

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ЗОН ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

**В.Р. Клос<sup>1</sup>, Э.Я. Жовинский<sup>2</sup>**

*1 – Украинский научно-производственный центр геохимических исследований, ДП “Украинская геологическая кампания”, 02088, проул. Геофизиков, 10, Киев, Украина*

*2 – Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины, 03680, просп. акад. Палладина, 34, Киев 143, Украина*

Проведен анализ результатов биогеохимических исследований (листья липы и березы, стебли многолетних злаков) агломераций (городов Кировоград, Борисполь, Житомир, Черкассы, Винница). Установлено, что стебли многолетних злаков могут служить индикаторами зон экологического риска.

*Ключевые слова:* экологический риск, растения, городские агломерации, биогеохимические коэффициенты.

**Введение.** Своевременное установление источников и степени загрязнения объектов окружающей среды одна из актуальнейших задач экологической геохимии. Решение этой задачи позволяет выявлять территории, представляющие экологический риск для проживания населения, и своевременно разрабатывать мероприятия по защите и реабилитации окружающей среды. В этом плане особое значение приобретает эколого-геохимическое изучение территорий городских агломераций.

Изучение эколого-геохимического состояния объектов окружающей среды территорий городских агломераций в Украине проводилось после Чернобыльской катастрофы, частично на территории г. Киева [2]. Плановые исследования начали выполняться лишь после создания специального отряда геохимической партии производственного геологического объединения “Севургеология” в 1991 году (В.Р. Клос и др., 1991–1995). Было выполнено эколого-геохимическое картирование городских агломераций центральной части Украины – городов Житомир, Ровно, Черкассы, Винница, Кировоград, Борисполь, Киев. Опробованы поверхностные и донные отложения, различные виды растительности, атмосферные осадки, поверхностные воды.

Установлено [6], что наибольшую опасность для населения представляет поступление загрязняющих веществ с атмосферными осадками. Многолетними индикаторами такого атмосферного загрязнения служат почвы, но они не отражают современного сезонного поступления загрязняющих веществ из атмосферы. Для этого хорошими индикаторами могут быть растения, характери-

зующиеся разными особенностями барьерного и безбарьерного накопления химических элементов и их соединений.

**Цель данной работы** – изучение содержания химических элементов и их соединений в поверхностных отложениях, растениях, определение параметров их накопления и распределения в условиях городских агломераций.

**Методы исследований.** Отбор проб и подготовка к аналитическим исследованиям проведены согласно существующим стандартным методикам. Учитывая сезонное загрязнение растительности как индикатора загрязнения атмосферы, отбор проб выполняли в конце вегетативного периода (вторая половина лета, осень). В тех же точках были отобраны литохимические пробы поверхностных отложений. В пепле растительных проб с помощью полуколичественного спектрального анализа были установлены значимые содержания 26 химических элементов.

Был использован комплекс аналитических методов: масс-спектрометрический анализ с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), рентген-флуоресцентный анализ (XRF), метод атомно-абсорбционной спектроскопии и другие.

**Результаты и обсуждение.** При изучении влияния техногенного загрязнения на растительность исследованиями Л.А. Ковалевского было установлено, что усвоение химических элементов растительностью из атмосферного воздуха (растительно-газовый коэффициент) в десятки раз больше поступления из воды (растительно-водного коэффициента), и в сотни раз больше поступления из почвы (растительно-почвенного коэффициента) [1, 3]. Учитывая такую способность растений, значительный интерес представляет определение возможности оконтуривания территорий,

загрязненных атмосферными промышленными выбросами. Результаты биогеохимических исследований, выполненных в ИМГРЭ [5], показали такую возможность. На основании эколого-геохимических исследований вокруг крупных металлургических комбинатов во Владикавказе было установлено, что пылевое накопление металлов на листьях растений в зоне влияния металлургического комбината настолько интенсивное, что может использоваться для изучения пространственного распределения выбросов. Аналогичные результаты исследований были получены при изучении накопления свинца растениями вблизи автодорог. Содержание свинца после отмывания листьев уменьшается на 30–60 % [4].

Связь между содержанием химических элементов в пылевых выпадениях и растительности позволяет проводить сезонное картирование загрязнения атмосферы по результатам изучения загрязнения растительности. Следовательно, детальное изучение биогеохимических ореолов рассеяния химических элементов может стать основой для картирования техногенных атмосферных потоков.

