промзона (547 и 42 соответственно).

Загрязнение растворенными формами ТМ в десятки и сотни раз контрастнее, чем взвешенными. Наибольшие различия (более 300 раз), выявлены в центре города, где уровень загрязнения растворенной фракции максимальный ( $Z_c=1070$ ), взвешенной – низкий (3,2). В десятки раз различаются уровни загрязнения в жилой застройке: в многоэтажной застройке обнаружен критический уровень загрязнения растворенными формами ТМ (313) и низкий – взвешенными (6), в частной застройке в долине р. Сэлбэ максимальный – растворенными формами ТМ (970-1100) и низкий – взвешенными ( $<32$ ). В полиэлементных аномалиях на востоке города  $Z_c$  растворенных форм достигает значений 2360 (рис. 3).

За последние 20 лет техногенные выпадения ТМ из атмосферы увеличились, расширились площади аномалий ТМ в снежном покрове. Особую опасность загрязнения Улан-Батора представляют продукты горения угля, количест-



во которых растет с каждым годом. По сравнению с природным фоном, они в сотни раз обогащены растворенными формами ТМ и создают угрозу загрязнения грунтовых и поверхностных вод.

#### Глава 4. Тяжелые металлы в почвенном покрове г. Улан-Батора

Региональная педолитогеохимическая специализация определяется обогащением фоновых почв As, повышенным содержанием Cd и пониженным – остальных ТМ и выражается формулами: относительно кларков литосферы по А.П. Виноградову (1962)  $\frac{As_{5,1}Cd_{1,0}}{Ni_{5,4}Cr_{5,1}Cu_{4,0}Co_{3,5}V_{2,4}Zn_{1,8}Sr_{1,7}Mo_{1,4}Pb_{1,1}}$ , по S.R. Taylor, S.M. McLennan (1985)  $\frac{As_{8,6}Pb_{1,9}Cd_{1,4}}{Cr_{1,4}Ni_{9,8}Cu_{6,4}Co_{5,6}V_{5,3}Zn_{1,7}Sr_{1,3}Mo_{1,3}}$ , относительно кларков гранитного слоя литосферы по А.А. Беусу (1976)  $\frac{As_{4,5}}{Ni_{2,4}Cr_{2,1}Cu_{1,9}V_{1,8}Mo_{1,6}Co_{1,4}Zn_{1,1}Sr_{1,1}Pb_{1,1}Cd_{1,1}}$ , по S.R. Taylor, S.M. McLennan (1985)  $\frac{As_{5,7}Cd_{1,4}}{Cr_{2,2}Cu_{2,1}Co_{1,9}Ni_{1,9}Mo_{1,9}Zn_{1,5}Sr_{1,7}V_{1,4}Pb_{1,3}}$ , по R.L. Rudnick, S. Gao (2003)  $\frac{As_{1,8}Cd_{1,6}}{Cr_{5,7}Ni_{4,4}Co_{3,3}Cu_{2,4}V_{2,3}Sr_{1,6}Mo_{1,4}Zn_{1,4}Pb_{1,1}}$  (в числителе *KK*, в знаменателе *KP*).

В городских почвах относительно фона накапливаются Pb и Zn (*Kc*=3,1 и 2,6 соответственно). Средние значения *Kc* остальных ТМ не превышают 2, и по уменьшению интенсивности накопления они образуют ряд Mo>Cr>Cu>Cd>Ni>Co>Sr>V>As.

Наиболее устойчивы ассоциации Ni–Co–V, As–Sr и Cu–Cd–Cr–Zn. Первая ассоциация связана с составом почвообразующих пород (сланцев и глин), вторая – с выбросами золы при сжигании угля, третья – с выбросами предприятий, транспорта, промышленными и бытовыми отходами.

Определена геохимическая специализация функциональных зон города. Почвы промышленной зоны наиболее загрязнены с *Kc* >2,0 для Zn, Mo, Cr, Cd, Pb, Cu. Почвы многоэтажной застройки более загрязнены, чем в частной, особенно Pb (*Kc*=5,8) и Zn (3,2). Накопление ТМ сильнее проявляется в центральной части города, где образуется единый селитебно-промышленно-транспортный ареал загрязнения со схожими ассоциациями элементов: Ni–Co–V; Cu–Cd–Zn; As–Mo.

