

УДК 631.427.2

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ НА ВНЕСЕНИЕ СОЛЕЙ СВИНЦА И КАДМИЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ОПЫТА

© 2013 Ю.А. Холопов

Самарский государственный университет путей сообщения

Поступила в редакцию 09.04.2012

В работе изучена реакция микроорганизмов почв различных лесных ценозов на внесение солей свинца и кадмия. Показаны сукцессионные изменения и дана оценка устойчивости сообщества почвенных микроорганизмов к загрязнению.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, почвенные микроорганизмы, оценка устойчивости.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние тяжелых металлов (ТМ) на состояние комплекса почвенных микроорганизмов и на биологическую активность почвы изучается достаточно давно [1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 16]. Однако данные часто противоречивы, так как они получены при работе на различных почвах, с разными дозами и формами соединений ТМ, а для лесных экосистем в условиях техногенного загрязнения влияние ТМ на микробиологические показатели почв практически не изучено [14,15]. Вместе с тем использование микробиологических индикаторов последствий техногенного загрязнения почв является чрезвычайно важным [8, 10].

Цель данной работы - изучение ответной реакции комплекса почвенных микроорганизмов различных лесных ценозов на возрастающие дозы тяжелых металлов для оценки устойчивости микробных сообществ. При этом решались следующие задачи:

- выявить влияние солей Pb и Cd на численность основных групп микроорганизмов почв различных лесных ценозов в динамике;
- установить, как ТМ изменяют видовой состав спорообразующих бактерий и групповой состав актиномицетов;
- оценить действие соединений Pb и Cd на базальное, субстрат-индуцированное дыхание почвы, активную микробную биомассу, коэффициент микробного дыхания;

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В серии модельных экспериментов по изучению ответной реакции почв на внесение уксусно- и азотнокислых солей Pb и Cd использованы дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы, отобранные с пробных площадей 6, 4-А, 9 Лесной опытной дачи МСХА им. К.А. Тимирязева, заложенных под различными ценозами – дубовым, сосновым и смешанным (сосна+береза). Отбор образцов проводили по периметру проекции крон

модельных деревьев на глубину 0-5 см без подстилки. С каждой пробной площади отбирали по 15...20 почвенных образцов, из которых составляли смешанный.

В серии модельных экспериментов исследовано влияние различных форм и доз Pb и Cd на микробиологические характеристики почв дубового и соснового ценозов. Нитратные и ацетатные соли тяжелых металлов вносили в количествах, превышающих исходное в 2, 20, 200 и 2000 раз, что составило по Pb 80, 800, 8000 и 80000 мг/кг почвы, по Cd - 2, 20, 200, 2000 мг/кг почвы.

Для изучения динамики численности микроорганизмов и видового разнообразия были выбраны следующие сроки отбора проб: 2-е сут. после внесения токсиканта, 15, 30 и 60 сут. (1...4 сроки).

Эксперименты проводили в стеклянных стаканчиках, однородных по высоте и объему. 50 г почвы (в пересчете на абсолютно сухую) увлажняли до оптимальной влажности (60...70% ППВ), поллютанты вносили в виде растворов, тщательно перемешивая. В дальнейшем влажность поддерживали поливом по весу.

Микробиологические анализы почвы проводили по общепринятым методикам глубинного посева [13] на четырех средах: МПА, КАА, МПА+СА, СА; идентификацию бактерий – по методике Родиной, групповую принадлежность актиномицетов по Красильникову и шкале цветов Бондарцева.

В опытах по определению дыхательной активности почвы трех ценозов помещали в чашки Петри (d = 12,5 см). Уксусно- и азотнокислый свинец вносили в виде растворов (доводя влажность до 60...70 % ППВ) в количествах, превышающих среднее начальное содержание в 10, 50, 100 и 200 раз (600, 3000, 6000 и 12000 мг/кг почвы соответственно). Соли кадмия вносили в таких же пропорциях, что в абсолютном выражении составило 10, 50, 100 и 200 мг/кг почвы. Сравнительная оценка токсичности изучаемых солей в дозах 600, 3000, 6000 и 12000 мг/кг почвы (по катиону) была проведена для почвы соснового ценоза. Почву инкубировали при заданной влажности, температуре $22 \pm 0,5$ °С, в темноте. Опре-

Холопов Юрий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент. E-mail: kholopov@bk.ru

деление скоростей базального и субстрат-индуцированного дыхания (СИД) проводили в динамике на 0, 2, 4, 8, 16, 32 и 64 сут. (1...7 сроки) хроматографически по общепринятой методике [2] и выражали в мкг С/г · час.

Коэффициент микробного дыхания Q_R рассчитывали как отношение скоростей выделения CO_2 из небогатой почвы (V_{BAS}) и почвы, в которую внесен избыток доступного субстрата (глюкозы) (V_{SIR}).