Специальные фитогеохимические исследования (картирование) городских агломераций выполнены на территориях городов Кировоград (масштаб 1 : 50000) и Борисполь (масштаб 1 : 25000), и фрагментарно городов Житомир, Ровно, Черкассы, Винница, а также в левобережной части г. Киев. Основными фитообъектами исследований были

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов в стеблях многолетних злаков городских агломераций (пепел растений), мг/кг, *n* – количество проб

| Элемент | Городские агломерации     |                         |                            |                           |                               |                              | Среднее |
|---------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|
|         | Житомир,<br><i>n</i> = 34 | Ровно,<br><i>n</i> = 25 | Черкассы,<br><i>n</i> = 34 | Винница,<br><i>n</i> = 36 | Кировоград,<br><i>n</i> = 815 | Борисполь,<br><i>n</i> = 416 |         |
| Ag      | 0,015                     | 0,04                    | 0,02                       | 0,014                     | 0,03                          | 0,01                         | 0,0215  |
| Ba      | 260                       | 490                     | 200                        | 210                       | 300                           | 400                          | 310     |
| Cr      | 5,1                       | 6,1                     | 25                         | 9,8                       | 8                             | 6                            | 10      |
| Cu      | 19                        | 21                      | 31                         | 27                        | 20                            | 15                           | 26,6    |
| Mn      | 290                       | 180                     | 190                        | 180                       | 160                           | 200                          | 200     |
| Mo      | 1,4                       | 1,6                     | 2,3                        | 2,7                       | 2                             | 1,5                          | 1,9     |
| Ni      | 3,9                       | 2,4                     | 6,1                        | 3,3                       | 4                             | 5                            | 4,1     |
| P       | 1670                      | 3060                    | 2680                       | 2330                      | 2000                          | 2500                         | 2540    |
| Pb      | 11                        | 30                      | 56                         | 33                        | 20                            | 15                           | 27,5    |
| Sn      | 1,5                       | 1,6                     | 1,6                        | 1,4                       | 1                             | 1                            | 1,35    |
| Sr      | 50                        | 86                      | 210                        | 110                       | 150                           | 150                          | 126     |
| V       | 3,1                       | 2,8                     | 11                         | 3,8                       | 6                             | 5                            | 5,28    |
| Zn      | 55                        | 130                     | 95                         | 98                        | 60                            | 60                           | 83      |

Таблица 2. Среднее содержание химических элементов в пепле растений на территориях городских агломераций, мг/кг, *n* – количество проб

| Элемент | Ровно<br><i>n</i> = 26 | Черкассы<br><i>n</i> = 29 | Винница<br><i>n</i> = 19 | Кировоград<br><i>n</i> = 134 | Среднее | Ровно<br><i>n</i> = 26 | Черкассы<br><i>n</i> = 21 | Винница<br><i>n</i> = 24 | Кировоград<br><i>n</i> = 105 | Среднее |
|---------|------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|---------|------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|---------|
|         | Листья липы            |                           |                          |                              |         | Листья березы          |                           |                          |                              |         |
| Ag      | 0,022                  | 0,024                     | 0,016                    | 0,02                         | 0,021   | 0,024                  | 0,02                      | 0,014                    | 0,02                         | 0,02    |
| Ba      | 190                    | 270                       | 240                      | 400                          | 275     | 250                    | 330                       | 270                      | 500                          | 316     |
| Cr      | 6,4                    | 30                        | 16,7                     | 10                           | 15,8    | 5,6                    | 26                        | 8,4                      | 10                           | 10,7    |
| Cu      | 17                     | 26                        | 24                       | 20                           | 21,8    | 14                     | 20                        | 21                       | 20                           | 17,4    |
| Mn      | 150                    | 520                       | 380                      | 300                          | 338     | 240                    | 670                       | 500                      | 300                          | 551     |
| Mo      | 1,1                    | 1,5                       | 1,1                      | 1,5                          | 1,3     | 0,8                    | 1,4                       | 1,4                      | 1,5                          | 1,2     |
| Ni      | 2,1                    | 6,1                       | 3,4                      | 1,5                          | 3,3     | 2,2                    | 6                         | 3,9                      | 1,5                          | 3,2     |
| P       | 1335                   | 1630                      | 1450                     | 2000                         | 1604    | 1030                   | 1260                      | 1180                     | 2000                         | 1248    |
| Pb      | 20                     | 60                        | 40                       | 20                           | 35      | 18                     | 38                        | 31                       | 20                           | 23,4    |
| Sn      | 1,3                    | 1,5                       | 1,3                      | 1                            | 1,28    | 1,3                    | 1,1                       | 1,1                      | 1                            | 1,1     |
| Sr      | 180                    | 430                       | 510                      | 400                          | 380     | 340                    | 420                       | 500                      | 400                          | 360     |
| V       | 2,7                    | 13                        | 4,5                      | 2                            | 5,6     | 1,8                    | 5,8                       | 3,1                      | 2                            | 2,8     |
| Zn      | 55                     | 70                        | 70                       | 60                           | 64      | 150                    | 120                       | 134                      | 60                           | 144     |

