

УДК 504.064.2:504.53.054

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ КАК БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Ташекова Ажар Жумановна<sup>1</sup>,  
esenzholova@nnc.kz

Торопов Андрей Сергеевич<sup>2</sup>,  
torop990@gmail.com

<sup>1</sup> Национальный ядерный центр РК,  
Казахстан, 071100, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2.

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью внедрения биогеохимически значимых методов контроля загрязнения городской среды. Высокий уровень антропогенной нагрузки в городах определяет потребность в применении объективных методов оценки современного состояния окружающей среды и тенденций развития экологической ситуации в будущем.

**Цель работы:** оценка степени загрязнения окружающей среды урбоэкосистем Казахстана тяжелыми металлами по данным опробования листьев древесных и кустарниковых растений.

**Методы исследования.** В крупных городах Казахстана обследованы городские зоны с различной функциональной нагрузкой. Отбор проб листьев проводился методом средней пробы в нижней части кроны с внешней ее стороны по окружности в конце основного периода вегетации (август–сентябрь). Промытые пробы листьев доводились до воздушно-сухого состояния и разлагались в автоклаве. Зольность определяли методом сухого сжигания. Определение содержания химических элементов в листьях проводилось атомно-абсорбционным, атомно-эмиссионным и масс-спектрометрическими методами.

**Результаты.** Изучена возможность использования листьев древесной и кустарниковой растительности как биогеохимических индикаторов по отношению к тяжелым металлам. Проанализированы следующие виды древесной и кустарниковой растительности: *Acer negundo* L., *Betula pendula* Roth., *Populus alba* L., *Populus nigra* L., *Populus tremula* L., *Populus pyramidalis* Rozier., *Salix alba* L., *Malus silvestris* Mill., *Sorbus aucuparia* L., *Fraxinus excelsior* L., *Ulmus minor* L., *Ulmus glabra* L., *Ulmus laevis* Pall., *Eleagnus argentea* Porsch., *Crataegus oxyacantha* L., *Rosa canina* L., *Syringa vulgaris* L. В листьях растений содержание таких элементов, как цинк, свинец, кадмий, медь, хром, барий и уран превышает их фоновые значения и кларк растительности мировой суши. Листья исследованных растений, произрастающие на городских площадках с высокой промышленной и транспортной нагрузкой, накапливают больше химических элементов, чем на площадках с селитебной и рекреационной нагрузкой, что коррелирует и с показателем зольности. Для листьев различных видов растений характерна специфичность в накоплении тяжелых металлов. На основе полученных данных определены виды древесных и кустарниковых растений, листья которых можно применять для диагностики загрязнения урбоэкосистем тяжелыми металлами. Существенным результатом работы является определение условно фоновых содержаний элементов для исследованного региона.

### Ключевые слова:

Биогеохимическая индикация, городская среда, листья древесных растений, листья кустарниковых растений, тяжелые металлы, зольность, функциональные зоны города.

### Введение

Современный процесс урбанизации и связанный с ним целый ряд экологических проблем вызывает необходимость индикации и объективной оценки состояния городской среды [1]. Среди методов мониторинга важное место принадлежит учету содержания загрязнителей в живых организмах, т. е. ответной реакции, имеющей биологический смысл [2–4]. В качестве биогеохимических индикаторов загрязнения, в частности, тяжелыми металлами, используются различные виды растений и их части. Так, по многочисленным литературным данным [1, 3, 5–7] известно, что листья растений являются одним из информативных показателей состояния окружающей среды городов. Листовая пластина является мощным воздушным насосом растений и способствует поглощению и накоплению поллютантов, поступающих с промышленными выбросами. Так, поглощение токсичных металлов листьями из воздуха зависит как от свойств самих растений: размера и формы листо-

вых пластинок, густоты волосяного покрова листовой поверхности, степени покрытия листьев воском, характера архитектоники кроны и положения в ней листьев, так и от условий и характера загрязнений: размеров частиц пыли и водорастворимых металлов, их концентрации, температуры среды, степени освещенности. Механизм поглощения ионов листом – многоступенчатый процесс, включающий пассивную диффузию и активный транспорт [8]. Г.М. Илькун [9] описывает три основные фазы механизма поступления и накопления поллютантов: сорбция кутикулярным слоем и клетками эпидермиса, далее диффузия через устьичные щели внутрь листа и растворение в воде, насыщающей оболочку листа, и в конце передвижение от места поглощения к соединительным тканям и накопление внутри клеток.

Целью работы является оценка загрязнения окружающей среды городов Казахстана с использованием биогеохимического ответа листьев древесных и кустарниковых растений.

### Объекты и методы исследования

Исучено шесть городов Казахстана: Астана, Караганда, Темиртау, Павлодар, Семей и Усть-Каменогорск, различающиеся по экономическим (число жителей, количество автомобилей и крупных предприятий) и географическим (рельеф, климат и др.) условиям (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема расположения исследованных городов Казахстана

Fig. 1. Overview scheme of location of the studied cities of Kazakhstan

Отметим, что Семей, Астана и Павлодар на момент исследования относились к городам с индексом загрязнения воздуха ниже среднего по Казахстану ( $ИЗА_3 \geq 5$ ). А города Усть-Каменогорск, Караганда и Темиртау – с высоким уровнем загрязнения воздуха ( $ИЗА_3 \geq 7$ ). Данные города являются крупными промышленными центрами черной и цветной металлургии Казахстана и мира [10].

Объектами исследования были листья доминантных видов древесных и кустарниковых растений – всего 14 видов древесной и 3 вида кустарниковой растительности. Нами были исследованы следующие виды растений: *Acer negundo* L., *Betula pendula* Roth., *Populus alba* L., *Populus nigra* L., *Populus tremula* L., *Populus pyramidalis* Rozier., *Salix alba* L., *Malus silvestris* Mill., *Sorbus aucuparia* L., *Fraxinus excelsior* L., *Ulmus minor* L., *Ulmus glabra* L., *Ulmus laevis* Pall., *Eleagnus argentea* Pursch., *Crataegus oxyacantha* L., *Rosa canina* L., *Syringa vulgaris* L.

В каждом городе в ходе исследования заложено более 10 площадок (рис. 2), которые были зонированы в зависимости от антропогенной нагрузки и функциональности: рекреационная (скверы, парки), селитебная (спальные районы), транспортная (вдоль крупных автодорог) и промышленная зоны (вблизи действующих промышленных предприятий и ТЭЦ). На каждой площадке проводили сбор доминантных видов древесных и кустарниковых растений. Виды, представленные единичными образцами, не учитывались. При отборе, транспортировке, хранении и подготовке растительных образцов использована стандартная методика [11].

Отбор проб листьев проводился методом средней пробы на высоте 1,5–2,0 м от поверхности грунта для деревьев, 0,5–1,0 м – для кустарников с внешней стороны кроны по окружности. Для выяв-

ления аккумулирующей способности листьев растений в условиях городской среды их отбирали за основной период вегетации (август–сентябрь). Растения для отбора проб выбирались по возможности одновозрастные. Листья взяты для анализа без черешков. В лаборатории пробы листьев растений тщательно промывались дистиллированной водой с целью удаления пыли и частичек почвы, после чего доводились до воздушно-сухого состояния.

