

АГРОЭКОЛОГИЯ

Известия ТСХА, выпуск 3, 2002 год

УДК 669.018.674.58.051

ТРАНСЛОКАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАГРЯЗНЕННОМ АГРОЦЕНОЗЕ

А. В. РАСКАТОВ, В. А. ЧЕРНИКОВ, А. В. КУЗНЕЦОВ,
В. А. РАСКАТОВ

(Кафедра экологии)

На искусственно загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) дерново-подзолистых почвах в полевых условиях проводили сравнительное изучение действия известкования и применения органических и минеральных удобрений на транслокацию кадмия, свинца, цинка и меди в почве, в растениях картофеля, моркови и столовой свеклы. Показано, что существенного снижения подвижности металлов в почве и их поступления в растения можно достичь при одновременном использовании извести с навозом. Установлено влияние тяжелых металлов на качественные показатели продукции. Изучено изменение фракционно-группового состава гумуса почвы, загрязненной тяжелыми металлами, после известкования и внесения удобрений.

Среди тяжелых элементов наиболее распространенными загрязнителями являются ртуть, свинец, мышьяк, кадмий, цинк, медь, хром и никель. Постоянное потребление растительной продукции, выращенной даже на слабо загрязненных почвах, может приводить к кумулятивному эффекту. Ведение земледелия на загрязненных тяжелыми металлами почвах становится одной из актуальных практических задач, так

как выявлены значительные площади загрязненных пахотных почв, на которых уже сегодня необходимо проводить специальные мероприятия, предотвращающие загрязнение растительной продукции токсическими элементами. Большое значение приобретает использование извести и органических удобрений, повышающих устойчивость растений к загрязнению. Однако данные, полученные в ряде исследо-

ваний, неоднозначны. Это связано с химическими, физико-химическими свойствами почв, особенностями растений и другими факторами. Несмотря на единодушную положительную оценку известкования в опубликованных работах [8, 15, 22, 23, 25, 26], получены различные результаты, характеризующие эффективность детоксикационного действия известковых удобрений. Так, в опытах наибольший эффект получен при внесении только очень высокой дозы извести (30 т/га CaCO_3) [8]. Однако и при этом содержание в травах цинка, кадмия и меди было выше ПДК. По данным [11], применение доломитовой муки на орошаемой сточными водами дерново-подзолистой почве приводило к снижению содержания меди и цинка в растениях костреца безостого. Снижение поступления в растения меди и цинка под влиянием нейтрализации кислотности почвы достигало 200-300%. При внесении сланцевой золы в почве возрастало содержание подвижных форм молибдена, кобальта, марганца и бора [10]. В [16] указывается, что положительное влияние известкования на поступление тяжелых металлов в растения наблюдалось вплоть до применения извести в дозе 40 т/га. Эти

данные свидетельствуют о том, что уровень максимального действия доз извести на урожай и содержание тяжелых металлов в растительной продукции не совпадают. Следовательно, положительное влияние известкования как детоксиканта может проявляться не только на почвах с избыточной кислотностью, но и на почвах с оптимальной для роста и развития растений реакцией среды.

С органическим веществом почвы металлы могут образовывать комплексные соединения, которые менее доступны для поглощения растениями. Поэтому на почвах с высоким содержанием органического вещества опасность накопления избыточного количества тяжелых металлов в растениях меньше. Применение навоза, торфа, торфо-навозно-фосфоритных и других компостов позволяет использовать свойство многих органических соединений к комплексообразованию с тяжелыми металлами [15, 19, 21]. Образующиеся металлоорганические комплексы являются в большинстве случаев неспособными к преодолению клеточных мембран на контакте почва — корень. При внесении органических удобрений подвижность металлов, как правило, снижается. Количест-

венное выражение этого процесса может быть подвержено резким изменениям и сильно зависит от реакции среды в почве. В то же время следует иметь в виду, что на гумусированных почвах могут образовываться и подвижные формы ТМ, связанные с органическим веществом, способные мигрировать за пределы корнеобитаемого слоя с инфильтрационными водами [1, 3, 4, 17, 20, 24]. Наиболее устойчивые соединения тяжелые металлы в почве образуют с гуминовыми веществами [27]. Вследствие плохой растворимости комплексов с гуминовыми кислотами, особенно в кислой среде, их можно рассматривать как запасное количество металлов в почве, связанное с органическим веществом.

