

УДК 631.4:577.4:502.7

Б.Н. Мынбаева* А. Досан

Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, г. Алматы

*e-mail: bmynbayeva@gmail.com

Потенциальное использование биотестов в определении токсичности городских почв, загрязненных тяжелыми металлами

В обзоре обсуждаются актуальные проблемы биотестирования. На основе анализа литературы, отечественного и зарубежного опыта предлагаются возможные современные подходы для оптимизации и унификации методик биотестирования, которые можно использовать для почв г. Алматы. Интенсивная застройка, промышленная деятельность, высокая плотность автотранспорта на дорогах способствуют накоплению в биосфере различных поллютантов. Почва является важнейшей составляющей экосистемы, которая аккумулирует химические загрязняющие вещества. Среди многочисленных загрязнителей особое место занимают тяжелые металлы, они связываются с минеральными и органическими соединениями, что повышает общий уровень токсичности почвы. В условиях городов проведение экологического мониторинга почв для контроля концентраций поллютантов и оценки экологического состояния территории является актуальной задачей.

Ключевые слова: городские почвы, тяжелые металлы, биотестирование, токсичность, окружающая среда, техногенные вещества, поллютанты, предельно допустимая концентрация, почвогрунт, тест-объект, тест-культура, тест-организм, индикаторы, депонирующая среда, степень чувствительности биотеста.

Б.Н. Мынбаева, А. Досан

Ауыр металлдармен ластанған қала топырағындағы улану деңгейін биотесттер арқылы анықтау мүмкіндігі

Биотестілеудің қазіргі заманғы проблемалары талқыланады. Отандық және шет елдік ғалымдардың тәжірибелері және зерттеу материалдары негізінде Алматы қаласының топырағын биотестілеудің оңтайландырылған және бірегейлендірілген методикасының қазіргі заманғы мүмкіндіктері ұсынылады. Қарқынды құрылыс салу, өнеркәсіптік қызмет, қала орамдарына құрылыс салыну және жолдаға автотранспорт тығыздығы биосферадағы түрлі улағыш заттардың көбеюіне әсер етеді. Топырақ химикалық уланған заттарды жинақтайтын, экосистеманың негізгі құрамы болып табылады. Көптеген улағыш заттар арасында ауыр металдар ерекше орын алады. Олар минералды және органикалық қоспалармен араласып, топырақтың жалпы улану деңгейін жоғарылатады. Аймақтың экологиялық жағдайына баға беру мен ондағы поллютанттардың концентрациясын қадағалау мақсатында қаладағы топырақтың экологиялық мониторингін өткізу өзекті міндет болып табылады.

Түйін сөздер: қалалық топырақ, ауыр металдар, биотестеу, улағыштық, қоршаған орта, техногенді заттар, поллютанттар, шекті рұқсат етілген концентрация, тас-топырақ, тест-нысана, тест-мәдениет, тест-ағза, индикатор, сақталатын орта, биотесттің сезгіштік дәрежесі (деңгейі).

B.N. Mynbayeva, A. Dossan

Potential use of biotests in defining toxicity of urban soils polluted with heavy metals

The review discusses topical issues of bioassay. Based on the analysis of literature, domestic and foreign experience it suggests possible modern approaches to optimize and unify bioassay techniques that can be used for soil of Almaty. Intensive development, industrial activity, high density of vehicles on the roads contribute to the accumulation of various pollutants in the biosphere. Soil is an essential component of an ecosystem that accumulates chemical pollutants. Among the many pollutants a special place is designated to heavy metals, they bind with inorganic and organic compounds, which increases the overall level of toxicity of the soil. In the context of urban, execution of environmental monitoring to control the in-soil concentrations of pollutants, also assessment of the environmental condition of the territory is an urgent task.

Key words: city soils, heavy metals, biotesting, toxicity, environment, technogenic, substances, pollutants, the maximum permissible concentration, soils, test object, the test culture, the test organism, indicators, the depositing environment, the degree of sensitivity of the bioassay.

В современных условиях природная среда подвержена комбинированному техногенному загрязнению. Известно, что в связи с жизнедеятельностью человеческой цивилизации синтезируются и попадают в окружающую среду (ОС) сотни тысяч новых химических соединений с невыясненными токсикологическими характеристиками [1]. Так, разнообразные соединения естественного и антропогенного происхождения накапливаясь в почве, обуславливают ее загрязненность и токсичность.

