

**ПРИМЕНЕНИЕ АНТИДОТОВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ СИСТЕМЫ  
ПОЧВА – РАСТЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Сообщение 2. Зарубежный опыт детоксикации тяжелых металлов.  
Обзор результатов исследований за период 1995–2000 гг.

В. Л. Самохвалова

*ННЦ «Институт грунтознания та агрохімії ім. О. Н. Соколовського»*

**ВИКОРИСТАННЯ АНТИДОТІВ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ СИСТЕМИ ҐРУНТ–РОСЛИНА  
ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ**

Повідомлення 2. Закордонний досвід детоксикації важких металів.

Огляд результатів досліджень протягом 1995–2000 рр.

Надано аналіз інформації про стан вивченості питання використання детоксикантів у країнах  
близького і далекого зарубіжжя при вивченні забруднення системи ґрунт – рослина ВМ.

*Ключові слова: меліорація, забруднення, важкі метали, детоксикація.*

V. L. Samokhvalova

*National scientific centre “O. N. Sokolovsky institute of soil science and agrochemistry”*

**USING ANTIDOTES IN CASE OF THE HEAVY METALS POLLUTION  
OF SOIL–PLANT SYSTEM**

The message 2. Foreign experience of heavy metals decontamination.

The researches results review for the period 1995–2000 years.

The given informational analysis is dedicated to a question of using of detoxicants in the former  
Soviet republics and foreign countries while examination of the pollution of soil-plant system.

*Key words: amelioration, pollution, heavy metals, decontamination.*

В связи с необходимостью разработки подходов к решению непростой задачи охраны почвенных ресурсов от загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) активизировались исследования по изучению природоохранного значения детоксикантов, поиску путей предотвращения и снижения степени негативного влияния загрязнителей на систему почва – растение. Актуализация изучения экологического значения применения мелиорантов связана со способностью мелиорантов выполнять функцию восстановления естественного состояния почвенной системы, влияя на реакцию почвы, весь комплекс физико-химических свойств почв, на дозирование поступления химических элементов в почвенный раствор, миграционные процессы в системе почва – растение. Мелиоранты следует рассматривать как антидоты в системе почва – растение, применение которых способствует предотвращению, снижению или ликвидации токсических процессов, вызванных загрязнением.

Анализ результатов исследований указывает на необходимость выделения трех основных направлений исследовательских работ по обозначенной проблеме: *экологическое* – исследование влияния техногенных химических факторов на среду обитания и окружающую среду путей миграции поллютантов по трофическим цепям, природоохранного значения мелиорантов; *санитарное* – уменьшение содержания металлов в объектах внешней среды до предельно допустимых (безопасных) уровней внедрением специальных мероприятий (технологических, методических и др.); *гигиеническое* – разработка допустимых концентраций поллютантов, требований и рекомендаций в сочетании с мониторингом состояния и качества окружающей среды.

Заслуживают внимания теоретические разработки санации почв, базирующиеся на исследованиях свойств загрязнителей, свойств почвы и ее положения в ландшафте. Наиболее существенные практические результаты по санации почв достигнуты в отношении радионуклидов (Сорокин, 1996), по санации загрязненных ТМ почв

обобщающих работ не так много, где нашли свое отражение вопросы многофункционального использования почв.

В России разработаны технологические схемы, экономические расчеты по использованию деградированных почв, рассмотрены возможности рекреационного использования лесов, дана схема многофункционального использования земель (Котов, 1999). Представлены экологические концепции агроландшафтов, модельный проект культурного ландшафта, концепция исследований в Германии (*Kirchner-Hebler* и др., 1999) для определения социального, политического, экономического, абиотического, биотического и сельскохозяйственного потенциалов культурного ландшафта с гетерогенной структурой. Концепция основывается на модели устойчивого использования земельных угодий. Отмечается, что при использовании земельных ресурсов необходима их охрана, разработка критериев устойчивого развития на региональном уровне.

Проблемы восстановления, использования загрязненных почв агроценозов рассмотрены в работе болгарских авторов (Хаджиева, 1997). Обсуждаются методика расчетов возможных потерь и компенсации как разности между доходом от производства различных культур, которые бы выращивались в отсутствие загрязненности, и возможностями рационального использования в получении дохода в условиях загрязнения с соблюдением принципа «платит тот, кто загрязняет». Контроль могут осуществлять специалисты Министерства экологии. Необходимость ведомственного контроля землепользования рассматривается и в восстановительной программе ISR в США (*Hourcle Laurent* и др., 1999). Стратегия очистки территории от загрязнений основана на восстановлении почвы. Ведомственный контроль стабилизирует землепользование в местах опасности загрязнения почвы. Однако некоторые категории загрязнителей могут оставаться, пока данная территория не будет использоваться для хозяйственных целей. Стратегия и контроль основаны на гарантии того, что данная площадь не будет использоваться неприемлемым путем, предусматривает остаточный риск присутствия потенциально опасных загрязнителей. Поэтому необходимы разработки руководства по ведомственным ограничениям землепользования. С последними тесно связаны вопросы консервации земель сельскохозяйственного назначения. В Беларуси (Чиж, 1999) консервация рассматривается как минимизация затрат на ведение сельского хозяйства, обеспечение обратного вовлечения площадей в сельскохозяйственный оборот, организация перспектив их использования, разработка классификационной сетки типов земель для консервации, определение экономического эффекта. Как альтернативный вариант оценки для обоснования необходимости консервации земель рекомендуется применять денежные и энергетические критерии.

В монографии В. А. Андроханова и др. (2000) рассмотрены свойства, режимы, функционирование техноземов, исследованы параметры, характеризующие особенности восстановления в почвах необходимого набора хозяйственных, почвенно-экологических функций. Использование нормативных, не адаптированных к особенностям природной обстановки рекультивируемого ландшафта технологий рекультивации не приводит к ожидаемым результатам. Необходимы иные принципы проектирования технологий рекультивации, создания техноземов с заданными почвенно-экологическими параметрами, что обеспечит необходимую экологическую эффективность рекультивации загрязненных и нарушенных земель. При землепользовании на загрязненных территориях в зависимости от уровня загрязнения, экологических, экономических и социальных показателей следует применять различные методы ее реабилитации (Криволицкий, 2000). Стратегия землепользования включает разработку способов реабилитации природных объектов (дезактивация территории, сбор, компактирование, транспортировка, переработка отходов). Выбор подхода и эффективность его применения зависят от физических, экологических, экономических и социально-демографических показателей, имеющих как количественное, так и качественное выражение. На территориях, плотность загрязнения которых значительно превосходит установленные нормативы и дезактивация является экономически неоправданной, возможно создание зон консервации техногенных почв. Указывается на необходимость адаптации систем земледелия на техногенно загрязненных террито-

риях (Едидеичев, 1998), ставится вопрос реабилитации сельскохозяйственных территорий путем разработки и освоения ландшафтных систем земледелия. В их основе лежит экологическая оценка агроландшафтов, оптимальное сочетание интенсивных и биологических факторов, установление критериев минимализации обработки почвы, экономических и экологических порогов вредоносности в агроценозах, предельных параметров нагрузки на почву. Используемые технологии содержат детально разработанные элементы эффективных систем удобрения, обработки почв, основанные на оптимизации биологических процессов в почве.

Обязательным является учет полиэлементного характера загрязнения и разработка комбинированной биотехнологии рекультивации загрязненных ТМ почв (Розвага, 1998), которая включает поэтапное удаление металлов водой, их осаждение биомассой коагулянта на основе  $Fe$  (III), внесение природных ассоциаций микроорганизмов, аккумулирующих металлы, при окупаемости затрат на проведение работ по рекультивации и детоксикации. Подчеркивается необходимость агроэкологизации сельскохозяйственного землепользования в условиях загрязнения (Мороз, 2000), приоритетность организации использования техногенно загрязненных земель на агроэкологической основе и представлены основополагающие этапы агроэкологической оценки культур, выращенных в условиях техногенного загрязнения территории поллютантами различной природы, дана классификация, рассмотрены факторы, оказывающие влияние на организацию использования загрязненных земель сельскохозяйственного назначения. Важно не просто четко установить состав самих факторов, но и дать анализ, оценить их действие на территории, затем переходить непосредственно к обустройству территории земельных массивов.

Интересным является способ удаления металлических загрязнителей из почв, разработанный в США (*Pommier Luis W.*, 1997), включающий процесс удаления металлических загрязнений (МЗ) по следующим этапам: 1) удаление из общего объема почвы ее составляющей, содержащей МЗ; 2) выделение первой почвенной фракции, свободной от МЗ, одним из методов, включающим разделение по размерам почвенных частиц, их плотности, пенную флотацию, сочетание методов, оставление второй фракции, содержащей МЗ, для дальнейшей обработки; 3) окисление МЗ, содержащихся во второй фракции почвы, обработка  $H_2O_2$ ; 4) реакция окисления МЗ с водным раствором ЭДТА в кислой среде; 5) добавление осаждающего вещества к раствору, содержащему хелатированные МЗ.