Пространственное распределение ТМ в почвах обусловлено источниками

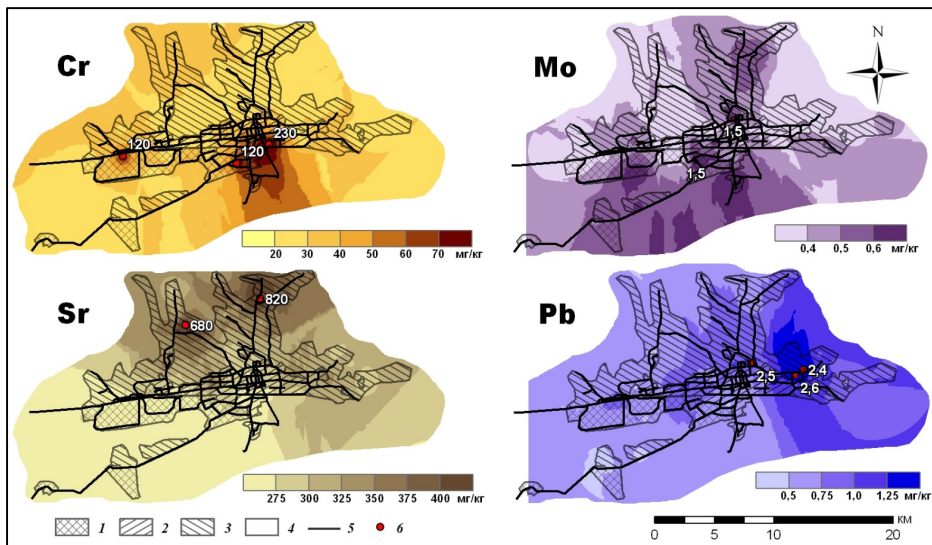


Рис. 4. Распределение Cr и Sr в поверхностных горизонтах почв г. Улан-Батор, Mo и Pb – в листьях тополя. Обозначения функциональных зон см. рис. 1.

их поступления: Zn, Pb, Cd, Cu привносятся преимущественно с выбросами транспорта, As, Sr, V – топливной энергетики, Ni, Co, Cr – предприятий строительной промышленности, Mo мигрирует в анионной форме и концентрируется в подчиненных позициях рельефа (рис. 4). Геохимические поля осложняются многочисленными локальными техногенными аномалиями ТМ.

Установлены особенности миграции ТМ в почвах города, главные факторы аккумуляции приведены в табл. 3. Регрессионные деревья моделируют зависимость пространственной вариабельности концентраций ТМ и показателя  $Z_c$  от условий миграции и позволяют прогнозировать накопление ТМ и общее загрязнение почв в зависимости от реального набора факторов миграции.

Таблица 3. Факторы аккумуляции ТМ в поверхностных горизонтах почв г. Улан-Батора

Элементы	Главный фактор аккумуляции
As, Cd, Cu, Mo, Zn	содержание гумуса
Ni, Co	содержание физической глины
Pb, Sr	содержание сульфатов
Cr	pH
V	степень антропогенного воздействия (функциональная зона)

Величина  $Z_c$  в почвах промышленной зоны, центра города и возле жив-

ленных дорог достигает 16-32 единиц. Наименьшее загрязнение с  $Zc < 8$  отмечено на западе города (рис. 2). Аномалии в частной застройке с  $Zc$  до 30 сформировались под влиянием транспорта и свалок бытового мусора, в районе очистных сооружений ( $Zc=26$ ) – осадков сточных вод.

При санитарно-гигиенической оценке экологическую опасность ТМ отражает процент территории с превышением ПДК в ряду  $As (100\%) > Zn (38) > Mo (20) > Pb (18) > Cr (4)$  по нормативам, принятым в Монголии, и в ряду  $As (100\%) > Zn (68) > Pb (46) > Ni (12) > Cu (3)$  относительно принятых в России.