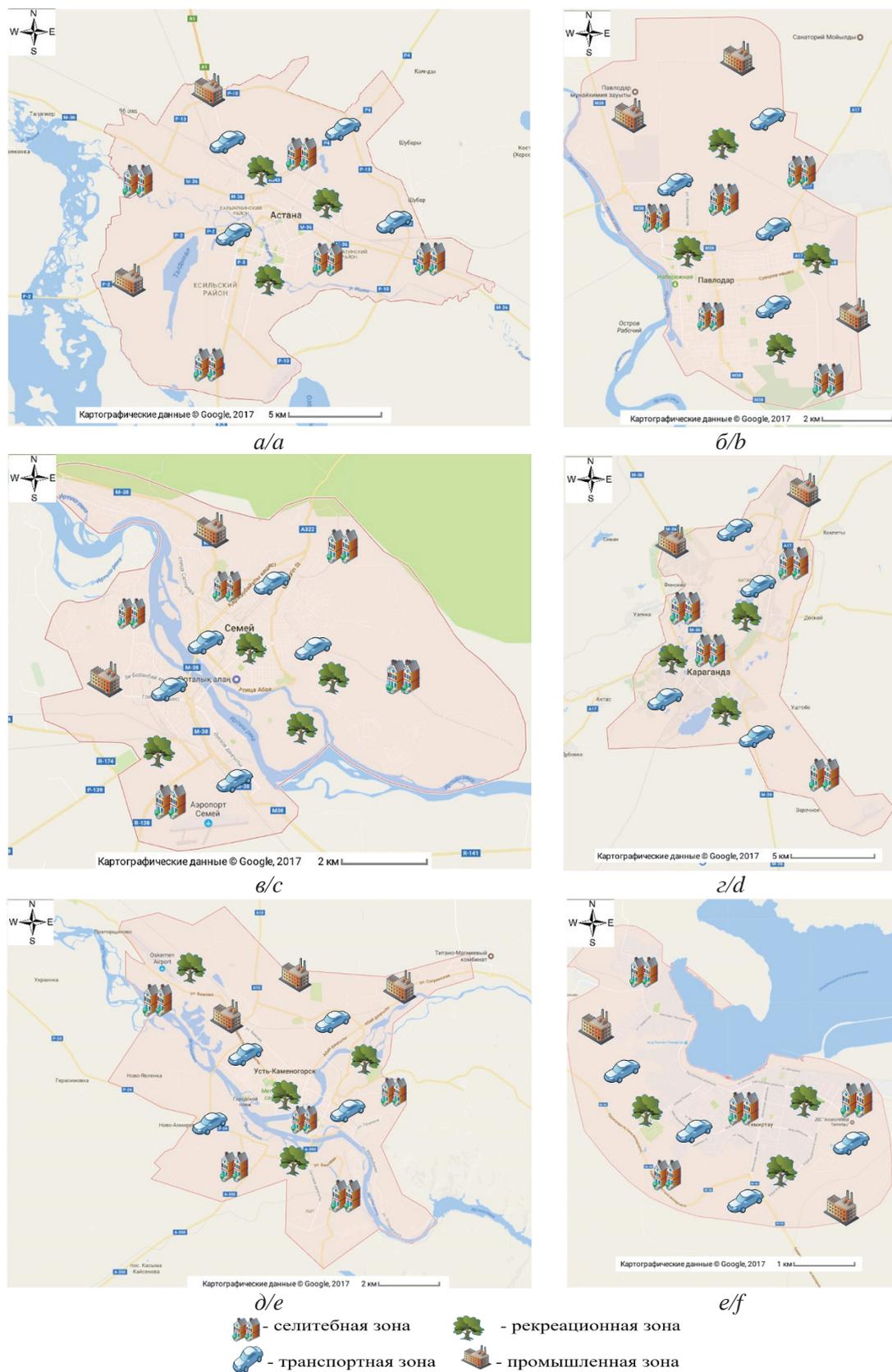
Фоновые площадки для каждого города располагались в 50–80 км от города, в противоположной стороне от розы ветров, что минимизировало влияние аэропромышленных выбросов.

Для определения концентрации химических элементов в листьях растений проводили мокрое разложение проб. Навеску сухой пробы растений массой  $0,5000 \pm 0,0001$  г разлагали методом автоклавирования с добавлением концентрированных  $HNO_3$  и  $H_2O_2$  в течение 4 часов при  $160 \pm 5$  °С.

Определение концентраций элементов проводили на атомно-абсорбционном приборе SOLAAR серии М6, атомно-эмиссионном спектрометре iCap-6300 и масс-спектрометре Elan 9000. Аналитические работы проводились в Институте радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (Казахстан, г. Курчатов) и аналитическом центре Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Россия, г. Новосибирск). Все аналитические исследования проведены в аттестованных и аккредитованных лабораториях с использованием стандартных образцов сравнения. Для контроля результатов измерений использованы стандартные образцы листа березы марки ЛБ-1 (ГСО 8923–2007) и травосмеси марки ТР-1 (ГСО 8922–2007), разработанные в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Россия, г. Иркутск. Для построения калибровочных графиков использовались мультиэлементные стандартные растворы, зарегистрированные в реестре ГСИ РК и РФ. Контроль качества аналитических работ осуществлялся путём измерения калибровочного раствора через каждые 10 проб. При неудовлетворительных результатах калибровки (отклонение калибровочного графика на 8–10 %) проводилась перекалибровка прибора, при которой учитывались новые параметры фона. Элементы с концентрацией ниже предела обнаружения, а также содержание которых не удовлетворяло контролю относительно внутренних и внешних стандартов и межлабораторного сравнения, не рассматривали.

Зольность листьев растений была определена по общепринятой методике [12]. Полученные результаты статистически обрабатывались с применением программ STATISTICA и Microsoft Excel.

Аккумуляцию химических элементов в листьях древесных и кустарниковых растений в городских условиях оценивали с помощью коэффициента концентрации ( $K_k$ ), который представляет собой отношение содержания элемента в листьях растений к его концентрации в листьях, произрастающих на фоновых участках.



