**УДК 581.52:543.552.054.1**

**Введение.**

Почва является важнейшим элементом городской экосистемы и определяет многие ее особенности. Накопление тяжелых металлов в природной среде происходит высокими темпами, и они являются наиболее частыми компонентами антропогенных химических ассоциаций [1]. При оценке экологического состояния почв города рекомендуется использовать в качестве дополнительного критерия подвижность металлов. Учет распределения подвижных форм в почве крайне необходим. Они составляют запас химических элементов, способных переходить из твердых фаз в почвенные растворы и поглощаться живыми организмами, то есть являются наиболее активными компонентами питания и загрязнения [2]. Поэтому одним из критериев оценки степени техногенной трансформации окружающей среды является изучение содержания и миграции тяжелых металлов в системе «почва-растение» [4]. Чрезмерное накопление поллютантов может оказаться причиной новых техногенных аномалий. В почвенном покрове природной зоны, где расположен город Чита, встречаются черноземные, болотные, луговоболотные, кислые или слабокислые серые лесные почвы, иногда дерновые слабооподзоленные [3]. В городе сформирована устойчивая природно-антропогенная территория с определенным содержанием тяжелых металлов. В настоящее время достаточно изучен характер загрязнения городских территорий. Значительно меньше внимания уделялось проблеме накопления и миграции химических элементов.

В связи с этим, цель работы заключалась в определении степени загрязнения почв г. Читы, используя расчет коэффициентов техногенной концентрации Zn, Cd, Pb, Cu и их накопления в лекарственных растениях.

**1. Материалы и методы**

Пробы почв и растения отбирали согласно общепринятым методикам в июне 2015 – 2016 гг. [5]. Почвенные образцы были взяты из корнеобитаемого слоя (0-15 см). Для определения подвижных форм тяжелых металлов почву высушивали до воздушно-сухого состояния и извлекали вытяжки ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН=4,8 (соотношение проба : раствор – 1:10).Полученные вытяжки выпаривали в камере печи при температуре 160-180 °С до сухого остатка. Перед анализом золу растворяли в концентрированной муравьиной кислоте.

Корневища растений высушивали на воздухе и мелко измельчали. Навеску пробы высушивали в выпариватели печи при температуре 150-350 °С, после чего озоляли с добавлением концентрированной азотной кислоты и перекиси водорода до получения однородной золы белого, серого или рыжеватого цвета без угольных включений. Перед анализом золу растворяли в концентрированной муравьиной кислоте.

Определение подвижных форм тяжелых металлов в почве и золе растений определяли методом инвесионной вольтамперометрии на анализаторе «ТА-Lab».

Для исследования были выбраны участки в окрестностях города Читы: пункт 1 – восточный склон горы Титовская сопка (урочище «Сухотино»), вблизи промзоны; пункт 2 – верхняя остепненная часть склона восточной экспозиции возле спортивной базы «Орбита»; пункт 3 – верхняя часть остепненного склона западной экспозиции возле спортивной базы «Орбита»; пункт 4 – мкр. Сосновый бор, вблизи объездной автомагистрали. Фоновым участком была выбрана территория дачного кооператива в поселке Александровка (Читинский район). Коэффициент накопления рассчитывался по содержанию тяжелых металлов в подземных органах (корнях и корневищах) следующих видов дикорастущих травянистых лекарственных растений: лапчатка пижмолистная – *Potentilla tanacetifolia* Willd. еx Schltdl. (Rosaceae), стеллера карликовая – *Stellera chamaejasme* L. (Thymelaeaceae), остролодочник тысячелистный – *Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC. (Fabaceae) и полынь Гмелина – ***Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm. (Asteraceae).**

Для оценки интенсивности и степени опасности загрязнения почвы химическими веществами, был рассчитан коэффициент техногенной концентрации элемента (Кс), полученный отношением концентрации элемента в исследуемой почве к концентрации элемента в фоновой почве, общая формула имеет вид:. Расчет суммарного показателя загрязнения (Zc) проводили, согласно формуле:*.* Корневое поступление элементов из почвы определяли с помощью коэффициента накопления (Кн), который выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почве:.

