

УДК 631.416.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТЕСТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ СВИНЦОМ

**В. И. САВИЧ, А. М. КУЛИКОВ, А. А. ВАНЬКОВА,  
Х. А. АМЕРГУЖИН, А. Ю. ЩЕРБАКОВ, Г. Р. АХАТОВА**

(Кафедра почвоведения)

**Предлагаются методы оценки загрязнения почв свинцом с использованием генетических тестов на проростках, на дрозофиле, по ингибированию микробиологической активности. Показано, что загрязнение почв свинцом приводит к изменению параметров фотосинтеза растений, развивающихся на загрязненных почвах, к изменению селективности корневых систем растений, к ингибированию нитрифицирующей и денитрифицирующей способности, к переходу актиномицетов в форму спор. При добавлении в пищу дрозофиле загрязненных свинцом почвенных растворов наблюдались генетические изменения на крыльях, идентифицируемых WS-тестом.**

Загрязнение почв тяжелыми металлами представляет большую народнохозяйственную и экологическую проблему. Тяжелые металлы из почв мигрируют в грунтовые воды и водоемы, а затем потребляются человеком с питьевой водой. Они поступают в растения и в дальнейшем в продукты питания растительного и животного происхождения. Частично тяжелые металлы мигрируют из почв с испарением и из растений с транспирацией в воздушную среду, а затем через органы дыхания в человека.

Важным обстоятельством является то, что поглощение химических элементов организмом значительно выше через респираторный тракт, чем через желудочно-кишечный. Так, свинца, поступающего с воздухом, адсорбируется кровью 25-60%, из воды - 10, из пищи - 5%. Небезопасны для биоты и человека и физические поля, трансформированные и отраженные скоплениями тяжелых металлов. Под действием тяжелых металлов происходит угнетение расти-

тельного и животного мира суши, при этом часть изменений накапливается и действует на биоту на генетическом уровне.

Согласно ГОСТ 12.0003.74 [11], свинец относится к мутагенным веществам, приводящим к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации, а также влияет на репродуктивную функцию биологических организмов. Для свинца характерны постепенное накопление его негативного влияния на биологический объект, наличие отложенной во времени ответной реакции. Чаще это возникает при малых концентрациях токсиканта. Изменение на локальном уровне биогеохимии биосферы может привести к различного рода эндемическим заболеваниям растений, животных и человека. Накопление свинца в организме человека может вызвать такие серьезные заболевания, как свинцовые энцефалопатии, вырождение периферических нервов, венозный стаз, пневмосклероз, сердечную гипертонию, цирроз печени, склерозирование почки. Так как тяжелые металлы являются антагонистами ряда элементов питания в процессах метаболизма, то, блокируя их поступление, они ингибируют и протекание соответствующих реакций. Общая схема реакции на воз-

действие загрязнения окружающей среды, предложенная Комитетом экспертов ВОЗ, включает следующие этапы проявления токсикации: накопление загрязнителей в органах и тканях, физиологические и другие сдвиги неизвестного значения, физиологические признаки болезни, заболеваемость, смертность.

Все изложенное выше определяет большую актуальность определения токсичных концентраций тяжелых металлов, в частности свинца, для развития почв, функционирования биоты, продуктивности растений, жизнедеятельности человека. Однако существующие методы оценки предельно допустимых концентраций свинца пока еще несовершенны, оценка токсичности соединений свинца на генетическом уровне, к сожалению, не проводится.

В настоящей работе предлагаются методы оценки токсичности свинца по генетическим биологическим тестам на дрозофиле, микроорганизмах, растениях. Объектом исследования выбраны дерново-подзолистые, торфяно-перегнойно-глеевая и черноземная почвы, в различной степени загрязненные свинцом, а в качестве тест-объектов - *Drosophila melanogaster*, различные виды растений и группы микроорганизмов.