**Рис. 2.** Схема пробоотборных площадок в исследованных городах Казахстана: а) Астана; б) Павлодар; в) Семей; г) Караганда; д) Усть-Каменогорск; е) Темиртау

**Fig. 2.** Scheme of sampling ground in the studied cities of Kazakhstan: а) Astana; б) Pavlodar; в) Semey; д) Karaganda; е) Ust-Kamenogorsk; ф) Temirtau

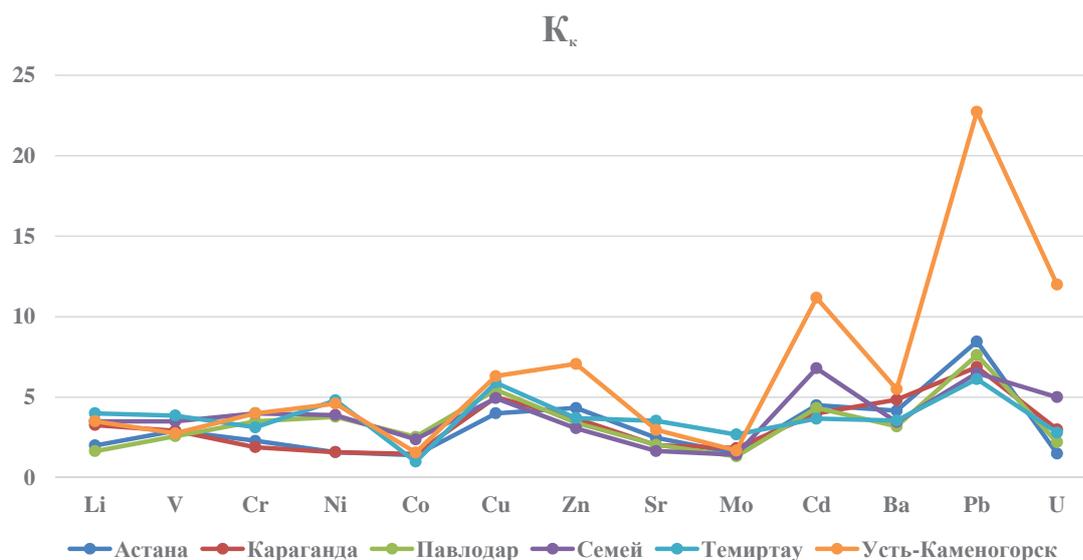


Рис. 3. Коэффициент концентрации ( $K_k$ ) химических элементов в листьях древесных и кустарниковых растений исследованных городов Казахстана

Fig. 3. Concentration coefficient ( $K_k$ ) of chemical elements in the leaves of trees and shrubs in the studied cities of Kazakhstan

### Результаты исследований и их обсуждение

Рассматриваются элементы, содержания которых в листьях древесных и кустарниковых растений имеют превышения над фоновыми значениями.

Согласно рис. 3, среднее содержание элементов в листьях древесных и кустарниковых растений в исследованных городах Казахстана превышает фоновые значения в 2–3 раза, исключение для г. Усть-Каменогорск – в 6–7 раз. Для всех исследованных городов характерно накопление листьями растений кадмия и свинца, также для г. Усть-Каменогорск – лития, никеля и урана, для г. Павлодар – хрома и меди и для г. Темиртау – меди и никеля.

Основное внимание было уделено изучению индикаторных свойств листьев древесных и кустарниковых растений по отношению к таким тяжелым металлам, как цинк, медь, кадмий и свинец. Известно, что данные элементы являются приоритетными поллютантами в почвах и других природных средах всех изученных городов [13, 14]. Отмечается, что кадмий и свинец токсичны и относятся к первому классу опасности. Согласно многочисленным токсикологическим исследованиям, известно, что уже в малых концентрациях они приводят к различным патологиям живых организмов, а избыточное содержание цинка и меди также приводит к дефициту (ингибированию) других важных микро- и макрокомпонентов (ферментов) в организме [15, 16].

В табл. 1 представлены данные по содержанию изученных элементов листьях древесных и кустарниковых растений по городам Казахстана. Для кадмия и цинка выявлено заметное превышение над средним содержанием в растительности Мировой суши в исследованных городах в 10 и 1,5 раза соответственно, а в г. Усть-Каменогорске данный показатель превышен в 54 и 4 раза.

Из табл. 1 следует, что среднее содержание исследованных тяжелых металлов в листьях растений превышает фоновые концентрации для Zn – от 3 до 7 раз, Cu – 4–6, Cd – 3–11, Pb – 6–23 раз.

Среднее содержание изученных элементов в листьях исследованных растений, согласно классификации, приведенной в [18], попадает в диапазон достаточной или нормальной концентрации. Исключение составляет уровень концентрации цинка в листьях древесной и кустарниковой растительности г. Усть-Каменогорск, где данный элемент находился в избыточной (токсической) концентрации.

Установлено, что изменчивость содержания токсичных металлов в листьях древесных и кустарниковых растений изученных городов в сравнении с фоновыми значениями была выше в несколько раз. Так, для таких элементов, как цинк и кадмий, видовое различие в концентрации на фоновых площадках составило 5 и 12 раз, а в городских условиях эта разница достигала 20 и 190 раз. Известно, что в условиях техногенеза индикаторные и аккумулярующие способности исследованных видов к данным элементам существенно повышаются [19].

На рис. 4 представлен коэффициент концентрации ( $K_k$ ) тяжелых металлов в листьях растений изученных городов, произрастающих в различных функциональных зонах. Выявлено, что листья, отобранные в промышленной и транспортной зонах, накапливают больше тяжелых металлов, чем в селитебной и рекреационной. Наибольшая разница в содержании изученных элементов в листьях растений между зонами отмечена для г. Усть-Каменогорск, наименьшая – для г. Павлодар. В среднем наблюдается трехкратный диапазон изменения концентрации в зависимости от

**Таблица 1.** Содержание тяжелых металлов (мг/кг сухой массы) и зольности (%) в листьях древесных и кустарниковых растений в городах Казахстана

**Table 1.** Content of heavy metals (mg/kg) and ash (%) in the leaves of trees and shrubs in the cities of Kazakhstan

Город City	Zn	Cu	Cd	Pb	Зольность Ash content, %
Астана Astana (n=123)	56,7±3,2 5,7–147,7 (13,1)	4,4±0,24 0,56–13,1 (1,1)	0,34±0,02 0,04–1,3 (0,05)	1,1±0,07 0,09–5,5 (0,13)	10,4±0,22 5,9–14,3 (7,9)
Караганда Karaganda (n=131)	44,9±3,0 7,1–141,6 (12,2)	3,9±0,19 0,50–10,5 (0,78)	0,12±0,008 0,01–0,50 (0,03)	1,1±0,10 0,10–6,3 (0,16)	10,5±0,17 6,3–14,7 (7,6)
Павлодар Pavlodar (n=147)	31,0±1,8 6,2–127,2 (9,1)	4,1±0,18 0,65–9,5 (0,75)	0,13±0,01 0,01–0,66 (0,03)	1,6±0,11 0,20–7,3 (0,21)	8,9±0,19 5,0–14,3 (6,6)
Семей Semey (n=148)	35,9±2,3 7,5–160,8 (11,7)	4,5±0,27 0,69–19,6 (0,91)	0,22±0,02 0,01–1,9 (0,04)	0,52±0,04 0,07–2,6 (0,08)	9,6±0,20 5,0–17,0 (7,4)
Темиртау Temirtau (n=116)	45,2±3,1 9,2–190,6 (12,2)	4,6±0,27 0,70–21,8 (0,78)	0,11±0,007 0,01–0,40 (0,03)	0,98±0,08 0,07–4,4 (0,16)	9,5±0,16 6,0–12,4 (7,6)
Усть-Каменогорск Ust-Kamenogorsk (n=158)	120,9±12,4 9,4–923,6 (17,1)	10,1±0,89 0,8–65,1 (1,6)	1,9±0,27 0,11–21,0 (0,17)	15,0±1,3 0,36–90,1 (0,66)	9,9±0,21 5,6–16,5 (8,0)
Среднее содержание в растительности Мировой суши Average concentration in terrestrial plants [17]	30,0	8,0	0,035	1,25	–
Концентрация тяжелых металлов в тканях листьев: достаточное/избыточное Concentration of heavy metals in leaves: adequate/overabundant [18]	27–150 100–400	5–30 20–100	0,05–0,2 5–30	5–10 30–300	–

Примечание: n – число проб; в числителе – среднее арифметическое и его ошибка; в знаменателе – пределы колебаний; в скобках – фоновое значение.