Среди исследований инактивации ТМ в системе почва – растение, следует выделить серию работ, касающихся вопросов применения извести, изучения ее экологической роли (*Oliver*, 1996; *Berti William R.*, *Galler J.*, Небольсин, 1997; Ивойлов, 1997; *Mao Jingdong*, 1998). Известь рассматривается как средство мелиорации почв и источник питательных веществ. Эффективность известкования доказана в отношении минимализации поглощения  $Cd$  зерном пшеницы и ячменя в полевых условиях (*Oliver*, 1996). Показано, что при повышении  $pH$  до 5,0 снижается содержание  $Cd$  в зерне культур. Показателем эффективности извести является содержание и растворимость  $CaO$  (*Galler*, 1997). Описаны определение степени необходимости в известковании почв, расчет оптимальных доз извести с учетом гранулометрического состава, реакции почвы и содержания в ней гумуса, фосфора, типов севооборотов и условий увлажнения (Небольсин и др., 1997). Подобные исследования проведены в Болгарии (Танева, 1998). Для нейтрализации кислотности псевдоподзолистой почвы необходимо использовать  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ,  $K_2CO_3$  или  $Na_2CO_3$  при внесении минеральных удобрений. В России разработаны адаптивные приемы преодоления повышенной кислотности черноземных почв (Ивойлов, 1997), предполагающие наряду с их известкованием проведение комплекса мероприятий: совершенствование структуры посевных площадей путем подбора культур, сортов и гибридов; регулирование минерального питания растений и внесение удобрений в оптимальных дозах; проведение фитомелиорации, возделывание многолетних трав; применение органических удобрений; повышение фосфатного уровня почв; применение безотвальных и поверхностных способов обработки почв, снижающих выщелачивание карбонатов и

подкисление почвы; применение нетрадиционных видов мелиорантов (цеолитов и цеолитсодержащих пород); использование микроэлементов.

В Германии (*Hahn, Marschner, 1998*) изучали долговременное влияние кислых поливов и известкования доломитным известняком на содержание минеральных элементов в корнях ели европейской. Известкование повышало содержание в корнях *Ca*, *Mg* и уменьшало – *Mn* и *Al*. Не обнаружено доказательств *Al*-токсикоза. Результаты исследования вопроса влияния извести, органического вещества на распределение *Zn*, *Cu*, *Fe* и *Mn* в кислых почвах Италии (*Saha* и др., 1999) показали, что металлы были мобилизованы в органические комплексно связанные (*Zn*, *Mn*) и связанные с аморфными оксидами *Fe* (*Zn*, *Cu*, *Fe*) формы. Под действием извести металлы (кроме *Cd*) распределились по фракциям «геля» гидрооксидов и аморфных оксидов. Известь приводила к уменьшению в почвах легкодоступных водорастворимых и обменных форм элементов. Органическое вещество вызвало связывание металлов в органические комплексы и фракции, связанные с аморфными оксидами, из фракций водорастворимых и обменных и связанных с кристаллическими оксидами *Fe*.

Определение приемов детоксикации ТМ в почве для получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормам, выявление способов снижения поступления ТМ в растения представлено в работе российских авторов (*Гришина, 1997; Раскатов, 1999*) при изучении транслокации ТМ, использовании доз минеральных и органических удобрений, извести и ТМ (*Zn*, *Cu*, *Cd*, *Pb*), которые вносили из расчета на элемент в ПДК: 4, 6, 11, 3. Установлено, что внесение удобрений и извести в почву увеличивало валовое содержание ТМ. По подвижности ТМ составили ряд: *Cd* > *Zn* > *Cu* > *Pb*. Известь снижает подвижность ТМ, особенно *Zn*. По годам отмечается постепенное снижение в почве валовых и подвижных форм ТМ. По содержанию ТМ в основной продукции культуры расположились в ряд: свекла > капуста > лук > картофель; больше всего накапливались *Cd* и *Zn*; превышение ПДК по *Cd* отмечали по всем культурам. В наибольшей степени накопление ТМ происходит в побочной продукции. ТМ резко снижают урожай. На сильнозагрязненных ТМ почвах целесообразно возделывать картофель. Приведены результаты исследований биотической и абиотической миграции ионов *Zn* и *Cd* в дерново-подзолистой супесчаной почве, загрязненной солями *Zn* (300 мг/кг) и *Cd* (3 мг/кг), при внесении извести и выращивании овса с использованием методов сорбционных лизиметров, изотопных индикаторов и гель-хроматографии. В других исследованиях (*Графская, 1998*) при внесении разных доз извести, цеолитов и органических удобрений, с целью уменьшения отрицательного действия токсических ТМ (*Cd*, *Zn*, *Pb*) в системе почва–растение и поступления их в корнеплоды (морковь, столовая свекла), установлена высокая эффективность извести по снижению содержания ТМ в корнеплодах при использовании возрастающих ее доз на дерново-подзолистых почвах. Действие цеолитов, органических удобрений по интоксикации ТМ в почве значительно уступает извести.

В опытах с люцерной на псевдоподзолистой почве с *pH* 4,9 в Болгарии (*Арсова, 1998*) вносили по 0, 100, 300, 600 и 900 мг/кг *Cu*. В качестве мелиорантов использовали *CaCO*<sub>3</sub>, компостированный *CaCO*<sub>3</sub> с органическими материалами и угольную пыль (1:4), угольную пыль. Установлено положительное влияние компоста на уменьшение в жидкой фазе *H*<sup>+</sup> и увеличение *Ca*<sup>2+</sup>. При этом повышалась обменная способность катионов биомассы. Положительное действие возрастало при более высоких дозах *Ca*. Применение угольной пыли не оказывало благоприятного влияния на ткани растений. Действие компоста было более благоприятным, чем *CaCO*<sub>3</sub>. Изменение физико-химических и агрохимических свойств каштановых почв при внесении цементной пыли изучали в России (*Куликов, 1999*). Использование статистических методов и расчетов физико-химического равновесия позволило установить, что при внесении пыли возрастала емкость катионного обмена, изменялась плотность заряда катионов, увеличивалось содержание подвижных макроэлементов.

При изучении влияния известкования, внесения *Cd* на кислой почве на его доступность для суданской травы (*Fernandes, 1999*) установлено, что на кислой легкосуглинистой камбисоли с преобладанием каолинита увеличение доз *CaCO*<sub>3</sub> до 4,5 г/кг

почвы повысило содержание обменного  $Ca$ , снизило содержание обменных  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , повысило  $pH$  до 6,52. Увеличение дозы внесения  $Cd$  до 10 мг/кг почвы повысило содержание обменного  $K^+$  в почве, уменьшив содержание обменного  $Ca^{2+}$ . Урожай суданской травы возрастал с увеличением доз внесения  $CaCO_3$ , снижалась доступность  $Cd$  растениям при  $pH > 5,1$ .

Интересной является разработка нового мелиоранта для улучшения физических, биологических, агротехнических показателей почвы (Воловик, 2000). В качестве мелиоранта применяют перкальцит, имеющий состав:  $CaO_2$  60,0 %,  $Ca(OH)_2$  и  $CaCO_3$  суммарно не > 35,6 %, оксиды  $Mg$ ,  $S$ ,  $Fe$ ,  $Al$  суммарно 1,6 %, воды не > 2,8 %. Перкальцит повышает  $pH$  почвы, способствует переходу в доступные для растений формы элементов минерального питания, активизации почвенных ферментов, выделению атомарного кислорода, подавляющего патогенную микрофлору. Также заслуживает внимания способ снижения агрозагрязнителей с дренированных земель (Касьянов, 2000).

Детоксикация и мелиорация загрязненных ТМ лесных почв с помощью известкования и применения минеральных удобрений проведена в Финляндии (Derome, 2000) в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на удалении 8,0 км от источника загрязнения на малоплодородной почве. Известкование оказывало слабое действие на снижение содержания свободных и обменных форм  $Cu$ ,  $Ni$ , повышало доступность  $Ca$ ,  $Mg$ , что обусловлено наличием в поверхностном слое почвы  $Fe$  в форме  $Fe(OH)_3$ . Удобрения оказывали долговременное действие как источник элементов питания.

Широко в практике используются цеолиты (кристаллические алюмосиликаты с высокими катионообменными свойствами) и торфоцеолитовые субстраты. Их использование изучали (Перфильева, 1997) при производстве овощной продукции, исследовали влияние цеолита (Ц) на агрохимические свойства торфяных субстратов, активность биохимических процессов (нитратредуктаза, полифенолоксидазная активность), урожайность, качество овощной продукции, динамику азота и калия в субстратах. В других работах российских авторов (Кириллов, 1996; Спиридонов, 1999; Virakornphanich, 1998; Пупынин, 1999; Лобода, 2000) установлено, что цеолиты являются природным экологически чистым сырьем широкого действия. Рассмотрены примеры их практического применения в различных областях сельского хозяйства: в животноводстве (добавление в корм животных), в земледелии (в полевых севооборотах, в качестве субстрата для выращивания растений в закрытом грунте). Сделано экономическое обоснование целесообразности применения цеолитов в открытом грунте по сравнению с традиционными минеральными удобрениями (МУ). Расчеты показали, что затраты при применении насыщенных МУ и цеолитов в растениеводстве возрастают в 4–7 раз с адекватным возрастанием производственной инфраструктуры. С учетом пролонгированного действия цеолитов эти затраты также велики и возрастают до 1,5 раза по сравнению с применением гранулированных МУ. Установлено, что на субстратах, приготовленных из цеолитсодержащих пород, обеспечивается оптимальный режим для развития корневой системы культур, что увеличивает урожай. Фракционный состав и плотность цеолитов со временем существенно не изменялись, что дает возможность многолетнего использования цеолитов в качестве субстратов. Внесение цеолитов снижает негативное действие ТМ, улучшает структуру и свойства почв, регулирует физиологические процессы растений. Применение удобрений на основе цеолитов дает возможность повышать урожай овощных культур на 15–35 %.