Биомассу активных микроорганизмов определяли методом субстрат-индуцированного дыхания с последующим пересчетом на углерод микробной массы [17]. Все измерения проводили в 3-кратной повторности. Полученные данные обработаны многофакторным дисперсионным анализом с использованием программного комплекса STRAZ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Влияние солей Pb и Cd на численность групп микроорганизмов почв различных лесных ценозов

Изменение численности микроорганизмов, потребляющих органические формы азота. Все изучаемые дозы поллютантов оказали действие на численность бактерий на МПА. Причем, азотнокислый свинец проявил стимулирующий эффект, в то время как ацетат свинца в дозах $\times 2$ и $\times 20$ в целом ингибировал численность бактерий, а дозы $\times 200$ и $\times 2000$ вызывали сукцессионные изменения (отмечены затухающие колебания численности), что характеризует выход системы из состояния равновесия. Реакция микроорганизмов почвы дубового ценоза на возмущающий фактор была менее продолжительной, чем в почве соснового ценоза.

Соединения Cd оказали существенное влияние на численность аммонификаторов почвы дубового ценоза. Доза $\times 2000$ ацетата Cd ингибировала этот показатель до 60 сут. включительно. Доза $\times 2$ стимулировала рост бактерий, что отмечено в 1 и 2 сроки, а $\times 20$ - после падения численности до 0,4 в 1 срок дала вспышки на 15 (в 4,4 раза) и 60 сут. (в 2,8 раза).

Действие $Cd(NO_3)_2$ носило более сложный характер. Смена \max и \min в численности свидетельствовала о выходе микробной системы из состояния равновесия. К 60 сут. все дозы (кроме $\times 2000$) приблизили численность к контрольным цифрам. Для максимальной дозы все еще отмечалось угнетение.

Изменение численности микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота. Данные микроорганизмы оказались достаточно чувствительны к действию тяжелых металлов, что отмечено в литературе. Соли свинца (большинство доз) ингибировали численность на КАА до 30

сут. (рис.1). Вспышки численности при дозах $\times 2... \times 200$ (нитрат свинца), можно отнести, прежде всего, за счет анионного эффекта. По продолжительности угнетающего действия на численность более токсичным был нитрат свинца (по сравнению с ацетатом).

При внесении соединений Cd отмечен стимулирующий эффект всех доз (кроме $\times 2000$, поллютант - нитрат кадмия) на 2 сут. Стабильное достоверное угнетение общей численности было для всех доз на протяжении 60 сут., кроме дозы $\times 2$. Вероятно, что стимулирование численности происходило большей частью за счет анионов, а в последующем наблюдалось действие самого металла (рис. 2).

Изменение численности спорообразующих бактерий. Различий в реакции на ацетат свинца спорообразующих бактерий почв соснового и дубового ценозов не выявлено. После увеличения численности на 2 сут. в 1,6...2,2 раза наступало ингибирование, которое сменялось для большинства доз к 30 сут. Вспышкой численности. Исключение составляла доза $\times 2000$, для которой падение численности до 0...0,4 к контролю сохранялось до конца эксперимента.

Азотнокислый свинец оказался более токсичным, чем уксуснокислый. Дозы $\times 200$ и $\times 2000$ уменьшали численность на МПА+СА до 30 сут. включительно, в то время, как ацетат свинца проявил себя аналогичным образом лишь при максимальной дозе. Вслед за вспышкой численности спор до 2 раз на 2 сут. $Pb(CH_3COO)_2$ уменьшал их количество до 0...0,25 к контролю на 15 сут., после чего наступало увеличение. Отмеченные закономерности оказались справедливыми для почв соснового и дубового ценозов.

Все изучаемые дозы ацетата кадмия привели к увеличению численности спор до 1,8...6,3 раз на 2-е сут. после внесения поллютанта. В вариантах с нитратом кадмия отмечалось падение численности спор до 0,6...0,2 к контролю.

Изменение численности микроскопических грибов. Ацетат свинца в дозе $\times 2000$ ингибировал численность грибов практически до 0. Внесение нитрата свинца (доза $\times 2$) вызывало колебания численности грибов с большей амплитудой по сравнению с такой же дозой ацетата. Однако, возрастание численности микроскопических грибов под действием доз $\times 20$ и $\times 200$ в почвах дубового и соснового ценоза к 60-м сут. в 1,7...3,5 раз подтверждает отмеченную в литературе повышенную устойчивость грибов к ТМ.

Действие солей кадмия на микроскопические грибы носило схожий характер. На 2-е сут. после внесения поллютантов наблюдалось ингибирование численности до 0,3...0,6 всеми изучаемыми дозами, к 15 сут. - большинством доз достигался уровень контроля, что свидетельствует о снижении токсического эффекта кадмия по отношению