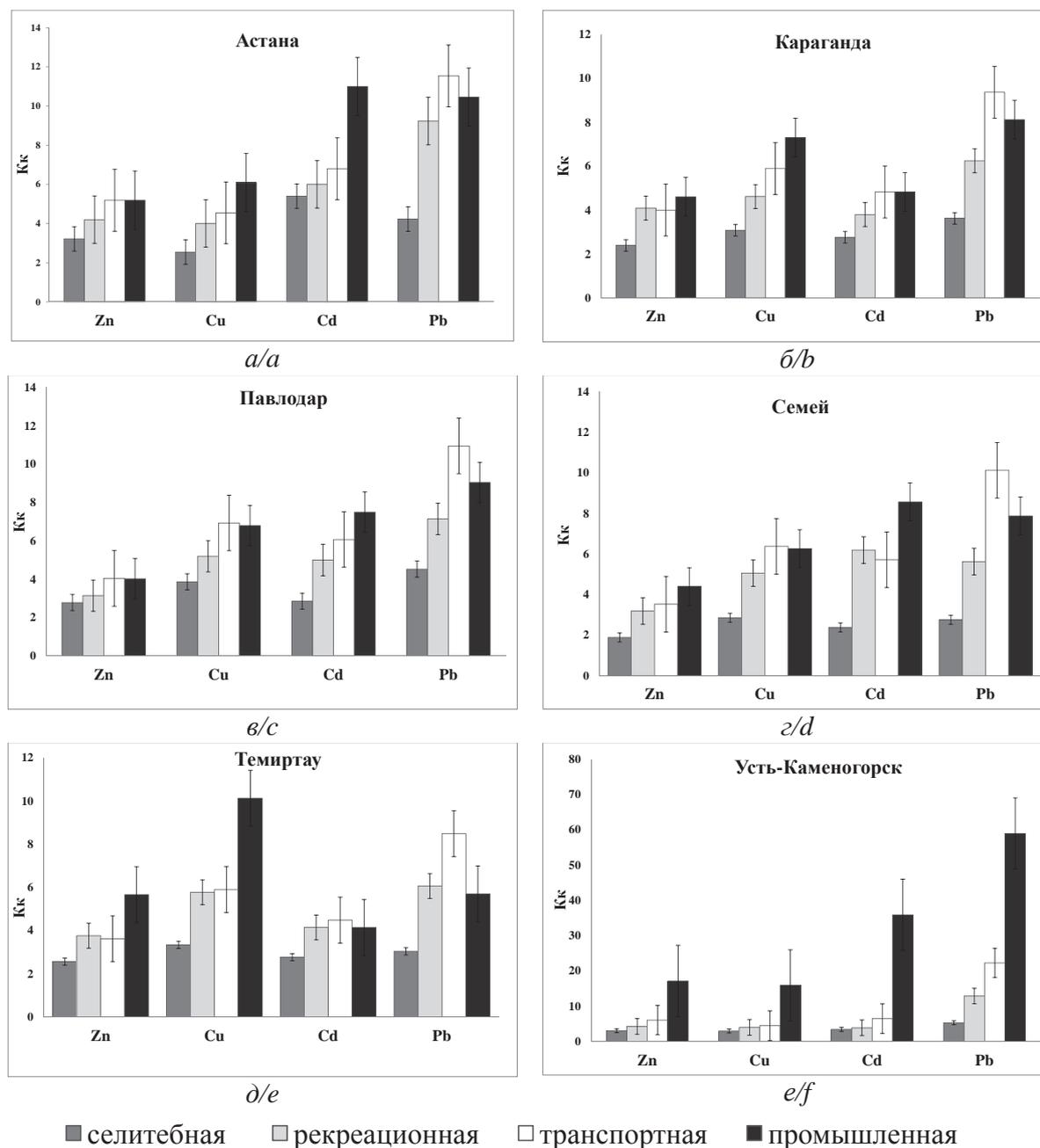
Note: n is the number of samples; in the numerator – the arithmetic mean and its error, in the denominator – the range of data; the background value is in brackets.

функциональной зоны города для таких металлов, как цинк и медь, и четырехкратный – для свинца и кадмия. В частности, для г. Усть-Каменогорск контрастность между содержанием металлов в листьях разных зон города достигает 6-кратного для цинка и меди и 10-кратного – для кадмия и свинца. Такая особенность в накоплении токсичных металлов листьями растений, произрастающих в г. Усть-Каменогорск, по сравнению с другими городами, связана, прежде всего, с уровнем загрязнения города, который является одним из самых высоких в Казахстане. В г. Усть-Каменогорске расположено порядка трех сотен промышленных объектов, среди которых имеются крупные заводы цветной металлургии. Так, по данным [20], с пылевыми выбросами свинцово-цинкового комбината в атмосферу г. Усть-Каменогорска ежегодно поступает более 30 т химических элементов, среди них цинка и кадмия более 10 т/год, а меди и свинца более 3 т/год.

Выявленные зависимости могут объясняться тем, что промышленная зона представляет собой центр скопления предприятий различной специализации, где причиной загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами являются сырье и сам процесс производства [21, 22]. В данной работе была более детально исследована биогеоиндикационная способность листьев доминантных древесных и кустарниковых растений, произрастающих в зо-

не действия крупных промышленных предприятий и ТЭЦ изученных городов Казахстана. Изучен элементный состав листьев деревьев и кустарников, произрастающих в зоне влияния комплекса предприятий цветной металлургии ТОО «Казцинк», АО «Ульбинский металлургический завод», АО «Усть-Каменогорский титано-магнийский комбинат» (г. Усть-Каменогорск), АО «Алюминий Казахстана» (г. Павлодар), предприятий черной металлургии АО «Арселор Миттал Темиртау» (г. Темиртау), строительной промышленности – ТОО «Цементный завод Семей» (г. Семей) и крупных ТЭЦ (г. Семей, г. Астана). В результате длительной производственной деятельности вокруг них возникли техногенные геохимические аномалии с повышенным содержанием элементов-загрязнителей в окружающей среде.

