

УДК 504.73.054:669.018.674

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В г. УЛАН-БАТОР (МОНГОЛИЯ)¹

© 2011 г. Н.С. Касимов*, Н.Е. Кошелева*, О.И. Сорокина*, П.Д. Гунин**,
С.Н. Бажа**, С. Энх-Амгалан***

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Географический факультет

Россия, 119991 Москва, Ленинские горы. E-mail: natalk@mail.ru

**Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН

Россия, 117312 Москва, ул. Вавилова, 41/5

***Институт географии Академии наук Монголии
Монголия, 210620 Улан-Батор, Р.О.В-361

Поступила 13.04.2011

На основе данных биогеохимической съемки дана дифференцированная по функциональным зонам оценка состояния древесной растительности г. Улан-Батора. Наиболее активно в листьях тополя накапливаются Zn и Cd, в хвое лиственницы – Mo и V. Среди факторов, контролирующих аккумуляцию микроэлементов в листьях тополя, главными являются рельеф (As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn), сектор города (V, Pb), функциональная зона (Cr, Sr) и состав почв и пород (Mo). Выделены микроэлементы с большой (Pb, V) и малой (As, Cd, Co, Cr, Ni, Sr, Zn) дальностью атмосферного переноса. Выявлена толерантность тополя к загрязнению и значительное ухудшение состояния лиственницы в условиях города.

Ключевые слова: Монголия, Улан-Батор, биогеохимия, загрязнение, городская растительность, *Populus laurifolia*, *Larix sibirica*.

В последние десятилетия с увеличением поступления поллютантов в городскую среду для индикации состояния ее компонентов стали активно использоваться биогеохимические данные. Информация о микроэлементном составе растений важна, прежде всего, для оценки их жизнеспособности и ранней диагностики стрессового состояния. Диагностика основана на выявлении биохимических изменений, предшествующих появлению морфологических признаков угнетения растений.

Общие закономерности поглощения микроэлементов (МЭ) многими видами растений в фоновых условиях достаточно хорошо изучены, выявлены особенности их биологической миграции в естественных местах обитания (Добровольский, 1998; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Башкин, Касимов, 2004; Баргальи, 2005). Однако в условиях городов эти закономерности претерпевают изменения, связанные с существенным увеличением концентраций поллютантов в сопредельных средах – воздухе и почвах, и с усилением фоллиарного поглощения. Возникает необходимость специального изучения аккумуляции МЭ растениями городов, расположенных в разных природных условиях. Содержание МЭ в растениях может быть использовано как комплексный показатель, отражающий загрязнение почвы и приземного слоя атмосферы (Плеханова, Обухов, 1992; Баргальи, 2005). Подобные исследования активно ведутся в европейских странах (Sawidis et al., 1995; Pavlović et al.,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госконтракт №. 11.519.11.5008.

2004; Migeon et al., 2009; Rucandio et al., 2010), создана и активно расширяется «ЕвроБионет» – общеевропейская сеть биомониторинга для оценки состояния воздуха в городах и агломерациях, включающая в настоящее время 13 Институтов и метеостанции в 8 странах (Klumpp et al., 2002).

В составе Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции авторами проводились исследования древесной растительности столицы Монголии – г. Улан-Батор. Сейчас в городе проживает более половины населения страны, и его численность продолжает увеличиваться. Наблюдается рост автопарка и активное развитие промышленного производства, приводящие к увеличению антропогенной нагрузки на городскую среду. Статья посвящена характеристике современного эколого-геохимического состояния древесной растительности г. Улан-Батора, испытывающего комплексное воздействие промышленных предприятий, топливной энергетики, транспорта и коммунально-бытовых выбросов. Особенностью данной работы является ориентация на дифференцированную оценку территорий с разным типом ее использования для выявления геохимической неоднородности почвенного покрова в пределах города.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- определение характеристик биогеохимического фона и техногенной трансформации древесной растительности в разных функциональных зонах города;
- выявление пространственной структуры загрязнения МЭ и комплекса ландшафтно-геохимических и техногенных факторов, обуславливающих их накопление в вегетативных органах деревьев;
- оценка современного эколого-геохимического состояния древесной растительности города.

Природные условия

Площадь города в настоящее время составляет 4704.4 км², население – 1 044 500 чел. (Нийслэл хотын ..., 2008). Улан-Батор включает территории с застройкой городского типа (многоэтажные жилые дома и здания различных учреждений, промышленных, транспортных предприятий и т.д.) и районы частной юрточной застройки, бóльшая часть которой образовалась на окраинах города после 1990 г.

Город расположен в дренируемой р. Тола Ургинской межгорной котловине, протянувшейся на 30-35 км с запада на восток и представляющей собой полузамкнутую ландшафтно-геохимическую арену с широким развитием аккумулятивных, трансаккумулятивных и трансэлювиальных ландшафтов. Уклоны поверхности в днище котловины составляют первые градусы, по направлению к горному обрамлению они возрастают до 20-25°, местами отмечаются и более крутые склоны (Геоморфология ..., 1982).

Долина р. Тола имеет ширину 5-10 км с абс. отметками уреза 1230-1240 м н.у.м. В пределах города река принимает ряд небольших притоков (Сэлбэ, Улистай и др.). Коренные породы представлены архейскими гранитами, каменноугольными метаморфическими глинистыми сланцами и неогеновыми пестроцветными глинами, часто содержащими легкорастворимые соли и гипс, пески и конгломераты. Сланцы и глины обогащены Fe, Mn, Cr, Co, Pb, Ni, Ti, а граниты, песчаные отложения и речной аллювий – обеднены ими (Батхишиг, 1999).

Ургинская котловина относится к Хангайской почвенно-биоклиматической провинции, Предхэнтэйскому округу (Ногина, 1984). Для нее характерна экспозиционная лесостепь: на неинсолируемых, относительно холодных и влажных склонах северной экспозиции распространена лесная растительность, а на южных, относительно теплых и сухих – травянистая (Экосистемы ..., 2005). Наиболее типичными ландшафтами на склонах северной

экспозиции являются лиственничные и лиственнично-сосновые леса (*Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Larix sibirica*,) на горных дерново-таежных и горных лугово-лесных почвах; на склонах южной экспозиции – полынно-разнотравно-злаковые степи (*Koeleria gracilis*, *Poa botryoides*, *Agropyrum pseudoagropyrum*, *Stipa capillata*, *Avenastrum* sp., *Potentilla* spp., *Serratula coronata*, *Artemisia frigida*, *A. spp.*) на каштановых и темно-каштановых мучнисто-карбонатных почвах, в долинах рек – ивово-тополевые сообщества (*Populus laurifolia*, *Salix viminalis*,) на аллювиальных каменисто-галечниковых почвах (Мурзаев, 1952; Ногина, 1984; Гунин и др., 2003; Экосистемы ..., 2005).

На территории города естественная растительность практически полностью уничтожена. На газонах и небольших участках в районах традиционной юрточной застройки преобладают полыни, вострец, лапчатка. Древесные насаждения состоят в основном из тополя и лиственницы. В городе существует небольшая по площади (менее 5% территории) зеленая зона, включающая парки и скверы центральной и южной частей города, спортивный комплекс и Ботанический сад на востоке. Районы многоэтажной застройки на западе Улан-Батора практически не имеют пояса зеленых насаждений, отделяющего их от промышленной зоны. Золошлакоотвалы тепловых энергетических комплексов также не имеют устойчивого растительного покрова (Касимов и др., 1995).

