

Б. Н. МЫНБАЕВА

## СИСТЕМА БИОМОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ, ОСНОВАННАЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОИНДИКАТОРОВ И БИОТЕСТОВ

Казахский национальный педагогический университет им. Абая, г. Алматы

Автор статьи, опираясь на неоднозначность оценок качества (или токсичности) городских почв, на актуальность проведения исследований загрязнения почв г. Алматы, пришел к мнению, что необходимо разработать дополнительные, кроме ПДК, показатели биологического мониторинга с выявлением адекватных биотест-систем, остро реагирующих на тяжелые металлы. На основании полученных данных показано, что важным для понимания механизмов функционирования и мониторинга урбанизированных территорий является установление специфики и характера связей индикационных и тестовых биопоказателей с физико-химическими изменениями городских почв в динамике. Результаты подобного локального изучения могут сыграть существенную роль в решении экологических проблем других городов. На базе соответствующих эффективных биоиндикаторов и биотест-систем для определения загрязнения почв ТМ через чувствительность и острую токсичность была предложена система биомониторинга почв г. Алматы.

Урбэкология является одной из интенсивно развивающихся научно-практических областей экологических исследований, связанных с изучением природной среды городов – антропогенно преобразованных природных комплексов со специфическими характеристиками. Несмотря на свою значимость, данная проблема весьма сложна в осуществлении, поскольку охватывает целый ряд труднорешаемых аспектов – биологических, социальных, технологических. В больших городах из-за высокой антропогенной нагрузки происходит загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) их атмосферы, водоемов и почв, что приводит к негативному изменению среды обитания биоты и человека [1]. Экологическим процессам, протекающим в пределах города, свойственна высокая интенсивность и динамичность, что приводит к еще большему загрязнению городской природной среды. В конечном итоге вместо естественных почв в мегаполисах формируются специфические образования, названные ураноземами [2].

Оценку экологического состояния среды обитания человека обычно проводят с помощью химических методов, основанных на нормативах предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Существующие нормативы ПДК, определяемые обычно в лабораторных условиях, до сих пор экологически не обоснованы, но принимаются в качестве единых показателей для всей территории страны без учета региональных характеристик. Поэтому разработка и использование иных, более информативных показателей биологического мониторинга, должны стать дополнением к общепринятым нормам ПДК.

До настоящего времени системных исследований основных компонентов природной среды г. Алматы (воздуха, поверхностных вод и почвы) на содержание тяжелых металлов с изучением структурно-функциональных свойств естественных и инициированных почвенных сообществ, их ферментативной активности и др. не проводилось, хотя по некоторым вышеупомянутым аспектам имеются исследования [3-5 и др.]. Следовательно, проблема мониторинга городских почв при загрязнении их тяжелыми металлами с помощью почвенных микро- и мезобионтов так и осталась практически не изученной.

Для водных экосистем рядом исследователей была разработана биотическая концепция контроля водной среды [6, 7 и др.]. Реализация концепции предполагает проводить исследования на популяциях и сообществах, реально населяющих водные экосистемы; с полным комплексом действующих на биоту данной экосистемы факторов (химических, гидрологических, климатических, радиационных, биологических и т.д.); в условиях конкретного региона с учетом его фоновых и других локальных характеристик; не при краткосрочном воздействии, а в реальном масштабе времени с учетом запаздывания реакций и накапливания эффектов и др. Мы согласны с тем, что цель биотического контроля с таким количеством задач может быть решена для водных

экосистем, имеющих четкие пространственно-временные границы и параметры функционирования. Но для городских почвенных экосистем подобные методологические и методические подходы практически невозможно осуществить, главным образом, из-за пространственной разнородности, высокой динамичности всех факторов и значительных миграционных и диффузионных процессов, протекающих в почве. Даже простой физико-химический почвенный мониторинг имеет множество проблем при реализации [8, 9 и др.]. Поэтому поставленная цель: создание системы биомониторинга загрязнения городских почв ТМ нами решалась через выделение определенных участков городской среды, имеющих конкретное загрязнение ТМ; исследование измененных свойств и характеристик природной среды города под антропогенным воздействием, в частности, урбаноземов при сравнении с фоновыми значениями; изучение сообществ организмов разного таксономического ранга, населяющих городские почвы; поиск и обоснование новых систем биомониторинга загрязнения городских почв, использование которых позволит быстро и недорого определять уровень антропогенного загрязнения и его последствия.