В то же время в городах с каждым годом растет количество автотранспорта, и транспортную зону в городах, где отсутствует «тяжелое» производство, считают, как правило, наиболее загрязненной. В жилой зоне наблюдается наименьшее загрязнение среды, поскольку жилые постройки представляют барьер на пути распространения загрязнения от автомагистралей, а густота растительности выше, чем на других площадках. Для рекреационной зоны установленные повышенные концентрации металлов связаны с близостью крупных автомагистралей.



**Рис. 4.** Коэффициент концентрации ( $K_k$ ) тяжелых металлов в листьях древесных и кустарниковых растений в зависимости от функциональной зоны города: а) Астана; б) Караганда; в) Павлодар; г) Семей; д) Темиртау; е) Усть-Каменогорск

**Fig. 4.** Concentration coefficient ( $K_k$ ) of heavy metals in the leaves of trees and shrubs depending on functional zones of cities: а) Astana; б) Karaganda; в) Pavlodar; г) Semey; д) Temirtau; е) Ust-Kamenogorsk

В табл. 2 представлены усредненные данные по аккумуляции тяжелых металлов и зольности листьев во всех исследованных городах Казахстана.

В результате исследования выявлены виды древесных и кустарниковых растений, чьи листья имеют высокую аккумуляционную способность к тяжелым металлам. Так, по отношению к цинку максимальной концентрационной способностью обладают *Betula pendula* Roth., *Acer negundo* L. и листья деревьев рода *Populus*; меди – *Acer negundo* L., *Eleagnus argen-*

*tea* Pursch., *Syringa vulgaris* L., *Ulmus minor* L. и *Populus nigra* L., кадмию – листья деревьев семейства *Salicaceae*, свинцу *Betula pendula* Roth., *Syringa vulgaris* L., *Acer negundo* L., *Eleagnus argentea* Pursch. Также у данных растений отмечается значительная вариабельность в накоплении изученных элементов, т. е. высокое отношение максимального содержания над минимальным и превышение над фоном, высокий коэффициент аккумуляции. Эти факты должны учитываться при подборе видов-индикаторов.

**Таблица 2.** Зависимость содержания тяжелых металлов (мг/кг сухой массы) и зольности (%) листьев от вида растений  
**Table 2.** Dependence of accumulation of heavy metals and ash content of leaves on plant species

Вид растения/Plant species	n	Zn	Cu	Cd	Pb	Зольность/Ash content
<i>P. nigra</i> L.	73	$86,6 \pm 4,3$ 4,4	$5,7 \pm 0,3$ 6,6	$10,5 \pm 0,5$ 23,9	$4,7 \pm 0,2$ 10,2	12,3±0,6
<i>P. tremula</i> L.	59	$61,7 \pm 3,1$ 3,3	$4,2 \pm 0,2$ 4,5	$0,51 \pm 0,03$ 4,5	$1,9 \pm 0,1$ 4,4	10,8±0,5
<i>P. pyramidalis</i> Rozier.	21	$66,7 \pm 3,3$ –	$3,1 \pm 0,2$ –	$0,49 \pm 0,02$ –	$1,1 \pm 0,1$ –	10,4±0,5
<i>P. alba</i> L.	34	$89,6 \pm 4,5$ 3,8	$6,4 \pm 0,3$ 3,7	$0,88 \pm 0,04$ 3,0	$4,6 \pm 0,2$ 7,0	9,7±0,5
<i>M. sylvestris</i> Mill.	45	$25,3 \pm 1,3$ 3,2	$3,9 \pm 0,2$ 5,6	$0,12 \pm 0,01$ 3,6	$0,65 \pm 0,05$ 7,1	10,4±0,5
<i>A. negundo</i> L.	80	$50,5 \pm 2,5$ 4,0	$8,5 \pm 0,4$ 7,2	$0,38 \pm 0,02$ 7,0	$4,7 \pm 0,2$ 10,9	12,2±0,6
<i>E. argentea</i> Pursch.	38	$37,2 \pm 1,6$ 3,8	$9,5 \pm 0,4$ 5,8	$0,33 \pm 0,02$ 7,4	$5,5 \pm 0,3$ 25,5	7,5±0,4
<i>B. pendula</i> Roth.	77	$135,1 \pm 6,8$ 5,6	$5,9 \pm 0,3$ 4,7	$0,60 \pm 0,03$ 4,0	$5,7 \pm 0,3$ 12,1	6,5±0,3
<i>S. alba</i> L.	40	$79,5 \pm 4,1$ 3,6	$3,9 \pm 0,3$ 4,8	$0,90 \pm 0,07$ 9,8	$2,5 \pm 0,2$ 10,7	9,0±0,5
<i>U. minor</i> L.	76	$32,4 \pm 1,6$ 3,7	$4,3 \pm 0,2$ 5,4	$0,19 \pm 0,01$ 6,0	$3,9 \pm 0,2$ 8,1	11,5±0,6
<i>U. laevis</i> L.	55	$27,3 \pm 1,4$ 3,6	$3,1 \pm 0,2$ 10,6	$0,13 \pm 0,01$ 6,3	$1,0 \pm 0,1$ 7,6	11,2±0,6
<i>U. glabra</i> L.	25	$24,8 \pm 1,2$ –	$2,7 \pm 0,1$ –	$0,16 \pm 0,01$ –	$2,0 \pm 0,1$ –	10,5±0,5
<i>F. excelsior</i> L.	26	$35,1 \pm 1,8$ –	$7,6 \pm 0,4$ –	$0,44 \pm 0,02$ –	$4,9 \pm 0,2$ –	9,0±0,5
<i>S. vulgaris</i> L.	67	$41,7 \pm 2,1$ 4,1	$6,5 \pm 0,3$ 5,1	$0,38 \pm 0,02$ 7,0	$5,8 \pm 0,3$ 14,8	8,2±0,4
<i>S. aucuparia</i> L.	22	$25,4 \pm 1,3$ 2,4	$3,4 \pm 0,2$ 4,3	$0,32 \pm 0,02$ 9,0	$4,6 \pm 0,2$ 11,1	9,6±0,5
<i>R. canina</i> L.	56	$15,1 \pm 0,8$ 2,7	$1,9 \pm 0,1$ 4,2	$0,07 \pm 0,005$ 4,0	$0,57 \pm 0,03$ 4,8	7,5±0,4
<i>C. oxyacantha</i> L.	29	$72,3 \pm 3,6$ –	$6,9 \pm 0,3$ –	$0,47 \pm 0,02$ –	$4,1 \pm 0,2$ –	8,7±0,4

Примечание: n – число проб; в числителе – среднее арифметическое и его ошибка; в знаменателе – коэффициент концентрации ( $K_k$ ); прочерк – отсутствие данных

Note: n is the number of samples; in the numerator – the arithmetic mean and its error, in the denominator – concentration coefficient ( $K_k$ ); dash – no data.