Полученные данные обрабатывались общепринятыми методами статистического анализа с использованием среднестатистической ошибки среднего в трехкратных повторностях.

**2. Результаты и обсуждения**

Важным показателем загрязнения почв тяжелыми металлами является содержание их подвижных форм. Коэффициенты техногенной концентрации (табл. 1) отражают особенности накопления тяжелых металлов в почвах. Опасность загрязнения тем выше, чем больше Кс превышает единицу [4]. Результаты исследований по содержанию ионов тяжелых металлов в почвенных образцах, собранных в июне 2015-2016 гг. были представлены в ранее опубликованных работах [6, 7]. Для выявления динамики накопления микроэлементов был проведен анализ показателей коэффициента накопления (Кс) и загрязнения (Zc) за два года. Следует отметить, что на территории пункта № 2 коэффициент накопления не превышал единицу для всех исследуемых тяжелых металлов. В почве пункта № 3 суммарный показатель загрязнения (Zс) максимален и составил 210,12. Пробы в этом пункте отбирались вблизи автомагистрали,в выбросах которого концентрируются многие тяжелые металлы [3]. На придорожной территории почва содержит кадмий и цинк в сотни и десятки раз больше, чем почвы пунктов № 1, № 2 и № 4, удаленных от автомагистралей.

Таблица 1.

**Средние коэффициенты техногенной концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарный показатель загрязнения (*Zс*) для почв г. Читы (июнь 2015 г.)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Пункты исследования** | **Кс** | ***Zс*** |
| **Zn** | **Cd** | **Pb** | **Cu** |
| № 1 | 1,14 | 11,22 | 6,84 | 2,18 | 18,38 |
| № 2 | 1,45 · 10-4 | 0,704 | 0,081 | 3,43·10-3 | **-** |
| № 3 | 0,54 | 10,24 | 7,63 | 1,62 | 17,49 |
| № 4 | 0,37 | 193,8 | 16,57 | 1,75 | 210,12 |

В 2016 г наблюдалось значительное уменьшение Кс по кадмию и по свинцу в пунктах 1, 3 и 4; по цинку – только в пункте 3; по меди показатель Кс снизился в почве пункта 1.Увеличение Кс по всем металлам было отмечено на территории пункта 2.На территории пункта 3 –только по меди от 1,62 до 4,32, в пункте 4 – по цинку и меди.

Суммарный показатель загрязнения в изучаемый период во всех почвах оставался высоким. В июне 2016 г. наблюдались изменения в сторону увеличения Zc в почвах пункта 1 и 3, в почвах пункта 4, наоборот, произошло снижение показателя в 3,72 раза (табл. 1 и 2).

Таблица 2.

**Средние коэффициенты техногенной концентрации тяжелых металлов (Кс) и суммарный показатель загрязнения (*Zс*) для почв г. Читы (июнь 2016 г.)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Пункты исследования** | **Кс** | ***Zс*** |
| **Zn** | **Cd** | **Pb** | **Cu** |
| № 1 | 0,04 | 3,09 | 4,83 | 1,65 | 20,64 |
| № 2 | 1,47 | 1,56 | 4,04 | 1,3 | 12,89 |
| № 3 | 0,32 | 1,78 | 4,43 | 4,32 | 27,31 |
| № 4 | 4,45 | 32,6 | 12,67 | 2,54 | 56,54 |

Согласно полученным данным, почвы исследуемых территорий считаются непригодными для посадки растений, т.к. содержащиеся в них ионы тяжелых металлов легко попадают в подземные и надземные органы произрастающих на них растений. В большей степени это касается лекарственных растений, органы которых используются для приготовления отваров и настоек [8, 9].