## Методика

При использовании в качестве тест-объекта дрозофила применяли Wing-spott test и анализ флуктуирующей асимметрии параметров крыла. При проведении Wing-spott test учитывали долю двойных, мозаичных пятен mwh (mwh + fir) ТМЗ на крыловой пластине mwh/flr особей, полученных из скрещивания omwh/mwhoflr/ТМЗ. Возникновение их связано с соматической рекомбинацией в клетках - предшественниках крыловой пластины. При выполнении анализа флуктуирующей асимметрии параметров крыла на изображении крыла, полученного с помощью TV-камеры с микроскопа при увеличении  $\times 10$ , в формате РСХ выставляли маркерные точки в модуле TPSdig программы TPS. Использовали 13 маркерных точек. В дальнейшем, координаты положения каждой точки на каждом крыле, выраженные в пикселах, объединяли в общий файл в программе DOS с помощью команды «сору». Полученный файл анализировали в модуле TPSrlw программы TPS. При этом оси деформации, полученные в результате анализа, учитывали все достоверные скоррелированные изменения формы участков крыла, выражающиеся в разного рода

пространственных искажениях. Для каждого объекта были рассчитаны координаты положения относительно осей деформации. Анализ этих коэффициентов, являющихся признаками изменения формы крыла относительно среднего, по данной оси деформации, проводился с помощью программы STATISTICA S.O. модулей BASIC STATISTICS, ANOVA/MANOVA и NONPARAMETRICS. В качестве контроля к этому методу использовали стандартную морфометрию длины и ширины крыла, проведенную с помощью окулярмикрометра. В качестве TPS-меры флуктуирующей асимметрии использовали разницу между показателями по X и Y коэффициентам по каждой из осей деформации правого и левого крыла в каждой паре крыльев. Полученную матрицу значений обрабатывали с помощью дисперсионного анализа, непараметрическими тестами и с помощью критериев t и f — для попарных сравнений среднего и дисперсии в выборках [15,16].

При использовании в качестве тест-объектов, микробиологической активности почв было поставлено 4 опыта. В опытах 1 и 2 оценку влияния тяжелых металлов на микробиологическую активность почв проводили физико-химическими метода-

ми - по активности в почвах  $\text{NO}_3$  и  $\text{NH}_4$ . В опыте 1 из черноземной почвы, принятой условно за эталонную, выделяли и выращивали накопительные культуры нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов, которые затем вносили по 1 мл в дерново-подзолистую и черноземную почвы, разной степени загрязненности свинцом (200, 7000, 70000 мг/кг). После компостирования почв в условиях оптимального увлажнения в течение 3 суток в них определяли активность  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  с использованием ионоселективных электродов [14].

В опыте 2 изучали влияние различной степени загрязнения свинцом на естественную микрофлору почв. Почвенные образцы увлажняли и компостировали при оптимальной влажности в течение суток. Затем проводилось их загрязнение свинцом в тех же дозах, что и в опыте 1. Через 15 мин. 1, 3, 6 суток определяли активность  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , рН, Eh.

В опыте 3 в дерново-подзолистых почвах, загрязненных в естественных условиях свинцом, и контрольных определяли численность аэробных микроорганизмов на мясопептонном и крахмалоаммиачном агаре, содержание бацилл в вегетативном состоянии, общую численность актиномицетов и их

групповой состав по общепринятым методикам [10, 12].

В опыте 4 изучали состав микрофлоры на дерново-подзолистой и торфяно-перегноино-глеевой почве, не загрязненной и загрязненной свинцом. На среде Гильтая определяли денитрифицирующие микроорганизмы, на среде Эшби - аэробные азотфиксаторы, среде Виноградского - анаэробные азотфиксаторы, на среде Гетченсона - целлюлозоразлагающие бактерии, на средах МПА и КАА учитывали соответственно микроорганизмы, усваивающие органические и минеральные формы азота [9, 10, 14].