При проведении исследований нами был использован широкий спектр методов: физико-химических, микробиологических, биохимических, фито- и зоиндикации, мультисубстратного тестирования микробных сообществ и др. Наблюдаемые изменения структуры микроценозов привели нас к мнению, что степень загрязнения почв ТМ можно оценивать по микробиологическим показателям с помощью чувствительных и устойчивых видов микроорганизмов. В результате изучения микробных сообществ мы выявили доминантные чувствительные и устойчивые культуры, которые использовали в мониторинге и диагностике загрязнения почв ТМ. Полученные результаты дополнили представления о влиянии ТМ на структуру микробных сообществ урбанизированных почвенных образцов, а также указали на перспективность некоторых показателей для биомониторинга и биодиагностики: установлено соответствие определенного количества КОЕ индикаторных культур актиномицетов *Streptomyces*, дрожжей *Candida* и бактерий *Azotobacter* конкретным концентрациям ТМ.

По совокупности микробиологических и биохимических показателей считаем возможным проведение биомониторинга загрязнения почв ТМ: уменьшение активности ферментов при загрязнении урбаноземов ТМ сопровождалось сокращением или увеличением общей численности хемоорганотрофов, аммонификаторов, азотфиксаторов, дрожжей и микроскопических грибов на элективных средах КАА, Чапека, СА, Эшби, что открывает возможность прогнозирования характера влияния ТМ на экологическое состояние урбаноземов.

К экологическому обоснованию биомониторинга относятся аспекты взаимосвязи различных показателей биолого-экологической активности почв городской среды при загрязнении ТМ. Проведенные нами эксперименты и выводы из них свидетельствовали о том, что под влиянием ТМ происходят сначала изменения физико-химических показателей почвы, и, как их следствие, эколого-биологическая активность. В наших исследованиях было доказано, что присутствие в почве соединений ТМ изменяло качественный и количественный состав микроценоза почв г. Алматы в сторону усиления фунгистазиса и общей токсичности, причем была установлена диагностическая роль патогенных грибов *Fuzarium*, которые можно использовать для биомониторинга экологического состояния городских почв. Таким образом, изменения в микрофлоре (уменьшение численности актиномицетов *Streptomyces* и бактерий *Azotobacter* и *Bacillus*, увеличение количества микромицетов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fuzarium* и бактерий *Cytophaga*) и микрофауне (уменьшение обилия простейших и увеличение нематод) не изменяли структуру органоминеральных и минеральных горизонтов почвы, но меняли ее физико-химический состав, режим питательных элементов за счет регуляции общей деятельности педобионтов. Они оказывали влияние на рост растения косвенно за счет регуляции химических свойств почвы и режима питательных элементов.

Грибы и бактерии мы рассматривали как взаимодействующие блоки единой микробной системы почвы. На основе популяционных подходов (типичность для почвы и определенность эколого-трофических групп) нами показана доминантность грибов и спорообразующих бактерий по численности и биомассе, их наиболее высокая удельная метаболическая активность в почве. Инокуляция почвенных образцов бактериальными культурами *Pseudomonas* уменьшила ее токсичность, количество *Fusarium* падало, но увеличения численности *Azotobacter*, *Bacillus* и других бактерий в урбаноземах не происходило, т.е. типичной антигрибковой активностью они не обладали.

Установленный нами низкий уровень биологического потенциала почв г. Алматы определялся структурно-функциональным состоянием почвенных ценозов, их суммарной активностью и интенсивностью биохимических процессов, эти биологические системы подвергались действию ТМ, конечным результатом чего явилось негативное изменение баланса гумуса, азотфиксации, дыхания почв и др. Значительное распространение в почвах г. Алматы типичных микромицетов почв (*Penicillium*, *Aspergillus*), устойчивых к ТМ, не позволил использовать их в биомониторинге, поскольку их можно отнести к эврибионтным организмам с высокой экологической валентностью, а для мониторинга необходим подбор эффективных и чувствительных к ТМ организмов (или стенобионтов).

Приведенные данные собственных исследований не всегда совпадали, а иногда и расходились с результатами других исследователей. Мы объясняем это отсутствием единых методик по изучению городских почв, сложностью сравнения данных, полученных в разное время и разными исполнителями (последнее особенно ощутимо при сравнении численности микроорганизмов), пестротой объектов исследований почвы, которая является гетерогенной системой с высокой динамичностью биохимических процессов и микробного сообщества. Поэтому анализ и обобщение данных научной литературы и собственных позволили нам предложить схему биомониторинга городских почв, загрязненных техногенными поллютантами (рис.), в которой представлены в логической последовательности компоненты экспериментальных материалов, имеющихся по данной проблеме. В данную схему возможно внесение изменений по всем компонентам по мере накопления знаний.