С целью оценки риска попадания тяжелых металлов в надземные органы растений, был изучен коэффициент накопления (Кн), который характеризует корневое поступление элементов из почвы (табл. 3 и 4). В 2015 г. в пункте 4 коэффициент техногенной концентрации (Кс) по цинку составлял 0,37, при этом коэффициент накопления (Кн) у *S. chamaejasme* достигал 75,8, сходная тенденция наблюдалась и по свинцу: Кс – 16,57, тогда как Кн – 37,3. На этом же участке Кс в почве по свинцу был равен 193,8, значение же Кн у *S. chamaejasme* составил 37,3. Аналогичная зависимость по цинку и свинцу для участка № 4 была выявлена у видов *O. myriophylla* и *P. tanacetifolia*. Так, для *O. myriophylla* коэффициент накопления по цинку составлял 54,8, по свинцу – 35,4; у *P. tanacetifolia* по свинцу – 43,5, по меди – 74,7 (табл. 3).Ни по одному из микроэлементов больших показателей Кн не отмечено для ***A. gmelinii***, что, вероятно, связано с особенностями биологии вида и условиями периода сбора материалов.

Таблица3.

**Среднее значение коэффициента накопления (Кн) тяжелых металлов в травянистых растениях в условиях городской среды (2015 г)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Виды** | **№ пункта** | **Металлы** |
| **Zn** | **Cd** | **Pb** | **Cu** |
| *S. chamaejasme* | 1 | 1,23 | 1,47 | 2,27 | 3,3 |
| 2 | 4,8 | 3,5 | 2,3 | 1,2 |
| 3 | 1,78 | 1,6 | 2,75 | 4,2 |
| 4 | 75,8 | 1,96 | 37,3 | 1,4 |
| ***A.gmelinii*** | 1 | 0,43 | 0,2 | 1,34 | 1,21 |
| 2 | 6,7 | 3,5 | 2,8 | 1,2 |
| 3 | 1,43 | 1,7 | 0,54 | 0,6 |
| 4 | 9,5 | 2,5 | 2,3 | 0,5 |
| *P.tanacetifolia* | 1 | 3,5 | 1,02 | 6,1 | 3,8 |
| 2 | 0,3 | 2,1 | 0,2 | 3,4 |
| 3 | 23,7 | 0,34 | 2,0 | 2,35 |
| 4 | 2,4 | 1,3 | 43,5 | 74,7 |
| *O.myriophylla* | 1 | 0,82 | 0,32 | 1,2 | 3,35 |
| 2 | 1,05 | 2,3 | 0,093 | 0,53 |
| 3 | 2,5 | 1,6 | 0,54 | 0,23 |
| 4 | 54,8 | 1,4 | 35,4 | 1,5 |

В 2016 г. отмечены повышенные значения Кн по меди у ***A. gmelinii*, собранной на территории пунктов № 2 и № 3(12,3 и 21,3 соответственно). Для** *P. tanacetifolia* высокое значение Кн по свинцу для пункта № 4 *–* 30,4, а по меди в пунктах 2 и 3 – 11,9 и 10,2 соответственно. Для *O. myriophylla* по свинцу Кн достигал 67,7 (пункт 3) (табл. 4).

Таблица4.

Среднее значение коэффициента накопления тяжелых металлов в травянистых растениях в условиях городской среды (2016 г)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Виды** | **№ пункта** | **Коэффициент накопления (*КН*) отдельных элементов** |
| **Zn** | **Cd** | **Pb** | **Cu** |
| *S. chamaejasme* | 1 | 2,86 | 1,29 | 2,12 | 1,47 |
| 2 | 1,49 | 0,36 | 2,1 | 1,42 |
| 3 | 0,03 | 1,08 | 1,7 | 0,8 |
| 4 | 1,24 | 1,2 | 3,1 | 2,5 |
| ***A.gmelinii*** | 1 | 2,15 | 1,61 | 1,24 | 2,34 |
| 2 | 3,31 | 1,68 | 1,34 | 12,3 |
| 3 | 1.23 | 0,5 | 0,43 | 21,3 |
| 4 | 2,13 | 1,45 | 2,71 | 3,4 |
| *P.tanacetifolia* | 1 | 4,24 | 0,08 | 4,46 | 2,4 |
| 2 | 2,3 | 2,3 | 2,34 | 11,9 |
| 3 | 7,9 | 1.4 | 9,8 | 10,2 |
| 4 | 2,5 | 1,06 | 30,4 | 2,24 |
| *O.myriophylla* | 1 | 1,34 | 2,3 | 3,2 | 0,94 |
| 2 | 2,06 | 1,17 | 1,1 | 0,34 |
| 3 | 1,24 | 0,05 | 67,7 | 0,56 |
| 4 | 2.3 | 0,1 | 2,1 | 4,76 |