Тяжелые металлы образуют комплексы и с фульвокислотами, устойчивость которых увеличивается с ростом рН [27]. Устойчивость металлоорганических комплексов может быть представлена в виде следующего ряда: $V > Hg > Sn > Pb > Cu > Ni > Co > Fe > Cd > Zn > Mn > Sr$ [8]. Обогащение почвы большим количеством органического вещества снижает токсичность тяжелых металлов. По данным [14], органические удобрения (навоз, торф, ил) в оптимальных дозах сни-

жали токсичность металлов для растений. Подвижные формы свинца закреплялись при внесении в почву навоза (20 т/га) и суперфосфата (1,5 т/га), а медь — внесением в почву навоза (80 т/га).

В связи с этим большой практический интерес представляет изучение эффективности агрохимических приемов, позволяющих снижать подвижность тяжелых металлов в почве и их поступление в растения. Важное практическое значение имеют исследования с целью определения форм нахождения тяжелых металлов в почвах, их подвижности, трансформации, размеров выноса из почвы и оценки количеств, переходящих в пищевые цепи. Получение такой информации позволит разработать рекомендации по предотвращению и снижению загрязнения продукции растениеводства и животноводства.

Целью настоящих исследований являлось изучение транслокации кадмия, цинка, свинца и меди в системе почва — растение и оценка возможности получения безопасной продукции на загрязненных почвах. Для достижения конечной цели изучали: 1) динамику концентраций и степень трансформации тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве; 2) влияние тяжелых метал-

лов на урожай и качество картофеля, моркови и столовой свеклы; 3) воздействие навоза и извести на подвижность тяжелых металлов в почве и их миграцию; 4) фракционно-групповой состава гумуса почвы, загрязненной ТМ, после известкования и внесения удобрений.

Методика

Исследования проводились в Ивановской обл. на станции Государственной станции агрохимической службы «Ивановская», АОЗТ «Шуйское» Шуйского района на мелкоделяночном полевом опыте в 1995—1998 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. В пахотном слое почвы содержалось: 2,1% гумуса, $pH_{КС}$ — 5,3, Нг — 3,71 мг • экв/100 г, подвижного фосфора — 186 и калия — 174 мг/кг, Cd — 0,34; Pb — 11; Zn — 26; Си — 5,3 мг/кг. Опыт проводился в 4-кратной повторности по схеме: 1 — контроль (без удобрений и без внесения тяжелых металлов); 2 — 80N80P80K (фон); 3 — фон + ТМ; 4 — фон + ТМ + известь 6 т/га; 5 — фон + ТМ + навоз 80 т/га; 6 — фон + ТМ + известь 6 т/га + навоз 80 т/га; 7 — фон + 80N80P80K + ТМ. Тяжелые металлы применяли в виде уксуснокислого кадмия, уксуснокислого свинца, серно-

кислого цинка и сернокислой меди: Cd — 5, Pb — 100, Zn — 300, Си — 150 мг/кг почвы. Тяжелые металлы, известь и навоз вносили в почву в 1-й год опыта, минеральные удобрения — ежегодно. Растительными объектами были выбраны картофель сорта Резерв (1995), морковь сорта Шантонэ (1996) и столовая свекла сорта Бордо (1997). После уборки урожая изучали химическую характеристику почвы, определяли фракционно-групповой состав гумуса, качество продукции. Определение тяжелых металлов в почвах проводили ацетатно-аммиачным буферным раствором (ААБ рН 4,8) и после мокрого озоления в азотной кислоте (HNO₃ 1:1), а в растениях — после сухого озоления методом атомно-абсорбционной спектроскопии [7].

Результаты

Изучение фракционно-группового состава гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы позволило выявить некоторые закономерности изменения ее качественного состояния и дать оценку количественному участию отдельных фракций гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), входящих в состав органического вещества. Контрольный вариант характе-

ризуется самым низким содержанием подвижных фракций ГК — 1,61%. При внесении навоза и NPK увеличилась доля этой фракции в общей сумме ГК, особенно в варианте совместного внесения извести и NPK — 3,91%. Наибольшее количество ГК, связанных с кальцием (фракция 2), наблюдалось в контроле — 21,8% и в варианте совместного внесения навоза и извести — 20,1%. Применение NPK, особенно на фоне извести и навоза, вызывало снижение фракции ГК, связанных с кальцием. Одновременно увеличивалось содержание ГК, связанных с устойчивыми формами полуторных окислов, при внесении NPK как отдельно, так и совместно с известью. В целом выход ГК увеличивался, особенно в вариантах, где вносили органические и минеральные удобрения на фоне извести. Содержание «агрессивной» фракции ФК практически не изменялось под действием навоза, но резко возрастало при внесении NPK — с 5,65 до 6,30%. При известковании и внесении NPK как на фоне извести, так и без извести происходило увеличение фракции ФК, связанных с кальцием.