Концептуальная схема биологического мониторинга урбанизированных почв, загрязненных тяжелыми металлами

Схема биомониторинга городских почв основана на нескольких положениях:

1) знании объекта исследований – через комплексное изучение изменений свойств и характеристик городских почв под влиянием привнесенных и накопленных в почвах ТМ; причем их концентрации в урбанизмах должны превышать контрольные и фоновые.

2) установлении степени влияния ТМ на почвенную биоту:

– микрофлору: изменение структурно-функциональных характеристик микробных сообществ, формирование зон стресса и резистентности;

– растительные объекты: изменение морфометрических и массовых параметров растений с выделением эффективных концентраций ТМ ЕС<sub>50</sub>, вызывающих угнетение параметров на 50%;

– микрофауну: токсическое действие ТМ устанавливалось через экологический показатель LD<sub>50</sub>.

3) выделении индикаторных чувствительных форм стенопедобионтов или тест-объектов на определенные концентрации ТМ в микрофлоре, растительных объектах и микрофлоре на базе взаимосвязей между физико-химическими свойствами почвы и ее биологическими показателями.)

4) в оценке воздействия ТМ на почву в биомониторинге следует придерживаться ранговой системы чувствительных биотестов:

– на молекулярном уровне предпочтительнее всего ферментативные тесты (в наших исследованиях – инвертаза, протеаза и нитрогеназа);

– на уровне отдельных клеточных организмов наиболее индикативной бактериальной культурой оказались представители *Azotobacter* и *Pseudomonas fluorescens*, представители актиномицетов *Streptomyces*, фитопатогенные грибы *Fusarium*;

– на уровне многоклеточных организмов показательны следующие стенобионты (плевел многолетний и нематоды), обладающие низкой экологической валентностью по отношению к ТМ;

– на уровне индикаторных микробных сообществ предлагается изучать состояние микрофлоры, ответственной за цикл углерода и азота в почве, в наших экспериментах – это аммонификаторы, иммобилизаторы азота, микромицеты и актиномицеты.

Таким образом, актуальность наших исследований связана не только со значительным загрязнением природной среды г.Алматы тяжелыми металлами, особенно почв, но и с тем, что последствия их загрязнения сказываются на структурно-функциональном состоянии педобиоты, которое не регистрируется физико-химическими методами. Поэтому обоснование и разработка методов биомониторинга загрязнения городских почв с помощью тест-объектов необходимы не только для решения прикладных задач, но и для расширения теоретических знаний в области почвенной экологии. На базе соответствующих эффективных тест-систем для определения загрязнения почв ТМ через чувствительность и острую токсичность мы предложили систему биомониторинга почв г.Алматы. При разработке ее показателей мы учитывали многоаспектность этой проблемы: высокую динамичность биохимических процессов, протекающих в почве, большую гетерогенность и сложность структуры почвенных ценозов (микрофлоры, микрофлоры и растений), а также зависимость их функционирования от абиотических факторов почвенной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев В.А., Огородников И.А. Проблемы экологизации городов в мире, России, Сибири: аналит. обзор // ГПНТБ СО РАН. – Новосибирск, 2001. – Вып. 63. – 151 с.

2. Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // Почвоведение. – 1997. – № 1. – С. 96-101.

3. Наплекова Н.Н., Степанова М.Д. Биоиндикация загрязнения почв свинцом и кадмием по микробным ценозам. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2000. – 124 с.

4. Мельников А.Л. Экология почв территории города Омска. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. – 144 с.

5. Павлова Н.Н., Егорова Е.И. Некоторые показатели биологической активности почвенных микроорганизмов как индикаторы антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами и радионуклидами // Тезисы докл. II межд. конф. «Современные проблемы загрязнения почв», 2007, май. – М., 2007. – Т. 2. – С. 146-147.

6. Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Доклады РАН. – 1994. – Т. 337, № 2. – С. 280-282.

7. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиологический ж. – 1991. – Т. 27, № 3. – С. 8-13.

8. Дикарев В.И. и др. Методы и средства экологического контроля. СПб.: Изд-во Крисмас+, 1999. – 155 с.

9. Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф. Экологический мониторинг: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПГТИ (ТУ), 2002. – 90 с.