Источники загрязнения и функциональное зонирование г. Улан-Батора

Центр города расположен на пойме и речных террасах р. Тола, где сосредоточены крупные промышленные предприятия и многоэтажные жилые кварталы, пересекаемые автомагистралями, идущими вдоль реки. В настоящее время центр представляет собой единый промышленно-транспортно-селитебный ареал, отличающийся длительным периодом накопления поллютантов промышленного и транспортного происхождения. Так, более половины техногенных выбросов Pb составляют выхлопные газы автомобилей, работающих на этилированном бензине (Batjargal et al., 2010). Зона современной застройки расширяется на запад и юг, где ведется строительство современных жилых и офисных зданий и комплексов повышенной этажности, появляются индивидуальные коттеджи.

Многоэтажные кварталы в центральной части города окружены обширными массивами юрточной застройки, которые протягиваются вдоль притоков р. Тола и поднимаются на склоны холмов. Городская территория расширяется, главным образом, за счет разрастания юрточных районов. Источниками загрязнения в этой зоне являются автотранспорт, индивидуальное отопление в зимнее время и стихийные свалки коммунально-бытовых отходов, которые по комплексу загрязнителей не уступают промышленным.

Основная часть промышленных предприятий сосредоточена на правом берегу Толы в юго-западной части города. Топливо-энергетический комплекс является одним из главных источников загрязнения окружающей среды Улан-Батора. Он включает три действующие ТЭЦ, внутрирайонные котельные, котельные промышленных предприятий и воинских частей. Основным видом топлива являются бурые угли месторождений Бага-Нура, Налайх и Чулут, которые в десятки раз, по сравнению с кларковыми значениями, обогащены Pb, As, Mo и в разы – Cu, Sr, Cd, Ni (Кошелева и др., 2010). Максимальные выбросы приходятся на отопительный сезон, который длится в Улан-Баторе с октября по май (Гунин и др., 2003).

В промышленной зоне находятся заводы по производству щебня, бетона, цемента и других строительных материалов, металлоремонтные производства, предприятия деревообрабатывающей, текстильной, обувной, пищевой отраслей, производства монгольского табака, а также склады сельскохозяйственной продукции, шерсти и шерстяных изделий и экспортных товаров. К северу от основной промзоны, в районе юрточной застройки расположены элеватор и мясокомбинат. В результате их деятельности возможно

поступление в городскую среду Zn, Pb, Co, Ni, Cu, Mo, Sr, Hg, V, которые являются основными элементами-загрязнителями промышленного происхождения (Геохимия ..., 1990).

В западной части города находятся городские очистные сооружения, куда поступают жидкие промышленные и коммунально-бытовые отходы. Их очистка проводится методом разбавления и отстаивания, после чего стоки выводятся за пределы города (Касимов и др., 1995; Гунин и др., 2003). Вода на выходе из очистных сооружений, как правило, в десятки раз обогащена Cu, Cr, Ni, в разы – другими тяжелыми металлами (Геохимия ..., 1990).

В соответствии со спецификой источников загрязнения и функциональным назначением территорий Улан-Батора авторами выделены следующие зоны: промышленная, транспортная, многоэтажной застройки административного и жилого назначения, традиционной юрточной застройки, рекреационная (рис. 1).

Материалы и методы исследований

Древесная растительность на территории города опробовалась летом 2008 г. (рис. 1). Изучались наиболее распространенные в городе древесные растения: тополь лавролистный (*Populus laurifolia*), составляющий около 75% древесных насаждений Улан-Батора, и лиственница сибирская (*Larix sibirica*), которая встречается только на склонах северной экспозиции и иногда в центральной и восточной частях города также в виде посадок. Отбирались листья и хвоя деревьев, где наиболее высокое содержание МЭ (Лозановская и др., 1998). Всего было отобрано 103 пробы растений (21 – хвои лиственницы и 82 – листьев тополя). В качестве регионального фона использованы 2 пробы листьев и 4 пробы хвои в заповедниках Богдо-Ула (в 2-3 км к югу от города), Тэрэлж (в 20 км к востоку), в качестве урбанизированного – в рекреационной зоне города. В 61 точке вместе с растениями отбирались пробы почв.

Пробы растительного материала отбирались в фазу вегетации после цветения с деревьев примерно одинакового возраста после пятидневного сухого бездождного периода. Листья промывались под проточной водой, а затем споласкивались дистиллятом для удаления элементов, осаждающихся на поверхности листа и не участвующих в метаболизме растений (Jones, Case, 1990; Баргальи, 2005; Кошелева и др., 2005). Хвоя не отмывалась, так как воск на поверхности хвои прочно фиксирует попавшие на нее частицы и делает практически невозможным их смыв водой, для этого требуется обработка хлороформом и ультразвуком (Баргальи, 2005). После пробоподготовки образцы высушивались в течение суток при температуре 70-80°С.

В образцах сухого растительного материала определялось валовое содержание элементов I-го (As, Cd, Pb, Zn), II-го (Co, Ni, Mo, Cu, Cr) и III-го (V, Sr) классов опасности масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) во ВНИИ минерального сырья на приборах Elan-6100 («Perkin Elmer», США) и Optima-4300 («Perkin Elmer», США). На этих же приборах были определены валовые содержания МЭ в почвах.

В программном пакете Statistica 7.0 для каждой зоны были вычислены выборочные средние концентрации МЭ в сухом веществе, стандартные отклонения, коэффициенты вариации C_v и амплитуды колебаний. Значимость различий средних оценивалась по t -критерию, однородность дисперсий – с помощью F -статистики. Ассоциации МЭ с общими тенденциями к бионакоплению выделялись с помощью кластерного анализа (алгоритм Complete Linkage), при этом сходство в поведении элементов оценивалось коэффициентами корреляции.