Полученные результаты четко показывают, что фракционно-групповой со-

став гумуса исследуемой почвы существенно отличается от типичных дерново-подзолистых почв, так как наиболее ценная — 2-я фракция (черные ГК) — составляет 33,4—36,2% от $C_{\text{общ}}$ почвы, а это говорит о хорошей окультуренности почвы. Фракция 1-я, которая в неокультуренных дерново-подзолистых почвах охватывает практически все извлекаемые из почвы гумусовые вещества, в данной почве составляет лишь 14-17% от $C_{\text{общ}}$ почвы.

Удобрения слабо влияли на показатели фракционно-группового состава. Однако отмечена тенденция: внесение NPK без извести несколько увеличивает содержание 1а («агрессивные» ФК) и 1-й фракций, видимо, за счет подкисляющего воздействия NPK на почву ($A \text{ рН} = 0,26$). Внесение извести оказывало противоположное действие, смягчало влияние NPK. Навоз также способствовал повышению содержания 1-й фракции гумусовых веществ, главным образом, за счет ГК этой фракции. Однако механизм влияния NPK и навоза принципиально разный. Если в первом случае происходит перераспределение фракций, то навоз повышает их содержание за счет привноса уже сформировавшихся

гумусовых веществ самого навоза. Сумма ГК и ФК по фракциям составляет 55,7—61,7% к углероду гумуса (табл. 1). Уменьшающаяся доля негидролизуемого остатка, особенно в варианте 3, показывает увеличение подвижности гумуса, связанного все-таки с влиянием NPK. Незначительное увеличение негидролизуемого остатка в варианте, где применялся навоз, по сравнению с контролем (в данном случае с вариантом 3), является положительным фактом, т. е. здесь отмечается наивысшая прочность связи органического вещества почвы с ее минеральной частью, что затрудняет трансформацию стабильных компонентов гумусовых веществ.

Из соотношения $C_{гк}/C_{фк}$ следует, что во всех вариантах опыта органическое вещество носит фульватно-гуматный характер, причем наилучшим качественным составом характеризуется гумус вариантов, где вносил-

ся навоз, как на фоне извести, так и без нее. Самое низкое значение относительной подвижности гумуса (Π_i), по [9], получено в контроле — 0,58 и при совместном внесении извести и навоза — 0,56; при внесении NPK Π_i составляет 0,70 и при применении органических удобрений значение увеличивается до 0,76. Во всех известкованных вариантах значение Π_i ниже, чем в соответствующих вариантах без внесения извести. При внесении извести совместно с органическими удобрениями на фоне NPK Π_i с 0,76 уменьшалось до 0,56, т. е. известь способствует переводу подвижных фракций органического вещества в гуматы и фульваты кальция.

Данные исследований позволяют судить о существенных различиях степени воздействия минеральных удобрений, извести и навоза на состояние тяжелых металлов в почве и интенсивность их поступления в растительную

Таблица 1
Качественные показатели гумуса

| Вариант | $C_{гк} + C_{фк}$ | $C_{гк}/C_{фк}$ | Π_i |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|---------|
| 1. Контроль | 55,7 | 1,30 | 0,58 |
| 3. NPK + ТМ | 58,4 | 1,31 | 0,70 |
| 4. NPK + ТМ + известь | 61,7 | 1,27 | 0,59 |
| 5. NPK + ТМ + навоз | 56,3 | 1,38 | 0,76 |
| 6. NPK + ТМ + известь + навоз | 59,4 | 1,34 | 0,56 |
| Предельная ошибка | 2,95 | 0,05 | 0,10 |

продукцию. Показатели, характеризующие физико-химические свойства почв, относятся к наиболее динамичным, поэтому за время опыта они претерпели существенные изменения. Применение НРК способствовало подкислению почвенной среды (А рН = 0,22), известь б т/га сдвигала значение рН в сторону нейтрализации (А рН = 0,72). Подщелачивающее действие на почву оказало также и внесение навоза как раздельно (А рН = 0,41), так и совместно с известью (А рН = 0,60). Самое низкое значение рН отмечено в вариантах 3 и 7, где определенное воздействие на подкисление почвы, по-видимому, оказало НРК.