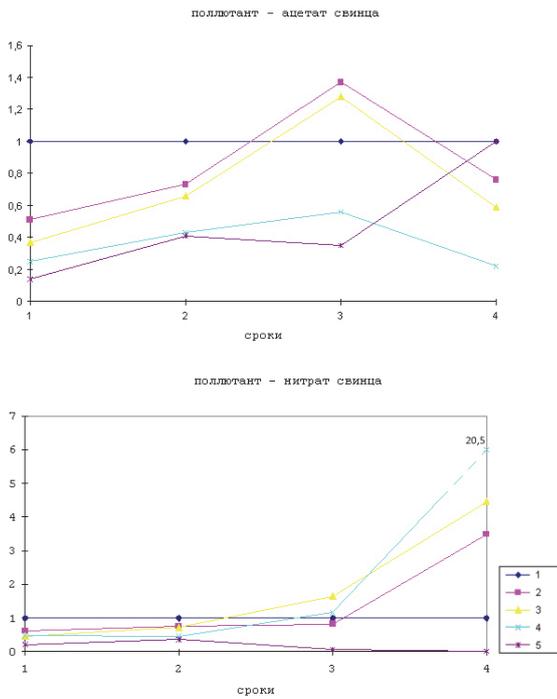


Рис. 1. Динамика численности микроорганизмов почвы соснового ценоза на КАА под действием солей свинца.

Варианты: 1 - контроль, 2 - x 2, 3 - x 20, 4 - x 200, 5 - x 2000.

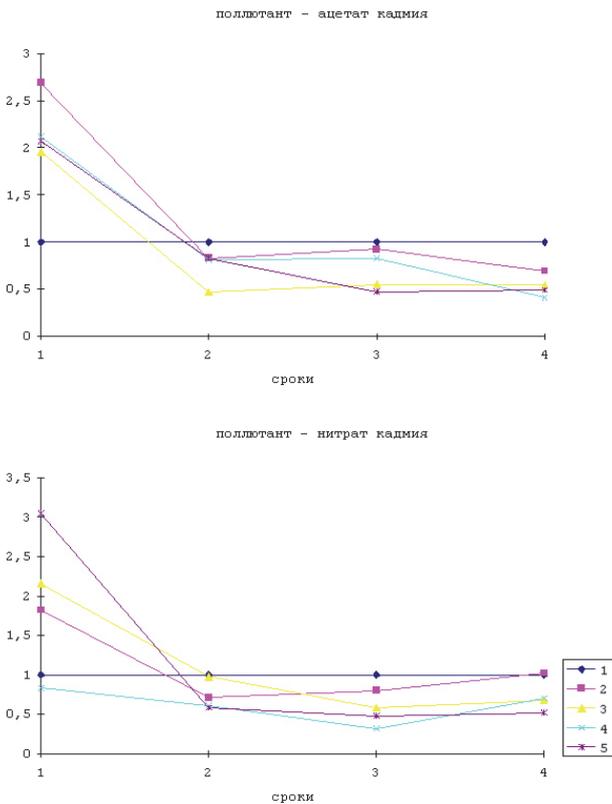


Рис. 2. Динамика численности микроорганизмов на КАА под действием солей кадмия.

Варианты: 1 - контроль, 2 - x 2, 3 - x 20, 4 - x 200, 5 - x 2000.

к грибной компоненте. На 30-е сут. - вновь снижение численности (менее выраженное) и к 60 сут. – повышение до уровня контроля, что можно рассматривать как тенденцию к стабилизации. В вариантах с ацетатом кадмия, однако, такая стабилизация к концу опыта еще не наступала.

2. Влияние тяжелых металлов на структуру и состав микробоценозов

Структура бактериального населения почв.

Под влиянием загрязнения отдельные виды выпадают из сообщества (на время или совсем), другие могут занимать не свойственное им доминирующее положение.

Азотнокислый свинец вызвал увеличение численности спор *Bac. idosus* (в 1 срок), что отмечается и в литературе; *Bac. cereus* (2 и 3 сроки), *Bac. agglomeratus* (4 срок). Доля *Bac. virgulus* в сообществе сокращалась уже на 2 сут. и к 15 сут. наблюдалось выпадение вида при дозах x 200 и x 2000; даже на 60 сут. все изученные дозы оказывали на данный вид ингибирующее действие. После увеличения доли спор *Bac. mycoides* в первые сроки, к 30 и 60 сут. численность спор этого вида падала.

Ацетат свинца, внесенный в почву дубового ценоза, также увеличивал долю спор *Bac. idosus* с 13,7 % в контроле до 20,6...42,9 % в зависимости от доз (причем, как и в случае с $Pb(NO_3)_2$, только в 1 срок). Отмечено увеличение доли спор *Bac. virgulus* во 2 срок с 7,8 % (контроль) до 22,5...100,0 %, *Bac. agglomeratus* (до 63,9...71,5 % - в 3 и 4 сроки при дозах x 200 и x 2000). В отдельные сроки нами не были обнаружены *Bac. mycoides*, *Bac. cereus*, *Bac. agglomeratus*, *Bac. idosus*.

Соединения кадмия ингибировали следующие спорообразующие бактерии: *Bac. idosus* (наблюдалось выпадение по срокам и дозам), *Bac. virgulus*. Под действием кадмия происходило увеличение доли *Bac. mycoides*, *Bac. cereus* (поллютант - нитрат кадмия, все дозы, 1 срок), *Bac. cereus* (поллютант - ацетат кадмия, все дозы, 2 срок), *Bac. agglomeratus* (нитрат и ацетат кадмия, все дозы, 3 срок). В целом можно отметить обеднение видового разнообразия, в большинстве случаев доминировали *Bac. agglomeratus*, *Bac. mycoides* и *Bac. cereus*.