С ростом урбанизации происходит изменение городской среды, которая во многих отношениях отличается от природной. Основной причиной является техногенное загрязнение тяжелыми металлами (ТМ). Загрязнение ТМ ОС городов существенно ухудшает экологическое состояние территорий, вызывает изменение химического состава всех природных компонентов урбэкоисотемы, в частности, педосферы. Выбросы ТМ от стационарных и передвижных источников загрязнения ОС поступают в атмосферу, почву, накапливаясь в её верхних горизонтах. Наши более ранние исследования показали, что почвы г.Алматы содержат определенное количество ТМ, содержание которых соответствует антропогенной нагрузке, уровню загруженности автотранспортом [2].

Почвы как компонент природного комплекса чрезвычайно чувствительны к данным загрязнителям. ТМ аккумулируются почвой на определенный срок и, входя в миграционные циклы природного комплекса, создают новые техногенные аномалии.

ТМ относятся к биохимически активным техногенным веществам, воздействующим на живые организмы.

Присутствие в почвах высоких концентраций ТМ, которые по токсичности уступают лишь пестицидам, ярко отражает степень техногенного загрязнения урбанистической территории. Почва является хорошим аккумулятором, способным накапливать ТМ. Она служит буфером для аккумуляции техногенных веществ из воздушной среды и из более глубоких горизонтов, где могут быть захоронены токсичные отходы производства. Находясь в почвах, в неприродных соединениях, металлы, с пылью попадая в дыхательные органы, с пищей и водой – в организм человека, наносят ущерб его здоровью.

Особо опасными для здоровья человека являются ТМ: свинец, ртуть, кадмий и др.

Появление новых поллютантов, а также синтез в гетерогенных условиях среды специфических соединений, способных обладать существенно большим токсичным потенциалом, приводит к тому, что количественные показатели загрязнения, такие как ПДК, ПДУ, не могут охватить всего многообразия поллютантов, дать корректную оценку экологического благополучия исследуемых объектов. Кроме того, даже нетоксичные соединения при комбинированном действии могут вызывать значительный токсический эффект.

В связи с этим в настоящее время растет интерес к биотест-системам, которые способны интегрально и оперативно дать токсикологическую характеристику природных и техногенных сред.

Методы биотестирования все чаще используются для определения токсических свойств воды и почвы [3]. Это обуславливается тем, что указанные объекты обычно содержат большое количество ингредиентов, токсикологические свойства которых не всегда характеризуются простой суммой свойств каждого из них с учетом количественного состава, определяемого аналитическими методами, также, эти среды часто загрязнены неустойчивыми продуктами взаимодействия и распада, которые иногда токсичнее исходных веществ. Количество присутствующих в ОС загрязнителей значительно превышает число удовлетворительных физико-химических методов анализа, позволяющих контролировать их содержание на уровне ПДК [4]. Кроме того, биотестирование позволяет получить интегральную токсикологическую характеристику природных сред независимо от состава загрязняющих веществ (ЗВ), поскольку их большая часть, в связи с отсутствием оборудования, методик и стандартов, аналитически не определяется, в связи с чем методы биотестирования приобретают все большую популярность и внедряются повсеместно.

Следовательно, биотестирование широко используется не только как способ токсикологической оценки сред, например, почв и вод, но и как весьма распространенный прием оценки токсичности или биоактивности различных материалов, химикатов, промышленных отходов. Особую востребованность биотесты получили

в новой сфере – интенсивно развивающейся технологии для оценки биобезопасности наноматериалов [5, 6, 7]. Также биотестирование считается эффективным методом оценки потенциальной опасности химического, физического или биологического воздействия на природные среды, в том числе почву [8].