Таблица 3. Загрязнение растений в пределах полей загрязнения поверхностных отложений

| Элемент | Среднее содержание химических элементов ( $n = 24$ ) |  |             |               |
|---------|--|--|-------------|---------------|
|         | В поверхностных отложениях                           | В пепле растений в мг/кг и их коэффициент концентрации относительно фона (в скобках) |             |               |
|         |  | Стебли многолетних злаков  | Листья липы | Листья берёзы |
| Ag      | 0,061 (2)  | 0,02 (1)   | 0,022 (1)   | 0,021 (1)     |
| Ba      | 490 (1,6)  | 211 (0,7)  | 267 (0,9)   | 238 (0,8)     |
| Cr      | 71 (1,4)   | 12 (1,2)   | 23 (1,5)    | 9 (0,9)       |
| Cu      | 31 (1,5)   | 27 (1)   | 26 (1,2)    | 17 (1)        |
| Mn      | 845 (1,4)  | 173 (0,9)  | 392 (1,2)   | 568 (1,1)     |
| Mo      | 1,5 (1,3)  | 4,8 (2,5)  | 1,4 (1,1)   | 1,3 (1,1)     |
| Ni      | 31 (1,2)   | 6,4 (1,6)  | 3,9 (1,2)   | 5,2 (1,6)     |
| P       | 1318 (1,7)   | 2780 (1,1)   | 1270 (0,8)  | 880 (0,7)     |
| Pb      | 38 (1,9)   | 49 (1,8)   | 40 (1,1)    | 28 (1,2)      |
| Sr      | 737 (4,9)  | 300 (2,4)  | 425 (1,2)   | 385 (1,1)     |
| Zn      | 119 (2)  | 102 (1,2)  | 57 (0,9)    | 116 (0,8)     |

стебли многолетних злаков (табл. 1), а также листья липы и берёзы (табл. 2). Критериями выбора упомянутых фитообъектов для геохимических исследований была их безбарьерность к накоплению химических элементов, и повсеместное развитие на исследуемых территориях.

В результате проведенных исследований установлено, что содержание ряда химических элементов не превышает фоновых значений Be, La, Ce, Ge, Sc, Li, Zr, Nb, Y, Yb, Bi. В единичных пробах установлены концентрации Ti, Sn, Ba, Sr, Mo, Co, Ga, V в 2–5 раз выше фоновых. Основными элементами загрязнения растений служат Ag, Pb, Zn, Cr, Mn, Cu, Ni, P, концентрации которых превышают фоновые значения в 2–10 раз (табл. 3).

Ореол загрязнения, создаваемый этими элементами, как правило, охватывает промышленную и селитебную функциональные зоны городов и занимает от 4,7 % (Cu) до 25,2 % (Pb) от общей площади исследований (табл. 4).

Наибольшие территории загрязнения растительности (многолетние злаки) формирует Pb. Они занимают 25,2 % (от общей площади исследований) в г. Кировоград и 23,8 % в г. Борисполь, тогда как площадь загрязнения поверхностных отложений – 10,9 % и 17,6 % соответственно. Поля загрязнения растительности Pb приурочены к местам располо-

жения промышленных предприятий, главным автомагистралям и их пересечениям. В поверхностных отложениях поля загрязнения Pb приурочены преимущественно к промышленным зонам.