При использовании в качестве тест-объектов растений в опыте 1 оценивали влияние повышенных концентраций свинца в дерново-подзолистой почве на параметры фотосинтеза растений (активность фотосинтеза, содержание  $\text{CO}_2$  в межклетниках, транспирацию, устьичное сопротивление). Определение параметров проводили на суспензии (1:1) незагрязненной почвы и при введении в суспензию соединений свинца в дозе 500-1500 мг/100 г. Параметры фотосинтеза определяли на приборе Portable photosynthesis system Li-6200 [13].

В опыте 2 оценивали влияние предистории развития растений на поглощение эле-

ментов из питательного раствора. Для этой цели анализировали участки дерново-подзолистой почвы, не загрязненной и загрязненной тяжелыми металлами (вблизи автотрассы), а также растения одуванчика, развивающиеся на этих почвах. Определяли содержание элементов в водной вытяжке из почв и растений (П:Н<sub>2</sub>O=1:10) и поглощение элементов из питательных растворов с добавлением свинца растениями одуванчика, в течение ряда лет развивающихся на чистых и загрязненных почвах.

*Оценка токсичности свинца с использованием теста на дрозофиле.* Перспективным методом оценки влияния соединений свинца на наследственность является тест на *Drosophila melanogaster*. Преимуществом этого теста является короткий жизненный цикл дрозофилы и возможность быстрого ответа о возникновении мутационных изменений. При введении в корм естественных соедине-

ний, содержащих свинец (водной вытяжки из почв, грунтовых и поверхностных вод, сельскохозяйственной продукции), удается получить ответ о влиянии на наследственность не солей свинца, а соединений свинца, встречающихся в природных объектах (в ненарушенных композиционных отношениях с другими соединениями). Это позволяет оценить протекающие в природе эффекты синергизма, антагонизма, сенсibilизации взаимодействия свинца с другими токсикантами [16]. Полученные данные приведены в табл. 1.

Как видно из представленных данных, в среднем на крыло во всех вариантах опыта по сравнению с контролем количество двойных, мозаичных пятен увеличивалось более чем в 10 раз. Следовательно, WS-тест обладает хорошей чувствительностью при использовании его для оценки степени загрязнения почв и сельскохозяйственной продукции свинцом.

Т а б л и ц а 1

Влияние свинца на долю двойных мозаичных пятен на крыловой пластине особей *Drosophila melanogaster*

Опыт	Концентрация свинца, %	Всего крыльев	Двойные пятна на крыло
1	0,03	36	3,0
2	0,10	28	3,8
3	0,30	26	6,5
Контроль	0,00	30	0,3

Генетический тест по анализу флуктуирующей асимметрии параметров крыла не дал таких четких, однозначных результатов. По полученным данным, различия флуктуирующей асимметрии между контрольной выборкой и выборкой при загрязнении корма свинцом не установлены. Это свидетельствует о слабом действии фактора загрязнения корма свинцом на показатели флуктуирующей асимметрии по сравнению с неучтенными факторами или о слабой чувствительности этого теста.

Дисперсионный анализ позволил оценить действие фактора концентрации свинца на показатели флуктуирующей асимметрии параметров крыла с учетом влияния генотипа и пола мух. Он показал преимущественное действие фактора на 3 оси деформации. (Следует отметить, что, согласно тесту Левенье, часть показателей имела неоднородные распределения). Значительно более точные результаты получены при попарном сравнении средних показателей асимметрии и ее дисперсии в контроле и в опыте с разными концентрациями свинца, отдельно для особей, гетерозиготных по доминантной крыловой мутации в балансере ТМЗ и отдельно для особей с нормальными крыльями. Анализ показал, что

по форме крыловой пластины у особей с фенотипически нормальными крыльями чувствительность к содержанию свинца в корме возрастает с ростом показателя асимметрии. Для ряда показателей асимметрии резко и достоверно растет их дисперсия, т.е. нестабильность. (Однако прямо противоположная картина наблюдалась для особей, несущих доминантную крыловую мутацию).