За последние 20 лет степень загрязнения почв ( $Zc$  16 и 11) и состав приоритетных поллютантов (Pb, Zn, Cu, As, Cr, Mo) не изменились, увеличилась роль загрязнения от выбросов автотранспорта.

## Глава 5. Биогеохимические особенности г. Улан-Батора

Региональная биогеохимическая специализация относительно кларков В.В. Добровольского (1998) описывается формулами: тополь –  $\frac{As_{4,6}Sr_{3,6}Co_{3,3}Cd_{2,3}Cr_{1,2}}{Zn_{1,2}Cu_{1,7}Ni_{1,7}Mo_{3,3}Pb_{3,3}V_{3,3}}$ , лиственница –  $\frac{Sr_{2,4}As_{1,7}Cr_{1,4}}{Ni_{1,1}Cu_{1,4}Zn_{2,0}Co_{2,5}Pb_{2,5}Cd_{3,3}V_{6,0}Mo_{12,5}}$  (в числителе  $KK$ , в знаменателе  $KP$ ). Содержание большинства элементов в растениях фоновых территорий ниже, чем среднемировые значения, что может быть связано с уменьшением интенсивности их биологического поглощения в субаридных областях.

В городе происходит трансформация микроэлементного состава древесной растительности относительно фоновых значений: в листьях тополя накапливаются Zn и Cd ( $Kc > 3,0$ ), в хвое лиственницы – Mo (7,1), V (4,9). Для листьев тополя характерны ассоциации Ni–Cu–Zn и V–Pb, для хвои лиственницы – Cr–Ni–Cu–Cd, Zn–Sr и V–Pb. Состав биогеохимических ассоциаций определяется физиологией самих растений и в гораздо меньшей степени, чем в почвах, отражает связь с источниками загрязнения.

Согласно корреляционному анализу, влияние состава почв на микроэлементный состав растений незначительно и проявляется только для Cd и Mo в листьях тополя, Mo и Ni в хвое лиственницы.

На основе регрессионного анализа и карт пространственного распределения ТМ в листьях тополя установлены особенности миграции поллютантов в ландшафтах города в летний период (рис. 4; табл. 4). ТМ довольно четко разделяются по дальности переноса, что отражается в локализации биогеохимических аномалий. Происходит деконцентрация Co, Ni в промышленно-транспортных районах, как ответная реакция на повышенное поступление Zn.

*Таблица 4. Особенности миграции ТМ в условиях г. Улан-Батора в летний период*

Элементы	Особенности миграции
Pb, V	большая дальность атмосферного переноса; накопление усиливается с запада на восток
As, Cd, Co, Cr, Ni, Sr, Zn	малая дальность атмосферного переноса; накопление вблизи источников поступления
Mo	концентрация в листьях тополя зависит от состава почв и пород; накопление в подчиненных ландшафтах (долины рек)

Из-за отсутствия нормативов загрязнение растений оценивалось с помощью биогеохимических соотношений и предложенного автором коэффициента  $Z_v$ . Существенные изменения соотношений Fe/Mn и Pb/Mn в хвое лиственницы свидетельствуют об ухудшении состояния деревьев, особенно в транспортной зоне. В листьях тополя отношения меняются незначительно, деревья функционируют нормально, хотя были обнаружены фитотоксичные концентрации Zn (в 15 % проб) и недостаток Cu (16 %) и Mo (11 %).

В среднем по городу для листьев тополя  $Z_v = 13$ , для хвои лиственницы – 22,5, то есть изменения микроэлементного состава хвои лиственницы почти вдвое более существенные. Выявлены районы значительной микроэлементной трансформации  $Z_v$  в листьях тополя (рис. 2). Наиболее контрастные биогеохимическая аномалии формируются к северу от пл. Сухэ-Батора под действием транспорта, на востоке в юрточном районе Улиастай в связи с атмосферным переносом ТМ, на западе города в промышленной зоне под действием выбросов ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4. В целом, является более толерантным к загрязнению видом, чем лиственница.

За 20 лет в листьях тополя увеличилось содержание Cu, Co, Pb, в хвое лиственницы – Cu, Cr, Zn и уменьшились концентрации в листьях Zn и Cd, в хвое

– Pb и Cd. В настоящее время состояние древесной растительности удовлетворительное, критических концентраций ТМ не наблюдается, но для ряда ТМ содержание приближается к границе зоны оптимума.