Немного меньшие по площади поля загрязнения растительности образует Ag. В г. Кировоград они занимают 16,9 % от площади исследований (в поверхностных отложениях площадь полей загрязнения Ag составляет 9,0 %) и приурочены, главным образом, к району горно-обогатительного комбината и городской свалки. В поверхностных отложениях г. Кировоград поля загрязнения Ag, главным образом, приурочены к промышленным зонам и центральной части города. В г. Борисполь поля загрязнения растительности Ag значительно меньше по площади (3,5 % площади), чем поля загрязнения Ag поверхностных отложений (15,4 % площади), что связано со спецификой промышленных выбросов в атмосферу.

Поля аномальных концентраций Zn и Cu в растительности упомянутых городов охватывают значительно меньшие участки, чем поля Pb и Ag. Эти поля также меньше, чем поля загрязнения Zn и Cu в поверхностных отложениях. Поля аномальных концентраций Mn, Ni, Co, P, Ga значительно меньше по площади и уровню концентрации этих элементов, но пространственно совпадают с ними. Исходя из приведенных фактов, можно сказать, что эколого-геохимическое картирование городских агломераций по распределению в растительности Pb и Ag существенно дополняет результаты эколого-геохимических исследований, полученные при изучении поверхностных отложений и отражает сезонное загрязнение окружающей среды городов. По другим химическим элементам

Таблица 4. Площадь загрязнения растений агломераций городов Кировоград и Борисполь

| Город      | Площадь исследований, км <sup>2</sup> | Площадь загрязнения в % от площади исследований |      |     |      |
|------------|---------------------------------------|---|------|-----|------|
|            |                                       | Zn  | Pb   | Cu  | Ag   |
| Кировоград | 137                                   | 9   | 25,2 | –   | 16,9 |
| Борисполь  | 30                                    | 10,2  | 23,8 | 4,7 | 3,5  |

загрязнения растительности (Zn, Cu, Mn, Ni, Co, P) биогеохимические показатели менее контрастны и информативны.

Полиэлементное загрязнение растительности по уровню суммарного показателя загрязнения (СПЗ) максимально приурочено к жилым и промышленным ландшафтно-функциональным зонам городских агломераций (рис. 1), также, как и в поверхностных отложениях.

При сравнении территорий полиэлементного загрязнения растительности и поверхностных отложений упомянутых городов установлено, что загрязнение растительности в г. Кировоград по площади почти вдвое больше, чем загрязнения поверхностных отложениях, что подтверждает эффективность фитогеохимических исследований при эколого-геохимическом картировании (рис. 2). Аномальные концентрации химических элементов в золе растений образуют полиэлементные аномалии, которые по СПЗ окружающей среды образуют аномалии допустимого (8–16), умеренно опасного (16–32) и опасного (32–128) уровней.

В г. Кировоград в районе городской свалки бытового мусора зафиксированы локальные фитогеохимические аномалии опасного и умеренно опасного уровней загрязнения: Cr<sub>7,5</sub>(60) – Pb<sub>6</sub>(120) – Zn<sub>6</sub>(360) – Mo<sub>4</sub>(8) – Co<sub>3</sub>(5) – Ni<sub>3</sub>(13) – V<sub>3</sub>(18), которые объединяются полем допустимого уровня

загрязнения (внизу у символа элемента коэффициент концентрации относительно фонового содержания, в скобках содержание в пепле многолетних злаков, мг/кг). В этом же районе зафиксировано загрязнение поверхностных отложений опасного и умеренно опасного уровней загрязнения (Zn<sub>7</sub> – Cd<sub>6</sub> – Hg<sub>5</sub> – Ag<sub>4</sub> – Ba<sub>2,5</sub> – Pb<sub>2,5</sub> – Cu<sub>2</sub> – Cr<sub>3</sub>), которое по своему геохимическому составу на 50 % соответствует таковому в многолетних злаках (анализ пепла растений на содержание Hg и Cd не проводили, так как эти элементы легко улетучиваются при сжигании проб растительности).

К автомагистралям и их пересечениям тяготеют биогеохимические аномалии Pb, Cr, Zn, Ag, Sn, V. В пределах сельскохозяйственных угодий биогеохимические аномалии формируют Cr, Pb, Zn, Ag, Mn, Cu.