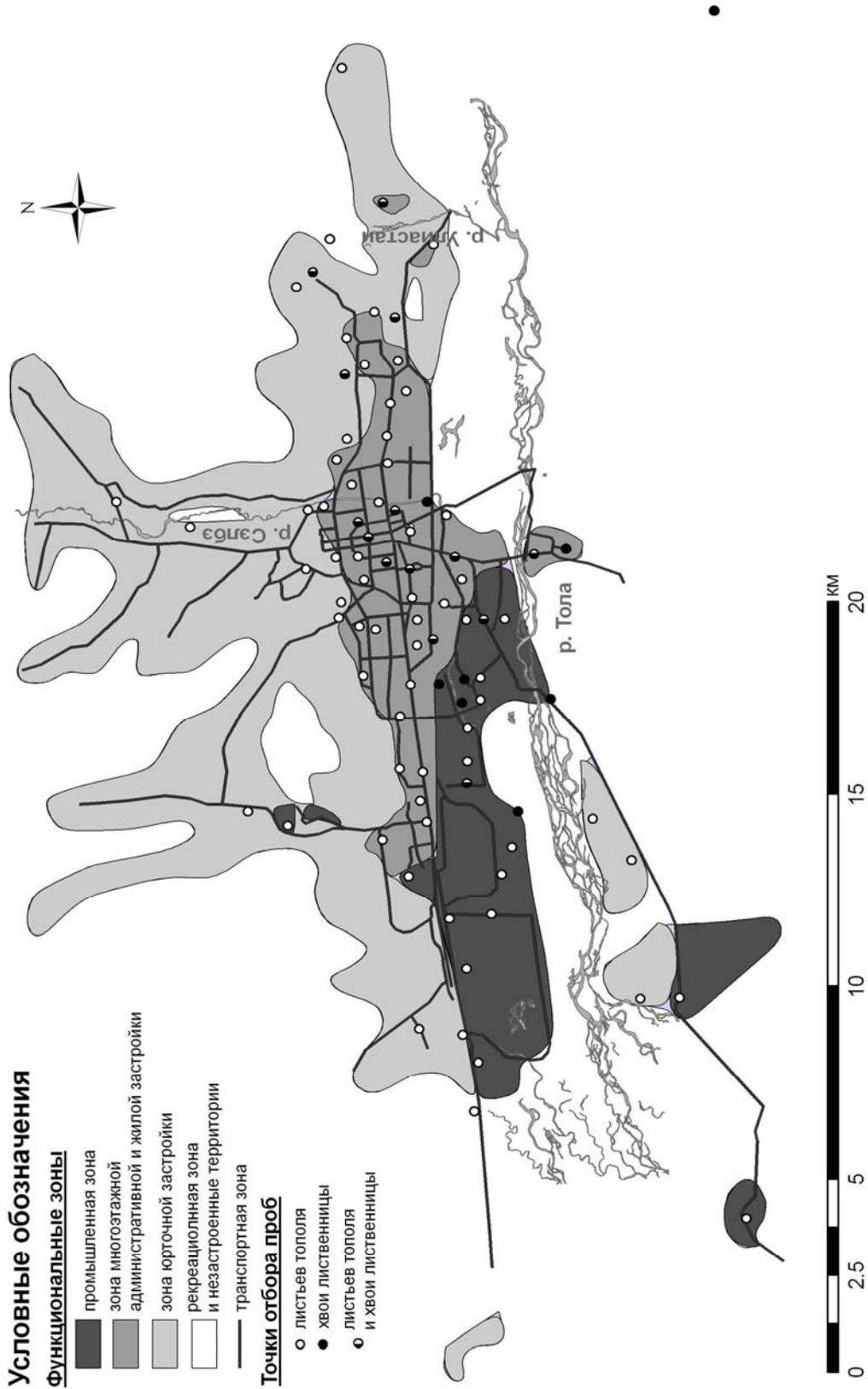


Рис. 1. Карта функциональных зон города (с указанием точек отбора проб). **Fig. 1.** The map of the functional zones of Ulaanbaatar (with the points of the sampling).

Для эколого-геохимической оценки состояния древесной растительности города авторами были применены подходы, использующиеся в современных биогеохимических исследованиях (Парибок и др., 1982; Елпатьевский, Аржанова, 1990; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Плеханова, Обухов, 1992; Новикова, 2005; Новикова, Кошелева, 2007). Состав фоновых растений сравнивался со средними концентрациями в ежегодном приросте растений суши (Добровольский, 1998) для выявления региональной биогеохимической специализации. На основе средних содержаний МЭ в растениях разных функциональных зон рассчитывались коэффициенты концентрации (Кс) и рассеяния (Кр), позволяющие оценить накопление или рассеяние химических элементов на территории города по сравнению с региональным фоном: $K_c = C_a / C_f$ и $K_r = C_f / C_a$, где C_f , C_a – концентрации элемента в фоновых и городских растениях соответственно. Специализация растений определялась формулой, в числителе которой приводятся концентрирующиеся элементы с их коэффициентами накопления, в знаменателе – деконцентрирующиеся с коэффициентами рассеяния. На основе абсолютных содержаний элементов строились ряды накопления (Авессаломова, 1987), которые дают сравнительную характеристику микроэлементного состава растений в городских ландшафтах по сравнению с природными. Экологическое состояние растений диагностировалось по отношениям Fe/Mn и Pb/Mn.

Биогеохимическое картографирование выполнено в пакете ArcGIS 9.3 методом обратно взвешенных расстояний (ОВР). Для предотвращения завышенной оценки загрязнения территории при интерполяции данных не использовались точки с экстремально высокими концентрациями МЭ, во много раз превышающими не только фоновые значения, но и средний уровень на территории города (Методические ..., 1999). На картах они показаны в виде точечных аномалий.

Обсуждение результатов

Региональная биогеохимическая специализация древесных растений. Концентрации поллютантов в листьях тополя и в хвое лиственницы в фоновых условиях довольно близки, кроме Sr и Co (табл. 1). Региональная биогеохимическая специализация древесной растительности выражается формулами: $\frac{As_{4,0}Sr_{3,6}Co_{3,3}Cd_{2,3}Cr_{1,2}}{Zn_{1,3}Cu_{1,7}Ni_{1,7}Mo_{3,3}Pb_{3,3}V_{3,3}}$ для тополя и

$\frac{Sr_{2,4}As_{1,7}Cr_{1,4}}{Ni_{1,1}Cu_{1,4}Zn_{2,0}Co_{2,5}Pb_{2,5}Cd_{3,3}V_{5,0}Mo_{12,5}}$ для лиственницы. Содержание большинства элементов в растениях фоновых территорий ниже, чем среднемировые значения. Возможно, это связано с уменьшением интенсивности биологического поглощения элементов в аридных областях, а также с преобладанием при расчете мировых кларков данных по растениям гумидных ландшафтов, где интенсивность поглощения элементов выше (Касимов и др., 1989).

Пространственное распределение МЭ в листьях тополя. По данным о содержании изучаемых элементов в листьях тополя была построена серия биогеохимических карт (рис. 2). Их анализ показал, что для листьев тополя определяющую роль в накоплении поллютантов играют атмосферные выпадения. Ряд МЭ накапливается вблизи источников их поступления в атмосферу (Gzarnowska, 1974; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Sawidis et al., 1995; Добровольский, 1998). В Улан-Баторе к таким элементам относятся As и Cd, концентрации которых максимальны в промышленной зоне, Zn и Cu – в промышленных и транспортных районах, Sr – в северо-западной части города.

Накопление Pb и V происходит в растениях восточной части города в связи с большей дальностью переноса этих МЭ и с преобладанием западных ветров. Преимущественно аэрогенное поступление Pb и V в растения под влиянием выбросов автотранспорта отмечается в работах А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (1989), В.А. Алексеенко (1990),

Таблица 1. Параметры распределения микроэлементов (мг/кг сух. вещества) в древесных растениях г.Улан-Батора и фоновых территорий.
Table 1. Statistical parameters for the microelement contents (mg/kg dw) in the trees of Ulaanbaatar and the background territories.

Показатели	Элементы										
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Pb	V	Sr
Листья тополя, фоновые территории (n=2)											
Среднее ± ошибка среднего	2.2±0.1	1.7±0.4	1.25±0.2	5.1±0.3	22.5±4.5	0.48±0.02	0.16±0.01	0.08±0.01	0.37±0.02	0.5±0.5	125.0±83.5
Min-max	2.1-2.3	1.3-2.0	1.1-1.4	4.8-5.4	18.0-27.0	0.46-0.49	0.15-0.17	0.07-0.08	0.35-0.39	0.0-0.1	110.0-140.0
CV, %	6.4	29.7	16.8	8.2	28.3	4.2	6.3	12.5	8.1	141.4	17.0
Листья тополя, город (n=82)											
Среднее ± ошибка среднего	1.2±0.1	0.69±0.05	1.14±0.06	6.6±0.2	70.7±4.5	0.29±0.02	0.44±0.03	0.25±0.02	0.78±0.05	0.17±0.04	172.2±5.0
Min-max	0.0-7.5	0.18-3.20	0.48-4.20	2.7-13.0	18.0-270.0	0.98	1.50	0.07-0.79	0.19-2.60	0.0-1.70	75.0-280.0
CV, %	97.5	60.9	46.5	27.8	57.5	60.3	61.1	57.5	62.9	230.5	26.5
Хвоя лиственницы, фоновые территории (n=4)											
Среднее ± ошибка среднего	2.5±0.1	0.22±0.02	1.9±0.5	5.6±0.1	15.0±0.7	0.20±0.02	0.04±0.01	0.01±0.0	0.52±0.04	0.33±0.22	83.5±5.6
Min-max	2.2-2.7	0.20-0.28	1.1-3.0	5.4-6.0	14.0-17.0	0.14-0.23	0.03-0.06	0.01-0.01	0.41-0.57	0.0-0.95	76.0-100.0
CV, %	9.4	17.4	48.0	4.8	9.4	20.4	25.7	17.7	14.2	136.0	13.4
Хвоя лиственницы, город (n=21)											
Среднее ± ошибка среднего	2.8±0.3	0.52±0.09	1.7±0.2	8.0±1.2	29.1±3.8	0.71±0.07	0.30±0.03	0.03±0.0	2.3±0.3	1.6±0.2	119.4±6.9
Min-max	1.2-5.9	0.23-2.00	0.9-5.6	3.8-26.0	11.0-85.0	0.08-1.30	0.05-0.63	0.01-0.12	0.4-5.4	0.0-3.7	76.0-190.0
CV, %	40.6	77.8	60.8	65.5	59.5	45.1	42.4	71.0	47.7	54.3	26.5

И.О. Плехановой А.И. Обухова (1992), Т. Sawidis и др. (1995), В.В. Добровольского (1998), М.И. Rucandio и др. (2010).