*Оценка токсичности соединений свинца с использованием микробиологических тестов* Изучение влияния тяжелых металлов на микроорганизмы почвы имеет большое значение, так как микроорганизмы находятся у истока трофической цепи, по которой тяжелые металлы могут попадать в высшие организмы. В загрязненных тяжелыми металлами почвах формируются особые «техногенные» микробные сообщества. Чувствительные к свинцу микроорганизмы при загрязнении им погибают, а устойчивые остаются и развиваются более бурно. По данным [1], в составе микробных сообществ городских почв, загрязненных свинцом, выявлено доминирование бактерий рода *Bacillus megaterium*. При этом в загрязненных почвах относительно высокое содержание этих бактерий по сравнению с почвами лесопарка на порядок

выше. В образцах загрязненных почв содержится до 30-45% бактерий.

В [12] показано уменьшение численности и обеднение видового состава микроорганизмов почв прикорневой зоны березы, сосны, дуба под действием повышенного содержания свинца. Установлено, что роды *Streptomyces*, *Mycobacterium*, *Actinomyces*, *Micromonospora* могут служить индикатором загрязнения. При загрязнении почв тяжелыми металлами отмечается угнетение процессов денитрификации, нитрификации, снижение количества бактерий и актиномицетов, относительное возрастание количества бактерий и грибов.

В проведенных ранее исследованиях [9, 10] выявлена 4-степенная реакция микробной системы почв на загрязнение тяжелыми металлами. В зоне гомеостаза диапазон концентраций тяжелых металлов не вызывает заметных изменений структуры и состава микробного сообщества. Более того, возрастание биомассы микроорганизмов сообщества свидетельствует о стимулирующем действии низких концентраций некоторых тяжелых металлов на некоторые микробиологические процессы в почве. В зоне стресса диапазон концентраций тяжелых металлов не вызывает изменений состава

сообщества, но структура подвергается значительным изменениям, происходит перераспределение степени доминирования. В зоне резистентности диапазон концентраций тяжелых металлов вызывает снижение видового разнообразия микроорганизмов в почве и в конечном счете полную смену состава сообщества. Появляются устойчивые к высоким концентрациям тяжелых металлов популяции микроорганизмов. В зоне регрессии диапазон концентраций тяжелых металлов приводит к практически полному подавлению роста и развития микроорганизмов в почве. Развивается эффект общей стерилизации.

Различные почвы имеют и разные граничные дозы зон реакций микробной системы. Для дерново-подзолистой почвы зона гомеостаза микробной системы охватывает диапазон концентраций от 0 до 200 мг/кг почвы; зона стресса - от 200 до 7000 мг/кг; зона резистентности — от 7000 до 70000 мг/кг; зона регрессии наблюдается при концентрации свинца более 70000 мг/кг. Для серозема интервалы указанных зон соответственно составляют: до 200 мг/кг; 200-20000; 20000-60000; более 70000 мг/кг.

По данным опыта 1, и в дерново-подзолистой почве и в черноземе отмечалось уменьшение активности нит-

Т а б л и ц а 2

**Изменение численности микроорганизмов, развивающихся  
на дерново-подзолистой и торфяно-перегнойно-глеевой почве  
при загрязнении их свинцом**

Почва	Количество микроорганизмов на средах					
	МПА	КАА	Эшби	Генчен- сона	Вино- град- ского	Гиль- тая
			%			
Дерново-под- золистая	$1,1 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^6$	8,75	13	$3,1 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^3$
То же + Pb	$1,6 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7$	9,4	11	$9,3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^5$
Торфяно-пере- гнойно-глее- вая	$2,1 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$	100	70	$5,0 \cdot 10^2$	$3,3 \cdot 10^4$
То же + Pb	$9,3 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^7$	100	73	$4,8 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^6$

рификации и денитрификации с увеличением степени загрязнения почв свинцом, что соответствует зоне стресса. Однако при очень высоких концентрациях свинца (70000 мг/кг) существенно изменялись функциональные возможности нитрификаторов и денитрификаторов и резко увеличивалась активность  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  в почвах, что связано, очевидно, с генетическими изменениями микроорганизмов.