## Глава 6. Эколого-геохимическая оценка и состояние ландшафтов г. Улан-Батора

Приводится итоговый анализ индикационной значимости депонирующих сред в условиях г. Улан-Батора (табл. 5) и дается оценка загрязнения функциональных зон ТМ (табл. 6).

*Таблица 5. Индикационная значимость природных сред в условиях г. Улан-Батора*

Среда	Индикационная значимость	Индикационные особенности в условиях Улан-Батора
Снежный покров	индикатор загрязнения воздуха в зимний период; фиксирует количественные и качественные различия в поступлении ТМ с выбросами ТЭЦ и индивидуальных печей	в малоснежные зимы значение снега как индикатора загрязнения снижается
Вегетационные органы древесных растений	индикатор загрязнения воздуха в летний период; химический состав хвои лиственницы отражает поступление Mo, V, Pb, Cd, As, Co и геохимическую неоднородность функциональных зон, листьев тополя – поступление Zn, Cd, Mo	высокая толерантность тополя к загрязнению
Почвенный покров	индикатор состояния ландшафтов в целом; указывает на основные источники поступления поллютантов	индикационная значимость снижается из-за легкого гранулометрического состава, щебнистости, высокой водопроницаемости почв и, как следствие, отсутствия контрастных геохимических барьеров в верхней части профиля

В ландшафтах г. Улан-Батора установлен геохимический диссонанс: при устойчивых температурных инверсиях и существенных выпадениях поллютантов из атмосферы, особенно в зимний период, в депонирующих средах формируются слабоконтрастные аномалии ТМ. Природные особенности почв, рельефа, адаптивные механизмы городских растений (табл. 2), обусловили слабую способность городских ландшафтов задерживать ТМ, что позволяет им справ-

латься с ежегодной техногенной нагрузкой.

Таблица 6. Эколого-геохимическая оценка г. Улан-Батора с помощью интегральных показателей загрязнения

Функциональная зона	Интегральные показатели загрязнения компонентов ландшафтов				
	Zc снега		Zc почв	Zv вегетативных органов	
	взвесь	вода		тополя	лиственницы
Промышленная	22	216	11	13	24
Транспортная	-	-	11	14	21
Жилая, многоэтажная	3	89	16	13	23
Жилая, частная	23	431	9	13	17
Рекреационная	-	-	7	8	-
Город в целом	14	240	11	13	22

Прим. Степень загрязнения функциональных зон уменьшается от красного к зеленому

Под влиянием техногенеза структура городской территории Улан-Батора постепенно усложняется: природные ландшафты трансформируются в ландшафтно-функциональные зоны, в которых миграция и аккумуляция поллютантов определяется размещением источников загрязнения и варьированием сорбционных свойств почв (рис. 2). Ареалы загрязнения депонирующих сред «накладываются» на ландшафтно-функциональную структуру со смещением основного очага техногенного воздействия на восток города, преимущественно в долины рр. Улиастай и Сэлбэ и верховьев р. Толы (7U, 7M, 8U).

Определены районы круглогодичной иммиссии ТМ из атмосферы города (в местах совпадения аномалий Zc снежного покрова и Zv листьев тополя) и иммиссии летнего периода (аномалии Zv в низовьях р. Сэлбэ, в центральной части промзоны). На склонах г. Богдо-Улы, которая является заповедной территорией, особенности котловинной циркуляции приводят к переносу ТМ из города и их выпадению на склонах горы, что отмечалось Касимовым с соавт. (1995).