В ходе исследования была также определена зольность листьев. Зольность представляет собой важный биогеохимический показатель, характеризующий соотношение минеральных и органических веществ в растении. Зольность можно считать показателем приспособленности растительных сообществ к условиям среды. Известно, что чем больше зольность, тем лучше приспособлено растение к условиям произрастания. Зольность растений позволяет получить представление о степени загрязнения атмосферного воздуха, характеризуя газопоглотительную способность растений [7, 13]. По величине зольности листьев древесных и кустарниковых пород растений выявлены значительные межвидовые различия. Так, максимальная зольность характерна для листьев *Populus nigra* L., *Acer negundo* L., *Ulmus minor* L. – 12 % в среднем по городам, что говорит об их высокой газопоглотительной способности, это подтверждают и данные других авторов [20–22], а минимальная зольность зафиксирована у видов *Betula pendula* Roth. и *Eleagnus argentea* Pursch. – 6 % в среднем по городам.

С учетом аккумулирующей способности листьев в различных зонах городов, контрастностью накопления тяжелых металлов в сравнении с фоном, подверженности изменениям их зольности с градиентом антропогенной нагрузки в табл. 3 представлены рекомендуемые виды древесных и кустарниковых пород растений для индикации атмосферного загрязнения и его мониторинга.

**Таблица 3.** Рекомендуемые растения-биогеохимические индикаторы состояния окружающей среды исследованных городов по отношению к тяжелым металлам

**Table 3.** Recommended plant species for bioindication of urban environment to heavy metals

Вид/семейство/Species/family	Zn	Cu	Cd	Pb
<i>Acer negundo</i> L.	+	+	–	+
<i>Betula pendula</i> Roth.	+	–	+	+
<i>Populus nigra</i> L.	+	+	+	+
<i>Syringa vulgaris</i> L.	–	+	–	+
Salicaceae	–	–	+	–
Ulmaceae	+	+	+	–

Таким образом, следует вывод об индикационной значимости листьев древесных и кустарниковых растений при изучении загрязнения городской среды, так как содержание тяжелых металлов и зольность листьев возрастает прямо пропорционально той техногенной нагрузке, которой они подвергаются. Полученные результаты согласуются с многочисленными литературными данными других авторов, в которых показано, что данные виды растений обладают наибольшей аккумуляционной способностью к тяжелым металлам и применимы к биогеохимической индикации [23–29]. Рекомендуются использовать данные виды растений в озеленении города в качестве природных фильтров для очистки атмосферного воздуха.

#### Заключение

Анализ элементного состава листьев древесных и кустарниковых пород растений, произрастающих в крупных городах северной, восточной и центральной части Казахстана, показал, что относительно среднего содержания в растительности Мировой суши и фонового уровня аккумулируются такие элементы, как барий, медь, кадмий, свинец, цинк, хром и уран. Превышение над фоном в листьях растений в городах Казахстана для цинка изменялось в диапазоне от 3 до 7 раз, меди – 4–6, кадмия – 3–11, свинца – 6–23 раз.

Функциональная зона городов определяет уровень накопления металлов в листьях. Так, ли-

стья растений, произрастающие в зонах максимального воздействия транспорта и приуроченных к расположению промышленных узлов, накапливают существенно больше тяжелых металлов, чем в селитебной и рекреационной зонах. Определена видовая специфичность в аккумуляционной способности элементов листьями растений. Максимальной способностью к накоплению металлов в городах Казахстана по отношению к цинку и свинцу обладают листья *Betula pendula* Roth., *Acer negundo* L., *Syringa vulgaris* L. и листья деревьев рода *Populus*; меди – *Acer negundo* L., *Eleagnus argentea* Pursch. и *Ulmus minor* L.; кадмию – листья древесных растений семейства *Salicaceae*, также повышается уровень зольности листьев в зависимости от интенсивности техногенной нагрузки.

Накопление данных об элементном составе древесной и кустарниковой растительности в различных регионах, в том числе изучение фоновых уровней распределения элементов способствует выработке универсальных показателей изменения окружающей среды и в дальнейшем приведет к выработке нормативных показателей по суммарному накоплению элементов в живом веществе.

Таким образом, отдельные виды древесных растений можно рекомендовать в качестве биогеохимических индикаторов состояния городской среды и материала для озеленения городов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bioindication and monitoring of atmospheric deposition using trees and shrubs / S.V. Gorelova, M.V. Frontasyeva, A.V. Gorbunov, S.M. Lyapunov, O.I. Okina // Materials of 27<sup>th</sup> Task Force Meeting of the UNECE ICP Vegetation. – Paris, France, 2014. – P. 63.
2. Петрунина Н.С., Ермаков В.В. Современные аспекты геохимической экологии растений // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012. – № 1. – С. 147–155.
3. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты. – Новосибирск: Наука, 2003. – 222 с.
4. Ялалдинова А.Р., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Проявленность промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска в геохимических полях по данным изучения золы листьев тополя черного (*Populus nigra* L.) // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: VII Международная научно-практическая конференция. – Семей, 2012. – Т. 2. – С. 196–201.
5. Andre O., Vollenweider P., Gunthardt-Goerg M. Foliage response to heavy metal contamination in Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) // For. Snow Landsc. Res. – 2006. – № 80 (3). – P. 275–288.
6. Gillooly S.E., Carr Shmool J.L., Michanowicz D.R. Framework for using deciduous tree leaves as biomonitors for intraurban particulate air pollution in exposure assessment // Environ Monitoring Assessment. – 2016. – № 7. – P. 456–479.
7. Уфимцева М.Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия. – 2015. – № 5. – С. 450–465.
8. Парибок Т.А. Загрязнение растений металлами и его эколого-физиологические последствия // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 82–100.
9. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова думка, 1978. – 246 с.
10. О состоянии охраны атмосферного воздуха в Республике Казахстан // Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. – Астана, 2016. – Т. 1–3.
11. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н.Г. Зырина, С.Г. Малахова. – М.: Гидрометеоздат, 1981. – 109 с.
12. Ягодин Б.А. Практикум по агрохимии. – М.: Агропромиздат, 1987. – 125 с.
13. Есенжолова А.Ж. Листья древесных и кустарниковых растений как биоиндикаторы состояния окружающей среды городов Восточного, Северного и Центрального Казахстана: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2013. – 20 с.
14. Асылбекова Г.Е. Оценка экологического состояния урбоэкосистемы г. Павлодара с использованием растительных объектов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2010. – 24 с.
15. Environmental Exposure to Cadmium: Health Risk Assessment and its Associations with Hypertension and Impaired Kidney Function / H. Wu, Q. Liao, S.N. Chillrud, Q. Yang, L. Huang, J. Bi, B. Yan // Scientific Reports. – 2016. – V. 6. – № 29989. – P. 100–115.
16. The detrimental effects of lead on human and animal health / M.A. Assi, M.N.M. Hezme, A.W. Haron, M.Y. Sabri, M.A. Rajion // Veterinary World. – 2016. – V. 9 (6). – P. 660–671.
17. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.

18. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4<sup>th</sup> ed. – BocaRaton, USA: CRC Press, 2011. – 505 p.
19. On the temporal variation of leaf magnetic parameters: seasonal accumulation of leaf-deposited and leaf-encapsulated particles of a roadside tree crown / J. Hofman, K. Wuyts, S. van Wittenberghe, R. Samson // Science of the Total Environment. – 2014. – № 3. – P. 766–772.
20. Панин М.С. Химические элементы в пылевых выбросах Усть-Каменогорского металлургического предприятия ОАО «Казцинк» Республики Казахстан // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: VI Международная научно-практическая конференция. – Семей, 2010. – С. 144–146.
21. *Viscum album* Versus host (*Sorbus aucuparia*) as bioindicators of urban areas with various levels of pollution / K. Kolon, A. Samecka-Cymerman, A. Klink, A.J. Kempers // Journal of Environmental Science and Health, P. A. – 2013. – № 48 (2). – P. 205–210.
22. Indication of airborne pollution by birch and spruce in the vicinity of copper smelter / S.M. Serbula, A.A. Radojevic, J.V. Kalinovic, T.S. Kalinovic // Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – № 21 (19). – P. 11510–11520.
23. Концентрирование металлов растениями рода *Salix* и их значение при выявлении кадмиевых аномалий / В.В. Ермаков, Н.С. Петрунина, С.Ф. Тютиков, В.Н. Данилова, С.Д. Хушвахтова, А.П. Дегтярев, Е.В. Кречетова // Геохимия. – 2015. – № 11. – С. 978–990.
24. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий / Д.В. Юсупов, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, А.Р. Ялалдинова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – № 6. – С. 25–36.
25. Bioaccumulation of arsenic and cadmium in birch and lime from the Bor region / S.C. Alagic, S.S. Serbula, S.B. Tomic, A.N. Pavlovic, J.V. Petrovic // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2013. – № 65 (4). – P. 671–682.
26. Heavy Metal Contamination of Tree Leaves / K.S. Patel, R. Sharma, N.S. Dahariya, A. Yadav, B. Blazhev, L. Matini, J. Hoinkis // American Journal of Analytical Chemistry. – 2015. – V. 6. – P. 687–693.
27. Yusupov D.V., Karpenko Y.A. REE, Uranium (U) and Thorium (Th) contents in *Betula pendula* leaf growing around Komsomolsk gold concentration plant tailing (Kemerovo region, Western Siberia, Russia) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – V. 43. – № 012053.
28. Heavy metal accumulation in the bark and leaves of *Juglans regia* planted in Artvin City Turkey / Y. Dogan, M.C. Unver, I. Ugulu, M. Calis, N. Durkan // Biotechnology & Biotechnological Equipment. – 2014. – № 28 (4). – P. 643–649.
29. Элементный состав лисы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбосистем / Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, Н.В. Барановская, А.Р. Ялалдинова // Экология и промышленность России. – 2015. – № 6. – С. 58–63.

Поступила 21.04.2017 г.

#### Информация об авторах

**Ташекова А.Ж.**, кандидат биологических наук, инженер лаборатории элементного анализа Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК.

**Торопов А.С.**, аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 504.064.2:504.53.054

## APPLICATION OF LEAVES AS BIOGEOINDICATORS OF URBAN ENVIRONMENT STATE

Ahzar Zh. Tashekova<sup>1</sup>,  
esenzholova@nnc.kz

Andrey S. Toropov<sup>2</sup>,  
torop990@gmail.com

<sup>1</sup> National Nuclear Centre RK,  
2, Krasnoarmeyskaya street, 071100, Kurchatov, Kazakhstan.

<sup>2</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

**Relevance** of the work is caused by the necessity of implementing biologically significant pollution methods to control urban environment. High level of anthropogenic stress in urban areas determines the demand for application of objective methods to assess the current state of the environment and trends of ecological situation evolution in future.

**The aim** of the work is to assess the environmental pollution with heavy metals in Kazakhstan urboecosystems using leaves of trees and shrubs.

**Methods.** In some large cities of Kazakhstan the urban areas with different types of functional pressure were investigated. Leaves sampling was carried out using the averaged sample method in the bottom of the tree or shrub crown to its outer side circumferentially, at the end of the vegetation (August–September). Washed samples of leaves were brought to the air-dry state and autoclaved. Ash content of leaves of plants was determined using the combusting technique. Determination of the chemical elements in leaves was carried out by atomic absorption, atomic emission and mass spectrometric methods.

**Results.** The authors have studied the potential of bioindication of tree and shrub leaves in relation to heavy metals. A wide range of plant species growing in cities of Kazakhstan with different sources of pollution was analyzed. The content of elements such as zinc, lead, cadmium, copper, chromium, barium and uranium in plant leaves of Kazakhstan cities exceeds their background values as well as percentage abundance of terrestrial vegetation. Leaves of the studied plants growing in urban areas with the high industrial and traffic load accumulate more chemical elements in comparison with residential and recreational areas of the cities, which is also correlated with the value of their ash content. Uniqueness of different species of plant leaves to accumulation of heavy metals has been determined. Based on the obtained data some species of trees and shrubs, which leaves can be applied for diagnosis of urban ecosystems pollution with heavy metals, could be suggested for bioindication. The significant result of the paper is to determine the conditionally ambient levels of elements for the studied region.

**Key words:**

Biogeoindication, urban environment, tree leaves, shrub leaves, heavy metals, ash content, functional zones.