Содержание Мо возрастает в долинах рек, что связано с особенностями миграции МЭ в степных ландшафтах (Касимов, 1988; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Количество Со и Ni в листьях тополя уменьшается в промышленно-транспортных районах из-за их антагонизма с Zn (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Тэмп, 1991).

Трансформация микроэлементного состава древесных растений в городской среде. Для оценки изменений микроэлементного состава хвои лиственницы и отмытых листьев тополя были рассчитаны коэффициенты Кс и Кр (рис. 3). Накопление и недостаток отдельных МЭ в городской растительности по сравнению с региональным фоном характеризуют формулы: $\frac{Zn_{3,1}Cd_{3,1}Mo_{2,8}Pb_{2,1}Sr_{1,4}Cu_{1,3}}{Ni_{1,1}As_{1,7}Cr_{1,9}Co_{2,4}V_{2,8}}$ для тополя и $\frac{Mo_{1,7}V_{4,9}Pb_{2,8}Cd_{3,9}As_{3,6}Co_{2,4}Zn_{1,9}Cu_{1,4}Sr_{1,4}Cr_{1,1}}{Ni_{1,1}}$ для лиственницы.

У обоих видов отмечены околофоновые содержания Sr, Cu, Ni, у лиственницы также Cr; деконцентрация Cr (Кр=2.0), Со (2.5), V (3.0) наблюдалась только в листьях тополя.

Сравнение полученных формул для фоновых и городских условий позволило выявить биогеохимическую специализацию древесных растений региона. У тополя к элементам, содержание которых повсеместно превышает их среднюю концентрацию в ежегодном приросте фитомассы (Добровольский, 1998), относятся Cd, Sr и As, у лиственницы – Sr, As и Cr. При этом бионакопление As обусловлено их повышенным содержанием в почвах (Касимов и др., 2011), Sr, Cd и Cr – видовой избирательностью поглощения.

Анализ уровней содержания МЭ в различных функциональных зонах города по сравнению с фоном показал, что в листьях тополя во всех зонах содержание Cd увеличивается, а Со – уменьшается на порядок (табл. 2). Снижается содержание Cr в рекреационной и юрточной зонах, As и V – во всех зонах города, причем в промышленной зоне концентрации V падают в десятки раз, а в рекреационной зоне оказываются ниже пределов обнаружения. Вероятно, деконцентрация этих МЭ обусловлена биохимическими процессами, происходящими в растениях при техногенном воздействии. Содержание Sr, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo варьирует в пределах одного порядка.

В хвое лиственницы на порядок увеличиваются концентрации Sr, Mo, Pb во всех функциональных зонах, Cd – только в промышленной зоне, V – во всех, кроме промышленной. Содержание остальных МЭ изменяется в пределах одного порядка, снижения концентраций не наблюдается. При этом для лиственницы характерны более контрастные различия в микроэлементном составе хвои между функциональными зонами, что делает ее чувствительным индикатором загрязнения окружающей среды города.

Таким образом, антропогенное воздействие в городе проявляется как в аккумуляции, так и в деконцентрации МЭ в вегетативных органах древесных растений. Интенсивность биоаккумуляции зависит от видовой избирательности растений и от степени токсичности МЭ (Sawidis et al., 1995). Для обоих видов характерно устойчивое накопление Zn, Cd, Pb и Mo, недостаток V, Со, Cr выявлен только у тополя. Схожие тенденции видовой избирательности отмечены и для растений (в том числе для тополей и лиственниц) в других городах – Москве, Санкт-Петербурге, Кито, Тессалоники (Sawids et al., 1995; Кошелева и др., 2005; Уфимцева, Терехина, 2005; Новикова, Кошелева, 2007).

Биогеохимические ассоциации микроэлементов. Отличительной чертой ассоциаций МЭ в растениях является полиэлементность в условиях высокой антропогенной нагрузки. Геохимические ассоциации в растениях в гораздо меньшей степени, чем в почвах, отражают специфику расположенных поблизости антропогенных источников (Геохимия ..., 1990; Касимов и др., 1995; Методические ..., 1982; Маркова, 2003), что является следствием избирательного поглощения элементов растением.