На основании вышеизложенного литературного материала мы также считаем, что методы биотехнологии в современной почвенной биологии являются приоритетными. Поскольку принцип метода биотестирования в широком смысле основан на чувствительности живых организмов к экзогенному воздействию. Суть метода заключается в определении действия испытуемых веществ на специально выбранные организмы в стандартных условиях с регистрацией различных поведенческих, физиологических или биохимических тест-реакций. Тест-реакцию (или тест-функцию) определяют как одну из закономерно возникающих ответных реакций тест-системы на воздействие комплекса внешних факторов. Количественным выражением тест-реакции является тест-параметр. Критерием токсичности служит значение тест-параметра или правило, на основании которого делают вывод о токсичности исследуемой пробы. В понятие «тест-система» включают пространственно ограниченную совокупность чувствительных биологических элементов (сенсоров) и исследуемой среды, в которой они находятся. Для обозначения основных элементов, составляющих тест-систему, широко применяются термины «тест-объект» и «тест-культура» (или «тест-организм»). При этом тест-объект правильно трактовать как пробу или образец, который подвергается исследованию и оказывает воздействие, вызывая тест-реакцию у тест-организма.

Проведение экспериментов по влиянию различных поллютантов на растительные объекты в контролируемых условиях почвенной среды (так называемые растительные биотесты) или использование методов биотестирования позволяет решать многие задачи: определение качества семян, плодородия почв сельхозугодий, в биомедицинских исследованиях и относительно недавно в природоохранной сфере для оценки экологического качества природных сред (вод, почв). Известно немало методических рекомендаций по различным вариантам применения семян высших растений разных видов в фито-

тестах, также установить причины разной устойчивости растений и тенденции приспособления к токсикантам, выявить влияние конкретного фактора ОС, исключая действие других, выявить летальную дозу поллютанта и т.д. [9, 10].

В естественных условиях почвы и живые организмы содержат определенное количество ТМ (биогенные). Чрезмерное накопление поллютантов может оказаться причиной разрушения целостности природного комплекса. Техногенное воздействие ТМ и их накопление в почвах является актуальным и для г.Алматы.

Для биотестирования отработано немало методов на различных культурах: горчице белой (*Sinapis alba* L.), пшенице озимой и яровой (*Triticum aestivum* L.), овсе обыкновенном (*Avena sativa* L.), гречихе посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench) кресс-салате (*Lepidium sativum* L.) и др.

В двухлетних экспериментах в аккредитованной лаборатории экотоксикологического анализа почв факультета почвоведения МГУ (www.letar.ru) совместно с ООО «БИОГРУНТ» (www.piksa.ru) на семенах горчицы белой (*Sinapis alba*) показано, что в условиях загрязнения почвогрунтов подвижным фосфором наиболее чувствительным показателем является длина корней. Наименее чувствительным параметром оказалась всхожесть семян [10]. На этом тест-объекте можно учитывать также степень ингибирования первичного корешка проростка после обработки семян противодвудольным гербицидом. Определяли увядание растений через торможение прироста листьев надземной массы проростков [11].

Овес и рис используют как индикаторы почвенных противозлаковых гербицидов, так как это наиболее чувствительные виды среди злаковых культур. При этом, основным тестом является ингибирование роста зародышевого корня и листа [12].

С.И. Колесниковым с соавторами (2006) на семенах озимой пшеницы (р. *Triticum*), ярового ячменя (р. *Hordeum*), редиса (р. *Raphanus*), фасоли (р. *Phaseolus*) и кабачков (р. *Cucurbita pepo* var. *Giromontina*) показано, что в условиях загрязнения почв ТМ в меньшей степени подавляются такие показатели начального роста растения, как всхожесть, энергия и дружность прорастания. Наиболее чувствительным является показатель длины корней растений [13].

Некоторые авторы (Printes et al., 1998; Diamantina Teresa et al., 2001; Sakai Manabu J., 2002, Г.Н. Мисейко, Г.И. Тушкова, И.В. Цхай; Строганов Н.С., Исакова Е.Ф., Колосова Л.В., 1989; Лесников Л.А., 1986; Peters P.H., De Bernardi R., 1986.) используют представителей рода *Daphnia* как тест-объект для выявления токсичности исследуемых субстратов. Метод биотестирования с использованием ветвистоусых рачков *Daphnia* удобен, так как дафнии широко распространены в природе, легко культивируются, обладают высокой чувствительностью к токсикантам различной природы.

Проведенное биотестирование почв, с повышенным содержанием ТМ, при помощи нескольких тест-откликов на одном модельном организме, позволяет увеличить степень чувствительности биотеста. Используемые методы могут быть применены для диагностики загрязнения почв как ТМ, так и недифференцированными поллютантами.