По результатам анализа проб растительности городских агломераций установлена качественная геохимическая характеристика сезонного загрязнения атмосферы городов химическими элементами и преобладающий состав геохимического загрязнения: Mn, Cr, Ni, Pb (г. Житомир), Ag, Zn, P, Ba (г. Ровно), Pb, Cr, Ni, V, Cu, Mo, Zn (г. Черкассы), Mo, Cu, Pb, Zn, Sr (г. Винница), Cr, Ag, Pb, V (г. Кировоград), Pb, Zn (г. Борисполь).

Для всех городов характерно преобладающее развитие промышленных зон при незначительном увеличении рекреационных зон за счет уменьшения земель сельскохозяйственного назначения.

Максимальный темп развития промышленных зон отмечается в г. Черкассы, где площадь промышленной застройки за последние 40 лет увеличилась в 3,6 раза, при незначительном увеличении рекреационных зон. Во всех городах наращивание жилищно-промышленных зон происходит за счет территорий, выведенных из сельскохозяйственного использования. Сегодня в результате

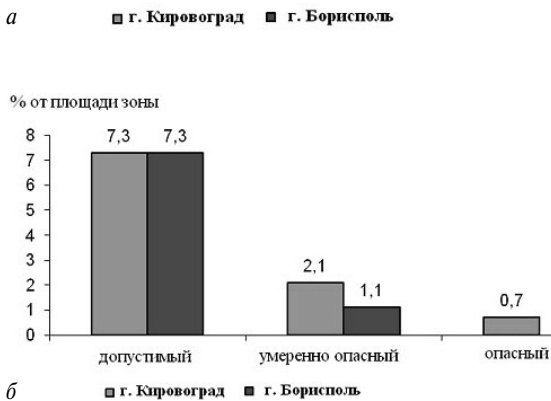
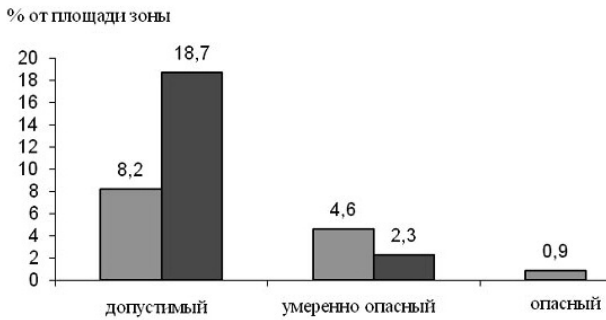


Рис. 1. Диаграммы загрязнения (СПЗ) растительности: а – промышленных и б – жилых зон

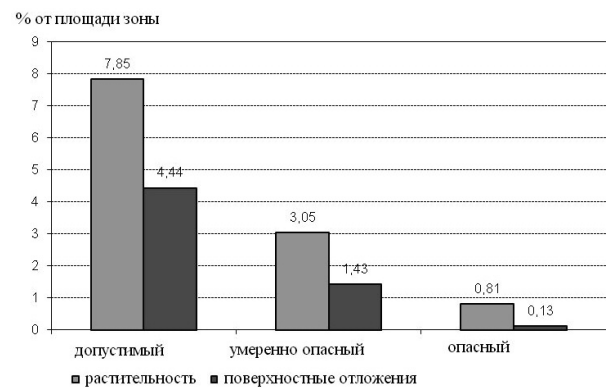


Рис. 2. Диаграммы загрязнения растительности и поверхностных отложений по СПЗ территории г. Кировоград

неравномерного развития агломераций, ландшафтно-функциональные зоны городов занимают разные площади. Максимальная площадь промышленной зоны отмечается в г. Черкассы и г. Винница – 21,6 % и 18,3 % от площади обследования соответственно, при минимальном соотношении площади жилой зоны города к площади промышленной зоны.

По количеству промышленных выбросов в атмосферу, тыс. т/год на первом месте – г. Черкассы – 35,6, далее – Винница – 12,5, Житомир – 10,5, Ровно – 6,7. Максимальная площадь загрязнения почв с допустимым уровнем наблюдается в г. Житомир, а с опасным – в г. Черкассы. Чрезвычайно опасный уровень загрязнения почв зафиксирован в г. Житомир в одной точке, но по своему происхождению это загрязнение имеет механическую природу, потому не учтено при анализе. Изучение соотношения площадей с разным уровнем загрязнения окружающей среды показало, что в г. Черкассы с учетом темпов развития города следует ожидать расширения площади загрязнения, т. е. загрязнение носит прогрессивный характер.