Дозы тяжелых металлов, примененные в опыте, рассчитывались для создания

наиболее типичных уровней загрязнения почв. Однако существенного снижения урожайности как картофеля, так и моркови и столовой свеклы отмечено не было (рис. 1). Значительная прибавка урожайности культур получена при применении НРК. Испытанные дозы извести и навоза являются достаточно эффективными на дерново-подзолистых почвах для моркови и столовой свеклы. Все культуры дали достоверную прибавку урожая, особенно в варианте с совместным применением известковой муки и навоза. При известковании непосредственно под картофель произошло снижение урожая, что, по литературным данным, объясняется сильной чувствительностью культуры к резкому уменьшению усвояемых соединений

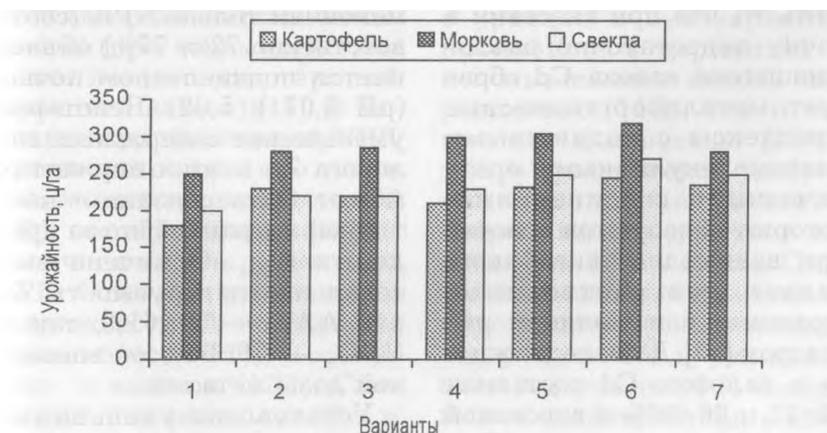


Рис. 1. Изменение урожайности культур в опыте в зависимости от обработки почвы, ц/га.

бора в почве. Морковь и столовая свекла наиболее чувствительны к кислотности и положительно отзываются на известкование. При последствии навоза получена более высокая прибавка урожая свеклы, чем в варианте с известкованием.

В результате внесения в почву тяжелых металлов во всех вариантах опыта отмечено увеличение их содержания в почве. Наименьшее количество подвижного Cd было в вариантах с известью, а наибольшее — при внесении органических удобрений. Подвижность Cd варьировала от 66 до 86%, составляя в среднем 77% его валового содержания, причем максимальное ее значение отмечено в варианте с применением навоза. Объяснением этого явления может служить то, что при внесении в почву недостаточно разложившегося навоза Cd образует металлоорганические комплексы с подвижными низкомолекулярными органическими соединениями, которые образуются в почве при взаимодействии такого навоза (его растворимой фракции) с почвенным раствором [15]. Доля подвижного и валового Cd составила 62-72 и 86-96% к внесенной дозе соответственно. Это указывает на относительно слабую способность исследу-

емой почвы закреплять Cd, что подтверждается химическими показателями почвы.

Уменьшение подвижных форм Рb на 8% в варианте с внесением двойной дозы NPK связано с подкислением почвенной среды (pH_{KCl} 5,02) и последующей миграцией Рb за пределы $A_{\text{таx}}$. Подвижность Рb колебалась от 24 до 55%, составляя в среднем 37% его валового содержания. ААБ извлекал 24-35% от внесенной дозы Рb, что указывает на закрепление его почвой.

Подвижность Zn колебалась в пределах 62-77%. Уменьшение подвижности наблюдается в варианте с внесением извести на 15%, что объясняется подщелачиванием почвы (pH_{KCl} 5,39). Высокая подвижность Zn в 3-м и 7-м вариантах с применением только NPK (соответственно 72 и 77%) объясняется подкислением почвы (pH 5,07 и 5,02). Некоторое уменьшение содержания валового Zn в этих вариантах может быть связано с частичной миграцией его за пределы $A_{\text{таx}}$. Отмечена высокая экстрагируемость Zn как ААБ — 56-61%, так и HN_3 — 79-96% от внесенной дозы металла.

Установлено уменьшение содержания подвижной Си при известковании (4%) и совместном внесении извести и

навоза (7%). Хотя Си характеризуется низкой подвижностью в почве [15], в нашем опыте она колебалась от 45 до 52%, что можно связать с низким рН почвы. В вытяжку ААБ переходило 39-48% внесенной дозы металла, причем максимальные значения отмечены в вариантах с NPK и 2NPK.