Таким образом, полученные данные позволяют сделать выводы о том, что почвы исследуемых территорий характеризуются высоким значением суммарного показателя загрязнения (Zс) тяжелыми металлами и могут быть отнесены к категории умеренно опасных [3]. Почва пункта 4 особенно отличалась высокими значениями коэффициента техногенной концентрации (Кс) по всем исследуемым металлам, но при этом коэффициент накопления, практически, у всех растений не превышал значения 3. Как показали исследования, поглощение поллютантов осуществляется, главным образом, корневой системой растений. Такое соотношение Кс и Кн,возможно, говорит о том, что у растений хорошо развиты защитные механизмы корневой системы, которые препятствуют избыточному поступлению и накоплению опасных микроэлементов в их тканях. Но следует отметить, что у *P. tanacetifolia* и *O. myriophylla*, произрастающих на территории пунктов 4 и 3, соотношение Кс и Кн по свинцу имеет другую зависимость. У этих видов, наоборот, коэффициент накопления в несколько раз превышал значения Кс. Почва пункта 4 испытывает высокую автотранспортную нагрузку. В условиях этой территории свинец является элементом интенсивного поглощения и активно накапливается в корнях *P. tanacetifolia* и *O. myriophylla*. Возможно, что поступающие в корни металлы могут прочно фиксироваться, полностью не проходя в надземную часть. Кроме того, в условиях длительного техногенного загрязнения, могут быть нарушены защитные механизмы корневой системы данных видов.

**Библиографический список:**

1. Янин Е.П. Экологическая геохимия и проблемы биогенной миграции химических элементов 3-го рода / Е.П. Янин // Тр. Биогеохим. лаб «Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы». – Т. 24. – М.: Наука, 2003. – С. 45-47.

2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Рос.акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – С.120-122.

3. Багдасарян А.С. Эффективность использования тест-систем при оценке токсичности природных сред// Экология и промышленность России. – 2007. – С. 44-48.

4. Копылова Л.В. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях урбанизированных территорий (Восточное Забайкалье) / Л.В. Копылова, Е.А. Войтюк, О.А. Лескова, Е.П. Якимова.– Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 53-57.

5. Воронкова И.П. Содержание токсичных микроэлементов в сопряженных средах / И.П. Воронкова, Л.А. Чеснокова // Гигиена и санитария, № 4, 2009. – С. 17 – 19.

6. Самойленко Г.Ю., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н. Оценка загрязнения почв г. Читы // Матер. Всеросс. конфер. с междунар. участием «Эволюция биосферы и техногенез», посвященная 35-летию ФГБУН ИПРЭК СО РАН. – Чита, 2016. – С. 132-135.

7. Самойленко Г.Ю., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н. Изучение содержания тяжёлых металлов в почвах и дикорастущих растениях инверсионно-вольтамперометрическим методом / Г.Ю. Самойленко, Е.А. Бондаревич, Н.Н. Коцюржинская // Ученые записки ЗабГУ. Серия Биологические науки. Т.12, №1, 2017. – С. 31-39.

8. Реутова Н.В. Определение мутагенного потенциала неорганических соединений ряда тяжелых металлов / Н.В. Реутова, Т.В. Реутова, Т.И. Воробьева // Гигиена и санитария, № 5, 2011. – С. 55-57.

9. Чупарина Е.В. Определение металлов Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba и Pb в лекарственных растениях методом рентгенофлуоресцентного анализа / Е.В. Чупарина, Т.С. Айсуева, О.И. Жапов, Т.П. Анцупова // Аналитика и контроль. – 2008. – Т. 12. – С. 2 -10.