Аспект влияния цеолитов на миграцию ТМ в системе почва–растение изучали в России (Кириллов, 1996) при применении ОСВ в концентрациях: 10, 25, 50 и 100 %; для уменьшения уровня подвижности ТМ и поступления их в растения использовали цеолиты (Ц) в дозах 1, 3, 5, 33 % от массы внесенного в почву ОСВ. Наибольшее превышение максимально допустимого уровня (МДУ) в кормах установлено для  $Cd$ . В варианте с 10 % ОСВ внесение 5 % Ц снизило содержание  $Cd$  на 25 %.

Синтез цеолита из отвалов лигнитовой золы в Таиланде обсуждается в работе *Virakornphanich Prasop* (1998). А в Греции исследовался вопрос выщелачивания и поглощения металлов природным клиноптилолитом (*Zorpas Antonis* и др., 1999).

В России запатентован способ обогащения почвы с помощью прослойки сорбента (Филиппова, 1999), включающий внесение на подошву пахотного слоя сорбента в виде прослойки фиксированной толщины. В качестве сорбента используют цеолит, а прослойку выполняют в виде сетчатого экрана толщиной 0,5–1 см. В почву вносят цеолит, затем МУ, что позволяет обеспечить запас питательных веществ в пахотном слое.

Факт повышения эффективности минеральных удобрений под действием цеолитов отмечен в работе Н. Т. Чеботарева и др. (2000) при изучении анальцимсодержащей породы (АП). Опыты подтвердили гипотезу о том, что АП служит источником элементов питания растений, эффективным сорбентом. В этой связи интересен опыт применения природных цеолитов в экологически безопасных технологиях мелиорации солонцовых почв (Панов, 2000).

Влияние мелиорантов на рост, фотосинтез и вынос *Sr*, *Ca* и *Cd* молодыми растениями ячменя и кукурузы (*Krutilina* и др., 2000) исследовали на светло-каштановой суглинистой солонцеватой почве с *pH* 7,8, с применением цеолитов (Ц) и фосфогипса (Ф). Один Ф оказывал угнетающее действие на растения ячменя и кукурузы, ухудшая морфологические признаки, ослабляя фотосинтетическую активность и продуцирование биомассы. При внесении Ф + Ц наблюдалось устранение побочного действия Ф, усиление фотосинтетической активности и повышение биологического урожая культур.

Техногенное загрязнение почв и эффективность детоксикантов освещены при изучении загрязненной *Cu* (под картофель 10 ПДК, под ячмень 3 ПДК) и *Cr* (под ячмень 10 ПДК) светло-серой лесной почвы и дерново-подзолистой почвы (Иванов, 1996). Вносили (раздельно и в сочетаниях) мелиоранты: известь, торф, бентонит, вермикулит, диатомит, полимер «СОРГ», бокситовый побочный продукт «БШ». Наилучшие результаты по снижению содержания ТМ в растениях, до уровня их содержания на контроле, получены на фоне извести, торфа, диатомита, их сочетаний с вермикомпостом и фосмукой. Вопросы регенерации почв после загрязнения ТМ рассмотрены в работе других авторов (Мозгова, 1996). Исследованы процессы восстановления свойств окультуренной почвы, возвращенной в «чистую» зону после 10-летнего пребывания в условиях интенсивного воздействия медно-никелевого комбината. Вынос *Cu* и *Ni* из слоя 0–10 см интенсивно происходил в течение первого года после перемещения почвы за счет снижения подвижных форм их соединений. Оставшееся количество ТМ в течение последующих лет снижалось медленно, рассчитан период удаления ТМ из почвы до исходной их концентрации: для *Co* он составил 58, *Ni* – 90, *Cu* – 200 лет.

Возможность детоксикации почв, загрязненных ТМ, представлена в работе польских авторов (*Baran Stanislaw* и др., 1996). Изучали эффективность известкования, использования природных сорбентов, агротехнического оздоровления, повышения количества и качества органических веществ в ограничении передвижения ТМ из почвы в растения и почвенную фауну. Эффективность мероприятий связана с уровнями и типами загрязнения. При изучении влияния мелиорантов на состояние *Co* в почве и его поступление в растения (Плеханова, 1997) показано, что при загрязнении почв *Co* количество подвижных форм его соединений увеличивалось более интенсивно, чем общее содержание. Внесение в почву извести и минеральных удобрений, извести в сочетании с торфом и минеральными удобрениями снижало подвижность *Co* в почвах и поступление его в растения за счет перехода в прочно фиксированное состояние 40–80 % растворимых в воде, обменных и подвижных форм его соединений. Использование цеолита – клиноптилолита в качестве мелиоранта снижало подвижность *Co* и поступление его в растения на 10–20 % по сравнению с контрольным вариантом.

Улучшение качества дренажных вод природными сорбентами (Купцова, 1998) предполагает очистку дренажной воды с использованием сорбент-мелиоранта СОРБЭКС (65 % сапропеля, 25 % цеолита, 10 %  $Al(SO_4)_3$ ) с емкостью поглощения

250 мг-экв/100 г и удельной поверхностью 160 г/м<sup>2</sup>. Его применение снижало подвижность ТМ на 96–98 %, пестицидов – на 100 %; высокая степень очистки от нефтепродуктов, *Cl*<sup>-</sup> и *SO*<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Одна тонна сорбента способна поглотить 87 кг *Cd*, 81 кг *Zn*, 129 кг *Pb*.

Интересен опыт эффективного применения гранулированного активированного угля (ГАС) в процессе промывания почвы в работе канадских ученых (*Wasay* и др., 1999). ГАС, *Al*<sup>3+</sup> и хлорид *Fe* были испытаны для обработки жидкости, загрязненной ТМ, которая собиралась при мелиорации почв с помощью слабых органических кислот и/или их солей, ЭДТА и ДТПА. Только ГАС эффективно удалял из жидкости ТМ: *Cr*, *Cu*, *Hg*, *Mn*, *Pb*, *Zn* в форме хелатов. При *pH* 5,4–6,9 было удалено 97 % *Hg*, в интервале *pH* 6,9–7,7 – от 78 до 96 % *Cd*, *Cu*, *Mn*, *Pb*, *Zn*. 77 % *Cr* удалено при *pH* 5,4.

На энтисолях (карбонатные почвы) Турции под культурой сорго оценивали влияние на свойства почв элементарной *S* в дозах 0–2 т/га и *S*-содержащих отходов в дозах 0–100 т/га. При всех обработках значение *pH* почвы снижалось, затем вновь возрастало. Внесение мелиорантов привело к увеличению биомассы и к повышению количества *Pb*, *Fe*, *Zn*, *Mn*, *Cu*, поглощенных растениями сорго, и электропроводности почв. Внесение *S*-содержащих отходов вызвало увеличение в почвах содержания *Fe*, *Mn*, *Cu* в ДТПА – вытяжке (*Kaplan*, 1998).

Одновременное элюирование ТМ и органических соединений из почвы с помощью циклодекстрина исследовалось в США (*Brusseau*, *Wang Xiaojiang* и др., 1997) при загрязнении почвы фенантроном и *Cd*. Использование циклодекстрина увеличивало десорбцию, элюирование загрязнителей.

В ходе инактивации *Pb* в загрязненных почвах в США (*Berti William R.*, 1997) предложен метод инактивации *Pb*, позволяющий снижать опасность загрязнения посредством использования химических веществ. В почве загрязненных районов, которые содержали *Pb* от 1200 до 3500 мг/кг, после внесения недорогих и легкодоступных материалов (*KH*<sub>2</sub>*PO*<sub>4</sub>, известь, гипс, *S*, соединения *Fe*, различные источники *C*<sub>орг</sub>: люцерна, сфагновый мох, компостированные листья) были получены изменения в химии *Pb* почвы. Количество вымываемого *Pb* из почвы снижалось во всех случаях от 30 до 5 мг/л и до 72 % при обработке почв большим количеством промышленного продукта, содержащего *Fe*.

В Испании идентификацию соединений *Cu* и *Pb* предложено проводить по кинетическим параметрам с использованием метода ионного обмена в микроколонках (*Procopio Jesus Rodriguez* и др., 1997), которые заполняются амберлитом при исследовании времени диссоциации комплексов *Cu* и *Pb*.

Специфические поглотители токсикантов были разработаны в России ВНИИ фитопатологии на основе активных промышленных углей (АУ) и природных цеолитов (*Спиридонов*, 1999). Данные по действию модифицированных АУ – «Агросорб» и «Жизнедар» в пахотном слое почв показывают, что они оказывают стимулирующее действие на рост растений в дозах 100 кг/га. Предложено их использование, как эффективных сорбентов, для восстановления плодородия загрязненных почв.

Новыми подходами в изучении детоксикации ТМ являются разработка и применение специальных технических средств. В США в этой области разработаны метод и аппаратура для удаления металлических загрязнителей из почвы (*Fristad William E.* и др., 1995 *Stephenson*, *Nelson* и др., 1997). Метод состоит в измельчении почвенных частиц, разделении почвы на отдельные фракции, которые приводятся в соприкосновение с не содержащим металлы экстрагирующим раствором, в контактных зонах для удаления металлических загрязнителей.

В Польше разработано устройство для очистки стоков с помощью почвы и корней растений в условиях охраняемого ландшафта (*Jozwiakowski* и др., 1997). Создание гидророботанической очистной системы является приемлемой экологической альтернативой для защиты почв, поверхностных и грунтовых вод от антропогенного загрязнения, вписывается в ландшафт, отличается дешевизной.