### Результаты и выводы

1. Интенсивная техногенная эмиссия тяжелых металлов в зимний период привела к очень высокому и чрезвычайно опасному уровню загрязнения воздуха и снежного покрова г. Улан-Батора:

а) горно-котловинный рельеф, зимние антициклоны, отопление бурными углями и активное развитие районов частной застройки, в том числе юрточных, обусловили высокую степень загрязнения воздушного бассейна;

б) установлена геохимическая специализация источников загрязнения: промышленные выбросы – As, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Sb, Sn, W, Zn, выбросы автотранспорта – Cd, Cu, Pb, Zn, продукты сжигания бурых углей на промышленных установках ТЭЦ (при высоких температурах) – As, Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Th, Zn, в юрточных печах (при низких температурах) – Be, Cd, Mo, Sb, Sr, V, терригенная пыль – Be, Cr, Mn, Th, Ti, U, V, W;

в) в снежном покрове формируются высококонтрастные (в сотни и тысячи раз превышающие фоновые значения) полиэлементные аномалии As, Be, Mo, Ni, Sn, Sr, U, W в растворимой форме и среднеконтрастные (разы и десятки раз) – в нерастворимой.

*2. Для степных горно-котловинных ландшафтов Улан-Батора характерно слабое загрязнение почвенного и растительного покровов тяжелыми металлами со среднеконтрастными геохимическими аномалиями:*

а) низкая сорбционная способность почв, толерантность основных видов древесных растений к загрязнению, летние ливневые осадки и транзитные геохимические позиции рельефа способствуют самоочищению ландшафтов;

б) накопление тяжелых металлов в почвах определяется, главным образом, содержанием гумуса и физической глины, в растениях – азотным поступлением;

в) в степных ландшафтах As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn обладают низкой миграционной способностью и аккумулируются в почвенно-растительном покрове вблизи техногенных источников; Pb и V с большой дальностью атмосферного переноса накапливаются в восточной части города; Mo мигрирует преимущественно с водными потоками, накапливаясь в долинах рек.

*3. Природно-техногенный геохимический диссонанс ландшафтов Улан-Батора выражается в слабом загрязнении тяжелыми металлами почв и растений, не-*

*смотря на их высокую техногенную эмиссию и увеличение площади и контрастности аномалий в снежном покрове за последние 20 лет.*

*4. Экологический мониторинг состояния городской среды должен базироваться на эколого-геохимических принципах и ландшафтно-функциональном зонировании территории. В пределах Улан-Батора выделено 20 ландшафтно-функциональных зон, различных по исходным природным условиям и степени техногенной геохимической трансформации.*

## **ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:***

1. 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. – 2011. – №7. – С.771-784.
2. 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. – 2011. – № 4. – С.5-16.
3. **Сорокина О.И.**, Энх-Амгалан С. Свинец в ландшафтах г. Улан-Батор // Аридные экосистемы. – 2012. – №1(50). – С.81-90.
4. **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.

### ***Статьи в других журналах и сборниках***

5. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., **Сорокина О.И.**, Гунин П.Д. Геохимия техногенных ландшафтов г. Улан-Батор. Геохимия ландшафтов и география почв. К 100-летию М.А. Глазовской. / Под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. – М.: АПР. – 2012. – С.207-235.
6. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., **Sorokina O.I.**, Gunin P.D., Bazha S.N., S. Enkh-Amgalan. Environmental-Geochemical State of Soils in Ulaanbaatar (Mongolia) // Eurasian Soil Science. – 2011. – No.7(vol.44). – P.709-721.
7. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., **Sorokina O.I.**, Gunin P.D., Bazha S.N., S. Enkh-Amgalan. An ecological-geochemical assessment of the State of Woody Vegetation in Ulaanbaatar City (Mongolia) // Arid ecosystems. – 2011. – No.4(vol.1). – P.201-213.
8. Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Dorjgotov D., Baja S.N., Golovanov D.L., **Sorokina O.I.**, and Enkh-Amgalan S.. Assessment of heavy metal pollution of soils in industrial cities of Mongolia // Geography, environment, sustainability. – 2010. – No.2(vol.3). – P.51-65.
9. **Sorokina O.I.**, Enkh-Amgalan S. Lead in the landscapes of Ulaanbaatar city // Arid ecosystems. – 2012. – No1(vol.2). – P.61-67.



Подписано в печать 15.09.2013 г.  
Формат А4. Объем 1 п.л.  
Тираж 100 экз. Заказ № 153  
Типография ООО «Ай-клуб» (Печатный салон МДМ)  
119146, г. Москва, Комсомольский пр-т, д 28  
Тел. 8(495)782-88-39