При выращивании моркови (1-й год последствий) подвижность Cd варьировала в пределах 43-89%, причем меньшее значение характерно для загрязненных вариантов. Подвижность металла снизилась в варианте с применением извести (24%) и навоза (10%), а также при их совместном последствии (18%). В вариантах с навозом снижение подвижности Cd, возможно, связано с образованием малорастворимых металлоорганических комплексов (при взаимодействии с коллоидно-дисперсной фракцией навоза) [15]. В варианте с двойной дозой NPK произошло значительное увеличение подвижности Cd (6%), что обусловлено физиологической кислотностью NPK. Отмечено уменьшение подвижности Pb при применении извести (21%) и совместно с навозом (12%). Снижение подвижности Zn в варианте с совместным применением навоза и извести на 13% объясняется образова-

нием нерастворимых карбонатов (известь) и малорастворимых металлоорганических комплексов (коллоидно-дисперсная фракция навоза). Отмечено увеличение подвижности Zn на 17% при внесении двойной дозы NPK, что связано с их подкисляющим действием (рН 4,93). Подвижность Си уменьшилась в вариантах с известью на 15% и известью с навозом — на 17%. Подвижность Cd после возделывания столовой свеклы изменялась от 33 до 72% на загрязненных вариантах, причем минимальное значение отмечено при совместном применении извести и навоза, а максимальное — в варианте с использованием двойной дозы NPK (табл. 2).

Уменьшение содержания подвижного Pb по сравнению с уровнем в 3-м варианте произошло в вариантах с использованием навоза как отдельно (14%), так и совместно с известью (12%), т. е. и органическое удобрение и мелиорант оказали закрепляющее действие на соединения Pb в почве. Снижение подвижности металла обусловлено увеличением содержания ГК и уменьшением содержания ФК. Содержание подвижного Zn в почве и его доля к валовому содержанию снизились в вариантах с известкованием

Таблица 2
Влияние удобрений и извести на содержание ТМ в $A_{\text{пах}}$ (выт. ААБ и HNO_3)
после возделывания столовой свеклы (мг/кг)

| Вариант опыта | $\text{pH}_{\text{ккл}}$ | Cd | | Pb | | Zn | | Cu | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|------|----------------|------|----------------|-----|----------------|-----|----|------|------|----|
| | | HNO_3 | ААБ | HNO_3 | ААБ | HNO_3 | ААБ | HNO_3 | ААБ | | | | |
| | | % от вал. | | % от вал. | | % от вал. | | % от вал. | | | | | |
| 1. Контроль | 5,17 | 0,35 | 0,29 | 84 | 11,1 | 4,53 | 41 | 31 | 20 | 65 | 5,00 | 3,1 | 63 |
| 2. 80N80P80K (фон) | 4,95 | 0,33 | 0,30 | 91 | 12,3 | 5,98 | 49 | 31 | 21 | 68 | 5,20 | 3,04 | 59 |
| 3. Фон + ТМ | 4,91 | 4,14 | 2,87 | 69 | 72 | 31 | 43 | 166 | 158 | 95 | 110 | 62 | 56 |
| 4. Фон + ТМ + из- весть | 5,63 | 4,93 | 1,91 | 39 | 84 | 14 | 17 | 180 | 92 | 51 | 91 | 30 | 33 |
| 5. Фон + ТМ + навоз | 5,32 | 4,17 | 2,21 | 53 | 73 | 21 | 29 | 231 | 143 | 62 | 100 | 49 | 49 |
| 6. Фон + ТМ + из- весть + навоз | 5,51 | 4,70 | 1,54 | 33 | 70 | 22 | 31 | 230 | 91 | 40 | 122 | 50 | 41 |
| 7. Фон+80N80P80K + +ТМ | 4,84 | 4,67 | 3,34 | 72 | 61 | 37 | 61 | 176 | 161 | 91 | 95 | 66 | 69 |
| НСР ₀₅ | 0,16 | 0,81 | 0,28 | — | 16 | 8 | — | 32 | 16 | — | 21 | 11 | — |

как отдельно, так и совместно с навозом. Уменьшение подвижности Zn отмечено в 4-м и 6-м вариантах (44 и 55%). Установлено уменьшение подвижности Си в 4-, 5- и 6-м вариантах соответственно на 23, 7 и 15%.

За 3 года исследований подвижность металлов уменьшалась в ряду: Cd > Zn > Pb > Cu.