В Германии проводили определение связанных форм *Hg* в загрязненных почвах (*Biester Harald*, 1997), которые идентифицируются пиролитическими методами. Последовательные вытяжки не идентифицируют соединения ртути. В других исследо-

ваниях изучались эффекты разделения и очистки при жидкостной экстракции под средним давлением (*Huttenhain* и др., 1998). Разработана система удаления из почвы загрязняющих веществ, основанная на растирании почвы с силикагелем или оксидом алюминия с целью разрушения комплексов поллютантов с почвой. Образующаяся гомогенная среда используется в качестве стационарной фазы при жидкостной хроматографии среднего давления.

Интересным является сообщение об использовании проникающего радара для исследования слоев извлеченного грунта при рекультивировании почв, нарушенных добычей полезных ископаемых, в ЮАР (*Paterson, Laker*, 1999). Проникающий радар (GPR) является полезным инструментом, характеризующим почву и определяющим глубину залегания слоев извлеченного грунта, идентифицирующим варьирование глубины покровного слоя почвы с получением изображений исследуемых объектов. Преимущества использования GPR включают: способность получать непрерывные изображения, экономя время, затраты физических усилий и финансов.

В Германии предложен способ обработки, экстракции веществ из пробы почвы (*Urhoff*, 2000), включающий стадии помещения пробы в реактивный сосуд, добавления жидкого реагента, воздействия на перемешивание пробы с реагентом при погружении в сосуд зонда.

В США разработаны новые методы ремедиации почв. Среди них метод, усиливающий мелиорацию с помощью экстракции почвенных паров путем шестифазного нагревания почв до 100 °C (*Heine Kevin* и др., 1999). Метод является дополнением для усовершенствования метода экстракции почвенного пара (ЭПП) – технологии мелиорации загрязненных ТМ почв. Нагревание почвы для увеличения давления пара подпочвенных загрязняющих веществ (ЗВ) проводится для создания источника пара, который удаляет ЗВ, сорбированные на почвенных частицах, обеспечивая механизм, посредством которого ЗВ могут достигать экстрагирующей скважины. Результаты показали, что нагревание является экономически выгодной технологией, сокращая время мелиорации, может применяться к более широкому спектру загрязненных почв и охватывает ЗВ с более высокими точками кипения. Метод пригоден для использования в насыщенной и ненасыщенной ЗВ зонах, обеспечивает уменьшение риска переноса их в недоступные области.

Новым подходом в разработке способов решения проблем инактивации ТМ является математическое моделирование. В Бельгии разработана модель оценки эффективности метода экстракции для удаления ТМ из загрязненных почв (*Masscheleyn* и др., 1999), позволяющая быстро и недорого оценить метод очистки почвы. Определяется поток ТМ (*Pb, Cu, Zn, Cd*) в процессе кислотной процедуры экстракции почвы с обратным ходом, состоящем из стадий разрушения карбонатов, растворения и промывания. Модель была калибрована и обоснована экспериментальными результатами. Модельные прогнозы адекватно описывали поведение ТМ и их удаление на каждой стадии экстракции. Определены оптимальные условия для стадий экстракции, оценена возможность использования процедуры экстракции для удаления ТМ из очагов загрязнения. Математическое моделирование (процесса) очистки почв с низким зарядом поверхности от  $Cr^{6+}$  представлено в работе из США (*Haran Bala* и др., 1997). Апробирован кинетический метод очистки песчаного субстрата от соединений  $Cr^{6+}$  *in situ*, основанный на наложении постоянного градиента потенциала в матрице с графитовым катодом и железным анодом, что обуславливает миграцию хромата к аноду, где токсичный  $Cr^{6+}$  восстанавливается до  $Cr^{3+}$ . Результаты моделирования сравнивали с теоретической моделью, включающей реакции электролиза, гидролиза воды, процессы сорбции.

Интересным подходом является использование хелатов, хелатных комплексов в системе почва – растение как антидотов. Отбор и тестирование эффективных хелаторов для удаления ТМ из загрязненных почв проведен в США (*Chen Ting-Chien* и др., 1995). Разработанный метод основан на равновесных расчетах. Определяли экстрактивный потенциал тестируемых веществ – способность к восстановлению в отношении 6 наиболее часто встречающихся загрязнителей почв: *Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn*. Адекватность такого подхода подтверждается экспериментальными данными анализа

трех хелаторов: S-карбоксиметил-цистеина, N-2-ацетамидиндиуксусной кислоты и пиридина-2, 6-дикарбоновой кислоты в отношении их способности экстрагировать из почв ТМ. Тестируемые вещества проявляли высокую экстракционную активность в широкой области pH, концентраций металла и лиганда.

*Blaylock* и др. (1997) изучали влияние внесения в почву хелатирующих веществ (транс-1,2-циклогексиленидинитролотетрауксусной кислоты (CDTA), диэтиленитрилопентауксусной кислоты (DTPA), этилендинитрилотетрауксусной кислоты (EDTA), этиленбис[оксиэтиленитрило] тетрауксусной кислоты (EYTA) – и лимонной кислоты) на повышение накопления *Pb* в горчице (*Brassica juncea*), которую использовали для фитомелиорации почв, загрязненных *Pb*. Доза 0,1 мМ/кг почвы оказала стимулирующее влияние, доза 1,0 мМ – слабое отрицательное, дозы 5,0 и 10,0 мМ/кг почвы – отрицательное влияние на рост растений. Все ХВ оказали стимулирующее влияние на растворение *Pb* в загрязненной почве, содержащей 600 мг *Pb* на 1 кг почвы, начиная с дозы 1 мМ, дальнейшее повышение до 10 мМ способствовало накоплению *Pb* в надземной массе растений до 1,5 %. Общий вынос *Pb* тремя выращенными культурами за один сезон составило до 18 г *Pb*/га. Наиболее эффективной была EDTA, затем – CDTA и DTPA, менее эффективны – EYTA и лимонная кислота. Применение EYTA эффективно влияло на вынос Cd растениями. Подобные исследования проведены в России В. И. Ильиным, Т. Г. Царьковой (1998), включающие использование ЭДТА при комплексной обработке грунта и жидкой фазы с целью ликвидации загрязнения ТМ. Разработан новый способ удаления ТМ из карбонатных загрязненных почв с помощью промывания ЭДТА (*Papassiopi* и др., 1999) в Греции. Согласно способу почвенные образцы с различными уровнями загрязнения (*Pb* 500–35000, *Zn* 700–20000 мг/кг) подвергали обработке ЭДТА, при этом количество экстрагированных ТМ варьировало от 50 до 98 % для *Pb* и от 50 до 100 % для *Zn*. Выщелачиваемые ТМ эффективно удалялись, что способствовало снижению токсичности. Удаление ТМ улучшалось при низких плотностях массы, увеличении концентрации ЭДТА (0,025–0,25М). Сходный метод стационарного выщелачивания и мелиорации почвы, загрязненной *Pb*, с помощью ЭДТА разработан в США (*Heil* и др., 1999). Установлено, что выщелачивание *Pb* с помощью ЭДТА из почв затруднительно вследствие низкой проницаемости почв. Разрабатывались методы анализа данных для получения информации о растворимости *Pb*, которые использовались для моделирования колоночной экстракции *Pb* из почв, определения влияния добавления щелочей на удаление *Pb*. Образцы почвы подвергали экстракциям растворами на основе ЭДТА. При добавлении к ЭДТА  $\text{CaCO}_3$  не наблюдалось изменений количества *Pb*. Растворимость *Pb* снижалась с увеличением pH при добавлении KOH.

Одним из мобильно развивающихся направлений инактивации техногенно загрязненных ТМ почв является биомелиорация. Реалии таковы, что очистка почв от ТМ с помощью инженерной техники экономически невыгодна. Все больший интерес вызывают возможности фитомелиорации загрязненных почв, которая представляет собой новую технологию использования металлоаккумулирующих растений специальной селекции, является экономически перспективным методом очистки почв, загрязненных ТМ и радионуклидами. Следует выделить два пути фитомелиорации – повышение доступности ТМ для растений и экстрагирование их из почвы толерантными видами-аккумуляторами. Для повышения биодоступности ТМ применяются различные хелатирующие агенты, изменение pH почвенной среды, окислительно-восстановительные добавки, создается конкуренция между ионами ТМ за сорбционные места и др. Причем растения должны обязательно обладать толерантностью к высоким концентрациям ТМ, способностью их накапливать, быстро расти и образовывать большую биомассу.

Вопросы биоремедиации и биологической активности почвы рассматриваются в публикациях российских, немецких исследователей и др. (Покровская, 1997; *Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F.*, 2000). Отмечается, что непрерывно нарастающее техногенное воздействие на природную среду приводит к локальному загрязнению почв. Из почвы нежелательные и опасные для здоровья человека вещества по трофическим цепям могут попадать в сельскохозяйственную продукцию. Загрязнение почв

приводит к снижению их плодородия, деградации растительности, ухудшению экологической обстановки.

Имеется широкий набор методов биодеконтаминации загрязненных почв, среди которых важную роль играет активизация почвенной микрофлоры. Интересен опыт Франции, где созданы биоцентры по очистке почв. Перспективы направления рассмотрены в работе *Van Den Bos Valerie* (1997). В центрах разной мощности (3000–5000 т/год) по очистке почв на местности (*sur situ*) используются различные бактерии, с помощью которых получают компост. Разработан метод утилизации отходов (*Bourdauducq Paul* и др., 1995) путем переработки отходов, получаемых при производстве, кондиционировании и использовании полисернистых соединений. Отходы содержат органические загрязнители и металлы (*Fe, As, Ni, Cr, Sb*), их переводят в щелочной раствор с последующим биологическим окислением и превращением в смесь фосфатов, фосфидов, тиофосфатов, сульфатов и хлоридов. Однако для обработки требуется большое количество реактивов.