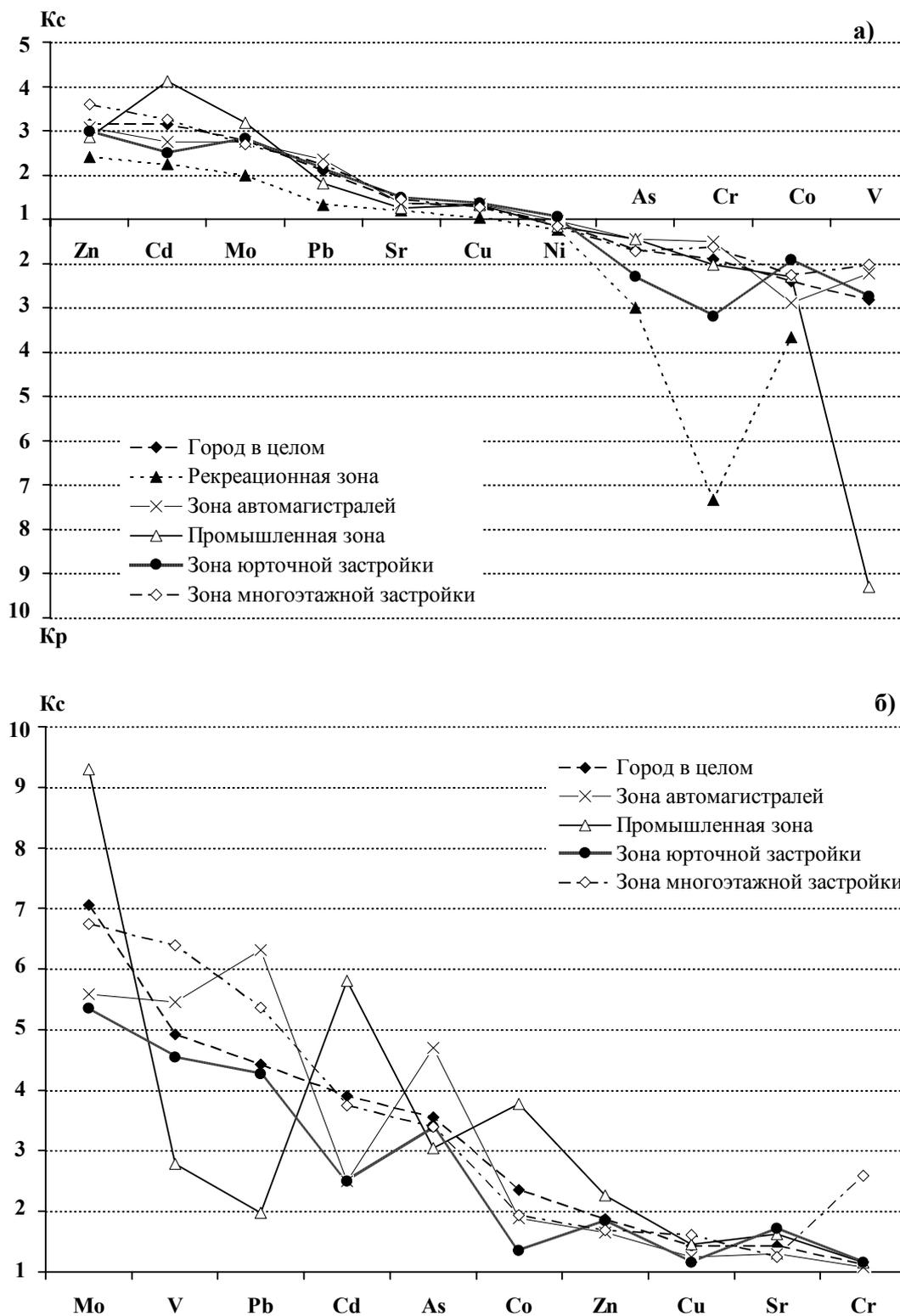


Рис. 3. Биогеохимическая специализация разных функциональных зон г. Улан-Батора; в скобках даны элементы, содержание которых превышает фоновое в 2 и более раза: а) в листьях тополя, б) в хвое лиственницы. **Fig. 3.** Biogeochemical specialization of different functional zones of the city of Ulaanbaatar; in the brackets there are the elements that in 2 or more times higher than the natural background concentrations: а) in leaves of poplar trees, б) in needles of larch.

Таблица 2. Ряды накопления элементов в листьях тополя и хвое лиственницы фоновых территорий и функциональных зон г. Улан-Батора. **Table 2.** Accumulation ranges for the poplar leaves and larch needles of the background territories and different functional zones of the city of Ulaanbaatar.

Территория (число проб тополя)		Тополь				
		n*100	n*10	n	n*10 ⁻¹	n*10 ⁻²
Фоновые территории (2)		Sr	Zn	Cu>Cr>Co>Ni	As>V>Pb>Mo	Cd
Функциональные зоны города	Рекреационная (5)	Sr	Zn	Cu>Ni	Pb>Co>Mo>Cr> Cd >As	-
	Юрточной застройки (12)	Sr	Zn	Cu>Ni	Co>Pb>Cr>Mo>As> Cd >V	-
	Многоэтажной застройки (27)	Sr	Zn	Cu>Cr>Ni	Pb>Co>Mo>As> Cd >V	-
	Влияния крупных автомагистралей (20)	Sr	Zn	Cu>Cr>Ni	Pb>Co>Mo>As> Cd >V	-
	Промышленная (18)	Sr	Zn	Cu>Cr>Ni	Co>Pb>Mo>As> Cd	V
Городские, в целом (82)		Sr	Zn	Cu>Cr>Ni	Pb>Co>Mo>As> Cd >V	-
Территория (число проб лиственницы)		Лиственница				
		n*100	n*10	n	n*10 ⁻¹	n*10 ⁻²
Фоновые территории (4)		-	Sr>Zn	Cu>Cr>Ni	Pb>V>Co>As	Mo>Cd
Функциональные зоны города	Рекреационная (0)	—	—	—	—	—
	Юрточной застройки (3)	Sr	Zn	Cu>Cr> Pb >V>Ni	As>Co> Mo	Cd
	Многоэтажной застройки (8)	Sr	Zn	Cu>Cr> Pb >Ni>V	As>Co> Mo	Cd
	Влияния крупных автомагистралей (4)	Sr	Zn	Cu> Pb >Cr>V>Ni	As>Co> Mo	Cd
	Промышленная (6)	Sr	Zn	Cu>Cr>Ni> Pb	V>Co>As> Mo >Cd	-
Городские, в целом (21)		Sr	Zn	Cu>Cr> Pb >Ni>V	As>Co> Mo	Cd

Примечание. Жирным шрифтом выделены элементы, содержание которых во всех функциональных зонах города увеличивается на порядок. **Note.** The elements which content increased by an order in all the functional zones are distinguished by the bold type.

Для листьев тополя характерны ассоциации Ni–Cu–Zn и V–Pb. Механизм поглощения Zn и Cu, вероятно, один и тот же, и каждый из них может вследствие взаимной конкуренции ингибировать поглощение другого (Graham, 1981; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Алексеева-Попова, 1991; Новикова и др., 2004). В лиственнице ассоциируются Cr–Ni–Cu–Cd,

Zn–Sr и V–Pb. Связь между элементами первой ассоциации можно объяснить вторичным эффектом повреждения мембран, вызванным несбалансированным поглощением этих элементов. Ассоциация Zn–Sr, возможно, связана с видовой избирательностью поглощения, а V–Pb – с поглощением преимущественно из атмосферных выпадений (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Тэмп, 1991).

Факторы, определяющие содержание МЭ в древесной растительности. Были проанализированы корреляционные связи между содержанием МЭ в вегетативных органах древесных растений и их содержанием в поверхностных горизонтах почв. Влияние состава почв на листья тополя незначительно: только для Mo и Cd наблюдается значимая зависимость от их содержания в почвах ($r=0.35$ и 0.41 соответственно). В хвое лиственницы выявлена прямая зависимость содержания Ni от содержания в почве (0.84) и обратная – для Mo (-0.80), что согласуется с результатами других исследований хвойных пород (Alriksson, Eriksson, 2001), в которых корреляций практически не выявлено. Таким образом, хотя состав поверхностных горизонтов почв оказывает существенное влияние на химический состав пыли, оседающей на листовых пластинках и хвое, он практически не сказывается на микроэлементном составе изучаемых органов деревьев. При значительной доле участия атмосферных аэрозолей в загрязнении растений и возрастании роли фолиарного поглощения в условиях города (Махонько, 1989; Фролов, 1990; Alriksson, Eriksson, 2001; Баргалы, 2005) такую слабую корреляцию можно объяснить тем, что пыль переносится на значительные расстояния и оседает на растения в других районах города.

Значительный объем данных по листьям тополя позволил провести, помимо корреляционного, многофакторный регрессионный анализ. Варьирование концентраций МЭ в листьях оценивалось в зависимости от следующего комплекса факторов и условий: 1) абсолютной высоты, характеризующей положение точки опробования в рельефе, м; 2) почвообразующих пород (аллювий, сланцы, глины); 3) сектора города (западный, центральный, восточный), характеризующего особенности воздушного переноса МЭ в пределах города; 4) функциональной зоны, определяющей вид использования городской территории. Результаты регрессионного анализа показали, что различия в содержании МЭ определяются разнообразными по количеству и составу группами факторов (табл. 3). Степень влияния факторов характеризуется рангами, показывающими уменьшение их значимости от 1 до 3.

Наиболее значимым фактором для большинства элементов (As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn) является абсолютная высота, или положение в рельефе, характеризующее геохимический ландшафт и размещение источников загрязнения. Этот фактор проявляется на различных уровнях значимости для всех МЭ, кроме Pb. Линейной зависимости концентрации элементов от высоты не прослеживается, но, как правило, количество As, Cd, Cr в листьях тополя выше в долине реки, а Co, Cu, Ni, Zn – на склонах. Фактор «сектор города», определяющий влияние воздушного переноса на концентрацию МЭ в листьях тополя, оказался первостепенным для V и Pb. Летом в Улан-Баторе преобладают ветры западных румбов, и концентрации V и Pb в восточной части города в 2-4 раза превышают таковые в других секторах, что говорит о высокой дальности переноса этих элементов, отмеченной ранее Ю.Е. Саефом (Геохимия ..., 1990).