По данным опыта 2, увеличение степени загрязнения почв свинцом также приводило к ингибированию процесса денитрификации в дерново-подзолистой почве и в сероземе. Для чернозема достоверных изменений не отмечалось. В то же время через месяц после закладки опыта в варианте с загрязнением почв

свинцом в дозе 7000 мг/кг в дерново-подзолистой почве и в черноземе, а при дозе 70000 мг/кг в сероземе отмечалось активное развитие почвенных грибов (зона резистентности). На поверхности почв развивалась обильная плотная ватообразная мицелла. Зона регрессии и отсутствие развития почвенных грибов отмечались в дерново-подзолистой почве и в черноземе при загрязнении их свинцом в дозе 70000 мг/кг, в сероземе эта зона не была достигнута. При этом большая буферная емкость черноземов к свинцу была связана с высоким содержанием в почве гумуса, большой емкостью поглощения почв, а сероземов — с высокими значениями pH почв, при которых свинец выпадает в почве в виде трудно растворимых осадков.

В опыте 3 при повышении антропогенной нагрузки актиномицеты утрачивали способность к спорообразованию, происходило угнетение микрофлоры и изменение структуры микробного сообщества. При повышенной нагрузке встречались лишь стерильные формы лучистых грибов.

Данные опыта 4 представлены в табл. 2, из которых видно что, при значительном загрязнении свинцом в почвах изменяется численность отдельных групп (в частности, для дерново-подзолистой почвы - усваивающих минеральные формы азота, денитрифицирующих микроорганизмов, анаэробных азотфиксаторов). Это соответствует зоне гомеостаза, которая отмечается для дерново-подзолистой почвы при концентрации свинца до 200 мг/кг. Для торфяно-перегнойно-глеевой почвы это отмечается только для микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота. В то же время при данном содержании свинца в дерново-подзолистой почве наблюдалось уменьшение численности микроорганизмов, усваивающих органические формы азота, что соответствует зоне стресса. В торфяно-перегнойно-глеевой почве, отличающейся большей буферной емкостью, этого не происходило. Различные

почвы имеют разные граничные дозы токсикантов для проявления зон реакций микробной системы. Величина зоны гомеостаза служит критерием устойчивости почвы к антропогенному воздействию и, очевидно, является генетическим показателем состояния почвы.

Однако при загрязнении почв свинцом отмечалось изменение не только численности микроорганизмов, но и их состояния (морфологии). Так, на торфяно-перегнойно-глеевой почве при загрязнении свинцом на среде Эшби наблюдалось расплывчатое очертание колоний, скопление слизи, интенсивный лизис. Значительные изменения при загрязнении почв свинцом отмечались в колониях микроорганизмов на среде Гетченсона. Так, на дерново-подзолистой почве, помимо серых, появились оранжевые колонии, на торфяно-перегнойно-глеевой почве вместо серых и маслянистых колоний — матовые, фиолетовые, оранжевые, зеленоватые. Эти изменения соответствуют загрязнению на уровне стресса.

Отмечаются и генетические изменения. На дерново-подзолистой почве при загрязнении свинцом актиномицеты перешли в форму спор, появились микобактерии без плодовых тел, устойчивые к воздействию свинца; на торфяно-перегнойно-глеевой

почве — исчезли сильвитрии — мелкие неспорообразующие палочки целлюлозоразлагающих бактерий и появились плодовые тела (фибрилы) неспоровой формы, более устойчивые к загрязнению.