Биологические методы утилизации активного ила, содержащего ТМ, изучали в России (Лурье, 1999). Использованию активного ила в качестве удобрения препятствует высокое содержание в нем ТМ, находящихся в форме малорастворимых металлоорганических (хелатных) соединений, плохо усваиваемых растениями. Кроме очистки осадка от хелатных комплексов до уровня ПДК необходимо добиться перевода в водорастворимую форму большего количества ионов металлов. Специальная биологическая обработка активного ила способствует переводу части металлов в водорастворимую форму, снижению концентрации  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ . Метод позволяет использовать полученный концентрат металлов и значительное количество органических веществ ила в виде удобрения.

Альтернативная система рационального использования экологически чистых форм и видов растений в урбанизированных регионах (Мамаев, 1996) предложена в России. Предусматривается создание механизма вовлечения в производство видов и форм растений с целью рекультивации загрязненных участков без дополнительных затрат. Главным является целенаправленное изменение наследственности растительных организмов и учет уровня урбанизации региона. Следует выделять формы растений с минимальным уровнем выноса токсинов и относительно высоким уровнем адаптации. Разработка защитных механизмов при загрязнениях почв ТМ на основе биоаккумуляции представлена группой исследователей из России (Чернавская, 1997). Предложено использовать ряд растений для снижения содержания ТМ в почвах за счет их аккумуляции в разных частях растений. Отмечена роль микроорганизмов в этом процессе.

В США исследовали возможность фитомелиорации загрязненных *Pb* почв и роль синтетических хелатов в фитоэкстракции *Pb* (*Huang Jianwei* и др., 1997). При загрязнении *Pb* 2500 мг/кг почвы хелаты повышали концентрацию *Pb* в стеблях кукурузы и гороха с 500 до 1000 мг/кг. По степени эффективности хелаты располагались в такой последовательности: EDTA > HEDTA > DTPA > EGTA > EDDHA. EDTA также существенно повышал транслокацию *Pb* из корней в стебли.

При изучении морфофизиологических и экологических особенностей кормовых культур – биомелиорантов (Насинова, 1998) сделан вывод о возможности использования амаранта (*Amaranthus sp.*) для биологической мелиорации деградированных земель. Как фитомелиорант использовался *Thlaspi caerulescens* (*Robinson Brett, Leblanc* и др., 1998) в Новой Зеландии. Изучали поглощение *Cd, Zn, Pb, Mn* гипераккумулятором в опытах и в природных популяциях на шахтных отвалах, загрязненных *Pb* и *Zn* на юге Франции. Показана его эффективность для фитомелиорации при низком содержании *Cd* в почве (10 мкг/г). Освободить почву менее чем за 10 лет невозможно из-за низкого коэффициента биоаккумуляции и большого содержания *Cd* в почве. Фитомелиорация деградирующих почв с помощью сорговых культур (Белосов, 1999) в России повышала урожай риса на 3–5 ц/га. Испытание зернового сорго способствовало повышению урожая зерна в пределах 45–67 ц/га при снижении объемной массы почв, уменьшении содержания токсичных ионов ( $HCO_3^-$ , *Cl*). В Болгарии изучали способность конопли (*Cannabis sativa* L.) ослаблять загрязнение почвы

ТМ (Янчев, 2000) путем выращивания ряда культур в зоне воздействия комбината цветных металлов на среду. В севооборотах «озимый горох – озимая пшеница – озимый ячмень – конопля – озимая пшеница», «кукуруза – озимая пшеница» конопля выносит намного больше *Pb*, *Cd*, *Cu* и *Zn* в сравнении с другими культурами. Наименьшим выносом ТМ характеризовалась озимая пшеница. По содержанию ТМ горох на загрязненных почвах близок к конопле, но их вынос меньше (биомасса конопли больше). Включение в севооборот конопли и гороха обеспечивало значительное снижение загрязнения почвы.

В работе *Stilwell D.E., Gorny K. D. (1997)* изучено загрязнение почвы *Cu*, *Cr* и *As* под деками, построенными из древесины, обработанной большим количеством хромированного арсената меди под давлением (до 250 л/м<sup>3</sup> древесины), в результате чего концентрация *Cu*, *Cr*, *As* в древесине достигает 1000–5000 мг/кг. Предложено выщелачивание металлов из обработанных строительных пиломатериалов кислыми растворами с *pH* 4,1–4,5, имитирующими кислотные дожди в США.

Биологическая рекультивация грунтов бурогоугольных разработок Польши (*Gilewska, 1997*) рассматривалась при исследовании грунтов бывшего бурогоугольного месторождения, состоящих из четвертичных и третичных пород, содержащих дисульфиды *Fe* – пирит и марказит. В процессе их химического и биологического окисления образуется серная кислота, вызывающая снижение *pH* < 3, что формирует фитотоксичную среду. Биологическая рекультивация возможна с помощью лесной культуры сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*), влияя на химизм почвы-породы, внося удобрения *NPK*, известь.

Процесс удаления ионов ТМ из водного раствора с помощью модифицированной коры исследован во Франции (*Gioaguen, Morvan, 1997*). Продукт отходов деревообработки – кора *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Larix*, *Tectona*, *Azalia* использовался для избирательного удаления катионов, особенно токсичных ТМ (*Pb*, *Zn*, *Cr*, *Fe* и *Cu*), из моно- или мультисолевых растворов. Металлы заменялись протонами на корковых субстратах, содержащих карбоксильные группы в пектиновых и таниновых компонентах. Удаление ТМ зависит от происхождения коры, размера ее волокон, преобладания тех или иных ионов ТМ в растворах. ТМ отмывали добавлением 0,1N *HCl*, осуществляя восстановление субстрата.

Фитомелиорация, или польза для деревьев. Такая проблема была затронута в работе *Clicquot de Mentque Cecile (1998)*. С целью использования деревьев для очистки почвы от загрязнения ТМ установлено более 400 пород, однако механизм абсорбции ТМ еще не изучен. Проведенные в Германии и США опыты показали, что каждая порода деревьев способна поглощать из почвы только один–два определенных загрязнителя, высадка на одном участке нескольких пород деревьев для расширенной очистки почвы требует предварительного рассмотрения вопроса их биологической совместимости и комплексного подхода к исследованию этой проблемы на уровне «загрязненные почвы – деревья – вода – фауна». Фитомелиорация ТМ, основанная на использовании растений, рассматривается как стратегия очистки окружающей среды в работе индийских ученых (*Srivastava, 1998*).

Изменение доступности растениям и концентрации *Cd* в почве после длительного выращивания *Salix* проводили в Швеции (*Eriksson, Ledin Stig, 1999*). Установлено, что валовое содержание *Cd* под влиянием ивы практически не менялось при достоверном снижении обменных форм *Cd* и с учетом величины *pH*. Потребление *Cd* ивой охватывало весь профиль почвы, что объясняется сравнительным постоянством валового содержания *Cd* и ежегодным приростом биомассы ивы (10 т/га/год).

Фитомелиорация загрязненной *Pb* почвы в США (*Blaylock и др., 1999*) предполагает сочетание аккумулирующих ТМ растений (*Brassica juncea*) с почвенными мелиорантами, что позволяет получать большую растительную биомассу, достигая значительного аккумулирования ТМ. Среднее содержание *Pb* в поверхностном слое почвы уменьшилось на 13 %, а запланированное количество *Pb*, равное 400 мг/кг, достигнуто на 72 % обрабатываемой площади в течение одного вегетационного сезона. В другой разработке для выщелачивания ТМ из бывшего рудного месторождения в США под влиянием растений (*Zhu и др., 1999*) использовали два вида трав (*Festuca*

*arundinacea* Schreb., *Andropogon gerardii*). Присутствие растений повышало концентрации *Zn* и *Cu* в промывных водах, но на содержание *Pb* не влияло. Выщелачивание металлов возрастало до 20 раз. Следующую работу представил *Carvalho Kathleen* и др. (2000) в США, включающую аннотированную библиографию по устранению загрязнения *Se* с помощью высших растений и микроорганизмов. Обобщение результатов исследований показало, что инактивация почвы от избытка *Se* может осуществляться путем поглощения, накопления его в растениях ряда видов, перемещения *Se* в ризосферу, удержания переувлажненными почвами.

Биомелиорация загрязненных почв, сравнение условий с помощью тестов токсичности в качестве метода мониторинга (*Phillips, Liu Dickson, 2000*) проводились в Канаде. Выживание червей и проращивание семян – наиболее адекватные тесты токсичности. Трудности, возникающие при использовании тестов, связаны с нечувствительностью к изменению уровней содержания почвенных загрязнителей, непостоянством и помехами за счет почвенных частиц и др. Результаты свидетельствуют о необходимости использования серии тестов в сочетании с химическими анализами для оценки эффективности биомелиорации.

В работе *Acids* (1996) обсуждаются возможности использования гуминовых и фульвокислот для биовосстановления загрязненных ТМ почв, выделяя их комплексы с металлами путем ультрафильтрации на полых волокнах. В России (Един, 1998) установлено, что металлургические шлаки, имеющие высокий модуль основности и значительное содержание оксидов щелочно-земельных элементов, проявляют повышенную активность при детоксикации. Процесс детоксикации не требует дорогостоящего оборудования. Благодаря сочетанию гидролиза и окисления процесс разрушения протекает до образования нетоксичных продуктов. Поэтому шлаки, использованные для детоксикации, могут применяться как удобрения для обогащения почвы *P, Ca, Mg* и микроэлементами.