Дифференцирующее влияние функциональной зоны оказалось наиболее значимым для Cr и Sr. Содержание Cr в зонах многоэтажной застройки и транспортной вдвое выше, чем в других. Содержание Sr в 1.5 раза выше в жилой зоне как с юрточной, так и с многоэтажной застройкой. Влияние почвообразующих пород проявляется только для Mo, концентрации которого в аллювии в 2-3 раза больше, чем в других породах. Это объясняется накоплением Mo в подчиненных ландшафтах степной зоны (Касимов, 1988; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Таблица 3. Значимость природных и антропогенных факторов в вариабельности концентраций микроэлементов в древесных растениях г. Улан-Батора. **Table 3.** The significance of the natural and anthropogenic factors in the variability of the microelement concentrations in the poplar leaves in the city of Ulaanbaatar.

Факторы	Элементы										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Абс. высота (положение в рельефе)	1	1	1	2	1	2	1	3	2	2	1
Почвообразующие породы	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Сектор города	3	-	3	-	2	-	-	1	2	1	2
Функциональная зона	2	2	2	1	-	3	2	2	1	3	3

На рисунке 4 представлены результаты регрессионного анализа для Cd и Pb. Для Cd наиболее значимым фактором является абсолютная высота, вторым по значимости – функциональная зона. В долине реки, где количество источников Cd больше, его концентрации в листьях тополя вдвое выше, чем на склонах, что свидетельствует об относительно слабой воздушной миграции этого элемента. В долине р. Тола наибольшие концентрации Cd характерны для промышленной зоны, в жилой зоне (многоэтажной и юрточной застройки) концентрации поллютантов несколько меньше, а в транспортной и рекреационной зонах – минимальны. На склонах более загрязненными оказываются массивы многоэтажной застройки и рекреационная зона, активно используемая населением. Промышленные объекты, представленные единичными предприятиями и складами, характеризуются меньшим загрязнением.

Для Pb, как уже отмечалось выше, наиболее значимым фактором его бионакопления является сектор города. В восточной части Улан-Батора концентрации этого МЭ в листьях тополя превышают таковые в других частях города в 2-3 раза. Принадлежность к функциональной зоне является вторым по значимости фактором. В районах многоэтажной застройки и в зоне автомагистралей с высокой интенсивностью движения автотранспорта концентрации Pb в 1.5 раза выше.

В целом, по результатам многофакторного регрессионного анализа в листьях тополя можно выделить три группы МЭ:

- с большой дальностью атмосферного переноса (Pb, V, накопление которых усиливается с запада на восток города в соответствии с преобладающим направлением ветров),
- с малой дальностью переноса (As, Cd, Co, Cr, Ni, Sr, Zn, для которых наиболее значим фактор функциональной зоны, определяющий наличие и интенсивность источников загрязнения),
- со значительным влиянием состава почв и пород (Mo).

Оценка состояния древесной растительности Улан-Батора. Состояние городских растений оценивалось по величине отношений Fe/Mn и Pb/Mn в листьях и хвое. Отношение Fe/Mn является одним из наиболее информативных показателей процессов фотосинтеза, а Pb/Mn характеризует отношение техногенных и биофильных элементов (Парибок и др., 1982; Елпатьевский, Аржанова, 1990; Новикова, 2005; Новикова, Кошелева, 2007). На фоновых территориях Fe/Mn выше среднемирового значения в 3.5 раза у лиственницы и в 5 раз у тополя, что может быть связано с региональными особенностями процессов поглощения элементов.

В городской среде в хвое лиственницы отношение Fe/Mn в среднем возрастает еще в 3 раза, а в зоне автомагистралей – в 4 раза. Отношение Pb/Mn увеличивается почти в 10 раз. Наибольший техногенный пресс растения испытывают в зоне автомагистралей, где

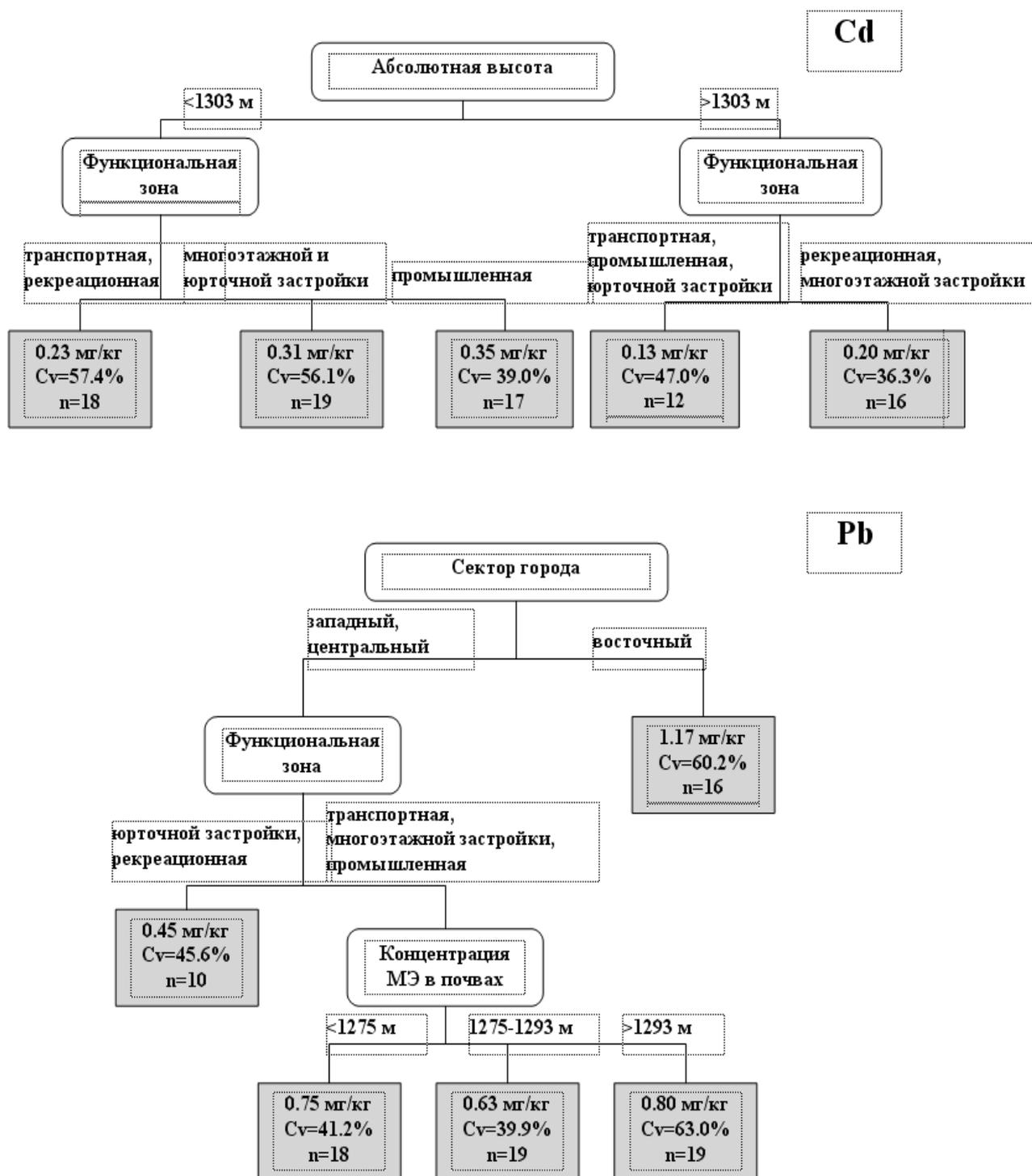


Рис. 4. Результаты регрессионного анализа содержания Cd и Pb в листьях деревьев тополя г. Улан-Батора. В фигурах без заливки даны факторы дифференциации, на соединительных линиях указаны градации факторов. В фигурах с серой заливкой даны: среднее содержание элемента в листьях тополя при данном сочетании факторов; коэффициент вариации Cv; количество точек n. **Fig. 4.** Result of the regression analysis of the contents Cd and Pb in leaves of poplar trees in the town Ulaanbaatar. The factors of the differentiation are given in the unshaded figures. The figures with gray shading present the following: the mean content of the elements concentration in the poplar leaves under particular combinations of factors; variation coefficient (Cv); number of points (n).