Максимальные концентрации тяжелых металлов I и II групп опасности в почвах установлены, мг/кг: г. Черкассы (Hg 3,4, Pb 630, Cd 74, Zn – 2000, Sb – 33, Cu – 150), г. Винница (Hg – 5, Pb – 800, Cd – 15, Zn – 800, Sb – 24, Cu – 80), г. Житомир (Hg – 0,69, Pb – 80, Cd – 14, Zn – 400, Sb – 23, Cu –

80), г. Ровно (Hg – 0,58, Pb – 800, Cd – 21, Zn – 600, Sb – 3, Cu – 60), при практически одинаковом фоновом уровне для почв этих городов. Максимальные по площади и уровню концентрации аномалии Hg в почвах отмечаются в г. Черкассы.

**Выводы.** Анализ результатов биогеохимических исследований (листья липы и березы, стебли многолетних злаков) территорий городских агломераций позволил установить, что наиболее информативными частями растений служат стебли многолетних злаков. Установлен геохимический состав и уровень концентрации химических элементов в золе растительности промышленных зон. В частности, установлено превышение Pb и Ag над фоновым содержанием в 10 и более раз.

Проведено комплексное исследование (растительность, поверхностные отложения) территорий городов Борисполь и Кировоград, в результате установлено, что поля загрязнения растительности тяжелыми металлами (Pb, Ag, Zn, Cu) приурочены к территориям промышленных предприятий, главным автомагистралям и их пересечениям.

В результате геохимических исследований городских агломераций установлено, что растительность (и ее особенности загрязнения в летний период), а также геохимические особенности снежного покрова (зимний период) позволяют наиболее корректно определять сезонное загрязнение атмосферы городов.

#### Список литературы

1. Буренков Э.К. Экологическая геохимия городских агломераций / Буренков Э.К., Борисенко И.Л., Москаленко Н.Н., Янин Е.П. – М.: Геоинформмарк – 1991. – 79 с.
2. Жовинский Э.Я. Эколого-геохимические исследования природных сред в условиях городской агломерации / Жовинский Э.Я., Маничев В.И., Кураева И.В. и др. – Киев, 1991. – (Препринт ИГМР – 91). 57 с.
3. Ковалевский Л.А. Биогеохимические поиски рудных месторождений / Л.А. Ковалевский – М.: Недра, 1984. – 172 с.
4. Ковалевский Л.А. Биогеохимия растений / Л.А. Ковалевский Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.
5. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б.А. Ревич, Ю.Е. Сает, Р.С. Смирнова. – М.: ИМГРЭ, 1990. – 16 с.
6. Сает Ю.Е. Оценка состояния окружающей среды г. Москвы по геохимическим данным и рекомендации по её улучшению / Сает Ю.Е., Алексинская Л.Н., Башаркевич И.Л. и др. – М.: ИМГРЭ, 1980. – 70 с.

*Klos V.R., Zhovinsky E.Ya. Biogeochemical indicators zones of ecological risk urban agglomerations.* The analysis of biogeochemical research results (linden and birch leaves, stems of perennial grasses) urban agglomerations (city Kirovograd, Boryspil, Zhitomir, Cherkassy, Vinnitsa), bringing found that the stems of perennial grasses can serve as indicators of environmental risk zones.

*Key words:* environmental risk, plants, urban agglomerations, biogeochemical factors.

*Клос В.Р., Жовинский Э.Я. Біогеохімічні індикатори зон екологічного ризику міських агломерацій.* Проведено аналіз результатів біогеохімічних досліджень (листя липи і берези, стебла багаторічних злаків) міських агломерацій міста Кіровоград, Бориспіль, Житомир, Черкаси, Вінниця. Встановлено, що стебла багаторічних злаків можуть служити індикаторами зон екологічного ризику.

*Ключові слова:* екологічний ризик, рослини, міські агломерації, біогеохімічні коефіцієнти.

Поступила 02.07.2014.