В Италии исследовался вопрос влияния на содержание ТМ в почве и растениях использования компоста в виноградарстве (*Pinamonti Flavio, Nicolini Giorgio* и др., 1999). Сравнивали два компоста. Один характеризовался низким содержанием ТМ и состоял из ОСВ и коры, использовался для удобрения почвы без опасности для окружающей среды и растений. Другой отличался более высокой концентрацией ТМ, состоял из твердого городского мусора, вызывал увеличение содержания *Cd, Pb, Cu* и *Sr* в почве, растениях и в сусле. В другой работе, при разработке методов инактивации ТМ в загрязненных почвах Италии (*Mule, Melis, 2000*) предлагается использование фиксирующих агентов, снижая доступность ТМ для растений, предотвращая их вымывание в грунтовые воды.

Влияние добавок различных мелиорирующих соединений в ОСВ на сорбцию *Zn* в почвах изучали в Чехии (*Balik, Tlustos* и др., 2000). Наибольшее влияние на подвижность *Zn* оказала величина *pH*, меньшее – изменение сорбционной способности или содержания  $C_{орг}$  в почвах и компостах.

Использование биологически активных веществ для реабилитации техногенно загрязненных сельхозугодий (Ульяненко, 1999) рассмотрено при возделывании культур на техногенно загрязненных (радионуклиды, ТМ) территориях. Предпосевная инкрустация семян ячменя крезацином (20 г/т), обработка растений (10 г/га) при расходе рабочей жидкости 300 л/га вызывала изменение в ростовых процессах, увеличивались высота растений, число зерен в главном колосе, общая продуктивность, что связано со стимулирующим действием на фотосинтетические процессы.

Вопрос защиты от токсичности *Cd* при расщеплении фенантрена в почве, использование биологических поверхностно-активных веществ изучался в США (*Maslin, Maier, 1999*). ТМ тормозят расщепление органических соединений в случае одновременного загрязнения металлами и органическими веществами. Ранее показана способность смягчать токсичность *Cd* при расщеплении нафталина. Дозы *Cd*, вносимого в суглинок, составляли 390 мг/кг, чем достигалась его биодоступная концентрация в почвенном растворе 3 мг/л. Эффективной является концентрация фенантрена 1000 мг/кг. Концентрация в 100 мг/кг не оказывала влияния на токсичность *Cd*, при 10000 мг/кг подавлялся микробоценоз почвы.

В КНР при изучении влияния органического материала на трансформацию и передвижение оксидов металлов в почве (Wu Longhua и др., 1999) установлено, что при добавлении порошка разложившейся люцерны существенно увеличивалось количество органохелатированных *Fe*, *Mn* и *Al*. В другой работе при изучении влияния ризосферного органического материала на ТМ в почве и распределения природных почвенных форм *Fe* (Xu Xingkai и др., 1999) отмечено, что органический материал улучшал трансформацию форм *Fe* в комплексно-связанные и аморфные оксиды в почве ризосферы, повышал коэффициент активности *Fe*.

Заслуживает внимания способ рекультивации земель, разработанный в России (Зарубин, 2000) и использованный для восстановления растительного и почвенного покрова, который включает боронование грунта, внесение культивирующих добавок (полова содержала неотвеянные семена растений: рожь посевную, капусту, рапс, фацелию пихмолистную, полынь Сиверса, ромашку Хукера, овсяницу красную, пырей ползучий, мятлик болотный, лисохвост тростниковый, бекманию обыкновенную, полевицу гигантскую, арктофилу рыжую, луговик дернистый, вейник Хольма и др.).

В США запатентован способ создания беспочвенной ростовой среды с включением растворимого *Si* (King Paul, Reddy Shivakumar, 2000), состоящей из материала, в роли которого использовали сфагновый мох, различные виды торфа, компостированную или сырую кору, компостированные органические отходы, перлит, вулканический пепел, вермикулит, пластмассовые материалы или смеси всех данных веществ при добавлении источника растворимого *Si* в концентрации, достаточной для повышения уровня абсорбируемого растениями *Si*, необходимого для образования фитолитов. У растений повышаются засухоустойчивость, структурная стабильность и устойчивость к ТМ. Беспочвенная ростовая среда включает также стандартные добавки: *K*, *P*, *Ca*, *Mg*, *S*, *B*, *Mo*.

В качестве одной из организационных защитных мер, применяемых в загрязненных регионах, широкое распространение получила лесомелиорация. При лесомелиорации загрязняемых агроландшафтов следует учитывать способность лесных насаждений локализовать ТМ, снижать их токсичность, очищать почву, воздух, воду от вредных примесей, бактерий. Однако необходимы новые подходы к проектированию, созданию санитарно-защитных насаждений в условиях загрязнения ТМ. Ученые из разных стран мира указывают на важность переоценки некоторых приоритетов в защитном лесоразведении, подчеркивая экологические аспекты формирования древесной растительности в зависимости от степени антропогенного вмешательства. Разные аспекты лесной мелиорации в условиях техногенеза представлены в исследованиях, разработанных и запатентованных способах ученых Германии (Schulte-Karring Manfred, Katur Joachim, 1999), Китая (Chang Qing-rui и др., 2000).

Таким образом, научная проблема детоксикации и деконтаминации токсичности ТМ остается актуальной проблемой современности, требующей дальнейшей разработки новых методов, подходов к ее решению.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроэкологизация** сельскохозяйственного землепользования в условиях загрязнения / А. В. Мороз // Аграрная наука. – 2000. – № 6. – С. 11.
- Адаптации** систем земледелия на техногенно загрязненных территориях Красноярского края / Ю. Ф. Едимейчев, Д. Е. Полонская и др. // Междунар. симп. «Контроль и реабилитация окружающей среды»: Тез. докл. – Томск, 1998. – С. 183-184.
- Арсова А.** Съдержание на катионы в люцерна в зависимость от приложените мелиоранты на замърсена с мед псевдоподзолиста почва // Почв. зн., агрохим. и екол. – 1998. – 33, № 24. – С. 6-10.
- Белоусов В. С.** Фитомелиорация деградирующих почв с помощью сорговых культур / Селекция, семеновод. технол. воздел. перераб. сорго: Тез. док. Междунар. науч.-практ. конф. – Черноград, 1999. – С. 17-18.
- Вопросы** консервации земель сельскохозяйственного назначения Витебской области / Д. А. Чиж // Лес, наука, молодежь: Материалы Междунар. науч. конф. мол. ученых. – Гомель, 1999. – Т. 2. – С. 104-106.

- Графская Г. А.** Эффективность мелиорантов на загрязненных тяжелыми металлами почвах / Г. А. Графская, В. А. Величко // Химия в сельском хозяйстве. – 1998. – № 1. – С. 37-38.
- Гришина А. В.** Транслокация тяжелых металлов и приемы детоксикации почв / А. В. Гришина, В. Ф. Иванова // Химия в сельском хозяйстве. – 1997. – № 3. – С. 36-41.
- Един Е. С.** Детоксикация металлургическими шлаками // Достижения НИТ АПК. – 1998. – № 5. – С. 38-39.
- Землепользование** на территориях, загрязненных радионуклидами / Д. А. Криволуцкий, Е. Ю. Успенская, А. В. Панфилов // Вестник МГУ. Сер. 5. – 2000. – № 1. – С. 18-21.
- Иванов Н. А.** Техногенное загрязнение почв Среднего Урала и эффективность мелиорирующих веществ // Тез. докл. 2-го съезда о-ва почвоведов. Кн. 1. – М., 1996. – С. 347-348.
- Ивойлов А. В.** Адаптивные приемы преодоления повышенной кислотности черноземных почв // Тез. науч. конф., посв. 40-летию Мордов. гос. ун-та, 1997. – Саранск, 1997. – С. 27.
- Ильин В. И.** Разработка технических решений по очистке почв территорий промышленных предприятий от тяжелых металлов и органических веществ / В. И. Ильин, Т. Г. Царькова // Экология промышленного производства. – 1998. – № 1–2. – С. 34-35.
- Исследование** влияния различных деревьев на предотвращение деградации земель в условиях Лессового плато / Chang Qing-rui // Agr. Res. Arid Areas. – 2000. – Vol. 18, № 1. – P. 108–112.
- Касьянов А. Е.** Способ снижения агрозагрязнителей с дренированных земель / А. Е. Касьянов, А. В. Шуравилин, М. М. Абрегов // Науч. тр. МГУЛ. – 2000. – № 303. – С. 195-199.
- Кириллов Н. А.,** Ларионов Г. А., Кузнецов А. И. и др. Влияние цеолитов на миграцию тяжелых металлов в системе почва-растение / Н. А. Кириллов, Г. А. Ларионов, А. И. Кузнецов и др. // Экологический вестник Чувашии. – 1996. – № 17. – С. 44-45.
- Комбинированная** биотехнология рекультивации загрязненных почв от тяжелых цветных металлов, нефти и нефтепродуктов / Р. И. Розвага и др. // Цветная металлургия. – 1998. – № 10. – С. 35-38.
- Куликов А. И.** Изменение физико-химических и агрохимических свойств каштановых почв в связи с внесением цементной пыли / А. И. Куликов, Г. У. Челпанов // Агрохимия. – 1999. – № 2. – С. 20-25.
- Купцова А. А.** Улучшение качества дренажных вод природными сорбентами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: ВНИИГИМ, 1998. – 24 с.
- Лобода Б. П.** Применение цеолитосодержащего минерального сырья в растениеводстве // Агрохимия. – 2000. – № 6. – С. 78-91.
- Лурье Е. Л.** Биологические методы утилизации активного ила // Регион. конф. молодых ученых «Современные проблемы экологии, микробиологии и иммунологии»: Тез. докл. и программа. – Пермь, 1999. – С. 43.
- Мамаев С. А.** Альтернативная система рационального использования экологически чистых форм и видов растений в урбанизированных регионах Среднего Урала / С. А. Мамаев, С. И. Неуймин // Геоэкология в Урало-Каспийском регионе: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 1996. Ч. 2. – С. 5-6.
- Многофункциональное** использование земель / М. М. Котов, С. М. Лазарева и др. – Йошкар-Ола: Мар. ГТУ, 1999. – 209 с. – Деп. в ВИНТИ 03.11.99, № 3256-B99.
- Мозгова Н. П.** Регенерация почв после загрязнения тяжелыми металлами // Тез. докл. 2-го съезда о-ва почвоведов. Кн. 2. – М., 1996. – С. 285-286.
- Настинова Г. Э.** Морфофизиологические и экологические особенности кормовых культур-биомелиорантов / Г. Э. Настина, В. И. Доржиева // Проблемы сохранения биоразнообразия аридных регионов России: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 1998. – С. 196.
- Небольсин А. Н.** Определение доз извести по комплексу показателей / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина // Агрохимия. – 1997. – № 9. – С. 29-33.
- Панов Н. П.** Опыт применения природных цеолитов в экологически безопасных технологиях мелиорации солонцовых почв // Вестник РАСХН. – 2000. – № 2. – С. 46-49.
- Перфильева В. Д.** Использование торфоцеолитовых субстратов при производстве экологически чистой овощной продукции // Материалы науч. чтений, посв. 100-летию закладки первых полевых опытов И. И. Жилинским. – Новосибирск, 1997. – С. 139-140.
- Плеханова И. О.** Влияние мелиорантов на состояние кобальта в почве и его поступление в растения / И. О. Плеханова, В. А. Савельева // Агрохимия. – 1997. – № 8. – С. 68-73.
- Покровская С.** Деконтаминация загрязненных почв // Экономика сельского хозяйства России. – 1997. – № 2. – С. 22.
- Проблемы** восстановления и использования загрязненных сельскохозяйственных земель в Республике Болгария / В. Хаджиева // Икон. и упр. селск. стоп. – 1997. – 42, № 1. – С. 43-45.
- Пупынин В. М.** Применение цеолитов // Агрохимический вестник. – 1999. – № 1. – С. 26.