Групповой состав актиномицетов. Внесение в почву солей Pb и Cd приводило к увеличению доли актиномицетов, лишенных воздушного спорообразующего мицелия, которое даже при дозе x 2 составило 1,2...1,3 раз - нитрат и ацетат свинца соответственно; 1,3 и 1,7 раз для солей кадмия (почва дубового ценоза). Максимальные изучаемые дозы часто приводили к 90...100 % стерильности.

Преобладающие в естественных условиях актиномицеты гр. *Albus* и *Albidus* были чувствительными к воздействию поллютантов. На протя-

жении опыта наблюдалось выпадение этих группировок в вариантах $\times 20 \dots \times 2000$, либо значительное угнетение. Причем, ацетат свинца оказался более сильным ингибитором, чем нитрат. В вариантах с солями Pb отмечено увеличение в различные сроки доли актиномицетов гр. *Griseus*, *Chromogenes*, *Flavus*, *Lavendula*. Максимальные дозы $\times 2000$ $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ приводили к доминированию гр. *Niger* (от 57,1 до 100 %); в вариантах $\times 20$ и $\times 200$ доминировали гр. *Griseus*, *Chromogenes*, *Fradia*.

3. Изучение действия соединений свинца и кадмия на базальное и субстрат-индуцированное дыхание почв лесных ценозов

Влияние Pb и Cd на скорость базального дыхания. Ацетат свинца (дозы $\times 100$ и $\times 200$) ингибировал V_{BAS} в почвах дубового, соснового и смешанного (сосна+береза) ценозов уже на 0-е сут. По мере инкубации скорость базального дыхания увеличивалась и имела максимумы в почве соснового ценоза при дозах $\times 50$ - на 4-е сут., $\times 100$ - на 8-е, $\times 200$ - на 32-е сут. Аналогичная зависимость была выявлена и для реакции почвы дубового ценоза, однако максимумы V_{BAS} сместились во времени и пришлось для дозы $\times 50$ - на 2-е сут., для доз $\times 100$ и $\times 200$ - на 4-е и 8-е сут. соответственно. Это свидетельствует о большей способности почвы дубового ценоза противостоять негативному воздействию свинца. Вопреки ожиданиям, почва сосново-березового ценоза по характеру ответной реакции не заняла строго промежуточного положения между почвами хвойного и широколиственного ценозов. Дестабилизирующее действие изучаемых доз проявлялось вплоть до 32 сут. На 64-е сут. скорости базального дыхания загрязненных свинцом почв всех трех ценозов приблизились к соответствующим фоновым значениям.

Ацетат кадмия в изучаемых дозах вызвал увеличение скорости базального дыхания на 19...142 % уже в 1-й срок. Однако, на 2-е сут. этот показатель для вариантов $\times 10 \dots \times 200$ стабилизировался возле контрольных значений. В течение периода 4...16 сут. в большинстве случаев оставались значения, близкие к контрольным (за исключением снижения для почв соснового ценоза на 8-е сут.). Возможно, это явилось следствием "противостояния" ингибирующего и стимулирующего эффектов катиона-аниона. К 64-м сут. для почв всех ценозов наблюдалось снижение скорости продуцирования CO_2 до 0,45...0,89 к контролю (исключение - дозы $\times 100$ и $\times 200$, почва соснового ценоза, где наблюдалось увеличение на 13...35 %). Это доказывает, что кадмий действительно ингибирует дыхательную активность, причем действие во времени не ограничивается 2-х мес. сроком.

Первоначальная реакция микробценозов на внесение уксусно- и азотнокислых соединений свинца и кадмия в дозах 600...12000 мг/кг почвы выразилась в увеличении базального дыхания. Ингибирование дыхания дозой 600 прослеживалось в период 8...32 сут. (для всех соединений), дозой 3000 мг/кг почвы - со 2 по 64 сут. - для ацетата кадмия, с 16 по 64 сут. - для нитрата кадмия и ацетата свинца, с 8 по 64 сут. - для нитрата свинца. Доза 6000 мг/кг почвы угнетала дыхание почвы со 2 по 64 сут. - ацетат Cd, с 8 по 64 сут. - нитрат Cd и нитрат Pb. Для дозы 12000 мг/кг почвы наиболее продолжительным было также действие ацетата кадмия.