1. Grigor'ev V.A., Ogorodnikov I.A. Problemy jekologizacii gorodov v mire, Rossii, Sibiri: analit. obzor. GPNTB SO RAN. Novosibirsk, 2001, 63, 151. (in Russ.).

2. Stroganova M.N., Mjagkova A.D., Prokof'eva T.V. Rol' pochv v gorodskih jekosistemah. Pochvovedenie, 1997, 1, 96-101. (in Russ.).

3. Napljokova N.N., Stepanova M.D. Bioindikacija zagraznenija pochv svincom i kadmiem po mikrobnym cenozam. Novosibirsk: Izd-vo NGAU, 2000, 124. (in Russ.).

- 
4. Mel'nikov A.L. Jekologija pochv territorii goroda Omska. Omsk: Izd-vo FGOU VPO OmGAU, **2006**, 144. (in Russ.).
  5. Pavlova N.N., Egorova E.I. Nekotorye pokazateli biologicheskoy aktivnosti pochvennyh mikroorganizmov kak indikatory antropogenennogo zagrjaznenija pochv tjazhelymi metallami i radionuklidami. Tezisy dokl. II mezhd. konf. «Sovremennye problemy zagrjaznenija pochv», 2007, maj. M. **2007**, 2, 146-147. (in Russ.).
  6. Levich A.P. Bioticheskaja koncepcija kontrolja prirodnoj sredy. Doklady RAN, **1994**, 337, 2, 280-282. (in Russ.).
  7. Maksimov V.N. Problemy kompleksnoj ocenki kachestva prirodnih vod (jekologicheskie aspekty). Gidrobiologicheskiy zh., **1991**, 27, 3, 8-13. (in Russ.).
  8. Dikarev V.I. i dr. Metody i sredstva jekologicheskogo kontrolja. SPb: Izd-vo Krismas+, **1999**, 155. (in Russ.).
  9. Pashkevich M.A., Shujskij V.F. Jekologicheskij monitoring: ucheb. posobie. SPb.: Izd-vo SPGGI (TU), **2002**, 90. (in Russ.).

B. N. Myñbaeva

### БИОИНДИКАТОР ЖӘНЕ БИОТЕСТЕРДІ ҚОЛДАNUFA НЕГІЗДЕЛГЕН ҚАЛА ТОПЫРАҒЫНЫҢ ЛАСТАНУ БИОМОНИТОРИНГІСІНІҢ ЖҮЙЕСІ

Мақала авторы Алматы қаласы топырағының ластануына зерттеу жүргізудің өзектілігіне сүйене отырып, бұл мәселеге баға берудің маңыздылығына назар аударған, соның арқасында ШРК (шектеулі рұқсат етілген концентрация) басқа ауыр металдарға өте сезімтал қосымша биотест-жүйелеріне ұқсас биологиялық мониторинг көрсеткіштерін зерттеп табу керек деген ұғарымға келген. Алынған мәліметтерді негізге ала отырып аумактың кенттенуі мониторингі мен қызмет ету механизмін түсіну үшін ең маңыздысы қала топырағының динамикасына физикалық-химиялық өзгерістері бар текстік биокөрсеткіштер мен индикациялық байланыстардың ерекшеліктері мен мазмұнының әсерін түсіну қажет. Мұндай жергілікті зерттеу басқа қалалардағы экологиялық мәселелерді шешу үшін де маңызды рөл атқарады. Топырактың ауыр металдармен ластануына оның сезілітілдіктері мен өте ұлылығын тиімді биоиндикатор және биотест жүйесі арқылы анықтай отырып Алматы қаласы топырағының биомониторинг жүйесі ұсынылды.

B. N. Mynbayeva

### URBAN SOIL'S CONTAMINATION BIOMONITORING SYSTEM, BASED ON USING BIOINDICATORS AND BIOTESTS

The author of this article, relying on the ambiguity of the assessments of the quality (or toxicity) of urban soils, on the relevance of studies Almaty city's soil contamination came to opinion that it is necessary to develop additional, except for MAC, indicators of biological monitoring to identify adequate bioassay systems that respond to acute heavy metals. Based on these data show that important for understanding of the functioning and monitoring of urban areas is to establish the specificity and nature of the relationship of the bio-indexes (indicator and test) with the physical and chemical changes of urban soils in the dynamics. The results of this local study can play a significant role in solving environmental problems in other cities. On the basis of the effective bioindicators and bioassay-systems for determination soil contamination by HM through the sensitivity and acute toxicity was proposed biomonitoring system of Almaty city's soil.