

*Биология*

УДК 575.224.23

ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ Г. ЕРЕВАНА ТЯЖЕЛЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ

А. Л. АТОЯНЦ<sup>1\*</sup>, Э. А. АГАДЖАНЫН<sup>1</sup>, Р. Э. АВАЛЯН<sup>1</sup>, А. С. ВАРЖАПЕТЯН<sup>1</sup>,  
Л. В. СААКЯН<sup>2\*\*</sup>, А. К. САГАТЕЛЯН<sup>2</sup>, Р. М. АРУТЮНЯН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория общей биологии, подгруппа цитогенетики ЕГУ, Армения

<sup>2</sup> Центр эколого-ноосферных исследований НАН Республики Армения

С применением растительного тест-объекта традесканции (клон 02) проведено изучение генотоксичности почвенных образцов в зависимости от содержания в них тяжелых металлов (ТМ). При высоком уровне загрязненности почв некоторыми ТМ выявлено повышение частоты всех изученных мутационных событий в волосках тычиночных нитей и микроядер в тетрадах микроспор во всех пунктах исследования.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, традесканция (клон 02), микроядра, мутационные события.

Изучение последствий техногенного загрязнения природной среды различного рода ксенобиотиками является одной из актуальных проблем экологической оценки состояния биосферы. В современных урбаноэкосистемах самыми распространенными среди техногенных стрессоров являются тяжелые металлы (ТМ). Как известно, эффективными индикаторами загрязнения городских территорий являются природные депонирующие среды (такие, как почва), которые характеризуются сравнительно устойчивым химическим составом [1, 2].

Для определения эколого-геохимического статуса городских экосистем необходима оценка уровня загрязнения почвенного покрова поллютантами (особенно ТМ) с применением чувствительных растительных тест-систем, адекватно реагирующих на степень техногенной нагрузки.

Целью настоящей работы явилось изучение уровня генотоксичности почвенных образцов некоторых районов г. Еревана с применением чувствительного модельного тест-объекта традесканции (клон 02), используемого для биомониторинга как мутагенности, так и кластогенности ксенобиотиков среды.

**Материал и методика.** Материалом исследования служили почвенные пробы из районов г. Еревана с разным уровнем техногенного загрязнения: 1 – перекресток улиц Саят-Нова и Абовяна; 2 – перекресток проспектов Г. Нжде

\* E-mail: [a.atoyants@rambler.ru](mailto:a.atoyants@rambler.ru)

\*\* E-mail: [svlilit@yahoo.com](mailto:svlilit@yahoo.com)

и Аршакуняца (к/т “Айреник”); 3 – улица Арагаца (вблизи Ереванского озера); 4 – ул. Себастья (ресторан “Парвана”); 5 – Давидашен-Зовуни (ущелье р. Раздан); 6 – Канакераван (р. Раздан); 7 – перекресток улиц Ачаряна и маршала Бабаджаняна (Аван); 8 – ул. Давида Беки (телевышка); 9 – оз. Аргишти (Эребуни). В качестве условно фонового (контроля) был взят образец из теплицы ЕГУ. Все образцы почв были отобраны с глубины до 10 см.

В качестве объекта изучения использовали растения традесканции (клон 02), которые выращивались в вазонах с исследуемыми почвенными образцами в одинаковых условиях. Полив производился дистиллированной водой.

Учет соматических мутаций в волосках тычиночных нитей (ВТН) проводили с применением биотеста Трад-ВТН. В качестве тест-критерия учитывалось изменение окраски клеток волосков с голубых на розовые – розовые мутационные события (РМС), а также появление генетически неопределенных бесцветных клеток (БМС). Расчеты частоты мутационных событий проводили в среднем на 1000 волосков [3]. На каждый вариант анализировали 11–16 тысяч ВТН. Кроме того, отмечали также появление некоторых морфологических изменений как в волосках, так и в цветках традесканции (карликовые невыжившие волоски, ветвление волосков; изменение числа тычинок и лепестков цветка, отсутствие пыльников).

Для определения кластогенного потенциала использовали микроядерный тест Трад-МЯ с применением двух основных тест-критериев: частота образования МЯ в тетрадах и процент тетрад с МЯ. Цветочные бутоны фиксировали по мере их образования в ацеталкоголе (3:1). Готовили временные ацетокарминовые препараты по общепринятой методике [4]. Анализировали тетрады микроспор (на 100 тетрад). В каждом варианте было просмотрено по 3000 тетрад.