отношение Pb/Mn в хвое превышает фоновое в 18 раз. Изменение отношений Fe/Mn и Pb/Mn в хвое с ростом антропогенной нагрузки свидетельствует о нарушении сбалансированности в микроэлементном обеспечении процессов метаболизма лиственницы и ухудшении ее жизнеспособности в городских ландшафтах.

Для листьев тополя отношение Fe/Mn практически не меняется, что говорит о нормальном протекании процессов фотосинтеза. Отношение Pb/Mn увеличивается по сравнению с фоном в 3 раза, а в зоне автомагистралей – в 4.5 раза. Незначительные по сравнению с фоном изменения отношений элементов в листьях тополя свидетельствуют о том, что городские растения развивают специальные адаптивные механизмы и формируют стратегии выживания, позволяющие им существовать в условиях повышенного запыления и загрязнения (Pavlović et al., 2004).

Фитотоксичность уровня содержания МЭ в листьях тополя оценивалась путем сравнения с известными диапазонами дефицитных, нормальных и токсичных концентраций МЭ в зрелых тканях листьев, установленными по обобщенным данным для многих видов в листьях растений² (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Выявлено избыточное содержание Zn в 15% опробованных растений. Для других элементов избыточные концентрации, при которых происходит нарушение биологических функций, на территории города в настоящее время почти не наблюдаются, но для некоторых из них содержание подходит к верхней границе зоны оптимума. Обнаружен недостаток таких важных МЭ как Cu (в 16% проб) и Mo (11%), катализирующих процессы окисления-восстановления в клетках растений (Алексеев, 1990; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Аналогичные результаты получены для древесных растений в зоне влияния ТЭЦ в Сербии, где установлен низкий общий уровень загрязнения и дефицит ряда важных МЭ, таких как Cu и Mn (Pavlović et al., 2004).

Следовательно, в условиях города тополь (*Populus laurifolia*) является видом, более толерантным к антропогенному воздействию. Это связано с тем, что среди древесных и кустарниковых видов растений, произрастающих в условиях загрязнения, тополя (род *Populus*) являются одними из лучших биоконцентраторов, способных к нормальному функционированию даже в условиях высоких концентраций поллютантов (Sawidis et al., 1995; Migeon et al., 2009; Wang, Jia, 2010). Хвоя лиственницы (*Larix sibirica*) оказалась более чувствительной к загрязнению. Частично это связано с прочной фиксацией пылевых частиц на поверхности хвои. Однако островное распространение лиственницы в Улан-Баторе затрудняет ее использование в качестве биоиндикатора.

Выводы

Региональная геохимическая специализация древесных растений в окрестностях г. Улан-Батора проявляется в обогащении (в 3 и более раз) листьев тополя As, Sr, Co, хвои лиственницы – Sr, As, Cr и в обеднении листьев тополя V, Pb, Mo, хвои лиственницы – Mo, V, Cd. В условиях города происходит трансформация микроэлементного состава древесной растительности относительно региональных фоновых значений. Наиболее активно ($K_c > 3.0$) в листьях тополя накапливаются Zn и Cd, в хвое лиственницы – Mo, V.

В накоплении поллютантов в листьях тополя важную роль играет атмосферный перенос. Концентрации Cr, Zn, Cu, As, Cd максимальны вблизи источников их поступления в атмосферу, в то время как Pb и V, обладающие большей дальностью переноса, накапливаются в восточной части города под действием западных ветров. В деревьях, произрастающих в долине реки, накапливается Mo. В промышленно-транспортных районах происходит деконцентрация Co, Ni.

² Значения для очень чувствительных и очень толерантных видов не учитывались.

В листьях тополя выделены ассоциации Ni–Cu–Zn и V–Pb, в хвое лиственницы Cr–Ni–Cu–Cd, Zn–Sr и V–Pb. Состав биогеохимических ассоциаций определяется преимущественно особенностями физиологии самих растений и в гораздо меньшей степени, чем в почвах, отражает связь с антропогенными источниками.

Влияние микроэлементного состава почв на древесные растения незначительно и проявляется только у Cd и Mo для листьев тополя и Mo и Ni для хвои лиственницы. Среди факторов накопления МЭ в листьях тополя ведущая роль принадлежит рельефу (As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn), сектору города (V, Pb), функциональным зонам (Cr, Sr) и составу почв (Mo). По результатам регрессионного анализа МЭ довольно четко разделяются на элементы с большой (Pb, V) и малой (As, Cd, Co, Cr, Ni, Sr, Zn) дальностью атмосферного переноса, а также со значительным влиянием состава почв и пород (Mo).

Существенные изменения отношений Fe/Mn и Pb/Mn в хвое лиственницы свидетельствуют об ухудшении состояния деревьев с ростом антропогенной нагрузки, особенно в зоне автомагистралей. В листьях тополя отношения меняются незначительно, и в городских условиях деревья функционируют нормально. В листьях тополя выявлены фитотоксичные концентрации Zn (в 15% проб) и недостаток Cu (16%) и Mo (11%). В условиях города тополь (*Populus laurifolia*) является более толерантным видом, а лиственница (*Larix sibirica*) более чувствительна к загрязнению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авессаломова И.А. 1987. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. М.: Издательство МГУ. 108 с.
- Алексеева-Попова Н.В. 1991. Токсичность цинка для высших растений // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Ленуприздат. С. 23-32.
- Алексеев В.А. 1990. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра. 142 с.
- Баргальи Р. 2005. Биогеохимия наземных растений. М.: ГЕОС. 457 с.
- Батхшиг О. 1999. Почвенно-геохимические особенности долины р. Туул. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Улаанбаатар: Институт геоэкологии АН Монголии. 23 с.
- Башкин В.Н., Касимов Н.С. 2004. Биогеохимия. М.: Научный мир. 648 с.
- Геоморфология Монгольской Народной Республики. 1982. М.: Наука. 259 с.
- Геохимия окружающей среды. 1990. М.: Недра. 335 с.
- Гунин П.Д., Евдокимова А.К., Бажа С.Н., Сандарь М. 2003. Социальные и экологические проблемы монгольского этноса в условиях урбанизированных территорий. М.: РАСХН. С. 61-95.
- Добровольский В.В. 1998. Основы биогеохимии: Учебное пособие для географических, биологических, геологических, сельскохозяйственных специальных вузов. М.: Высшая школа. 413 с.
- Елпатьевский П.В., Аржанова В.С. 1990. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука. 196 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 439 с.
- Касимов Н.С. 1988. Геохимии степных и пустынных ландшафтов. М.: Издательство МГУ. 254 с.
- Касимов Н.С., Евдокимова А.К., Ротшильд Е.В., Уртнасан Ж. 1989. Биогеохимическая специализация растений Центральной Монголии // География и природные ресурсы. № 2. С. 112-119.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Энх-Амалган С. 2011. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // Почвоведение. № 7. С. 771-784.
- Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Евдокимова А.К., Голованов Д.Л., Пиковский Ю.И. 1995. Улан-Батор, Монголия (теплоэнергетика). Межгорная котловина // Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Касимова Н.С. М.: Издательство МГУ. С. 231-248.
- Кошелева Н.Е., Макарова М.Г., Новикова О.В. 2005. Тяжелые металлы в листьях древесных пород городских ландшафтов // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 3. С. 74-81.
- Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Голованов Д.Л., Ямнова И.А., Энхамгалан С. 2010. Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии // Вестник