Полученные результаты показывают, что при загрязнении почв свинцом наряду с изменением численности и состава микрофлоры возникают изменения на генетическом уровне. Это подтверждается и литературными данными. В [5] указывается, что при загрязнении почв нарушаются репродуктивные функции актиномицетов, что проявлялось в росте доли лучистых грибов с 34 до 83%, увеличивается количество спорообразующих бактерий. В [19] отмечается, что штаммы микроорганизмов, выделенных из почв, обогащенных свинцом (из ризосферы и ризоплана растений, произрастающих на них), поглощали в 2-53 раза больше этих элементов по сравнению с культурами, изолированными от очагов загрязнения). При этом разные группы микроорганизмов и грибов в неодинаковой степени чувствительны к загрязнению. Согласно [10], чувствительны к загрязнению стенотопные типы грибов, *Mortierella ramanniana*. Устойчивы к загрязнению *Aspergillus niger*, *A. ustus*,

*Penicillium fumiculosum*. Для чувствительных типов грибов отмечается снижение прорастания спор и спорообразования, для устойчивых — активация. Следует отметить, что разные соединения тяжелых металлов влияют на почвенную биоту неодинаково. Как правило, их токсичность зависит от растворимости [2, 3, 4].

Тяжелые металлы ингибируют и ряд ферментных систем. Отмечается снижение активности каталазы, дегидрогеназы, фосфатазы, амилазы. При этом угнетение ферментативной активности происходит при содержании свинца более 10 — 200 мг/кг; 0,05 — 500 мг/л; а полная инактивация — при содержании более 500 мг/кг [2, 3, 7].

*Оценка токсичности соединений свинца с использованием тестов на растениях.* С нашей точки зрения, простыми генетическими тестами на загрязнение растений свинцом могут быть константы обмена ионов на корневых системах растений, лимиты оптимальных параметров используемых вещества и энергии, интенсивность фотосинтеза, коэффициент полезного действия использования фотосинтетически активной радиации, антропогенно затраченного вещества и энергии, устойчивость растений к загрязнению свинцом, адаптацион-

ные возможности к различным стрессовым ситуациям, накопление свинца в отдельных органах растений, значительное изменение в процессах метаболизма, доля положительно и отрицательно заряженных соединений свинца в органах растений.

Следует отметить, что все указанные параметры состояния растений могут варьировать и при отсутствии генетических изменений. Однако степень изменения и величины показателей характеризуют как границы между экотипами растений, так и экологические особенности культур и сортов. Так, концентрация свинца в растениях составляет от 0,1 до 30 мг/кг, увеличиваясь в корнях [7, 8]. Наибольшее количество соединений свинца способны накопить листья каштана конского (600-800 мг/кг сухой массы), клена остролистного (304 мг), бирючины обыкновенной (270 мг), тополя пирамидального (162 мг), липы крупнолистной (80 мг/кг).

Анализ содержания свинца в растениеводческой продукции свидетельствует о значительном варьировании показателей в зависимости от вида растений, почвенно-климатических условий и технологии выращивания. Так, содержание свинца в клубнях картофеля колеблется от 0,1 до 1,5 мг/кг. В то же время экотипы рас-

тений, занимающих загрязненные участки, существенно различаются по степени устойчивости к тяжелым металлам, будучи при этом разделенными расстоянием менее чем 100 м. Известен случай, когда некоторые популяции растений, выросшие под изгородью из оцинкованного железа, приобрели устойчивость к цинку менее чем за 25 лет и имели четкие пространственные границы между экотипами [2]. По полученным нами данным (опыт 1), загрязнение почв свинцом вызывает существенные изменения параметров фотосинтеза растений (табл. 3).