- Раскатов А. В.** Влияние применения навоза и известкования на миграцию и поглощение цинка и кадмия в супесчаной дерново-подзолистой почве / А. В. Раскатов, С. А. Соколова, И. М. Яшин // Изв. ТСХА. – 1999. – № 3. – С. 84-98.
- Спиридонов Ю. Я., Шестаков В. Г., Мухин В. М.** Восстановление плодородия почв, загрязненных техногенными и природными веществами / Ю. Я. Спиридонов, В. Г. Шестаков, В. М. Мухин // Агро 21. – 1999. – № 12. – С. 22-23.
- Пат. 2132122** Россия, МПК<sup>6</sup> A01C 21/00, C09K 17/00. Способ обогащения почвы с помощью прослойки сорбента / Т. Е. Филиппова, Е. А. Кузьмин; ВНИИСХИМЗ. – № 96111517/13; Заявл. 06.06.98; Опубл. 27.06.99. Бюл. № 18.
- Пат. 2157605** Россия, МПК<sup>7</sup> A01B 79/02. Способ рекультивации земель / С. И. Зарубин, А. Г. Ананенков, Г. Л. Ставкин, Н. В. Рыжук, В. М. Поляков; ООО «Ямбурггаздобыча». – № 2000106893Д3; Заявл. 22.03.00; Опубл. 20.02.00. Бюл. № 29.
- Пат. 2159266** Россия, МПК<sup>7</sup> C09K 17/06. Мелиорант / А. С. Воловик и др.; АОТ «Химпром», ООО «Эконар». – № 97110543/13; Заявл. 02.07.97; Опубл. 20.11.2000. Бюл. № 32.
- Танева М.** Исследования по установлению различий отзывчивости растений на pH почвы и на Ca<sup>2+</sup> при известковании кислых почв. Опыт за разграничаване на отзывчивостта на растенията към pH от тази към Ca<sup>2+</sup> при варуване на кисели почви // Почвозн., агрохим. и екол. – 1998. – 33, № 4. – С. 79-82.
- Теория и практика санации почв** / С. Е. Сорокин, В. Г. Граковский // Тез. докл. 2-го съезда о-ва почвоведов. Кн. 2. – М., 1996. – С. 293-294.
- Техноземы: свойства, режимы, функционирование** / В. А. Андроханов и др. – Новосибирск: Наука, 2000. – 199 с.
- Ульяненко Л. Л.** Использование биологически активных веществ при реабилитации техногенно загрязненных сельхозугодий / Л. Л. Ульяненко, А. С. Филипас, Р. Л. Алексахин // Вестник Рос. акад. с.-х. наук. – 1999. – № 2. – С. 49-51.
- Чеботарев Н. Т.** Повышение эффективности минеральных удобрений под действием целюлитов / Н. Т. Чеботарев, И. Н. Хмелинин, В. М. Швецова и др. // Аграрная наука. – 2000. – № 8. – С. 11-12.
- Чернавская М. М.** Разработка защитных механизмов при экологических загрязнениях почв тяжелыми металлами на основе биоаккумуляции / М. М. Чернавская, Т. Б. Плещачева и др. // Общ. инф. науч. и техн. аспекты охраны окружающей среды / ВИНТИ. – 1997. – № 4. – С. 23–26.
- Янчев И. И.** Възможности на конопа (*Cannabis sativa* L.) за ограничаване на почвеното замърсяване с тежки метали / И. И. Янчев и др. // Растениегъд. науки. – 2000. – 37, № 7. – С. 532-537.
- Acids may play bioremediation role** // Applied Genetics News. – 1996. – Vol. 16, № 12. – P. 2-3.
- Baran Stanislaw, Turski Ryszard, Flis-Bujak Maria Uzar Czeslaw** Możliwość detoksykacji gleb zanieczyszczonych przez metale ciężkie // Ann. UMCS. E. – 1996. – 51, № 12. – P. 151-163.
- Berti William R., Cunningham Scott D.** In – place inactivation of Pb-contaminated soils // Environ. Sci. and Technol. – 1997. – Vol. 31, № 5. – P. 1359-1364.
- Biester Harald** Determination of mercury binding forms in contaminated soils: mercury pyrolysis versus sequential extractions // Environ. Sci. and Technol. – 1997. – Vol. 31, № 1. – P. 233-239.
- Bodenvorbereitung zur Erstaufforstung flachgrundiger Ackerstandorte** / Schulte-Karring Manfred, Schulte-Karring Hubert, Schneider Raimund, Schroder Dietmar // AFZ/Wald. – 1999. – 54, № 16. – P. 824-827.
- Brusseau Mark L., Wang Xiaojiang** Simultaneous elution of heavy metals and organic compounds from soil by cyclodextrin // Environ. Sci. and Technol. – 1997. – Vol. 31, № 4. – P. 1087-1092.
- Carvalho Kathleen M., Gallardo Maria T.** Remediation of selenium contamination by plants and microbes: An annotated bibliography // Fla Sci. – 2000. – Vol. 63, № 3. – P. 133-141.
- Chen Ting-Chien, Macauley E., Hong A.** Selection and test of effective chelators for removal of heavy metals from contaminated soils // Can. J. Civ. Eng. – 1995. – Vol. 22, № 6. – P. 1185-1197.
- Clicquot de Mentque Cecile** La phyto-remediation ou les bienfaits des plantes // Environ. mag. – 1998. – № 1569. – P. 51.
- Derome J.** Detoxification and amelioration of heavy metal contaminated forest soils by means of liming and fertilization // Environ. Pollut. – 2000. – Vol. 107, № 1. – P. 79-88.
- Eriksson J., Ledin Stig** Changes in phytoavailability and concentration of cadmium in soil following long term Salix cropping // Water, Air, and Soil Pollut. – 1999. – Vol. 114, № 1-2. – P. 171-184.
- Fernandes M. L.** Effect of liming and cadmium application in acid soil on cadmium availability to Sudan grass // Commun. Soil. Sci. And Plant Anal. – 1999. – Vol. 30, № 7-8. – P. 1051-1062.
- Galler J.** Ist kalken noch wirtschaftlich // Fortschr.Landwirt. – 1997. – № 6. – С. 14-15.