- МГУ. Сер. 5. География. № 3. С. 20-27.
- Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. 1998. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа. 287 с.
- Маркова Ю.Л. 2003. Оценка воздействия промышленности и транспорта на экосистему национального парка «Лосиный остров». Автореф. дис...канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ. 28 с.
- Махонько К.П. 1989. Аэрозольное и корневое загрязнение растительности Ni в окрестностях действующего предприятия // Труды V Всесоюзного совещания по исследованию миграции загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоздат. С. 207-212.
- Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. 1982. М.: ИМГРЭ. 112 с.
- Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / Составители: В.А. Большаков, Ю.Н. Водяницкий, Т.И. Борисочкина, З.Н. Кахнович, В.В. Мясников. 1999. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 32 с.
- Мурзаев Э.М. 1952. Монгольская Народная Республика: Физико-географическое описание. М.: Географгиз. 472 с.
- Нийслэл хотын эдийн засаг, нийгмийн байдал. 2008. Албан есны статистикийн мэдээллээр бэлтгэсэн 2008 оны 5-р сарын танилцуулга // Статистикийн газар. Улаанбаатар. 23 с. (Статистический бюллетень Управления статистики г. Улан-Батора за май 2008 г.)
- Новикова О.В. 2005. Эколого-геохимическая оценка состояния древесной растительности городских ландшафтов (на примере гг. Москвы и Кито). Дис. ... канд. геогр. наук. Москва: РУДН. 164 с.
- Новикова О.В., Кошелева Н.Е. 2007. Эколого-геохимическая оценка состояния древесной растительности г. Кито (Эквадор) // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 6. С. 43-48.
- Новикова О.В., Макарова М.Г., Кошелева Н.Е. 2004. Ассоциации микроэлементов в древесной растительности гг. Москвы и Кито // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. № 1 (10). С. 178-186.
- Ногина Н.А. 1984. Почвенный покров и почвы Монголии. М.: Наука. 192 с.
- Парибок Т.А., Созыкина Н.А., Тэмп Г.А. 1982. Содержание металлов в листьях деревьев в городе // Ботанический журнал. Т. 67. № 11. С. 1533-1539.
- Плеханова И.О., Обухов А.И. 1992. Цинк и кадмий в почвах и растениях городской среды // Цинк и кадмий в городской среде. М.: Наука. С. 144-159.
- Тэмп Г.А. 1991. Никель в растениях в связи с его токсичностью // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Ленуприздат. С. 139-146.
- Уфимцева Н.Д., Терехина Н.В. 2005. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука. 339 с.
- Фролов А.К. 1990. Растения и экология города // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития. Киев: Наукова думка. С. 151-153.
- Экосистемы бассейна Селенги. 2005. Биологические ресурсы и природные условия Монголии // Труды совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции. Т. 44. М.: Наука. 395 с.
- Alriksson A., Eriksson H.M. 2001. Distribution of Cd, Cu, Pb and Zn in Soil and Vegetation Compartments in Stands of Five Boreal Tree Species in N.E. Sweden // Water, Air & Soil Pollution: Focus. Vol. 1. № 3-4. P. 461-475.
- Batjargal T., Otgonjargal E., Baek K., Yang J.-S. 2010. Assessment of Metals Contamination of Soils in Ulaanbaatar, Mongolia // Journal of Hazardous Materials. Vol. 184. P. 872-876.
- Jones J.B.Jr., Case V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing Plant tissue samples // Soil testing and plant analysis, 3rd ed. SSSA book series. Madison. Wisconsin. № 3. P. 389-427.
- Graham R.D. 1981. Absorption of copper by plant roots // Copper in Soils and Plants / Eds. Loneragan J.F., Robson A.D., Graham R.D. New York: Academic Press. 141 p.
- Gzarnowska K. 1974. The accumulation of heavy metals in soils and plants in Warsaw area // Pol. J. Soil Sci. № 7. 117 p.
- Klumpp A., Ansel W., Klumpp G., Beluzzo N., Calatayud V., Chaplin N., Garrec J.R., Gutsche H.-J., Hayes M., Hentze H.-W., Kambezidis H., Laurent O., Peñuelas J., Rasmussen S., Ribas A., Ro-Poulsen H., Rossi S., Sanz M.J., Shang H., Sifakis N. and Vergne P. 2002. EuroBionet: a Pan-European

- biomonitoring network for urban air quality assessment // Environmental science and pollution research. Vol. 9. № 3. P. 199-203.
- Migeon A., Richaud P., Guinet F., Chalot M., Blaudez D. 2009. Metal accumulation by woody species on contaminated sites in the North of France // Water, Air & Soil Pollution. Vol. 204. № 1-4. P. 89-101.
- Pavlović P., Mitrović M., Djurdjević L. 2004. An ecophysiological study of plants growing on the fly ash deposits from the “Nikola Tesla–A” thermal power station in Serbia // Environmental Management. Vol. 33. № 5. P. 654-663.
- Rucandio M.I., Petit-Domínguez M.D., Fidalgo-Hijano C., García-Giménez R. 2010. Biomonitoring of chemical elements in an urban environment using arboreal and bush plant species // Environmental science and pollution research. Vol. 18. № 1. P. 51-63.
- Sawidis T., Marnasidis A., Zachariadis G., Stratis J. 1995. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators // Environmental contamination and toxicology. Vol. 28. № 1. P. 118-124.
- Wang X. , Jia Y. 2010. Study on adsorption and remediation of heavy metals by poplar and larch in contaminated soil // Environmental science and pollution research. Vol. 17. № 7. P. 1331-1338.

ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF WOODY VEGETATION CONDITION IN ULAANBAATAR CITY (MONGOLIA)

© 2011. N.S. Kasimov*, N.E. Kosheleva*, O.I. Sorokina*, P.D. Gunin**, S.N. Bazha**,
S. Enkh-Amgalan***

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

Russia, 119991 Moscow, Leninskie Gory. E-mail: natalk@mail.ru

**Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences

Russia, 117312 Moscow, ul. Vavilova, 41/5

***Institute of Geography, Mongolian Academy of Sciences

Mongolia, 210620 Ulaanbaatar, P.O.B. 361

Based on the results of the biogeochemical survey, the assessment of the woody vegetation state in the functional zones of Ulaanbaatar was given. The strong accumulation is detected for Zn and Cd in the poplar leaves, for Mo and V in the larch needles. Among the factors responsible for the accumulation of microelements in poplar leaves, the basic ones are the altitude (for As, Cd, Co, Cu, Ni, Zn), the city sector (V, Pb), functional zone (Cr, Sr) and the composition of soil and rock (Mo). The elements with high- (Pb, V) and low-range (As, Cd, Co, Cr, Ni, Sr, Zn) of atmospheric transfer are revealed. The poplar-trees are tolerant to pollution while larch-trees have a significant deterioration in vital functions.

Key words: Mongolia, Ulaanbaatar, biogeochemistry, urban plants, pollution, *Populus laurifolia*, *Larix sibirica*.