На загрязненной ТМ почве опыта поглощение металлов картофелем возросло, особенно в 3-м варианте для Cd и Си как в клубнях, так и в ботве. Концентрация Cd в клубнях составила более 1,5 ПДК. Его концентрация в ботве, так же как и Си, превысила установленные МДУ. Изучаемые агрохимические приемы существенно повлияли на поступление ТМ в растительную продукцию. Известкование почвы снизило содержание Zn в клубнях картофеля на 16%. Количество металлов в ботве уменьшилось в 2-8 раз. Применение навоза привело к уменьшению содержания Cd в ботве картофеля, но содержание Zn и Си в ботве было в 1,5-2,5 раза больше, чем в варианте с известкованием.

В отношении остальных ТМ, особенно Zn и Си, удалось заметно снизить их содержание как в клубнях, так и в ботве. Содержание Pb в клубнях не изменилось, од-

нако в ботве его концентрация уменьшилась более чем в 2 раза. Внесение дополнительной дозы NPK увеличило содержание Cd, Zn и Pb в ботве картофеля, что связано с увеличением их подвижности в почве.

Последствие известки способствовало снижению аккумуляции Cd и Zn корнеплодами моркови соответственно на 20 и 9% (табл. 3). Для Си, напротив, наблюдалось увеличение концентрации в ботве на 13%. Последствие навоза было более эффективно. Содержание Cd и Zn в корнеплодах моркови уменьшилось на 40 и 20%, а содержание их в ботве, напротив, возросло на 25 и 37%.

Поступление Си в растения моркови увеличилось в результате последствия навоза на 14%. Уменьшение содержания Cd и Zn в корнеплодах связано со снижением подвижности металлов в почве под действием навоза. При совместном последствии известки и навоза содержание Cd в корнеплодах снизилось на 40%, в результате этого корнеплоды моркови могут быть использованы в пищу человека. Содержание же Zn уменьшилось на 12% в корнеплодах и на 55% возросло в ботве, т. е. была получена более безопасная для употребления в пищу основная продукция культуры.

Т а б л и ц а 3

Содержание Cd и Zn в моркови (мг/кг)

| Вариант опыта | Cd | | Zn | |
|-------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | корне- плоды | ботва | корне- плоды | ботва |
| 1. Контроль | 0,01 | 0,18 | 2,25 | 4,30 |
| 2. 80N80P80K (фон) | 0,01 | 0,19 | 2,96 | 5,61 |
| 3. Фон + ТМ | 0,05 | 0,48 | 5,76 | 21,1 |
| 4. Фон + ТМ + известь | 0,04 | 0,59 | 5,26 | 25,6 |
| 5. Фон + ТМ + навоз | 0,03 | 0,60 | 4,57 | 29,0 |
| 6. Фон + ТМ + известь + навоз | 0,03 | 0,46 | 5,10 | 32,7 |
| 7. Фон + 80N80P80K + ТМ | 0,04 | 0,65 | 5,56 | 48,0 |
| НСП ₀₅ | 0,01 | 0,12 | 0,41 | 5,24 |
| ПДК [13] | 0,03 | — | 10,0 | — |
| МДУ [5] | 0,3 | 0,3 | 50 | 50 |

Т а б л и ц а 4

Содержание тяжелых металлов в столовой свекле (мг/кг)

| Вариант опыта | Cd | | Pb | | Zn | | Cu | |
|------------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | корне- плоды | ботва | корне- плоды | ботва | корне- плоды | ботва | корне- плоды | ботва |
| 1. Контроль | 0,004 | 0,12 | 0,08 | 0,25 | 10,1 | 14,9 | 0,65 | 1,80 |
| 2. 80N80P80K (фон) | 0,003 | 0,18 | 0,08 | 0,30 | 11,9 | 16,3 | 0,77 | 1,91 |
| 3. Фон + ТМ | 0,18 | 0,46 | 0,19 | 0,84 | 28,5 | 34,5 | 2,11 | 2,98 |
| 4. Фон + ТМ + известь | 0,07 | 0,41 | 0,42 | 1,01 | 14,8 | 21,1 | 2,31 | 2,86 |
| 5. Фон + ТМ + навоз | 0,09 | 0,58 | 0,35 | 0,71 | 15,1 | 25,1 | 1,84 | 2,15 |
| 6. Фон + ТМ + известь + + навоз | 0,03 | 0,39 | 0,33 | 0,62 | 9,51 | 15,3 | 1,82 | 2,65 |
| 7. Фон + 80N80P80K + + ТМ | 0,11 | 0,35 | 0,39 | 0,93 | 25,7 | 31,2 | 2,32 | 3,45 |
| НСП ₀₅ | 0,08 | 0,07 | 0,14 | 0,22 | 0,41 | 5,24 | 0,22 | 0,46 |
| ПДК [13] | 0,03 | — | 0,5 | — | 10,0 | — | 5,0 | — |
| МДУ [5] | 0,3 | 0,3 | 5 | 5 | 50 | 50 | 30 | 30 |