В настоящее время оценку степени загрязнения городских почв, ее токсичности проводят с помощью различных методов биотестирования, которые широко используются для определения

токсических свойств ОС (воздуха, воды, почвы, промышленных отходов и т.д.). Нашими исследованиями установлено, что райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) служит биотестом на ТМ в почвах г.Алматы [14, 15]. Получил подтверждение как микробный объект для установления токсичности почв г.Алматы микробный штамм рода *Azotobacter* [16, 17].

В наших исследованиях предполагается в качестве объектов изучения использовать городские почвы, которые являются депонирующей средой практически для всех поллютантов.

В связи с этим представляется актуальным разработка методов комплексного биотестирования почв с различным по интенсивности автотранспортным и промышленным воздействием и оценка чувствительности различных тест-откликов к повышенному содержанию ТМ в почве как в рамках одной тест-системы, так и в сравнении чувствительности разных тест-систем.

Исследование почв г.Алматы с помощью биотестов не проводилось до настоящего времени. Данную проблему предполагается решить в магистерской диссертации одного из авторов статьи.

Литература

- 1 Шеуджен А.Х. Биогеохимия. // Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – С. 1028-1029.
- 2 Мынбаева Б.Н. Анализ природных и антропогенных факторов загрязнения окружающей среды г.Алматы // Вестник АГАУ. Сер. Биология. 2012, № 2. – С. 52-56.
- 3 Илющенко В.П., Щегольков В.Н. Чувствительность *Allium*-теста к присутствию тяжелых металлов в водной среде // Химия и технология воды. – 1990. – Т. 12. – №3. – С. 275-278.
- 4 Илющенко В.П. Быстрое тестирование токсичности, основанное на определении респираторной активности сперматозоидов и (или) инфузорий // Экология. – 1995. – № 1. – С. 63-67.
- 5 Donaldson K., Aitken R., Tran L., Stone V., Duffin R., Forrest G., Alexander A. Carbon nanotubes: review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety // *Toxicological Science*, – 2006. – Vol. 92, – Iss. 1. – P. 5-22.
- 6 Lin D. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth // *Environmental Pollutants*, – 2007. – Vol. 150, – Iss. 2. – P. 243-250
- 7 Jiang J., Oberdrster G., Elder A., Gelein R., Mercer P., Biswas P. Does nanoparticle activity depend upon size and crystal phase // *Nanotoxicology*. – 2008. – Vol. 2, – Iss. 1, – P. 33-42.
- 8 Мелехова О.П., Сарапульцева Е.И., Евсеева Т.И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование // Москва, «Академия», 2008. 2-е изд., испр. – С.228-229.
- 9 Волкотруб Л. П., Андропова Т. В. Мониторинг химических канцерогенов с использованием фитоиндикаторов // Материалы науч. конф. «Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы». Томск, 2002. – Т. 2. – С. 36-38.
- 10 Терехова В.А., Домашнев Д.Б., Канинский М.А., Степачев А.В. Экоотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития // *Проблемы агрохимии и экологии*, – 2009, – № 3. – С. 21-26.
- 11 Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: дисс ... канд. биолог. наук. – Ставрополь, Ставропольский государственный университет, 2005. – С. 159-160
- 12 Романова О.В. Использование фитотестирования при оценке токсичности почв и снеговой воды // Мат. межд. заоч. науч. конф. «Проблемы современной аграрной науки». – Красноярск: изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2009, – С. 70-75.

13 Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов н/Д: изд-во Ростиздат, 2006, – С. 385-386.

14 Mynbayeva B.N. Potential applications for Perennial Ryegrass in phytoindication of urban soils // Russian Journal of Ecology. – 2012. – No. 3. – P. 261-263.

15 Мынбаева Б.Н. и др. Аккумулятивные функции фито-объектов при различных уровнях загрязнения почв г.Алматы тяжелыми металлами // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 2. – С. 344-345.

16 Мынбаева Б.Н. и др. Микробная биоиндикация почв г.Алматы с помощью культуры *Azotobacter* // Фундаментальные исследования. – 2011, – № 6. – С. 206-209.

17 Мынбаева Б.Н. *Azotobacter* как индикатор токсичности городских почв // Известия НАН РК. – 2012. – № 2. – С. 76-79.