Загрязнение почв свинцом вызывало как резкое увеличение доли положительно заряженных соединений свинца в листьях растений, так и большие изменения соотношения положительно и отрицательно заряженных соединений других ионов. Загрязнение свинцом привело к существенным изменениям поглотительной способности корневых систем растений. Так, в контрольном варианте содержание кальция в равновесном растворе после выращивания растений составило  $110,8 \pm 14,3$  мг/л, а при загрязнении раствора свинцом -  $207,8 \pm 20,5$  мг/л, т.е. произошло ингибирование поглощения кальция корневыми системами. В контрольном варианте в листь-

**Изменение параметров фотосинтеза растений  
при загрязнении почв свинцом**

Показатель	Контроль	Свинец
Содержание CO <sub>2</sub> в межклетниках, ppm	377±65	1134±290
Устьичное сопротивление, с/ом	20,3±2,7	127,4±16,2
Интенсивность фотосинтеза:		
ммоль/м <sup>2</sup> ·с	6,7±0,7	2,2±0,3
%	100	32
Транспирация, моль/м <sup>2</sup> ·с	0,6±0,06	0,2±0,07

ях 2-го яруса огурца накопление <sup>32</sup>P в импульсах за 10 с на 1 см<sup>2</sup> листьев составило 298,7±47,6, а при ингибирующем действии свинца — 83,7±8,0.

Данные, полученные в опыте 2, приведены в табл. 4. Так, в корнях растений одуванчика с загрязненных участков больше цинка, марганца, меди, железа, свинца, магния. Однако корни данных растений больше поглотили этих элементов и из питательного раствора (их меньше осталось в равновесном растворе). Таким образом, адаптационная способность растений к загрязнению, проявляющаяся в селективности к тяжелым металлам корневых систем, осталась и после замены питательного субстрата.

Следует отметить, что для загрязнения сельскохозяйственных объектов свинцом совместно с другими токсикантами в основном характерно синергическое взаимодействие (усиление действия

одного токсиканта другим), сенсбилизация, когда повторное воздействие вызывает больший эффект, чем предыдущее. Взаимодействия по типу аддитивного влияния и антагонизма выражены значительно реже. Системы обратной связи позволяют оценить влияние существующей смеси, веществ, содержащих токсикант (почвенного раствора, сбросных вод, ягод, плодов, животноводческой продукции), на состояние биологического объекта.

Считается, что допустимый уровень или предельно допустимая концентрация - это максимальное значение фактора, которое, воздействуя на биологический объект (изолированно или в сочетании с другими факторами), не вызывает у него и его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсированных, в т. ч. заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных

Содержание элементов в корнях растений с чистых и загрязненных участков и поглощение ими элементов из питательного раствора

Показатель	Zn	Mn	Cu	Fe	Pb	Mg
Содержание в корнях, мг/100 г (вытяжка H <sub>2</sub> O):						
чистый участок	0,16±0,03	0,06±0,01	0,15±0,02	0,03±0,01	0,03±0,01	10,8±1,7
загрязненный участок	0,23±0,03	0,19±0,03	0,24±0,02	0,16±0,04	0,40±0,10	28,4±5,0
Осталось в равновесном, питательном растворе после вырощивания растений, мг/л:						
чистый участок	0,48±0,08	0,78±0,10	0,06±0,01	0,05±0,01	0,26±0,09	17,3±4,1
загрязненный участок	0,17±0,03	0,35±0,03	0,01±0,00	0,03±0,01	0,11±0,04	8,1±0,6

возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также у человека и животных психологических нарушений [3]. Поэтому оценка токсичного влияния соединений свинца на функциональные свойства биологических объектов (в т. ч. на генетическом уровне) является необходимым условием корректной сертификации сельскохозяйственной продукции на загрязнение.

Исследованиями подтверждено, что повышенное содержание свинца в почве, в растительной продукции, кормах вызывает генетические изменения в биологических объектах. При этом такие изменения возникают и при концентрациях свинца ниже ПДК в связи с накоплением негативных изменений в объекте с течением времени. С точки зрения сертификации, достаточно простыми и надежными тестами являются тесты на загрязнение почв и сельскохозяйственной продукции свинцом с использованием микроорганизмов и проростков растений.