При загрязнении почвы ТМ содержание Cd и Zn в корнеплодах столовой свеклы превысило ПДК соответствен-

но в 6 и 2,5 раза (табл. 4). Содержание Cd в ботве также увеличилось до 1,5 МДУ. Последствие извести про-

явилось в снижении содержания Cd и Zn в корнеплодах и последнего — в ботве свеклы. Содержание Pb в корнеплодах, напротив, возросло в 2 раза. Концентрация Си в свекле практически не изменилась. Второе последствие навоза уменьшило накопление Cd, Zn и Си в ботве опытной культуры. Однако наблюдалось увеличение содержания Pb в корнеплодах, а Cd — в ботве свеклы. Во 2-й год последствия извести и навоза, примененных раздельно, не уменьшилось накопление Cd и Zn в свекле до уровней ПДК и МДУ. Содержание Pb и Си оставалось намного ниже установленных нормативов. В результате совместного последствия навоза и извести содержание Cd и Zn в корнеплодах свеклы уменьшилось до ПДК, а для Zn — до МДУ в ботве культуры. Количество Си в основной продукции также несколько снизилось, а Pb увеличилось до 0,33 мг/кг. В ботве, напротив, концентрация Pb уменьшилась до уровня 0,62 мг/кг.

Таким образом, наиболее эффективной защитой от поступления избыточных количеств токсичных металлов в корнеплоды обладает морковь, а наименее — свекла, промежуточное положение занимает картофель. Однако

навоз может оказывать двойственное влияние на подвижность тяжелых металлов в почве, как уже указывалось в [12].

Для картофеля установлены наибольшие КН как для клубней (по Cd — 0,33, Pb — 0,16 и Си — 11), так и для ботвы (по Zn — 6,52 и Си — 11,4). Свекла характеризуется наибольшими КН: для корнеплодов по Zn — 1,13 и для ботвы по Cd — 2,65 и Pb — 0,35. Наименьшие КН по всем металлам получены для моркови, что также свидетельствует о наиболее эффективной защите данной культуры от поступления избыточных количеств токсичных металлов [6] и о более благоприятных почвенных условиях в вариантах с использованием известкования и удобрений.

Анализ полученной продукции показал, что загрязнение почвы ТМ ведет к изменению накопления основных химических веществ изучаемыми культурами. Установлено, что ТМ оказывают стимулирующее действие на поступление азота, а также они могут снижать поступление фосфора в растения [2]. Полученные результаты показывают аналогичную тенденцию для картофеля, моркови и столовой свеклы. Так, содержание общего азота соответственно

возросло на 8, 7 и 5%, а содержание фосфора уменьшилось на 36, 10 и 28%. Для свеклы отмечено незначительное увеличение содержания протеина при загрязнении почвы.

Выводы

1. Известь и навоз положительно влияют на химические показатели почвы и способствуют уменьшению подвижности ТМ при их внесении. Применение НРК увеличивает подвижность металлов. За 3 года опыта она уменьшалась в ряду: $Cd > Zn > Pb > Cu$.

2. При загрязнении почвы Cd , Pb , Zn и Si до двух ПДК (ОДК) их концентрация в картофеле, моркови и столовой свекле превышает установленные нормативы. Применение извести и навоза позволяет снизить ее в 2-8 раз. Продукция моркови и свеклы, полученная при совместном последствии навоза и извести, является безопасной для употребления в пищу человека. Внесение НРК увеличивает содержание ТМ в изученных культурах.

3. По накоплению ТМ культуры располагаются в убывающий ряд: картофель $>$ столовая свекла $>>$ морковь.

4. Загрязнение почвы ТМ до двух ПДК (ОДК) не влияет на

урожайность овощных культур, но вызывает увеличение содержания азота и снижение содержания фосфора. Ухудшается качество корнеклубнеплодов: снижается содержание каротина, сахаров и клетчатки, увеличивается количество нитратов.