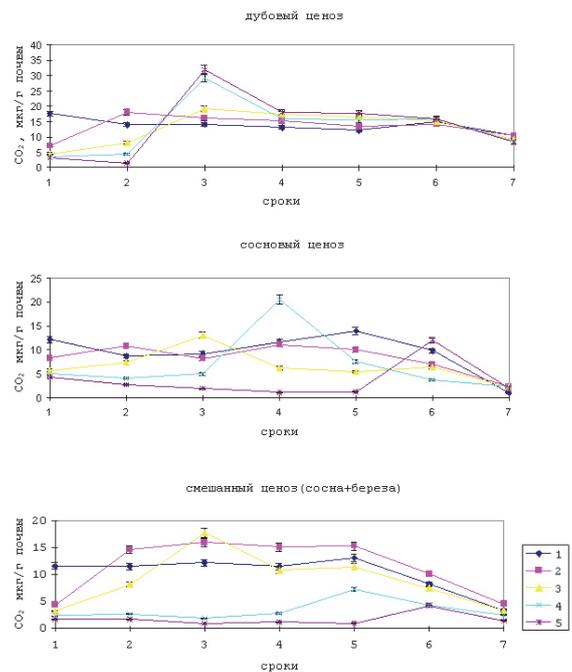


Рис. 3. Изменение скорости субстрат-индуцированного дыхания почвы под действием уксуснокислого свинца.

Варианты: 1 - фон, 2 - $\times 10$, 3 - $\times 50$, 4 - $\times 100$, 5 - $\times 200$

Влияние Pb и Cd на скорость субстрат-индуцированного дыхания. В отличие от скорости базального (актуального) дыхания, СИД почвы показывает потенциальную активность микроорганизмов. Все изучаемые дозы ацетата свинца оказали воздействие на данный показатель уже на 0-е сут. эксперимента (произошло снижение) (рис.3). Временная динамика СИД характеризует почву дубового ценоза как более устойчивую. После вспышки активности при дозах $\times 100$ и $\times 200$ (4-е сут.) произошло их постепенное сближение с уровнем фона. Можно считать, что к 32...64 сут. наступает восстановление дыхательной активности. Более глубокие изменения наблюдались в вариантах с почвой соснового ценоза. Доза $\times 200$ ингибировала СИД вплоть до 32-х сут. Для других доз отмечалась смена миниму-

мов и минимумов данного показателя. СИД в вариантах с почвой сосново-березового ценоза ингибировалось дозами x 100 и x 200 до конца эксперимента.

Ацетат кадмия (x 10...x 200) оказал нейтральное или стойкое стимулирующее действие на величину V_{SIR} в большинстве случаев. Угнетение субстрат-индуцированного дыхания было отмечено лишь в конце эксперимента (32...64 сут).

Изменение активной микробной биомассы. Ацетат свинца вызвал резкое уменьшение активной микробной биомассы (АМБ) почв всех трех ценозов в 1-й срок (рис.4). Но уже на 2-е сут. доза x 10 проявила стимулирующий эффект (одинаково во всех почвах). Почва дубового ценоза на более ранних сроках (4...16 сут.) увеличила свою активную биомассу, тем самым оказывая противояствие поллютанту.