Во всех почвенных образцах были определены концентрации некоторых ТМ (Pb, Cu, Mo, Zn, Ni, Ag) методом атомно-абсорбционной спектроскопии в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА. Был проведен зольный химический анализ надземных частей традесканции, а также вычислен коэффициент биологического поглощения КБП ( $KBP = C_z/C_n$ , где  $C_z$  – содержание металла в золе,  $C_n$  – в почве). Также были построены качественные геохимические ряды по всем изученным вариантам как для почвенных образцов, так и для растений традесканции со средним содержанием в них исследуемых ТМ путем нормирования элементов в образцах по условно фоновому значению. Рассчитан суммарный показатель концентрации (СПК) – сумма нормированных по фону (проба из теплицы) содержаний элементов в пробе [5].

**Результаты и обсуждение.** Полученные результаты по учету соматических мутаций у традесканции на основании данных биотеста Трад-ВТН выявили достоверное повышение частоты как РМС, так и БМС во всех опытных вариантах по сравнению с контролем. Наивысший уровень частоты РМС наблюдался в образцах почв 1, 4, 5 и 7, превышающий контрольный уровень в 2–3 раза. Высокий уровень частоты БМС был отмечен в вариантах 5 и 8 (табл. 1). Помимо РМС и БМС в ВТН традесканции во всех опытных вариантах были зарегистрированы разные типы морфологических изменений: разветвленные и карликовые (невыжившие) волоски, а также изменение числа тычинок и лепестков цветка. Максимальный уровень наблюдался в образце 8.

При изучении кластогенного потенциала по данным биотеста Трад-МЯ было показано, что все изученные почвенные образцы индуцировали повышенную частоту образования МЯ по сравнению с контролем. Наивысший уровень был выявлен в образцах 2, 4, 5 и 9, где их значения превышали контрольный уровень в 3–4 раза (табл. 1).

Таблица 1

Частота мутаций в соматических и спорогенных клетках традесканции (клон 02)

Образцы почв	Тест Трад-ВТН		Тест Трад-МЯ	
	(РМС/1000) ± m	(БМС/1000) ± m	тетрады с МЯ, % ± m	МЯ в тетрадах, % ± m
1	0,98 ± 0,24*	19,28 ± 1,08***	4,80 ± 0,40***	5,70 ± 0,42***
2	0,86 ± 0,23	20,87 ± 1,12***	5,80 ± 0,50***	7,21 ± 0,52***
3	0,61 ± 0,19	18,11 ± 1,04***	4,16 ± 0,40***	5,30 ± 0,40***
4	1,0 ± 0,28*	20,74 ± 1,28***	8,26 ± 0,50***	10,60 ± 0,56***
5	1,10 ± 0,25*	25,67 ± 1,23***	6,77 ± 0,45***	8,20 ± 0,50***
6	0,43 ± 0,16	23,86 ± 1,19***	3,07 ± 0,31*	3,97 ± 0,35**
7	0,97 ± 0,24*	23,44 ± 1,19***	4,96 ± 0,40***	5,66 ± 0,42***
8	0,74 ± 0,21	25,41 ± 1,23***	3,50 ± 0,34**	5,00 ± 0,40***
9	0,86 ± 0,23	20,36 ± 1,12***	6,17 ± 0,86***	7,46 ± 0,94***
контроль	0,40 ± 0,16	13,14 ± 0,93	2,20 ± 0,26	2,80 ± 0,30

Примечание: \* – p < 0,05; \*\* – p < 0,01; \*\*\* – p < 0,001.

Таблица 2

Геохимические ряды и суммарный показатель концентрации (СПК) тяжелых металлов в образцах почв и растения традесканции