- Gilewska M.** Rekultywacja biologiczna gruntów pogornicznych w aspekcie wietrzenia dwusiarczku żelaza: Ref. 2 Ogólnopol. konf. nauk. «Przyr. i techn. probl. ochr. i kształt. srod. rol., Poznan, 1997 // Roczn. Akad. rol. Poznaniu. Melior. i inż. Srod. – 1997. – № 19, Cz. 1. – P. 7-19.
- Gioaguen V., Morvan H.** Removal of heavy metal ions from aqueous solution by modified bards // J. Environ. Sci. and Health. – 1997. – Vol. 32, № 4. – P. 901-912.
- Haran Bala, Popov Branko** Mathematical modeling of hexavalent chromium decontamination from low surface charged soils // J. Hazardous Mater. – 1997. – Vol. 55, № 1-3. – P. 93-107.
- Heil D. M., Samani Z., Hanson A. T., Rudd B.** Remediation of lead contaminated soil by EDTA. I. Batch and column studies // Water, Air, and Soil Pollution. – 1999. – 113, № 1-4. – P. 77-95.
- Heine Kevin S., Steckler David J.** Augmenting in-situ remediation by soil vapor extraction with six-phase soil heating // Remediation. – 1999. – Vol. 9, № 2. – P. 65-72.
- Hourcle Laurent R., Guenther Norman H.** Institutional controls for future land use at active installation restoration program (ISR) sites // Remediation. – 1999. – Vol. 9, № 2. – P. 73-85.
- Huang Jianwei W.** Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction // Environ. Sci. and Technol. – 1997. – Vol. 31, № 3. – P. 800-805.
- Huttenhain Stefan H., Hoffmann Christoph** Separation and clean-up effects in medium pressure liquid extraction: Pap 16<sup>th</sup> Int. Symp. «Chlorinated Dioxines and Relat. Compounds 1996». // Chemosphere. – 1998. – Vol. 37, № 9-12. – P. 2375-2384.
- Jozwiakowski K.** Analiza gruntowo-kozeniowej oczyszczalni ścieków na obszarze chronionego krajobrazu // II Ogólnopol. konf. nauk. «Przyr. i techn. probl. ochr. i kształt. srod. rol., 1997. – № 19, Cz. 1. – P. 71-78.
- Katzur Joachim, Bocker Lutz, Stahr Falk** Humus – und Bodenentwicklung in Kippen – Forstokosystemen // AFZ/Wald. – 1999. – 54, № 25. – P. 1339-1341.
- Kirchner-Hebler R., Konold Werner, Lenz Roman, Thomas Angelika** Okologische Konzeptionen für Agrarlandschaften // Naturschutz und Landschaftsplan. – 1999. – 31, № 9. – P. 275-282.
- Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F.** Monitoring of bioremediation by soil biological activities // Chemosphere. – 2000. – Vol. 40, № 4. – P. 339-346.
- Maslin P., Maier R. M.** Biosurfactant – induced protection against cadmium toxicity during phenanthrene degradation in soil // Abstr. 99<sup>th</sup> Gen. Meet. Amer. Soc. Microb., Chicago, May 30 – June 3, 1999. – Washington (D. C.), 1999. – P. 591.
- Pat. 5466426** CIIA, C22B 11/00 Method and apparatus for removing metal contamination from soil: / Fristad William E., Narum Jeffrey L., Mattison Phillip L. – № 104979; Publ. 14.11.95.
- Oliver D. P., Tiller K. G., Conyers M. K., Slattery W. J., Alson A. M., Merry R. H.** Effectiveness of liming to minimize uptake of cadmium by wheat and barley grain grown in the field // Austral. J. Agr. Res. – 1996. – Vol. 47, № 7. – P. 1181-1193.
- Papassiopi N., Tambouris S., Kontopoulos A.** Removal of heavy metals from calcareous contaminated soils by EDTA leaching // Water, Air, and Soil Pollut. – 1999. – Vol. 109, № 1-4. – P. 1-15.
- Paterson D. G., Laker M. C.** Using Ground Penetrating Radar to investigate spoil layers in rehabilitated mine soils // S. Afr. J. Plant and Soil. – 1999. – Vol. 16, № 3. – P. 131-134.
- Phillips Theresa M., Liu Dickson** Bioremediation in field box plots of a soil contaminated with wood-preserved: A comparison of treatment condition using toxicity testing as a monitoring technique // Water, Air, and Soil Pollut. – 2000. – Vol. 121, № 1-4. – P. 173-187.
- Pinamonti Flavio, Nicolini Giorgio** Compost use in viticulture: effect on heavy metals levels in soil and plants // Common. Soil. Sci. and Plant Anal. – 1999. – 30, № 9-10. – P. 1531-1549.
- Procede d'elimination des dechets du P4S10:** 2711558, France. B09B3/00, A62D3/00 / Bourdauducq Paul, Penel Laurent, Elf Atochem S. A. – № 9312633; Publ. 05.05.95, Bul. № 95/18
- Process** for removing metal contaminants from soils: № 5599372, USA, C05G3/04, A6 2D 3/00 / Pommier Luis W., Earth Decontaminators. Inc. – № 54937; Publ. 04.02.97.
- Procopio Jesus Rodriguez** Micro column ion-change method for kinetic speciation of copper and lead in natural waters // Environ. Sci. And Technol. – 1997. – Vol. 31, № 11. – P. 3081-3085.
- Robinson Brett H., Leblanc Marc, Perit Daniel** The potential of *Thlaspi caerulescens* for phytoremediation of contaminated soils // Plant and Soil. – 1998. – Vol. 203, № 1. – P. 47-56.
- Saha J. K.** Effect of lime and organic matter on distribution of zinc, copper, iron, and manganese in acid soils // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. – 1999. – Vol. 30, № 13-14. – P. 1819-1829.
- Soiless** growth medium including soluble silicon: Pat. 6074988 CIIA, A01N 59/00, A01N 59/06 / King Paul A., Reddy Shivakumar, SunGro Horticulture, Inc. – № 09/007160; Publ. 13.06.2000.
- Srivastava A.** Phytoremediation for heavy metals – a land plant based sustainable strategy for environmental decontamination // Proc. Nat. Acad. Sci. India B. – 1998. – Vol. 68, № 3-4. – P. 199-215.

- Stilwell D. E., Gorny K. D.** Contamination of soil with Cu, Cr, and As under decks built from pressure treated wood // *Bull. Environ. Contam. And Toxicol.* – 1997. – Vol. 58, № 1. – P. 22-29.
- Synthesis** of zeolite from waste lignite ash from Thailand / Virakornphanich Prasop, Egashira Kazuhiko // *Soil Sci. and Plant Nutr.* – 1998. – Vol. 44, № 4. – P. 707-710.
- Van Den Bos Valerie** Depollution des sols: Cing biocentres en projet // *Usine nouv.* – 1997. – № 2605. – P. 28.
- Verfahren** zur bearbeitung insbesondere extraction von stoffen aus einer probe, insbesondere aus einer bodenprobe: № 19842998 Germany, G10N 1/28, G01N 21/25 / Urhoff M., Urhoff H. – № 198429983; Publ. 13.04.00.
- Wasay S. A., Barrington S., Tokunada S.** Efficiency of GAC for treatment of leachate from soil washing process // *Water, Air, and Soil Pollut.* – 1999. – Vol. 116, № 3-4. – P. 449-460.
- Wu Longhua, Gao Zigin** Влияние органического материала на трансформацию и передвижение оксидов металлов в почве и их влияние на почвенное плодородие // *Chain. J. Appl. Ecol.* – 1999. – Vol. 10, № 4. – P. 423-426.
- Zhu D., Schwab A. P., Banks M. K.** Heavy metal leaching from mine tailings as affected by plants // *J. Environ. Qual.* – 1999. – 28, № 6. – P. 1727-1732.
- Zorpas Antonis A., Vlyssides Apostolos G.** Dewatered anaerobically – stablized primary sewage sludge composting: metal leachability and uptake by natural clinoptilolite // *Com. Soil Sci. and Plant. Anal.* – 1999. – Vol. 30, № 11-12. – P. 1603-1613.
- Blaylock Michael J., Elless Mark P., Huang Jianwei W.** Phytoremediation of lead-contaminated soil at a New Jersey brown field site // *Remediation.* – 1999. – Vol. 9, № 3. – P. 93-101.
- Krutilina V. S., Polyanskaya S. M.** Effects of zeolite and phosphogypsum on growth, photosynthesis and uptake of Sr, Ca and Cd by barley and corn seedlings // *J. Environ. Sci. And Health A.* – 2000. – Vol. 35, № 1. – P. 15-29.
- Kaplan M., Orman S.** Effect of elemental sulphur and sulphur containing waste in a calcareous soil in Turkey // *J. Plant. Nutr.* – 1998. – Vol. 21, № 8. – P. 1655-1665.
- Mule Paolo, Melis Pietro** Methods for remediation of metal-contaminated soils. Preliminary results // *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* – 2000. – Vol. 31, № 20. – P. 3193-3204.
- Masscheleyn P. H.** A model for evaluating the feasibility of an extraction procedure for heavy metal removal from contaminated soils // *Water, Air, and Soil Pollut.* – 1999. – Vol. 113, № 1-4. – P. 63-76.
- Mao Jingdong, Xing Baoshan** Effect of soil amendments on fraction of selenium-enriched soil // *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* – 1998. – Vol. 29, № 19-20. – P. 2917-2925.
- Mobile** soil treatment apparatus and method: 5599137 USA, B09B 3/00 / Stephenson Robert J., Nelson John C., Lim Choom J., Chemtech Analysis Inc. – № 527750; Publ. 04.02.97.
- Hahn G., Marschner H.** Cation concentration of short roots of Norway spruce as affected by acid irrigation and liming // *Plant and Soil.* – 1998. – Vol. 159, № 1. – P. 23-27.
- Xu Xingkai, Zhang Sujun** Влияние ризосферного органического материала на тяжелые металлы в прибрежной засоленной почве. II. Распределение природных почвенных форм железа // *Chin. J. Appl. Ecol.* – 1999. – Vol. 10, № 4. – P. 430-432.

*Надійшла до редколегії 19.01.06*