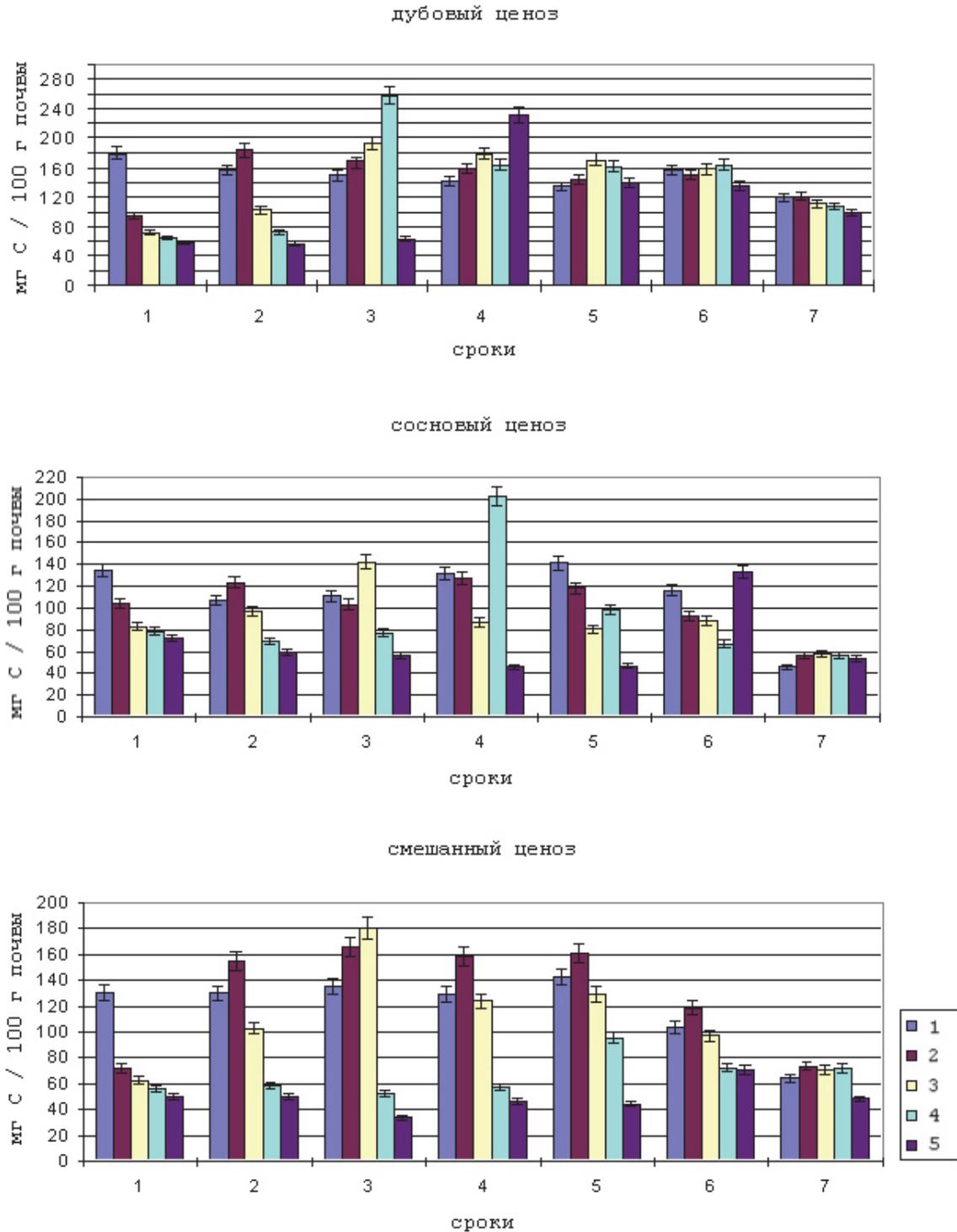


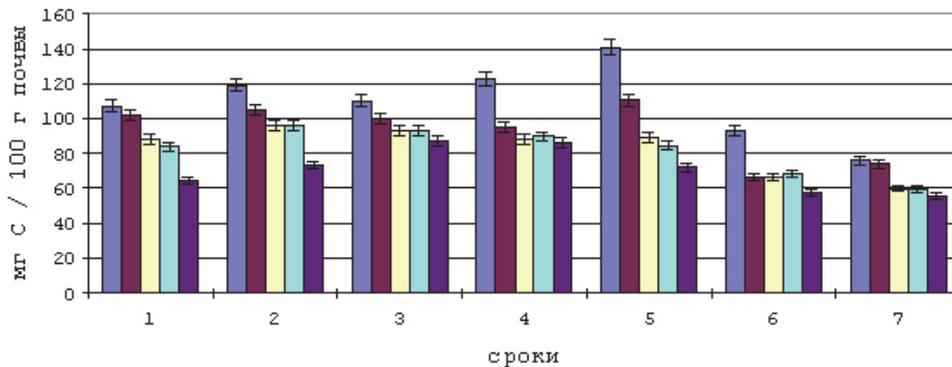
Рис. 4. Изменение активной биомассы микроорганизмов почв различных ценозов под действием ацетата свинца.
Варианты: 1 - контроль, 2 - x 10, 3 - x 50, 4 - x 100, 5 - x 200

К 30 сут. дозы x 10...x 100 уже не отличались от контрольных цифр. Иначе проявила себя микробная компонента почвы соснового ценоза. Наступление всплеск биомассы здесь сдвинулось во времени на более поздние сроки. Интересно, что при дозах x 100 и x 200 в почве смешанного ценоза наблюдалось глубокое угнетение АМБ, в то время как почвы соснового и дубового ценозов дали при этих дозах отчетливые всплески. Отклик АМБ на внесение ацетата кадмия в дозах x 10...x

200 не был столь показательным. Различия в реакции почв трех ценозов, а также между контролем и дозами x 10...x 100 часто не выходили за пределы погрешности опыта.

Анализ влияния доз соединений Cd и Pb, выровненных по абсолютным значениям, показывает, что реакция активной микробной биомассы на более высокие дозы ацетата кадмия (600...12000 мг/кг почвы) была схожа с реакцией на ацетат свинца (рис.5).

поллютант - нитрат кадмия



поллютант - нитрат свинца

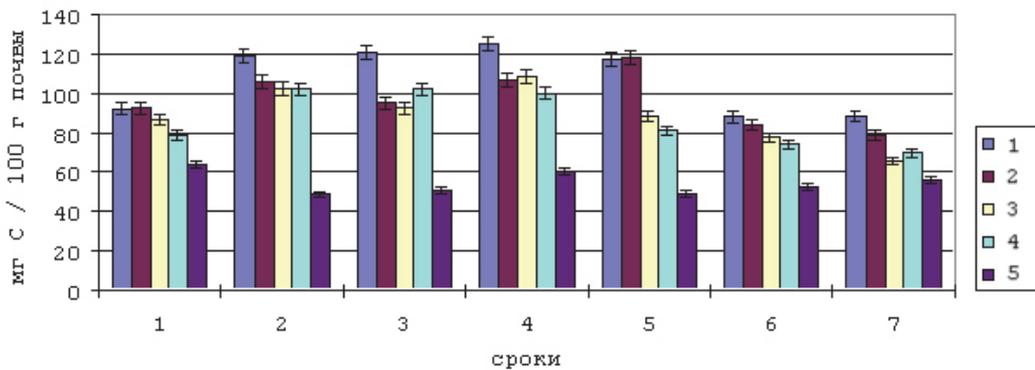


Рис. 5. Изменение активной микробной биомассы почвы соснового ценоза.