Образцы почв	Среда	Геохимический ряд*	СПК
1	растение	Zn <sub>(1,3)</sub> -Pb <sub>(1,1)</sub> -Mo <sub>(0,7)</sub> -Ag <sub>(0,4)</sub> -Cu, Ni <sub>(0,2)</sub>	3,9
	почва	Mo <sub>(3,0)</sub> -Zn <sub>(0,5)</sub> -Cu, Ag <sub>(0,2)</sub> -Ni, Pb <sub>(0,1)</sub>	4,1
2	растение	Zn, Pb <sub>(1,8)</sub> -Mo <sub>(1,5)</sub> -Cu <sub>(0,4)</sub> -Ag <sub>(0,3)</sub> -Ni <sub>(0,2)</sub>	6,0
	почва	Mo <sub>(10,0)</sub> -Cu <sub>(6,8)</sub> -Zn <sub>(4,1)</sub> -Pb <sub>(2,9)</sub> -Ni <sub>(2,0)</sub> -Ag <sub>(0,6)</sub>	26,4
3	растение	Ag <sub>(3,8)</sub> -Zn <sub>(2,3)</sub> -Pb <sub>(1,0)</sub> -Mo <sub>(0,6)</sub> -Ni <sub>(0,2)</sub> -Cu <sub>(0,2)</sub>	8,1
	почва	Mo <sub>(7,0)</sub> -Zn <sub>(2,2)</sub> -Cu <sub>(1,9)</sub> -Ni <sub>(1,5)</sub> -Pb <sub>(0,9)</sub> -Ag <sub>(0,5)</sub>	14,0
4	растение	Zn <sub>(1,1)</sub> -Pb <sub>(0,6)</sub> -Mo <sub>(0,6)</sub> -Ag <sub>(0,4)</sub> -Ni <sub>(0,2)</sub> -Cu <sub>(0,2)</sub>	3,1
	почва	Mo <sub>(3,5)</sub> -Ni <sub>(2,1)</sub> -Cu <sub>(1,7)</sub> -Zn <sub>(1,3)</sub> -Pb <sub>(0,9)</sub> -Ag <sub>(0,5)</sub>	10,0
5	растение	Zn <sub>(1,7)</sub> -Pb <sub>(0,5)</sub> -Ag, Cu <sub>(0,2)</sub> -Ni <sub>(0,1)</sub> -Mo <sub>(0,1)</sub>	2,8
	почва	Mo <sub>(2,5)</sub> -Cu <sub>(2,3)</sub> -Ni <sub>(2,1)</sub> -Zn <sub>(1,6)</sub> -Pb <sub>(0,9)</sub> -Ag <sub>(0,4)</sub>	9,8
6	растение	Zn <sub>(1,5)</sub> -Pb <sub>(0,7)</sub> -Ag <sub>(0,6)</sub> -Ni <sub>(0,6)</sub> -Mo <sub>(0,4)</sub> -Cu <sub>(0,1)</sub>	3,9
	почва	Ni <sub>(10,0)</sub> -Mo <sub>(3,5)</sub> -Cu <sub>(2,1)</sub> -Zn <sub>(1,6)</sub> -Ag <sub>(0,6)</sub> -Pb <sub>(0,2)</sub>	18,0
7	растение	Ag <sub>(5,8)</sub> -Zn <sub>(2,2)</sub> -Mo <sub>(1,5)</sub> -Pb <sub>(0,7)</sub> -Cu <sub>(0,2)</sub> -Ni <sub>(0,2)</sub>	10,6
	почва	Zn <sub>(2,7)</sub> -Ni, Mo <sub>(2,0)</sub> -Cu <sub>(1,9)</sub> -Ag <sub>(1,4)</sub> -Pb <sub>(0,9)</sub>	10,9
8	растение	Zn <sub>(1,7)</sub> -Mo <sub>(1,4)</sub> -Pb <sub>(1,1)</sub> -Ag <sub>(1,0)</sub> -Cu <sub>(0,3)</sub> -Ni <sub>(0,3)</sub>	5,8
	почва	Pb <sub>(19,9)</sub> -Ni <sub>(2,3)</sub> -Cu <sub>(1,5)</sub> -Zn <sub>(1,4)</sub> -Ag <sub>(1,0)</sub> -Mo <sub>(0,5)</sub>	26,6
9	растение	Pb <sub>(6,4)</sub> -Ni <sub>(1,6)</sub> -Cu <sub>(1,3)</sub> -Zn <sub>(1,1)</sub> -Ag <sub>(1,0)</sub> -Mo <sub>(0,9)</sub>	12,3
	почва	Ni <sub>(2,0)</sub> -Cu <sub>(1,9)</sub> -Zn <sub>(1,4)</sub> -Pb <sub>(1,1)</sub>	6,4

Примечание: \* в скобках приведены отношения фактического содержания элемента в рассматриваемом объекте к его фону (в данном случае это контрольная проба из теплицы).

На основе построенных качественных геохимических рядов со средним содержанием ТМ путем нормирования элементов в почвах по условно фоновому значению были выделены доминантные загрязнители в каждом почвенном образце (табл. 2), а также определена доля каждого металла в общей сумме загрязнения. Кроме того, данные СПК позволили выявить интегральную характеристику степени загрязненности ТМ исследуемых территорий города.

Проведенный зольный химический анализ надземных частей растений традесканции для выявления степени интенсивности поглощения ТМ в системе почва–растение по данным КБП металлов показал, что Zn и Cu практически не аккумулируются в вегетативных органах, но захватываются растениями, в то время как Mo накапливается в надземных частях растений традесканции. Было установлено, что по величине КБП тяжелые металлы расположились в следующий ряд: Cu, Zn < Ni < Pb < Ag < Mo. Таким образом, при выявлении интенсивности поглощения ТМ из почвы растением традесканции по величине КБП показано, что больше всего в тест-объекте накапливается Mo. Аналогичные данные были получены нами и ранее [6]. Кроме того, построенные по зольному анализу качественные ряды и рассчитанный коэффициент СПК позволили дать интегральную характеристику степени накопления исследуемых ТМ в фитомассе традесканции в зависимости от пункта исследования (табл. 2).