### Выводы

1. Предлагается оценка токсичного влияния смеси природных соединений, содержащих свинец, на биологические объекты с использованием Микробиологических тестов, тестов на проростках и на дрозофиле.

2. Генетические изменения, вызванные загрязнением пищи свинцом, идентифицируются на дрозофиле по WS-тесту.

3. Сертификация загрязнения природных объектов смесью соединений, содержащих свинец, перспективно проводить с использованием микробиологических тестов. Загрязнение свинцом приводит к ингибированию нитрифицирующей и денитрифицирующей способности.

4. При загрязнении свинцом отмечается уменьшение активности фотосинтеза растений, увеличение концентрации  $CO_2$  в межклетниках и устьичного сопротивления, повышение доли положительно заряженных соединений свинца в растениях и изменение соотношения положительно и отрицательно заряженных соединений ионов в листьях, существенное ингибирование и изменение селективности поглощательной способности корневых систем растений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Агаркова М.Г.* Эколого-генетические особенности почв городских экосистем. — Автореф. канд. дисс., М., МГУ, 1991. — 2. *Агрэкология* / Под ред. Черникова В. А., Чекереса А.И. М.: Колос, 2000. — 3. *Безопасность жизнедеятельности* / Под ред. Белова В.С. М.: Высшая шко-

- ла, 1999. — 4. Биохимические основы экологического нормирования / Под ред. Башкина В.Н. и др. М.: Наука, 1973. — 5. *Грачева Н.М.* Влияние антропогенного загрязнения на лесорастительные свойства дерново-подзолистых почв. — Автореф. канд. дисс. М.: ТСХА, 1992. — 6. *Грипих Л.И., Шевченко В.В. и др.* Связь цитогенетического действия комплексов платины (II) с их структурой. — Генетика, 1983, т. 19, № 6, с. 845-961. — 7. *Ильин В.В.* Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. — 8. *Кабата-Пендиас К., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. — 9. *Летунова С.В.* Биогеохимические критерии оценки ответной реакции микроорганизмов на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами. — Тр. биох. лаб., 1990, т. 21, с. 72-88. — 10. *Марфенина О.В.* Микробиологические аспекты охраны почв. М.: МГУ, 1991. — 11. Охрана почв. — Сб. нормативных актов. РЭФИА, М., 1996. — 12. *Переверзева А.Л., Кузнецов Е.В.* Влияние уксуснокислого свинца на состав микрофлоры и азотфиксирующую способность почв под некоторыми лесными насаждениями. — Докл. ТСХА, 1985, с. 21-43. — 13. *Савич В.И., Савич Л.В., Вишняков Ю.Л.* Оценка предельно допустимой концентрации свинца по активности фотосинтеза. — Докл. АН России, Общая биология, 1993, т. 333, с. 121-123. — 14. *Савич В.И., Трубицина Е.В., Амергузин Х.А.* Физико-химические методы исследования системы почва-растение в полевых условиях. Алматы, 1997. — 15. *Bezborodova E., Kulikov A., Georgiev P.* — Mol. Gen. Genet, 1977, vol. 257, p. 83-90. — 16. *Melnikova L., Kulikov A., Georgiev P.* — Mol. Gen. Genet, 1996, vol. 252, p. 230-236.

*Статья поступила  
20 июня 2002 г.*

## SUMMARY

Estimation of polluting soils and farm production with lead by using biological genetic tests.

Methods of estimating soil pollution by lead with using genetic tests on sprouts, on drosophile, methods of inhibiting microbiological activity are offered in the paper. It is shown that soil pollution with lead results in changing photosynthesis of plants developing on polluted soils, in changing selectivity of plant root systems, in inhibiting nitrifying and denitrifying ability, in transition of actinomyces into spore form. With addition of soil solutions polluted with lead into drosophile food, on wings identified by WS-test appear genetic changes.