Варианты: 1 - контроль, 2 - 600 мг/кг почвы, 3 - 3000 мг/кг почвы, 4 - 6000 мг/кг почвы, 5 - 12000 мг/кг почвы.

АМБ почвы соснового ценоза стойко ингибировалась азотнокислыми солями кадмия и свинца (600...12000 мг/кг почвы). Уловить разницу между характером действия нитрата кадмия и нитрата свинца было трудно. Максимальные дозы (12000 мг/кг почвы) снижали микробную биомассу более чем наполовину. Дозы 3000 и 6000 мг/кг почвы в вариантах с нитратом кадмия были неразличимы между собой во все сроки, в вариантах с нитратом свинца - в большинстве.

Интересна динамика АМБ при дозе 600 мг/кг почвы. В 1-й срок (0 сут.) достоверных отличий ее от контроля не было. Но уже во 2-й срок наступило угнетение. Выравнивание дозы 600 мг/кг

почвы с контролем произошло в случае с нитратом свинца на 5-й срок (16 сут.), в случае с нитратом кадмия - на 7-й (64 сут.). Действие нитрата кадмия было более сильным и продолжительным.

Коэффициент микробного дыхания как интегральный показатель состояния микробоценоза. Отдельные характеристики почв по величине базального, субстрат-индуцированного дыхания и активной микробной биомассы хотя и позволяют оценить реакцию комплекса микроорганизмов на поллютанты, но не несут целостной информации. Показателем устойчивости микробоценоза может служить коэффициент микробного дыхания. Нарушения устойчивости при $Q_R =$

0,1...0,2 – отсутствуют, при 0,2...0,3 – слабые, при 0,3...0,5 – средние, при 0,5...1,0 – сильные, при 0 либо >1,0 - катастрофические [4].

Более глубокое и продолжительное воздействие на микробное дыхание почвы всех трех ценозов оказал ацетат свинца по сравнению с ацетатом кадмия (). Диапазон доз х 10...х 200 сразу после внесения привел к нарушению устойчивости микробного сообщества сильной степени. Более

того, доза х 200 приводила к катастрофическим изменениям ($Q_R > 1,0$) в дыхании почвы соснового трижды за время проведения эксперимента, дважды - в дыхании смешанного ценоза и ни разу - в почве дубового. Катастрофические изменения наблюдались в вариантах х 100 дважды (почва соснового ценоза) и один раз (почва смешанного ценоза).

Таблица Изменение коэффициента микробного дыхания почвы соснового ценоза под действием солей Cd и Pb

дозы мг/кг	поллютанты	сроки, сутки						
		0	2	4	8	16	32	64
600	ацетат Cd	1,00	0,40	0,35	0,65	0,57	0,76	0,80
	нитрат Cd	0,42	0,35	0,49	0,37	0,38	0,53	0,61
	ацетат Pb	0,63	0,27	0,44	0,26	0,31	0,41	0,48
	нитрат Pb	0,44	0,35	0,39	0,38	0,28	0,31	0,35
3000	ацетат Cd	1,09	0,55	0,72	0,75	0,11	0,79	0,71
	нитрат Cd	0,59	0,53	0,49	0,52	0,42	0,38	0,54
	ацетат Pb	0,86	1,10	0,69	0,32	0,44	0,33	0,43
	нитрат Pb	0,62	0,45	0,41	0,31	0,41	0,23	0,67
6000	ацетат Cd	0,95	1,02	0,98	1,06	1,00	1,11	0,76
	нитрат Cd	0,82	0,65	0,58	0,37	0,37	0,37	0,69
	ацетат Pb	0,80	0,54	1,24	1,20	0,39	0,47	0,40
	нитрат Pb	0,81	0,61	0,36	0,35	0,42	0,19	0,27
12000	ацетат Cd	0,97	0,89	0,97	1,09	0,58	0,96	1,14
	нитрат Cd	0,87	0,88	0,68	0,45	0,45	0,51	0,64
	ацетат Pb	1,02	0,67	0,79	0,83	4,95	0,97	0,87
	нитрат Pb	1,26	0,91	0,76	0,45	0,54	1,18	0,54

Кроме того, сильная степень нарушения устойчивости микробного сообщества почв соснового и смешанного ценозов дозой х 200 продолжалась до 64-х сут. включительно, в то время, как почва дубового ценоза на 32-е сут. вернулась к показателям контроля. Таким образом, почва соснового ценоза была наиболее уязвима к действию ацетата свинца. Микроорганизмы почвы дубового ценоза оказались менее чувствительными, что согласуется с данными описанных выше модельных опытов.