**REFERENCES**

- Gorelova S.V., Frontasyeva M.V., Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Okina O.I. Bioindication and monitoring of atmospheric deposition using trees and shrubs. *Materials of 27<sup>th</sup> Task Force Meeting of the UNECE ICP Vegetation*. Paris, France, 2014. pp. 63.
- Petrulina N.S., Ermakov V.V. Sovremennye aspekty geokhimicheskoy ekologii rasteniy [Modern aspects of geochemical ecology of plants]. *Problems of biogeochemistry and geochemical ecology*, 2012, no. 1, pp. 147–155.
- Neverova O.A., Kolmogorova E.Yu. *Drevesnye rasteniya i urbanizirovannaya sreda: ekologicheskie i biotekhnologicheskie aspekty* [Woody plants and urban environment: environmental and biotechnological aspects]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003. 222 p.
- Yalaltdinova A.R., Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P. Proyavlenost promyshlennykh predpriyatiy g. Ust-Kamenogorska v geokhimicheskikh polyakh po dannym izucheniya zoly listev topolya chernogo (*Populus nigra* L.) [The trait of industrial facilities in Ust-Kamenogorsk geochemical fields according to the study of poplar leaves (*Populus nigra* L.) ash]. *Tyazhelye metally, radionuklidy i elementy-biofilny v okruzhayushchey srede. VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [VII International Scientific and Practical Conference. Heavy metals, radionuclides and biophilic elements in the environment]. Semey, 2012. Vol. 2, pp. 196–201.
- Andre O., Vollenweider P., Gunthardt-Goerg M. Foliage response to heavy metal contamination in Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.). *For. Snow Landsc. Res.*, 2006, no. 80 (3), pp. 275–288.
- Gillooly S.E., Carr Shmool J.L., Michanowicz D.R. Framework for using deciduous tree leaves as biomonitors for intraurban particulate air pollution in exposure assessment. *Environ Monitoring Assessment*, 2016, no. 7, pp. 456–479.
- Ufimtseva M.D. Common factors of chemical elements accumulation by higher plants and their reactions in anomalous biogeochemical provinces. *Geochemistry*, 2015, no. 5, pp. 450–465. In Rus.
- Paribok T.A. Zagryaznenie rasteniy metallami i ego ekologo-fiziologicheskie posledstviya [Pollution of plants with metals and its ecological and physiological consequences]. *Rasteniya v ekstremalnykh usloviyakh mineralnogo pitaniya* [Plants in extreme conditions of mineral nutrition]. Leningrad, Nauka Publ., 1983. pp. 82–100.
- Ilkun G.M. *Zagryazniteli atmosfery i rasteniya* [Atmosphere pollutants and plants]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1978. 246 p.
- Ezhegodny statistichesy sbornik «O sostoyanii okhrany atmosfery vozdukh v Respublike Kazakhstan»* [Annual statistical report «On the state of protection of atmospheric air in the Republic of Kazakhstan»]. Astana, 2016. Vol. 1–3.
- Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv i rasteniy pri kontrole zagryazneniya okruzhayushchey sredy metallami* [Guidelines for conducting field and laboratory studies of soil and plants in the control of environmental pollution by metals]. Eds. N.G. Zyryin, S.G. Malakhov. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1981. 109 p.
- Yagodin B.A. *Praktikum po agrokhimii* [Laboratory manual on agrochemistry]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987. 125 p.

13. Yesenzholova A.Zh. *Listya drevesnykh i kustarnikovyykh rasteniy kak bioindikatory sostoyaniya okruzhayushchey sredy gorodov Vostochnogo, Severnogo i Tsentralnogo Kazakhstana*. Avtoreferat Diss. Kand. nauk [Leaves of trees and shrubs as bioindicators of the urban environment state of the Eastern, Northern and Central Kazakhstan. Cand. Diss. Abstract]. Novosibirsk, 2013. 20 p.
14. Asylbekova G.E. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya urboekosistemy g. Pavlodara s ispolzovaniem rastiitelnykh obektov*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Evaluation of the ecological state of the urban environment of Pavlodar using plants. Cand. Diss. Abstract]. Novosibirsk, 2010. 24 p.
15. Wu H., Liao Q., Chillrud S.N., Yang Q., Huang L., Bi J., Yan B. Environmental Exposure to Cadmium: Health Risk Assessment and its Associations with Hypertension and Impaired Kidney Function. *Scientific Reports*, 2016, vol. 6, no. 29989, pp. 100–115.
16. Assi M.A., Hezmee M.N.M, Haron A.W., Sabri M.Y., Rajion M.A. The detrimental effects of lead on human and animal health. *Veterinary World*, 2016, vol. 9 (6), pp. 660–671.
17. Dobrovolsky V.V. *Geografiya mikroelementov. Globalnoe rasseyaniye* [Geography of microelements. Global scattering]. Moscow, Mysl Publ., 1983. 272 p.
18. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4<sup>th</sup> ed. BocaRaton, USA, CRC Press, 2011. 505 p.
19. Hofman J., Wuyts K., Van Wittenberghe S., Samson R. On the temporal variation of leaf magnetic parameters: seasonal accumulation of leaf-deposited and leaf-encapsulated particles of a roadside tree crown. *Science of the Total Environment*, 2014, no. 3, pp. 766–772.
20. Panin M.S. *Khimicheskie elementy v pylevykh vybrosakh Ust-Kamenogorskogo metallurgicheskogo predpriyatiya OAO «Kaztsink» Respubliki Kazakhstan* [Chemical elements in dust emissions of the Ust-Kamenogorsk metallurgical facility JSC Kazzinc of the Republic of Kazakhstan]. *Tyazhelye metally i radionuklidy v okruzhayushchey srede. VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [VI International Scientific and Practical Conference. Heavy Metals and Radionuclides in the Environment]. Semey, 2010. pp. 144–146.
21. Kolon K., Samecka-Cymerman A., Klink A., Kempers A.J. *Viscum album Versus host (Sorbus aucuparia)* as bioindicators of urban areas with various levels of pollution. *Journal of Environmental Science and Health, P. A*, 2013, no. 48 (2), pp. 205–210.
22. Serbula S.M., Radojevic A.A., Kalinovic J.V., Kalinovic T.S. Indication of airborne pollution by birch and spruce in the vicinity of copper smelter. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, no. 21 (19), pp. 11510–11520.
23. Ermakov V.V., Petrunina N.S., Tyutikov S.F., Danilova V.N., Khushvakhtova S.D., Degtyarev A.P., Krechetova E.V. Concentration of metals by plants of the genus *Salix* and their implication in detection of cadmium anomalies. *Geochemistry*, 2015, no. 11, pp. 978–990. In Rus.
24. Yusupov D.V., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Yalaltdinova A.R. Geochemical features of the elemental composition of poplar leaves of urbanized territories. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, no. 6, pp. 25–36.
25. Alagic S.C., Serbula S.S., Tomic S.B., Pavlovic A.N., Petrovic J.V. Bioaccumulation of arsenic and cadmium in birch and lime from the Bor region. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2013, no. 65 (4), pp. 671–682.
26. Patel K.S., Sharma R., Dahariya N.S., Yadav A., Blazhev B., Martini L., Hoinkis J. Heavy Metal Contamination of Tree Leaves. *American Journal of Analytical Chemistry*, 2015, vol. 6, pp. 687–693.
27. Yusupov D.V., Karpenko Y.A. REE, Uranium (U) and Thorium (Th) contents in *Betula pendula* leaf growing around Komsomolsk gold concentration plant tailing (Kemerovo region, Western Siberia, Russia). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43, no. 012053.
28. Dogan Y., Unver M. C., Ugulu I., Calis M., Durkan N. Heavy metal accumulation in the bark and leaves of *Juglans regia* planted in Artvin City Turkey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2014, no. 28 (4), pp. 643–649.
29. Rikhvanov L.P., Yusupov D.V., Baranovskaya N.V., Yalaltdinova A.R. Elementnyy sostav listvy topolya kak biogeokhimicheskiy indikator promyshlennoy spetsializatsii urbosistem [Elemental composition of poplar leaves as biogeochemical indicator of industrial specialization of urban systems]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2015, no. 6, pp. 58–63.

Received: 21 April 2017.

#### Information about the authors

**Ahzar Zh. Tashekova**, Cand. Sc., engineer, National Nuclear Centre RK.

**Andrey S. Toropov**, postgraduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.