Reference

1 Sheudzhen A.H. Biogeohimiya. //Maykop: GURIPP “Adygeya”, 2003. –S.1028-1029.

2 Mynbayeva B.N. Analiz prirodni i antropogenni faktorov zagryazneniya okruzhayushei sredy g.Almaty // Vestnik AGAU. Ser. Biologiya. 2012, № 2. –S.52-56.

3 Ilyushenko V.P., Shegolkov V.N. Chuvstvitelnost Allium-testa k prisutstviyu tyazhelih metallov v vodnoi srede // Himiya i tehnologiya vody. 1990. – T.12. – №3. – S.275-278.

4 Ilyushenko V.P. Bistroe testirovanie toksichnosti, osnovannoe na opredelenii respiratornoi aktivnosti spermatozoidov I (ili) infuzorii // Ekologiya, 1995. № 1. – S.63-67.

5 Donaldson K., Aitken R., Tran L., Stone V., Duffin R., Forrest G., Alexander A. Carbon nanotubes: review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety // Toxicological Science, – 2006. – Vol. 92, – Iss. 1. – P. 5-22.

6 Lin D. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth // Environmental Pollutants, – 2007. – Vol. 150, – Iss. 2. – P. 243-250

7 Jiang J., Oberdrster G., Elder A., Gelein R., Mercer P., Biswas P. Does nanoparticle activity depend upon size and crystal phase // Nanotoxicology. – 2008. – Vol. 2, – Iss. 1, – P. 33-42.

8 Melekhova O.P., Sarapultseva E.I., Evseeva T.I. i dr. Biologicheskii kontrol okruzhayushei sredy: bioindikaciya I biotestirovanie // Moskva, “Akademiya”, 2008. 2-oe izd. ispr. – S. 228-229.

9 Volkotrub L.P., Andropova T.V. Monitoring himicheskikh kantserogenov s ispolzovaniem fitoindikatorov // Materiali nauch. konf. “Ekologiya I ratsionalnoe prirodopolzovanie na rubezhe vekov. Itogi I perspektivy”. Tomsk, 2002. –T. 2. – S. 36-38.

10 Terekhova V.A., Domashnev D.B., Kaniskin M.A., Stepachev A.V. ekotoksilogicheskaya otsenka povyshennogo sodержaniya fosfora v pochvogrunte po test-reaktsiyam rastenii na raznih stadiyah razvitiya // problem agrohimii I ekologii. – 2009, – № 3. – S. 21-26.

11 Bagdasaryan A.S. Biotestirovanie pochv tehnogennih zon gorodskih territorii s ispolzovaniem rastitelnih organizmov: diss ... kand. biolog. nauk // Stavropol, Stavropolskii gosudarstvennyi universitet, 2005. –S. 159-160

12 Romanova O.V. ispolzovanie fitotestirovaniya pri otsenke toksichnosti pochv I snegovoi vody // Mat. mezhd. zaoch. nauch. konf. “problemi sovremennoi agrarnoi nauki”. Krasnoyarsk: izd-vo Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2009. – S. 70-75.

13 Kolesnikov S.I., Kazeev K. Sh., Valkov V.F. Ekologicheskoe sostoyanie I funkcii pochv v usloviyah himicheskogo zagryazneniya. // Rostov n/D: “Rostizdat”, 2006. –S. 385.

14 Mynbayeva B.N. Potential applications for Perennial Ryegrass in phytoindication of urban soils // Russian Journal of Ecology. – 2012. – No. 3. – P. 261-263.

15 Mynbayeva B.N. i dr. Akkumulyativnyie funkcii fito-obyektov pri razlichnih urovnyah zagryazneniya pochv g. Almaty tyazhelimi metallami // Mir nauki, kulturi, obrazovaniya, 2012. – № 2. – S. 344-345.

16 Mynbayeva B.N. I dr. Mikrobnaya bioindikaciya pochv g.Almaty s pomoshyu kulturi *Azotobacter* // fundamentalnyie issledovaniya. – 2011, – № 6. – S. 206-209.

17 Mynbayeva B.N. *azotobacter* kak indikator toksichnosti gorodskih pochv // izvestiya NAN RK. – 2012. – № 2. – S. 76-79.