Следует отметить, что на основании изучения системы почва–растение во всех опытных вариантах выявлен генотоксический эффект при учете как соматических мутаций в ВТН, так и кластогенных эффектов в спорогенных клетках традесканции. Максимально выраженные данные изменения наблюдались в вариантах 4 и 5. Проведенный корреляционный анализ показал прямую положительную связь между уровнем РМС и частотой МЯ ( $r = 0,77$  при  $p < 0,001$ ), а также – между РМС и БМС ( $r = 0,45$  при  $p < 0,05$ ) во всех опытных вариантах. Однако не выявлена корреляционная связь между частотой наблюдаемых мутационных событий и содержанием ТМ в почвенных образцах. Для более корректной оценки полученных результатов необходимо провести детальные комплексные исследования по выявлению генотоксических эффектов и процессов аккумуляции-трансформации ТМ в системе почва–растение.

*Поступила 25.06.2012*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексеев Ю.В.** Тяжелые металлы в почвах и растениях. М.: Агропромиздат, 1989, 142 с.
2. **Гладков Е.А.** Влияние комплексного взаимодействия тяжелых металлов на растения мегаполисов. // Экология, 2007, № 1, с. 71–74.
3. **Ma T.H., Cabrera G.L., Cebulska-Wasilewska A., Chen R., Loarea F., Vanderberg A.L., Salamone M.F.** Tradescantia Stamen Hair Mutation Bioassa // Mutat. Res., 1994 (a), v. 310, p. 211–220.

4. **Ma T.H., Cabrera G.L., Chen R., Gill B.S., Sandhu S.S., Vanderberg A.L., Salamone M.F.** Tradescantia Micronucleus Bioassay. // *Mutat. Res.*, 1994 (b), v. 310, p. 220–230.
5. **Саакян Л.В.** Особенности динамики загрязнения почв г. Еревана тяжелыми металлами (Ag, Pb, Cu, Zn, Ni). Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. географ. наук. Ер., 2008, 23 с.
6. **Атоянц А.Л., Сукиасян А.Р., Агаджанян Э.А., Варжапетян А.С., Авалян Р.Э., Арутюнян Р.М.** Применение растительных тест-объектов традесканции (клон 02) и полыни горькой для оценки генотоксичности почв и их загрязненности тяжелыми металлами. // *БЖА*, 2009, № 4 (61), с. 51–55.

Ա. Լ. ԱԹՈՅԱՆՑ, Է. Ա. ԱԳԱԶՅԱՆՑ, Ռ. Է. ԱՎԱԼՅԱՆ, Ա. Ս. ՎԱՐԺԱՊԵՏՅԱՆ,  
Լ. Վ. ՍԱԿՅԱՆ, Ա. Կ. ՍԱԳԱԹԵԼՅԱՆ, Ռ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ՀՈՂԵՐԻ ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐՈՎ ԱՂՏՈՏՎԱ-  
ԾՈՒԹՅԱՆ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀՈՂ–ԲՈՒՅՍ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ

#### Ա մ փ ո փ ո մ

Կատարվել է հողերի մոնիտինգի գենաթունաբանական ուսումնասիրություն, կախված նրանցում եղած ծանր մետաղների (ԾՄ) պարունակությունից, բուսական թեստ–օբյեկտ տրադեսկանցիայի (02 կլոնի) կիրառմամբ: Որոշ ԾՄ-ով հողերի բարձր աղտոտվածության դեպքում տրադեսկանցիայի առէջաթելերի մազիկներում դիտվել են մուտացիոն դեպքերի, իսկ միկրոսպորների տետրադներում՝ միկրոկորիզների հաճախականության բարձրացում, կախված ուսումնասիրության վայրից:

A. L. ATOYANTS, E. A. AGADJANYAN, R. E. AVALYAN, A. S. VARJAPETYAN,  
L. V. SAHAKYAN, A. K. SAGHATELYAN, R. M. AROUTIOUNIAN

YEREVAN CITY HEAVY METALS POLLUTION INVESTIGATION  
APPLYING SOIL–PLANT SYSTEM

#### Summary

With application of Tradescantia (clon 02) plants test-object was studied the genotoxicity of soil samples' pollution depending on heavy metals (HM) concentration. At high level of investigating samples pollution by some HM was revealed increase of all studied mutation events frequency in stamen hairs (SH) and the micronuclei in tetrads of microspore (MN) depending on investigating points.