Степень нарушения устойчивости микробного сообщества под действием ацетата кадмия в большинстве случаев была на уровне градаций средняя-слабая. Сильное воздействие оказала лишь доза х 200 сразу после внесения поллютанта. К 64 сут. отмечено снижение устойчивости для большинства вариантов. Скорее всего, ацетат кадмия к этому сроку только начинал проявлять ингибирующее действие.

При анализе влияния доз соединений Cd и Pb, выровненных по абсолютным значениям, отмечалось более сильное и продолжительное токсическое действие кадмия по сравнению со свинцом.

Катастрофическое или близкое к нему состояние чаще было в вариантах с ацетатом кадмия, ацетатом свинца (дозы 6000 и 12000 мг/кг почвы), меньшую токсичность проявили азотнокислые соли Cd и Pb. Однако, при максимальной дозе 12000 мг/кг почвы различить между собой действие изучаемых поллютантов не удалось. Все они приводили к значительным изменениям в дыхательной активности, которые сохранялись до конца эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почва дубового ценоза оказалась более устойчивой к загрязнению солями свинца и кадмия. Отмечена высокая чувствительность микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота, смена доминант бактериального населения почв при общей тенденции к снижению видового разнообразия под действием поллютантов. Загрязнение почв тяжелыми металлами увеличивает долю яркопигментированных групп и аспорогенных форм актиномицетов.

Соли кадмия оказались более токсичными, чем соли свинца, что отразилось на величине актив-

ной микробной биомассы и коэффициенте микробного дыхания.

Работа выполнена в МСХА им. К.А. Тимирязева. Практическую помощь в проведении эксперимента и интерпретации полученных данных оказывали д.б.н. Н.Д.Ананьева, д.б.н. Л.В. Мосина, к.б.н. Т.С. Демкина, к.б.н. Н.М. Грачева и к.б.н. Е.И.Попова, за что автор искренне им благодарен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян З.А. Токсичность тяжелых металлов для микроорганизмов//Итоги науки и техники. Микробиология, М.: Наука, 1973. С. 5-45.
2. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякшина Т.Н. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов//Почвоведение, 1993, № 11. С.72-77.
3. Бабьева И.П., Левин С.В., Решетова И.С. Изменения численности микроорганизмов в почвах при загрязнении тяжелыми металлами//Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 115-120.
4. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве//Почвоведение, 1996, № 11. С.1341-1346.
5. Булавко Г.И. Влияние различных соединений свинца на почвенную микрофлору//Известия СО АН СССР, сер. биол. - 1982, № 5/1. С. 115-120.
6. Гузев В.С., Левин С.В., Звягинцев Д.Г. Реакция микробной системы почв на градиент концентрации тяжелых металлов// Микробиология, 1985. Т.54, Вып.3. С.414-420.
7. Евдокимова Г.А. Биоразнообразие микроорганизмов как фактор устойчивости почв к загрязнению тяжелыми металлами//Тяжелые металлы в окружающей среде. Пушино, 1996. С. 110-111.
8. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
9. Косинова Л.Ю. Изменение структуры микробсообществ и ферментативная активность некоторых почв под влиянием свинца и кадмия //Микробсообщества почв при антропогенном воздействии. Новосибирск, 1985. С.29-47.
10. Лебедева Е.В. Грибы - индикаторы загрязнения почв тяжелыми металлами // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. Пушино, 1992. С. 116.
11. Летунова С.В. Биогеохимические критерии оценки ответной реакции микроорганизмов на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами//Природные и антропогенные биогеохимические циклы. Тр. Биогеохимической лаборатории. Т. XXI, М: Наука, 1990. С.72-88.
12. Марфенина О.Е. Реакции микроскопических грибов на загрязнение почв тяжелыми металлами//Биол. науки, 1989, № 9. С. 89-93.
13. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
14. Мосина Л.В., Холопов Ю.А., Грачева Н.М. Диагностическая роль микробиологической характеристики состояния рекреационных лесных экосистем//Тяжелые металлы в окружающей среде. Пушино, 1996. С. 101-102.
15. Переверзева А.Л., Кузнецов Е.В. Влияние уксуснокислого свинца на состав микрофлоры и азотфиксирующую активность почвы под некоторыми лесными насаждениями // Биотехнология микроорганизмов в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МСХА, 1989. С.70-77.
16. Тэрыцз К.В., Валтер П. Некоторые вопросы количественной оценки влияния тяжелых металлов на биологическую активность почв//Экология, 1988, № 2. С. 12-18.
17. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils//Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 215-221.

STUDYING OF REACTION OF MICROORGANISMS OF SOILS OF THE WOODS ON INTRODUCTION OF SALTS OF LEAD AND CADMIUM IN THE CONDITIONS OF MODELING EXPERIENCE.

© 2013 Yu.A. Kholopov

Samara State University of Transport, Samara

The reaction of microorganisms of soils of the different woods on bringing in of salts of lead and cadmium was studied. Suktsessionny changes were shown and the assessment of stability of soil microorganisms to pollution was given.

Key words: heavy metals, pollution, soil microorganisms, stability assessment.