5. Внесение НРК способствует увеличению содержания 1-й фракции ГВ и фракции «агрессивных» ФК. Внесение извести оказывает противоположное действие. Применение навоза проявляется в повышении содержания 1-й фракции ГВ, главным образом, за счет ГК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанова В. С., Елпатьевский П. В. Миграция микроэлементов в бурых горнолесных почвах. — Почвоведение, 1979, № 11, с. 51—60. —
2. Бабкин В. В., Завалин А. А. Физиолого-биохимические аспекты действия тяжелых металлов на растения. — Химия в сельском хозяйстве, 1995, № 5, с. 17-21. —
3. Варшал Г. М., Кошечева И. Я. и др. Изучение органических веществ в поверхностных водах и их взаимодействие с ионами металлов. — Геохимия, 1979, № 9, с. 598—607. —
4. Воробьева Л. А., Рудакова Т. А. Об уровне концентраций некоторых химических элементов в природных вод-

ных растворах. — Почвоведение, 1980, № 3, с. 50-58. — 5. Временные максимально-допустимые уровни (МДУ) химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных. № 123-41281-87 от 16.07.87. — 6. Глуховский А. Б., Сергеев В. Г., Ежов М. Ю. Влияние навоза, пестицидов и близости автотрассы на содержание тяжелых металлов в почве и растениях. — Матер. науч.-практ. конф. 21-24 дек., 1992. — 7. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. — 8. Овчаренко М. М., Шильников И. А. и др. Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение. М., 1997. — 9. Орлов Д. С. Биогеохимические принципы и правила гумусообразования. — Почвоведение, 1988, № 7, с. 83-91. — 10. Панасин В. И., Широков В. В. Динамика выноса микроэлементов из почв дренажными водами. — Химия в сельск. хоз-ве, 1987, № 7, с. 67—69. — 11. Петраш В. Г., Деберон Ю. Г. В кн.: Влияние химизации земледелия на содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. М., 1988, с. 83-86. — 12. Раскатов А. В., Соколова С. А.,

Яшин И. М. Влияние применения навоза и известкования на миграцию и поглощение $^{*}Zn$ и $^{*}Cd$ в супесчаной дерново-подзолистой почве. — Изв. ТСХА, 1999, вып. 3, с. 84-98. — 13. Сан ПиН 2.3.2.560-96 от 24.10.96, № 27. — 14. Хасбиуллина Р. Г., Федоров А. А., Опарин А. Ю. Вопр. технол. воздел, с.-х. культур в Прим. крае. Примор. НИИ с.-х. Новосибирск, 1991, с. 33-36. — 15. Черных Н. А., Овчаренко М. М. и др. Приемы снижения фитотоксичности тяжелых металлов. — Агрехимия. 1995. № 9. С. 101-107. — 16. Шильников И. А., Лебедева Л. А. и др. Факторы, влияющие на поступление тяжелых металлов в растения. — Агрехимия, 1994, № 10, с. 94-101. — 17. Яшин И. М. Водорастворимые органические вещества почв таежной зоны и их экологические функции. Докт. дис. М., 1993. — 18. Abdel-Saheb J. A., Schwab A. P. a. o. — Amer. Soc. Agron. Annu. Met. 1992, p. 30. — 19. Andersson A. — Swedish J. agric. 1976, vol. 6, p. 27-36. — 20. Bloomfield C., Kelso W. I., Pruden G. J. — Soil Sci., 1976, vol. 27, № 1, p. 16-31. — 21. Eriksson J. E. — Water, Air, and Soil Pollution, 1988, vol. 40, p. 359—373. — 22. Eriksson J. E. — Water, Air, and Soil Pollution, 1989, vol. 48, p. 317-335. — 23. Eriksson J. E. — Water,

- Air, and Soil Pollution, 1990, vol. 49, p. 355-368. — **24.** *Herms V., Brummer G.* — Environ. Effect Org. and Inorg. Contam. Sewage Sludge. Proc. Work. Stevenage, 1983, p. 209-214. — **25.** *Kuo S., Jellum E. J., Baker A. S.* — Soil Sci., 1985, vol. 139, N 2, p. 122-130. — **26.** *Otabbong E., Si-man G., Karlik B.* — Acta Agric. Scand., Sect. B. Soil and Plant Sci. 1993, vol. 43, p. 129 — 133. — **27.** *Stevenson F. J.* — Soil Sci., 1977, vol. 123, № 1, p. 10-17.

*Статья поступила
20 декабря 2001 г.*

SUMMARY

Comparative investigation of the effect of liming and application of organic and mineral fertilizers on translocation of cadmium, plumbum, zinc and copper in the soil and in plants of potato, carrot and red beet and their effect on the yield and it quality was conducted under field conditions on soddy-podzolic soils artificially contaminated with heavy metals. It has been shown that substantially lower mobility of metals in soil and their ingress into plants may be achieved by using lime together with manure. Effect of heavy metals on qualitative indices of produce has been found. Change in fractional-group composition of soil humus contaminated with heavy metals after liming and application of fertilizers has been studied.